

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des abréviations

Liste des unités

Introduction

PARTIE I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : Les matières premières

Chapitre II : La chaux

Chapitre III : Le four à chaux

PARTIE II : ETUDE DE LA PRODUCTION DE CHAUX A PARTIR D'UN FOUR INTERMITTENT

Chapitre IV : Etude sur la mise en place du four intermittent

Chapitre V : Etude de l'impact sur l'environnement

Conclusion

Etude bibliographiques

Webographie

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pouvoir calorifique de ces combustibles	7
Tableau 2:Caractéristiques physiques	13
Tableau 3:Propriété de la chaux vive et chaux éteinte	15
Tableau 4: Coût indicatif de la chaux produite	40
Tableau 5: paramètres et contrôle qualité	42



LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Les différents types de liants</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2:Schéma de la classification de la chaux.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3: Illustration simplifié de la fabrication de la chaux.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 4:Cycle de la chaux.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 5: Croquis d'un Four à chaux des Orésonnis (Bras d'Asse)</i>	<i>32</i>
<i>Figure 6: schéma d'un four à chaux à la fin du XIXème siècle</i>	<i>33</i>
<i>Figure 7 : four intermittent</i>	<i>38</i>
<i>Figure 8: Implantation d'une unité de production</i>	<i>42</i>

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1:vue de face et vestiges du four à chaux d'Agos-Vilados.....</i>	<i>31</i>
<i>Photo 2: batteries des fours à chaux du XIXe siècle en Aveyron</i>	<i>33</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

ONUDI : Organisation des Nation

L : indice d'hydraulicité

T : température

V_u : volume utile du four

h : hauteur du four

d : diamètre de base

d_{cal} : diamètre du calcaire

P_{cal} : poids du calcaire

LISTE DES UNITES

t: tonne

j : jours

kcal : kilocalorie

kg : kilogramme

m³ : mètre cube

g: gramme

°C: degré Celsius

pH : potentiel hydrogène

mm : millimètre

l : litre

m : mètre

km : kilomètre

Ar : ariary

cm : centimètre

INTRODUCTION

Madagascar est un pays riche en ressources naturel, malgré tous il est encore un pays en voie de développement.

Ainsi, en sachant que l'écorce terrestre est constituée de 20% de calcaire. Concernant ce dernier nous possédons des pierres à chaux en grande quantité à savoir dans les régions : Alaotra-Mangoro, Sofia, Vakinankaratra.

Actuellement nous constatons qu'il n'existe plus des industries productrices des chaux à Madagascar, dont les raisons sont diverses ; ils utilisaient des technologies trop sophistiquées, le volume du marché potentiel était faible mais leurs capacités de production étaient élevées de l'ordre de 300t/j.

De nos jour l'utilisation de la chaux à Madagascar ne cesse d'augmenter dans trois secteurs : les traitements des eaux potables et d'eaux usées, dans le secteur de l'industrie : badigeon, mortier et enduit ; stabilisation de sol dans le secteur BTP et amendement de sol pour le secteur agricole.

Dans quelque ville de Madagascar comme à Mahajanga, Antsirabe, Ambatondrazaka, il existe des artisans producteurs de chaux qui ne maitrisent pas leur processus de production et en plus la qualité de leur produit laisse à désirer.

Les techniciens et les chercheurs travaillent actuellement pour la promotion des matériaux locaux de construction et en particulier la production de chaux à l'échelle artisanale, en basant sur le contexte local, utilisant les technologies appropriées, et en répandant aux besoins immédiats.

La production de la chaux à l'échelle artisanale n'exige pas un important capital de fond, la production se fait à petite échelle, ce qui n'est pas le cas dans les industries.

Dans cet optique de promotion des matériaux locaux de construction, nous choisissons de travailler dans la section chaux et nous avons choisi pour thème « Contribution à l'étude de la production de la chaux à l'échelle artisanale : cas d'un four intermittent ».

PREMIERE PARTIE :

ETUDES

BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : MATIERE PREMIERE

I.1 Le calcaire [1], [2] et [3]

I.1.1 Définitions

C'est une substance minérale caractérisée par une composition chimique dans laquelle prédomine le carbonate de calcium CaCO_3 . Le calcaire est la matière première pour la fabrication de la chaux.

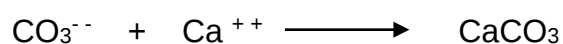
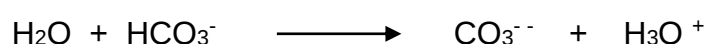
Il est caractérisé généralement de calcite et renferme environ 99,9% de CaCO_3 . Sa formule chimique est CaCO_3 connue sous le nom de « carbonate de calcium » en chimie. Le calcaire contient essentiellement de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , le minéral accessoire est la dolomite.

I.1.2 Origine du calcaire [3]

Il est souvent d'origine organique et d'origine chimique.

Souvent le calcaire contient des fossiles (débris de coquilles, de squelettes d'organismes coloniaux, ...) qui sont liés par un ciment calcaire. Et également il renferme une quantité plus ou moins importante de matériel terrigène (sable ou argile). C'est pourquoi on parle de calcaire argileux, de calcaire sableux ou gréseux, etc. En générale le calcaire se forme en milieu marin ou lacustre, à partir du carbonate de calcium dissous dans l'eau (« eau calcaire »), par précipitation chimique ou biochimique (intervention des organismes vivants) ou par accumulation de débris de coquilles d'organismes macroscopiques ou microscopiques. Des fois le calcaire provient de la combinaison de ces deux mécanismes.

Réaction d'obtention du calcaire :



I.1.3 Propriétés physiques du calcaire [2], [3], [4] et [5]

Les roches calcaires sont faiblement résistantes, plus ou moins perméables et susceptibles d'être attaquées par dissolution si l'eau qui les baigne est riche en gaz carbonique.

Les roches calcaires se reconnaissent facilement par leur faible dureté (2,9 maximum) : elles sont rayables au verre et à l'acier. Il fait effervescence à l'acide chlorhydrique dilué (HCl à 10%).

Le calcaire est non poreux, il est aussi cohérent c'est-à-dire résiste à la pression des doigts, ne s'effrite pas car il est formé des éléments fortement soudés entre eux.

I.1.4 Information géographique du site à exploiter [6]

Les différents gisements de calcaire se répartissent un peu partout dans l'île mais leur exploitabilité n'est pas encore bien étudiée et les tonnages exacts de ces gisements ne sont pas encore bien connus.

D'après l'œuvre de Baiserie en 1996 qui s'intitule « Gites minéraux de Madagascar » et des visites de quelques gisements effectués par un expert de l'ONUDI en 1975 permettent de donner quelques idées sur les caractéristiques de certains gisements

I.1.4.1 Gisement de cipolin dans la région Alaotra-Mangoro

La colline d'Andrainarivo Amboatsakay Ambatondrazaka versant Est, la réserve est estimée à un million de mètre cubes pour une hauteur de 15 mètres, le cipolin nettement cristallisé est recouvert de latérite environ 10 mètres. Le gisement est accessible par une route carrossable.

Tandis qu'aux gisements d'Ambohiboatavo et d'Antsahamarova Ambatondrazaka, il existe des filons de cipolin.

I.1.4.2 Gisement de calcaire dans quelque région de Tuléar

- La carrière d'Andatabo « Table de Tuléar », la réserve est difficile à évaluer, le calcaire est très marneux, et la route est assez bonne ainsi le gisement est accessible
- La carrière de Soalara forme un banc continu d'épaisseur de 5 mètres à la base de l'escarpement, le calcaire est de bonne qualité du type micao-cristallisé dépourvu de coquilles dont les couleurs sont variables : blanches, jaunes-claires...
- La carrière de Baie de Saint Augustin possède deux mètres d'épaisseur mais la route est en très mauvais état. Le calcaire cristallin est très dur et facile à exploiter.

I.1.4.3 Gisement de cipolin dans la région de Vakinankaratra

Le mont Ibity Antsirabe possède deux carrières ouvertes : celle d'Antelisoratra et d'Ankadindalana qui sont exploitées auparavant par l'établissement MONLOUP, les réserves sont très importantes, les cipolins sont recouverts de couches latéritiques, et en plus il est facile d'accéder à ces gisements.

I.1.4.4 Gisement de calcaire dans la région de DIANA

Les réserves de la montagne des Français (Anosirano) et celles de la carrière sur le Cap Diego sont considérables, le calcaire possède un pourcentage élevé de CaCO_3 mais contient plus ou moins de silice.

I.1.4.5 Gisement de calcaire dans la région de Haute Mahatsiatra

Le gisement d'Antsangy de Talata-Ampano possède une couche d'épaisseur au moins 100 mètres, le cipolin est recouvert de couche de latérite environ 15 mètres.

I.1.4.6 Gisement de calcaire dans la région de Boeny

La carrière d'Amboanio possède de calcaire altéré de marne jusqu'à une superficie de 300 kilomètres carrés et une couche de calcaire pur à une épaisseur de sept mètres environ.

I.2 Les combustibles [7] [8]

En Europe, on utilise le bois jusqu'au 1850. Les plus employées sont les essences qui développent la chaleur de combustion la plus intense. En Lavedan on mettait en œuvre du chêne, du hêtre ou du sapin. On amorçait la combustion par des bois facilement inflammables comme les étoupes.

Après 1850, l'emploi des charbons de terre, la tourbe ou même le lignite sont progressivement essayés.

I.2.1 Bois

Bien que le pouvoir calorifique de bois est insuffisant pour la cuisson du ciment, il est un excellent combustible pour la chaux parce qu'il produit une longue flamme et il permet d'obtenir rapidement les températures de décomposition tout en évitant souvent la sur-cuisson.

I.2.2 Coke ou charbon de terre, et charbon de bois

Dans les fours continus à combustion mixte on utilise ces combustibles.

I.2.3 Fuel / gaz

L'énergie des fours industriels est fournie par les combustibles liquides ou gazeux. Tandis que l'utilisation de brûleur simplifié à l'huile pour les fours artisanaux est délicate et n'assure pas toujours de bons résultats.

I.2.4 Déchets agricoles

Dans le monde plusieurs types de déchets agricoles sont utilisés : résidus des olives après pressage, coques de noix de coco, balles de riz, chaumes, etc. Leurs pouvoirs calorifiques sont souvent équivalents au bois, mais leurs utilisations sont relativement inefficaces.

Tableau 1: Pouvoir calorifique de ces combustibles

Combustibles	Pouvoir calorifique
Coke ou charbon de terre	6 000 à 9 000 Kcal / Kg
Fuel	9 000 à 10 000 Kcal / Kg
Gaz naturel	500 à 700 kcal/m ³
Bois	3 000 à 4 500 Kcal / Kg
Charbon de bois	4 000 à 5 000 Kcal/ Kg

Chapitre II : LA CHAUX

II.1 Définition et terminologies

II.1.1 Le liant [9]

Un liant est défini comme un produit utilisé pour lier ou agglomérer entre eux et d'autres minéraux

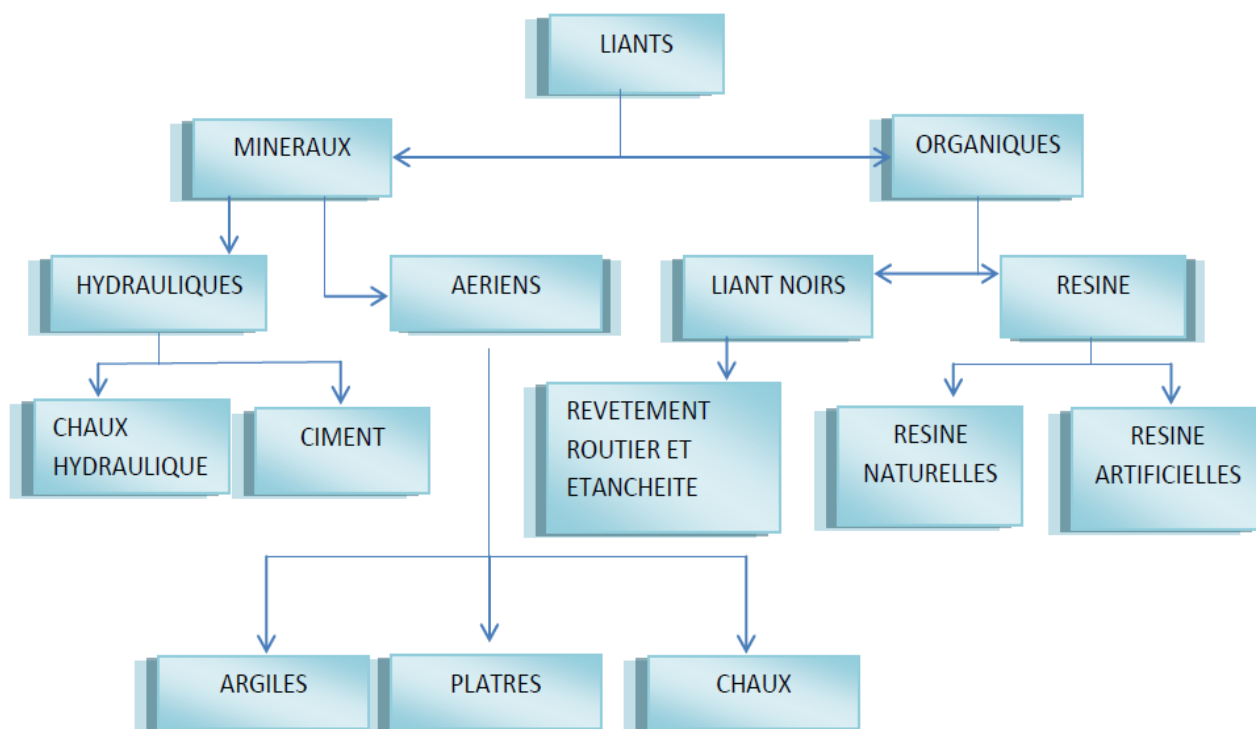


Figure 1: Les différents types de liants

D'après la figure 1, on a deux types de liants :

Les liants minéraux regroupant les liants aériens et hydrauliques et les liants organiques regroupant les liants noirs et résine.

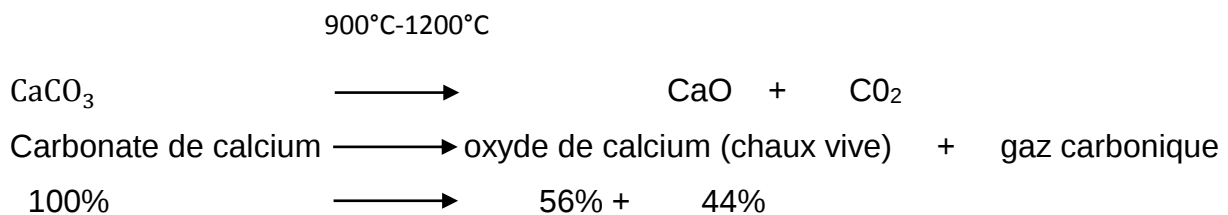
II.1.2 La chaux [8] et [9]

II.1.2.1 Définitions

- La chaux est obtenue à partir d'un calcaire très pur porté à une température de plus de 1000 degrés. Il se produit alors une réaction chimique c'est-à-dire le calcaire se décompose en chaux vive et en gaz carbonique
- La chaux se définit comme la variété physique ou chimique sous laquelle se présente l'oxyde de calcium, soit à l'état d'oxyde plus ou moins pur (CaO), soit sous forme d'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 obtenu après hydratation, soit en mélange avec des éléments argileux (chaux hydrauliques).

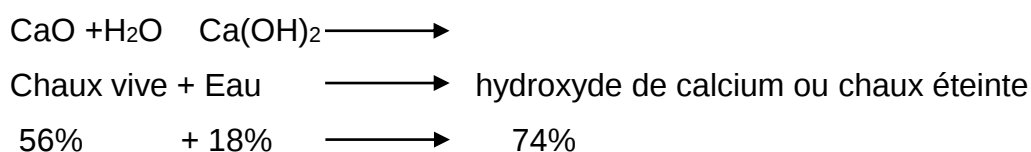
II.1.2.2 Réaction d'obtention de la chaux

a) Réaction de décarbonations



Pour 100% de calcaire on obtient 56% d'oxyde de chaux vive avec un vif dégagement de gaz carbonique. Cette réaction est fortement endothermique c'est-à-dire une réaction qui absorbe beaucoup de chaleur.

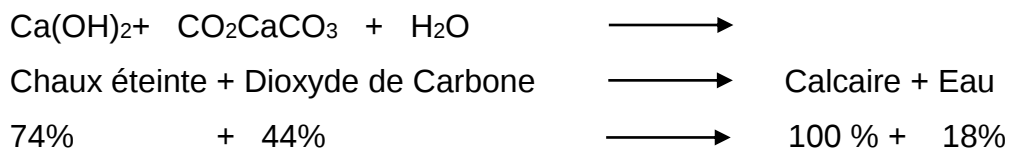
b) Réaction d'hydratations



Pour 56% de chaux vive avec de l'eau de 18% donne 74% de chaux éteinte. La réaction est exothermique c'est-à-dire une réaction qui dégage beaucoup de chaleur.

c) Réaction de Ré-carbonatation

La ré-carbonatation est le durcissement de l'hydroxyde de calcium sous l'effet du gaz carbonique de l'air, suivant la relation



II.1.2.3 Classifications de la chaux

On classifie la chaux en deux types distincts qui se diffèrent l'un de l'autre

- Les chaux aériennes qui ont la propriété de durcir à l'air mais non à l'eau.
- Les chaux hydrauliques ont la possibilité de durcir non seulement à l'air, mais aussi sous l'eau.

La distinction qu'on a vue précédemment peut être étudiée à l'aide des paramètres suivants :

a) La température et le degré de cuisson du calcaire

La température charnière entre les deux sortes de chaux est de 900°C à 1 200°C

- A 900°C : Les chaux obtenues sont aériennes.
- A 1 200°C : l'influence des impuretés contenues dans la roche mère devient prépondérante et donne à la chaux ses propriétés hydrauliques.

b) Richesse en carbonate de calcium

Cette richesse en CaCO_3 , dont dépend la teneur en CaO de la chaux, conduit aux définitions suivantes :

- Teneur en $\text{CaO} > 97 \%$, en $\text{Ca(OH)}_2 > 96\%$: chaux chimiquement pures
- Teneur $85 \% < \text{CaO} < 97 \%$, $85\% < \text{Ca(OH)}_2 < 96 \%$: chaux grasses
- Teneur en $\text{CaO} < 85 \%$, en $\text{Ca(OH)}_2 < 85 \%$: chaux maigres

c) La teneur en éléments argileux

Elle permet de classer les chaux hydrauliques qui tirent leurs propriétés de l'importance des éléments argileux de la roche mère.

L'indice d'hydraulicité est défini par l'évaluation des proportions d'éléments argileux qui réagissent avec l'oxyde de calcium à la cuisson.

$$L = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}$$

L : évalue les proportions d'élément argileux qui réagissent avec l'oxyde de calcium CaO .

- ❖ Si L est faible ($0 < L < 0,10$) : la chaux est valable pour l'utilisation dans l'industrie (chaux chimiquement pure)
- ❖ Si L est grand ($L > 0,30$) : (c'est-à-dire en présence de silice et l'alumine dans la roche mère), la chaux est utilisée dans l'habitat ou la construction des routes.

d) Condition de prise ou durcissement

- La chaux aérienne ne se durcit que dans l'air
- La chaux hydraulique : elle a la propriété de se durcir dans l'eau et l'air

e) Le conditionnement

- La chaux vive : c'est le produit sorti directement du four.
- La chaux éteinte : c'est le produit obtenu après extinction de l'eau.

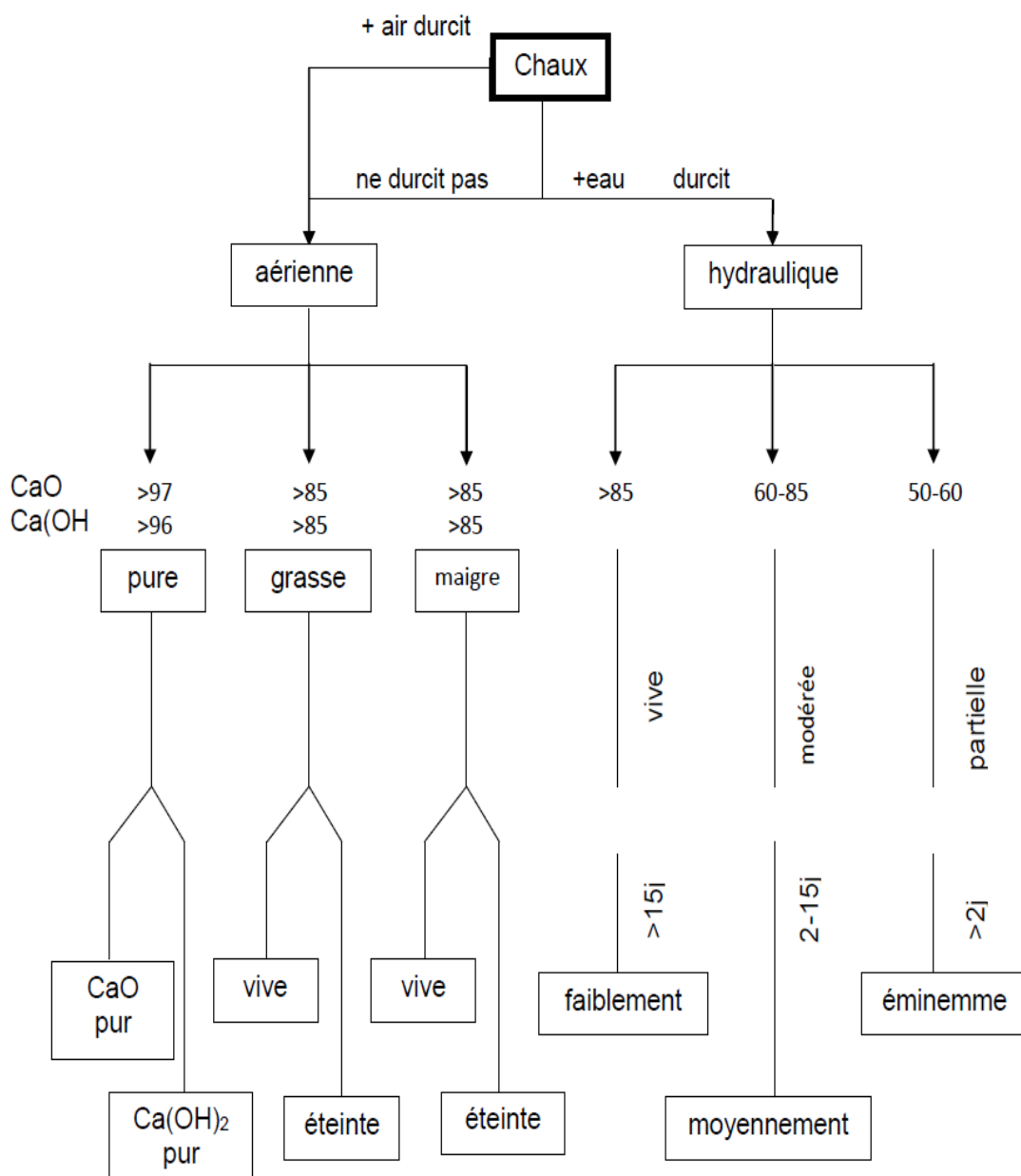


Figure 2:Schéma de la classification de la chaux

II.1.2.4 Caractéristiques et propriétés de la chaux

a) Caractéristiques physiques

Tableau 2:Caractéristiques physiques

	CHAUX Chaux grasse	AERIENNE Chaux maigre	CHAUX HYDRAULIQUE
Indice d'hydraulicité (L)	0 – 0,10	0 – 0,15	0,10 – 0,50
Poids spécifique (t/m ³)	2,2 – 2,3	2,3 – 2,5	2,6 – 2,9
Densité apparente	0,5 – 0,7	0,6 – 0,9	0,7 – 1,0
Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	8 000 – 12 000	5 000 - 9000	3 000 – 8 000

b) Caractéristiques et propriétés chimiques

Les caractéristiques et propriétés chimiques de la chaux sont les suivantes :

- La chaux est un matériau alcalin qui réagit avec les acides pour former des sels de calcium.
- Elle absorbe les gaz acides, comme le dioxyde de soufre et le gaz carbonique.
- Elle réagit sous certaines conditions avec la silice ou les silicates naturels. Ainsi, la réaction avec la silice sous pression permet de fabriquer des briques de silicate de calcium ; la réaction avec les matériaux argileux est utilisée pour la stabilisation des sols.
- La chaux réagit chimiquement sous haute température avec les impuretés des métaux et sert au raffinage de ces métaux.
- Grâce à la finesse et à la forme des particules de la chaux hydratée, la pâte de chaux est plastique et constitue avec du sable des mortiers et enduits très plastiques dont la solidité augmente avec le temps par décarbonations.
- Grâce à son alcalinité et à ses réactions avec les sols, la chaux permet de corriger l'acidité des sols et constitue un fertilisant important.

c) Propriété de la chaux vive et chaux éteinte

Tableau 3: Propriété de la chaux vive et chaux éteinte

	Chaux vive	Chaux éteinte
Nom	Oxyde de calcium	Hydroxyde de calcium
Formule chimique	CaO	Ca(OH) ₂
Aspect	Roche, granulé, poudre blanche	Poudre blanche
Odeur	Sans	Sans
Point de fusion (°C)	2614	Décomposition à 580°C (se transforme en CaO)
Point d'ébullition (°C)	2850	2850
Inflammabilité	Non	Non
masse volumique apparente (kg/m ³)	700 à 1200	200 à 800
Poids spécifique à 20°C (kg/m ³)	3350	2200
Solubilité dans l'eau (kg/m ³)	1,4 à 0°C et 1,25 à 20°C	1,85 à 0°C et 1,86 à 20°C
pH 0 à 25°C	12,4 en solution saturée	12,4 en solution saturée
réactivité	Réaction avec l'eau et les acides, avec fort dégagement de chaleur	Réaction avec l'aluminium en présence d'eau, forte réaction exothermique en présence d'acides

II.2 Production de la chaux à l'échelle artisanale [9]

La fabrication de la chaux passe par plusieurs étapes chacun ayant son importance et sa particularité, qui sont :

- L'extraction
- La cuisson
- L'extinction

II.2.1 L'extraction

Tout commence par l'extraction de la roche calcaire et l'argile dans des carrières à ciel ouvert ou souterraines. Après abattage à l'explosif, les roches dures sont transportées vers des ateliers de concassage et de criblage.

La première opération consiste à concasser puis à cribler les blocs de façon à acquérir un calibre de pierre compatible avec le four utilisé.

La granulométrie de la roche varie de 20mm à 150mm. Les fours verticaux requièrent une fourchette de calibre de 20mm à 140 mm, contre 5mm à 40mm pour les fours rotatifs.

Si le calibre de la pierre est trop gros alors il y a risque de non cuit dans le four et si le calibre est trop petit, cela risque d'endommager le four en les bouchant.

Ce traitement est très important car le rendement de la production dépend essentiellement d'un bon calibrage de la pierre.

II.2.2 La cuisson

En général, la cuisson se fait dans les fours verticaux dans lesquels un mélange intime de pierre et de combustible généralement du charbon est introduit à la partie supérieure par couche alternée.

La pierre descend lentement, en traversant d'abord une zone de préchauffage, provoquant l'évaporation de l'eau libre.

Elle traverse ensuite une zone de calcination où elle est décarbonatée à partir de 900°C. La zone de cuisson proprement dite se situe à une température variant entre 100°C et 1200°C selon la qualité de la chaux recherchée.

II.2.3 L'extinction

A la sortie du four, la chaux vive recueillie passe par un traitement qui est destiné à éteindre et on obtient de la chaux éteinte.

Pour les chaux hydrauliques, il faut respecter le silicate et l'aluminate qui donnent le caractère hydraulique à la chaux et faire attention à ne pas trop imbibé. En fait, ces silicates et aluminates fixent d'abord l'eau, puis la perdent au profit de la chaux restant à éteindre.

L'extinction de la chaux peut se faire en deux techniques, soit :

- Par immersion : c'est de plonger pendant quelques secondes la chaux dans l'eau. Pour les chaux grasses ce procédé est la même.
- Par aspersion : la chaux est étalée en couche de 15 à 20 cm. On l'arrose légèrement puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière à ce que toute la masse soit humectée.

La détermination de la quantité d'eau employée se fait expérimentalement. On relève la chaux en tas et on laisse jusqu'à l'extinction complète.

La transformation du produit en poudre marque la fin de l'aspersion.

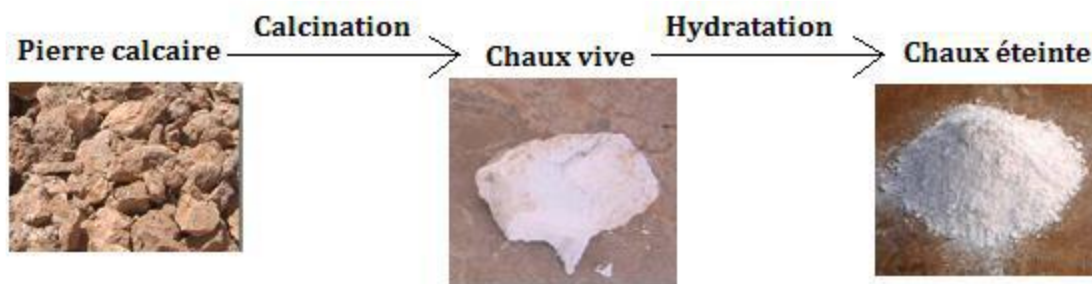


Figure 3: Illustration simplifié de la fabrication de la chaux

II.3 Cycle de la chaux [9]

Lorsqu'on combine la chaux éteinte avec le gaz carbonique, elle redevient du calcaire (voir figure 4).

La prise, aérienne ou hydraulique, de la chaux est déterminée par la teneur en calcaire pur ou argileux de la pierre.

La cuisson transforme la pierre en chaux vive.

La chaux vive est broyée à la sortie du four. Pour certains travaux on peut l'utiliser à l'état vif ou éteinte.

L'extinction sans excès d'eau transforme la chaux en poudre. Mise en sac elle sera vendue sous le nom de chaux aérienne ou de chaux hydraulique. Eteinte par immersion, seule la chaux arienne peut se conserver en pate.

Les chaux éteintes répondent des normes qui permettent de savoir si la chaux est calcique ou magnésienne, aérienne ou hydraulique, de résistance faible ou forte, pure ou bâtarde.

La conservation de chaux commercialisées dépend de leur état. Les chaux en poudre se conservent environ 1 an en sac. En pâte, la chaux aérienne se conserve sous l'eau sans limite de temps.



Figure 4: Cycle de la chaux

II.4 Utilisations [10] et [11]

II.4.1 La chaux en agriculture

Les plantes ont leur meilleur développement sur un sol dont le pH est compris entre 6,5 et 7,5. La chaux est utilisée depuis des siècles sur les sols acides, naturellement argileux ou sableux, ou encore devenus acides du fait de l'emploi excessif d'engrais chimiques ou organiques. La chaux aide le sol à rétablir son équilibre et à retrouver sa fertilité. Elle agit également directement sur la végétation. Absorbée et fixée par les plantes, elle intervient dans le processus de germination, la circulation de l'amidon et la saturation des acides organiques.

La chaux coagule l'argile. Cette propriété revient à neutraliser les sols lourds et argileux par le phénomène de floculation, correspondant au passage d'une structure plastique à une forme grumeleuse stable. La chaux rend alors le travail du sol plus facile, accroît sa perméabilité et favorise son activité.

II.4.2 La chaux dans la technique routière

- Pour assèchement

La chaux vive est épandue sur les sols humides afin de diminuer leur teneur en eau et faciliter ainsi le travail des engins de terrassement.

- Pour la stabilisation

La chaux vive, mélangée aux sols argileux, se combine chimiquement avec ces derniers. L'argile passe alors d'une consistance plastique à une consistance grenue, stable et très peu sensible à l'eau.

II.4.3 La chaux dans le bâtiment

- Dans la construction

Dans l'activité des travaux publics, la chaux sert largement pour la construction des routes ; le sol est préparé avec de la chaux vive pour assécher le terrain, et/ou de la chaux éteinte pour améliorer les caractéristiques mécaniques du sol (stabilisation des argiles).

La chaux aérienne est principalement employée pour les enduits et la décoration, la chaux hydraulique lui est préférée pour l'édification de murs en pierres ou en moellons, pour la réalisation de sous-bassement, dalles, etc.

- Pour enduits et décoration

Hormis les bétons, la chaux accepte tout type de support : terre, pierre, brique, bois. Elle a la particularité d'être perméable à l'air et imperméable à l'eau évitant ainsi la condensation.

Les mortiers de chaux sont employés indifféremment à l'extérieur ou à l'intérieur qui sont utilisés pour le rejointoiement et les enduits des constructions neuves ou en restauration. Ils sont en outre relativement souples et évitent les micros

fissures qui favorisent le passage de l'eau vers l'intérieur des murs. Les peintures à la chaux, prêtes à l'emploi et disponibles dans les magasins spécialisés remplacent avantageusement les anciens badigeons.

Les constructions en pisé refont leur apparition dans de nombreuses régions

- Béton cellulaire :

Léger et excellent isolant, le béton cellulaire est fabriqué à partir d'un mélange de chaux vive, de sable, de ciment, de poudre d'alumine et d'eau.

La réaction chaux/alumine provoque la formation de minuscules bulles de gaz. Ces bulles, piégées dans la masse, confèrent les propriétés isolantes des blocs de béton.

II.4.4 La chaux dans certaines industries

Dans la sidérurgie

La sidérurgie est un domaine où l'emploi de la chaux intervient très largement. Elle a le pouvoir de réagir à haute température avec les impuretés des métaux et participe ainsi à leur affinage. La chaux est employée :

- Dans les convertisseurs produisant de l'acier, à partir de la fonte (fer et carbone). La chaux vive forme avec les impuretés (silicium, phosphore, soufre) des scories, plus faciles à isoler et à éliminer. Les procédés actuels demandent 60 à 70 kg par tonne d'acier. La chaux éteinte (en poudre ou en pâte) a plusieurs fonctions : comme lubrifiant pour le tréfilage de l'acier, comme revêtement dans les moules utilisés pour la fusion en lingots de l'acier (évite le collage), mais aussi comme protection temporaire contre la corrosion.
- Dans le traitement des métaux non ferreux, où elle sert d'agent d'attaque de la bauxite, pour en extraire l'aluminium, par enlèvement du silicium.
- Dans la préparation du magnésium par précipitation de la magnésie hydratée, à partir d'une solution de chlorure de magnésium.

- Dans la séparation par flottation de différents sels métalliques, tels que le calcium métal, le cuivre, le zinc, le plomb, l'or, l'argent et l'uranium.
- La chaux est utilisée pour purifier la bauxite lors de la fabrication de l'aluminium. Elle évite la formation des silico-aluminates, inutilisables, et améliore ainsi les rendements de production.
- Elle est également employée pour la production de Zinc, Cuivre, Plomb, Or, Argent, Uranium grâce à son aptitude à séparer les sels métalliques et autres impuretés du minerai.

II.4.5 La chaux dans l'industrie papetière

Le bois est traité à la soude afin d'en extraire la cellulose, qui deviendra la pâte à papier. En fin de traitement, la soude est devenue du carbonate de sodium.

La chaux vive intervient alors comme régénérant de la soude, mais aussi pour la production d'un produit utilisé pour le blanchissement.

La chaux est également employée sous forme de carbonate de calcium précipité, très pur, permettant ainsi d'obtenir des papiers de grande qualité.

II.4.6 La chaux dans l'industrie sucrière

La chaux y joue un rôle important : elle permet de séparer les impuretés du sucre contenu dans le jus extrait de la betterave et de la canne.

II.4.7 La chaux dans l'industrie Pharmaceutique

Quotidiennement on utilise de la chaux, par exemple dans les pâtes dentifrices pour son apport en calcium mais également pour ses propriétés désinfectantes et cicatrisantes. Elle entre également dans la composition de nombreux médicaments.

II.4.8 La chaux et l'environnement :

- Traitement des eaux

Produit de base de l'industrie chimique, la chaux provoque la désulfuration des fumées, par absorption des gaz acides, comme le dioxyde de soufre, le gaz carbonique.

Dans les eaux de consommation ou de certains procédés industriels, la chaux intervient comme agent de précipitation et de floculation.

Elle est aussi employée dans le traitement des eaux usées pour flocculer les matières organiques, les phosphates issus des détergents, pour précipiter certains éléments toxiques et nuisibles et/ou les sels de métaux lourds des eaux industrielles et comme bactéricide par élévation du pH.

Enfin elle est utilisée pour déshydrater, stériliser et stabiliser les boues issues du traitement des eaux.

- Traitement des fumées

Les combustibles, tels que le Fuel lourd ou le charbon contiennent naturellement du soufre en quantité plus ou moins importante suivant leur provenance. Les déchets ménagers et aussi certains déchets industriels dégagent également du soufre ou du chlore au court de leur incinération.

Ces émissions sont à l'origine des pluies acides.

Il existe différents procédés pour neutraliser ces émissions de gaz acides :

- ☞ Lit fluidisé, où la chaux est ajoutée au produit avant incinération.
- ☞ Voie sèche, où les gaz acides sont piégés par la chaux dans un réacteur.
- ☞ Voie semi-sèche, selon le même principe, mais avec un lait de chaux.
- ☞ Voie humide, les gaz passent à travers un rideau d'eau. Cette dernière est ensuite neutralisée à la chaux.

II.4.9 Autres applications

La chaux est également employée en pisciculture, ostréiculture, pour le traitement des lisiers de porcs, en ré-minéralisation des eaux de consommation, en verrerie, en tannerie, etc....

- Les tanneries se servent de la chaux pour préparer les peaux au tannage.
- Elle joue également le rôle de solvant pour les déchets d'abattoirs, lors de la fabrication de colles et de gélatines (alimentaires). Aux États-Unis, on l'utilise pour améliorer le stockage des fruits et légumes, la chaux éteinte absorbe le gaz carbonique émis lors du mûrissement des produits et permet ainsi de réguler le rapport oxygène/gaz carbonique. Elle rentre aussi parfois directement dans le processus alimentaire, on l'utilise sous forme d'eau de chaux pour neutraliser ou réduire l'acidité avant la pasteurisation du beurre. On l'utilise également pour la fabrication des tortillas.
- Dans le sud de la France, on trouve en pharmacie un liniment oléo-calcaire fabriqué par le mélange d'eau de chaux et d'huile d'olive. Celui-ci est destiné à la toilette des nourrissons.
- Elle a même trouvé un débouché alimentaire (aujourd'hui abandonné) avec l'invention d'une barquette auto chauffante, contenant de l'eau et de la chaux vive qui, mises en contact, chauffent le plat cuisiné, isolé dans un compartiment séparé.
- Dans l'industrie de la savonnerie, la chaux intervient dans le procédé de saponification des huiles.

Chapitre III : LE FOUR A CHAUX

III.1 Définition [12]

Le four à chaux ou le chaufour est une catégorie de four à calcination dans lequel on transforme le calcaire en chaux par calcination et accessoirement où l'on cuit la céramique. En générale il s'agit d'un ouvrage vertical fixe et ouvert par le haut, mais on trouve également des fours horizontaux.

III.2 Historique en Europe [13] et [14]

La construction du four n'est pas précise mais les objets découverts à proximité peuvent être datés du III^{ème} siècle après Jésus Christ.

Son nom lui vient de sa première attribution, au XIX^{ème} siècle, et de son usage : Un four à chaux permet de transformer les pierres calcaires en chaux, en moyen d'un grand four chauffé au bois. Il doit être à la fois près des roches calcaires et de la forêt mais éloigné du village pour éviter les risques d'incendie. Dans les habitats du haut moyen âge, les fours à chaux sont des structures rarement rencontrés : mais pour tous le nord de la France et l'Allemagne on a recensé qu'une dizaine. En Alsace, on a aperçu un deuxième four à chaux mérovingien, à moins de 6 km du 1^{er}, fouillé à Roeschwoog en 1995, qui était totalement inattendue. Dû à la même construction et l'excellent état de conservation du four ont permis de compléter les observations faites en 1995 et de s'interroger une nouvelle fois sur sa raison d'être dans le contexte local.

III.3 Les types de fours [7]

On distingue deux types de four :

- Fours rotatifs
- Fours verticaux

III.3.1 Fours rotatifs

Vers 1960 l'Europe a commencé de fabriquer la chaux dans les fours rotatifs, avec une capacité de production notable qui demande des investissements élevés, une haute technologie et un volume important de débouché.

Les installations des fours rotatifs se composent comme suit :

- Préchauffeur : préchauffeur de cru pour le procédé à un concentrateur et pour le procédé à voie humide, constituant chaque fois des éléments séparés ou des éléments incorporés des fours rotatifs longs.
- Fours rotatifs : fours rotatifs courts pour les voies sèches et demi-sèches en combinaison avec le préchauffeur, ainsi que des fours rotatifs longs pour les voies sèches et humides.
- Refroidisseur : refroidisseur à grille oscillante, à grille mobile, horizontale à tambour vertical.

Proprement dit le four rotatif constitue l'appareil de cuisson, et elle se situe entre le préchauffeur et refroidisseur avec une température élevée pour cuire la matière.

III.3.2 Fours verticaux

Le four vertical est le plus ancien système de cuisson de chaux, en raison des investissements peu élevés qu'il exige et de sa faible consommation de chaleur. Il constitue un système de cuisson économique et de grand rendement.

On peut distinguer deux types de fours verticaux selon le combustible utilisé : fours verticaux, chauffés au coke et fours verticaux, chauffés à gaz ou fuel.

On peut employer plusieurs systèmes, mais les fours verticaux peuvent être définis comme un long tuyau cylindrique pour avoir une bonne descente du matériau, de revêtement réfractaire adéquat évasé vers le haut et fermé dans le haut et le bas, dans lequel les pierres à chaux sont introduites du haut et on sort la chaux par le bas pour empêcher les rentrées d'air, et le combustible gazeux est injecté en certains points déterminés.

Dans les fours verticaux, on distingue :

- Le four à meule
- Le four intermittent
- Le four continu

DEUXIEME PARTIE :
ETUDE DE LA
PRODUCTION DE LA
CHAUX A PARTIR
D'UN FOUR
INTERMITTENT

Chapitre IV : ETUDE SUR LA MISE EN PLACE DU FOUR

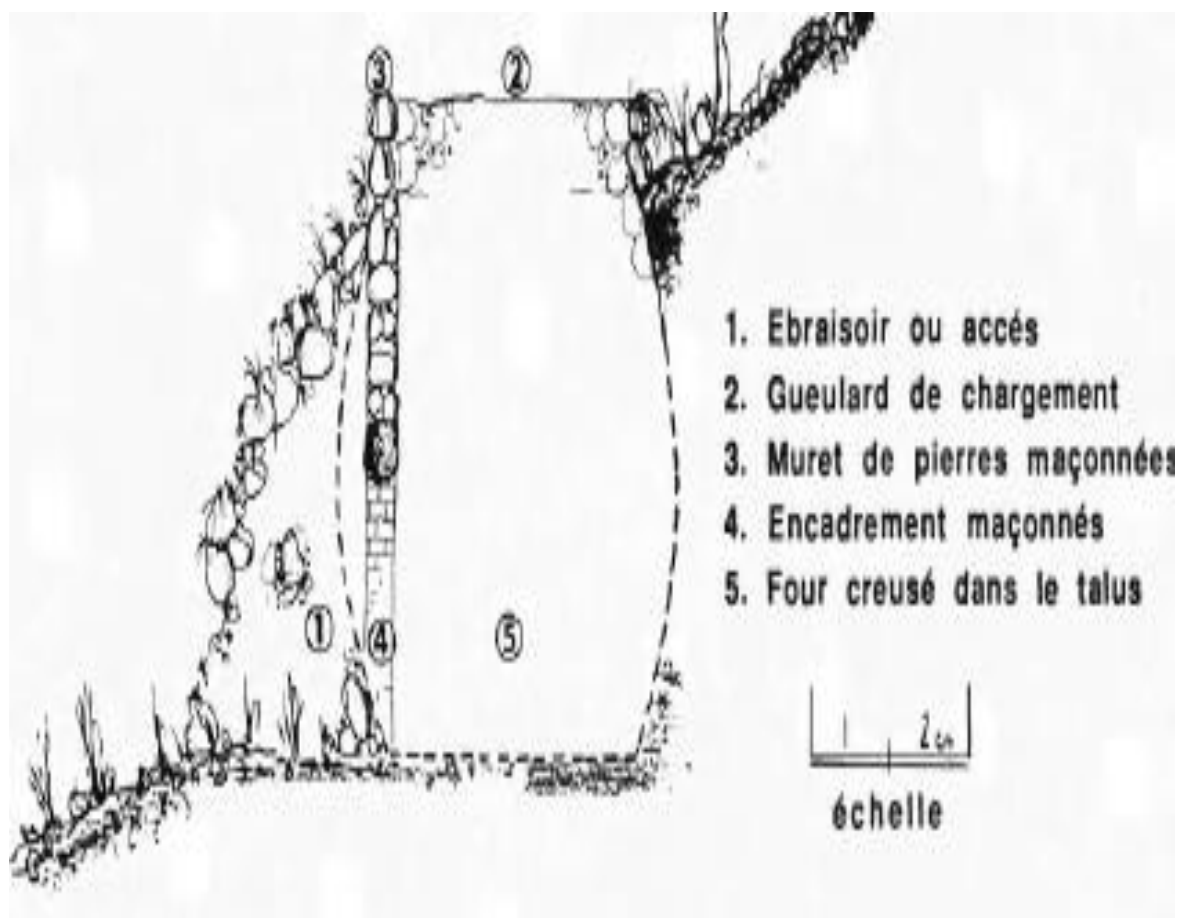
IV.1 Historique [6] [15] [16]

- Le four à chaux à longue flamme ou à combustion intermittente est utilisé depuis l'antiquité et qui est encore le seul type de four utilisé jusqu'aux XVIIIème siècles. Comme son nom l'indique, il fonctionne de manière intermittente. Donc après la combustion de la chaux, on décharge totalement le four et on recommence.
- Pendant toute l'Antiquité et même durant le Haut Moyen Âge, la technique de cuisson de la chaux a très peu évolué. En four intermittent : simple trou creusé à flanc de talus, elle consistait à réaliser un empilement plus ou moins savant de pierre à chaux (calcaire) et de bois en ménageant des vides pour que l'air puisse alimenter la combustion, puis à mettre le feu. Lorsque la température de décarbonatation était atteinte, elle se stabilisait à une valeur comprise entre 630°C et 650 °C pour ne plus bouger avant que la dissociation ne soit complète, en raison du caractère fortement endothermique de la réaction.
- Exemple du four à chaux de Bras d'Asse (Orésonnis) :
C'est un autre type de four intermittent à longue flamme que l'on peut encore voir à Bras d'Asse. Cette commune possède sur son territoire une série de vestiges de fours à chaux. Ils semblent tous bâtis sur le même modèle, dans le talus des chemins ou bien au bord des vallons. Ces modèles de fours ont la particularité d'être creusés dans la terre argilo-caillouteuse propre à ce secteur ; on distingue très nettement sur leur surface intérieure les coups de pioche qui ont été donnés pour leur construction. Cette surface est totalement cuite et très résistante sur une assez grande épaisseur (20 à 30 cm) du fait des différents coups de feu. De forme ovoïde, ces fours mesurent à peu près quatre mètres de diamètre maximal à l'intérieur, pour une hauteur sensiblement identique. Un calcul approximatif indique que l'on pouvait y placer une cinquantaine de tonnes de pierres en ménageant un foyer voûté. On obtenait ainsi vingt-cinq tonnes environ de chaux vive soit une trentaine de tonnes de chaux éteinte (45% de poids en moins après cuisson, 17% d'eau pour l'éteindre).

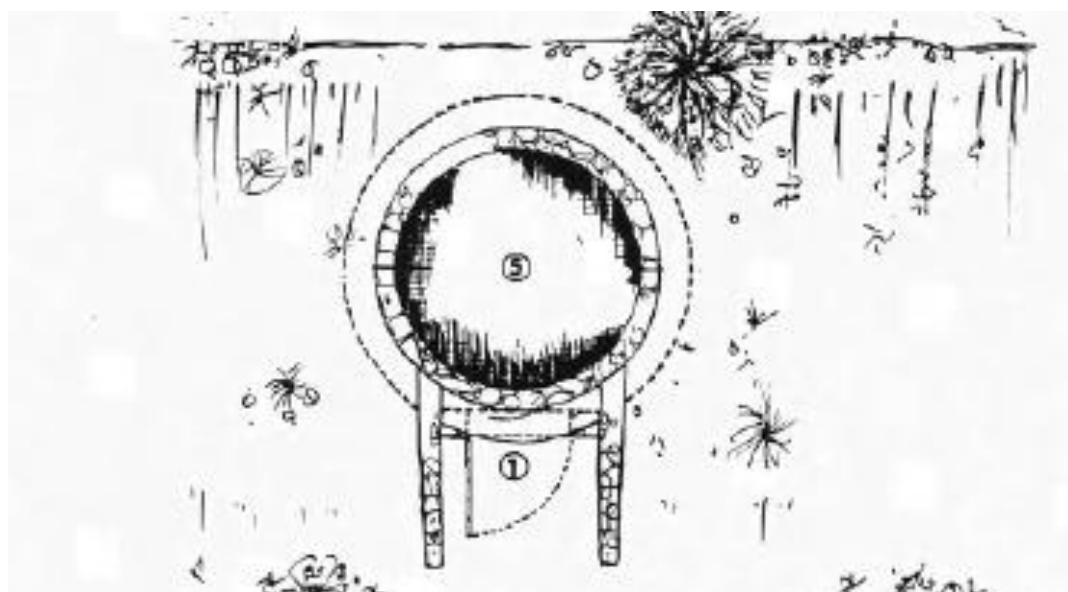
- Voici quelques photos de four intermittent avant la révolution



Photo 1:vue de face et vestiges du four à chaux d'Agos-Vilados



Coupe verticale



Vue de dessus

Figure 5: Croquis d'un Four à chaux des Orésonnis (Bras d'Asse)

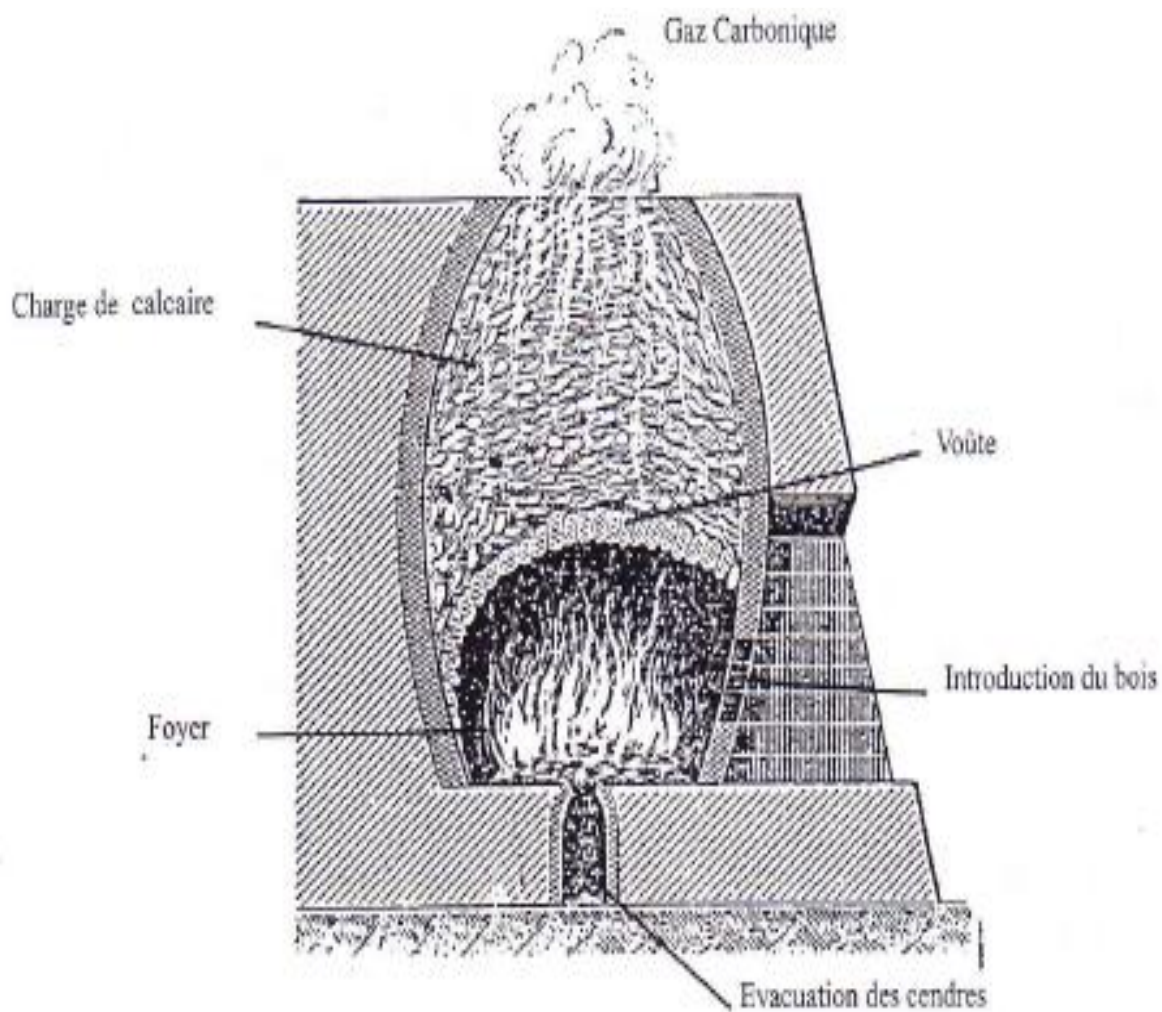


Figure 6: schéma d'un four à chaux à la fin du XIXème siècle

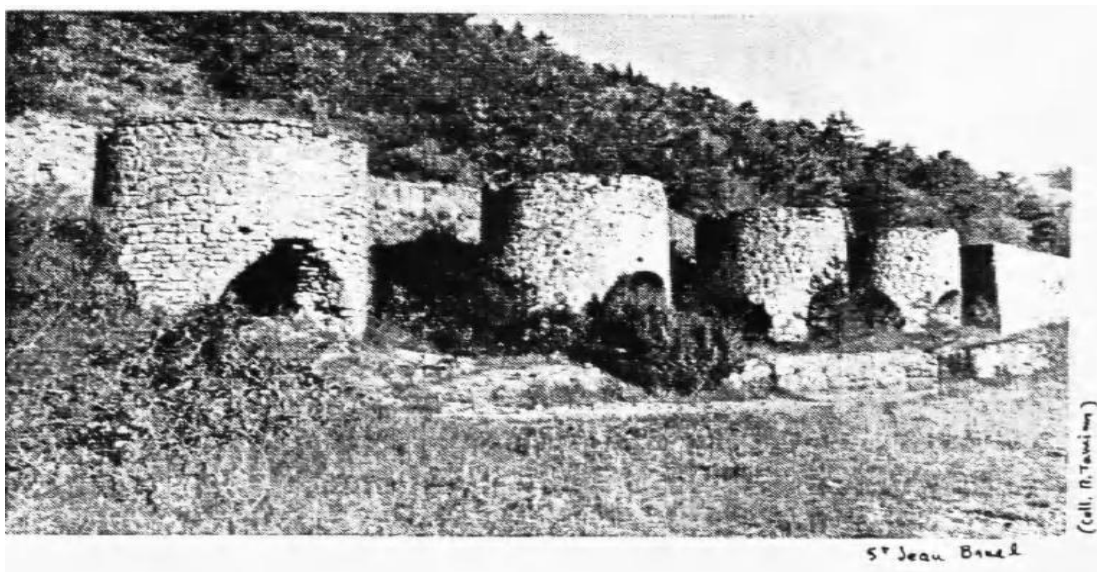


Photo 2: batteries des fours à chaux du XIXe siècle en Aveyron [18]

IV.2 Les éléments constitutifs typiques d'un four à chaux

Le four est constitué essentiellement d'un foyer, d'appareil d'alimentation, d'une voute, de système d'évacuation de fumées et des accessoires pour le chargement et le déchargement.

IV.2.1 Un foyer

C'est la chambre où l'on brûle les combustibles avec lequel la flamme s'introduit dans les petits vides de la voûte qui produira peu à peu l'énergie ou chaleur nécessaire du four. Sa paroi intérieure doit être bien revêtue d'élément réfractaire avec une épaisseur satisfaisante pour pouvoir résister une température élevée (supérieure à 1500°C) afin de prolonger la durée de vie du four et pour diminué au maximum la perte d'énergie.

IV.2.2 Une voute

Cette appareil est réalisée avec des pierres au-dessus foyer. Les pierres à cuire sont placées au-dessus de cette voute.

IV.2.3 Un appareil d'alimentation

C'est l'élément moteur de fonctionnement du four. Il est la source de production et d'entretien de chaleur.

IV.2.4 Des accessoires

Ce sont le creuset, le couvercle.

- Creuset :

C'est un récipient où l'on met la pierre à calciner, il est en forme de vase destiné. Il est fabriqué à partir de matériaux réfractaires qui sont parfois des conducteurs thermiques.

- Couvercle :

C'est l'ouverture à l'extrémité supérieure du four pour faciliter son chargement et le déchargement. D'ailleurs il joue un grand rôle dans la conservation de température. Et de plus, il sert de préchauffage en rabaisant les flammes vers le sommet du creuset.

IV.3 Caractéristiques et construction d'un four intermittent traditionnel

Le plus souvent, les fours étaient construits près des gisements de calcaire, dans un terrain en pente, pour éviter la construction d'un mur sur une partie de leur pourtour. Ils sont généralement de forme circulaire de 2,5 à 3 mètres de diamètre et d'une hauteur d'environ 4 mètres.

Ils sont réalisés en pierres résistant au feu, et les plus évolués sont revêtus intérieurement avec des briques d'argile réfractaire ou des roches.

Au bas, on y trouve le foyer, avec une ouverture pour son alimentation en combustible.

Une voûte qui est formée en blocs de calcaire le sépare de la charge de calcaire concassé.

Au sommet une sorte de toit le protège des intempéries. Des ouvertures latérales permettent l'évacuation des fumées,

IV.4 Montage de notre four intermittent

IV.4.1 Les différentes étapes du montage

Le principe est la suivante :

- ❖ Montage du voute d'ALANDRIER
- ❖ Montage du mur de la chambre de combustion
- ❖ Remplissage du four de 6m³ de pierre à chaux, avec un diamètre d_{cal}=80cm à 40cm

- ❖ Formation du soutirage, puis revêtement avec des mortiers de terre à la partie supérieure du four
- ❖ Début de la cuisson

IV.4.2 Constatation pendant la cuisson

A partir du début de la cuisson on constate que :

- ❖ Après 18 heures, apparition des fumées blanches ;
- ❖ Après 32 heures, apparition des fumées noires ;
- ❖ Après 60 heures, apparition de l'effluve ;
- ❖ Après 72 heures, arrêt de la cuisson.

IV.4.3 Les données techniques de la cuisson

- Calcul du volume utile du four V_u

On a :

$$V_u = \pi \times d^2 \times h / 4$$

Pour h : hauteur du four=3m

d : diamètre de base =1,60m

AN :
$$V_u = \frac{3,14 \times (1,6)^2 \times 3}{4}$$

$$V_u = 6\text{m}^3$$

Donc

La quantité de calcaire à utiliser = 6m^3

Ce qui est égal à $6\text{m}^3 \times 1,3\text{t} = 7,8\text{t}$

$d_{\text{cal}} = 80\text{cm}$ à 40cm

$P_{\text{cal}} = 1,3\text{t/m}^3$

- Pour la cuisson on a besoins de $12\text{m}^3 = 4\text{t}$ de combustible avec une pouvoir calorifique, $P_c = 3000 \text{ kcal / kg}$

Après la cuisson on a la constatation suivante :

- La quantité de chaux vive obtenue : 2500kg
- La quantité d'eau utilisée pendant l'extinction de la chaux vive : 830kg
- La quantité de chaux obtenue : 3250kg
- La quantité de chaleur fournie pendant la cuisson : $4\,000 \times 3\,000 = 12\,000\,000 \text{ kcal}$
- Nombre d'ouvriers employés : 5 personnes

Or, théoriquement, on a besoin de 760 kcals pour produire 1 kg de chaux

Donc pour produire 1kg de chaux, on a

$$\frac{12\,000\,000}{3250} = 3692 \text{ kcals} \text{ ce qui est 5 fois de la valeur théorique.}$$

IV.4.4 Remarque

La quantité de chaleur fournie sera 5 fois à la valeur théorique (760kcals) ce qui implique que le taux d'incuit est élevé, ceci est due à la perte d'énergie considérable (manque de système d'isolation du four).

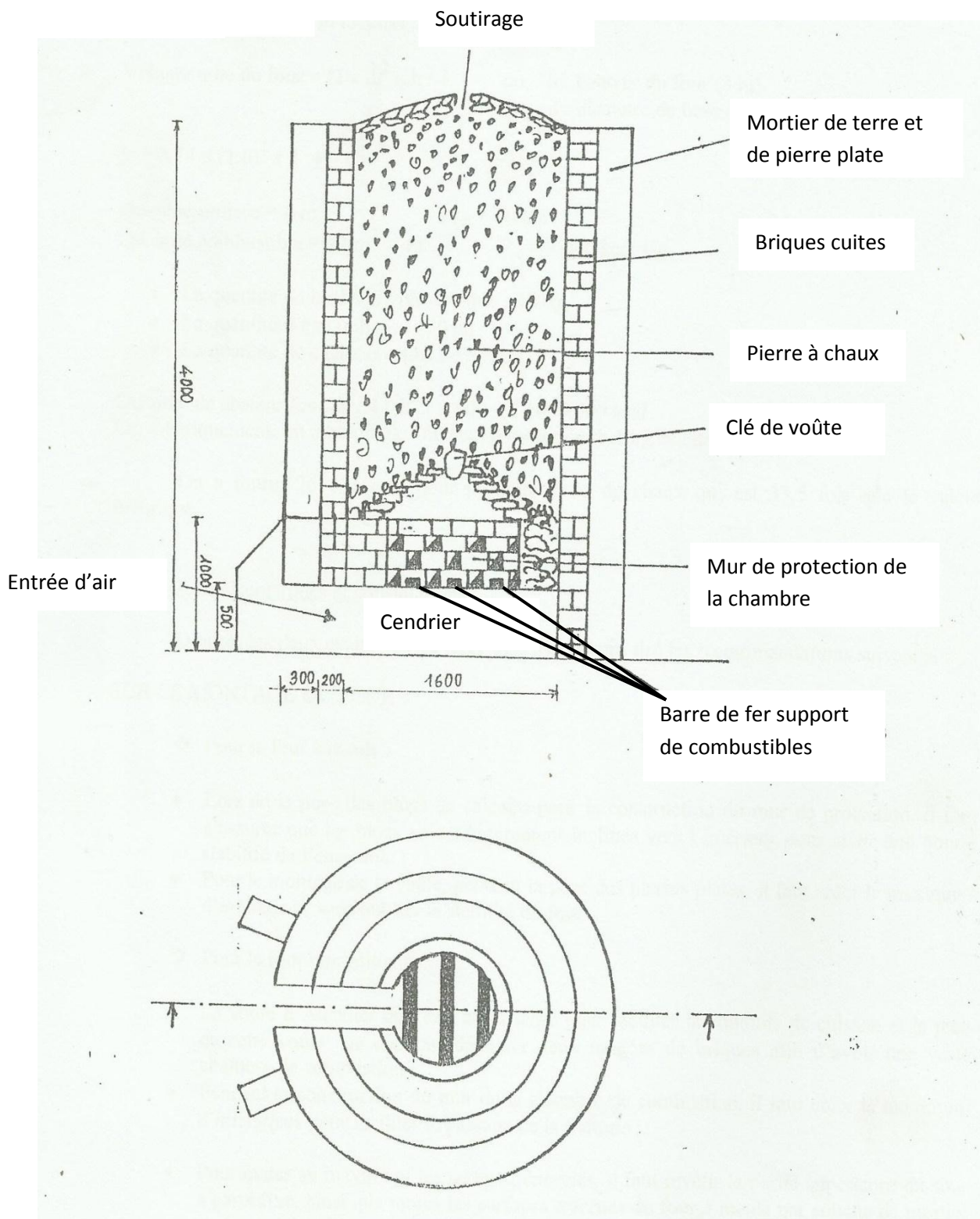


Figure 7 : four intermittent

IV.5 Les matériels utilisés

Voici les listes des matériels nécessaires pour produire de la chaux à partir d'un four à chaux :

- 02 barres à mine
- 05 massettes de 1kg
- 05 massettes de 2kg
- 04 seaux métalliques
- 01 bêche
- 02 pelles
- 03 fourches
- 02 brouettes de 60l
- 01 bac d'extinction de dimension

$$\left\{ \begin{array}{l} L = 4\text{m} \\ h = 0,7 \text{ m} \\ l = 1\text{m} \end{array} \right.$$

- 03 racloirs
- 1 tamis de diamètre $d=1\text{mm}$

IV.6 Coût indicatif de la chaux produite

Les données pour la production de chaux de 3 250 kg sont les suivantes :

✚ Quantité de calcaire 7,8t avec 50 000 Ar/tonne

✚ Prix du combustible : elle varie selon la région et prenons une moyenne avec

$$\left\{ \begin{array}{l} 20\,000\text{Ar la stere} \\ 3 \text{ stere} = 1\text{m}^3 \end{array} \right.$$

✚ Et 1m^3 de bois coute 60 000Ar

✚ Salaire main d'œuvre : 4 000 Ar/ j / personne

- ✚ Dotation aux amortissements 20 000Ar
- ✚ Taxes divers 10 000Ar
- ✚ Autres achats 10 000 Ar
- Calcul du prix de revient indicatif de la chaux produite pour une production de 3250kg par cuisson

Tableau 4: Coût indicatif de la chaux produite

Désignation	quantité	Prix unitaire(Ar)	Montants (Ar)
Calcaire	7,8t	50 000	390 000
Combustible	12m ³	60 000	720 000
Salaire d'ouvrier	5x3j	4 000	60 000
Dotation aux amortissements			20 000
Taxes divers			10 000
Autres achats			10 000
Total			1 210 000

Le coût indicatif d'1 kg de chaux est de $\frac{1210000}{3250} = 372 \text{ Ar}$

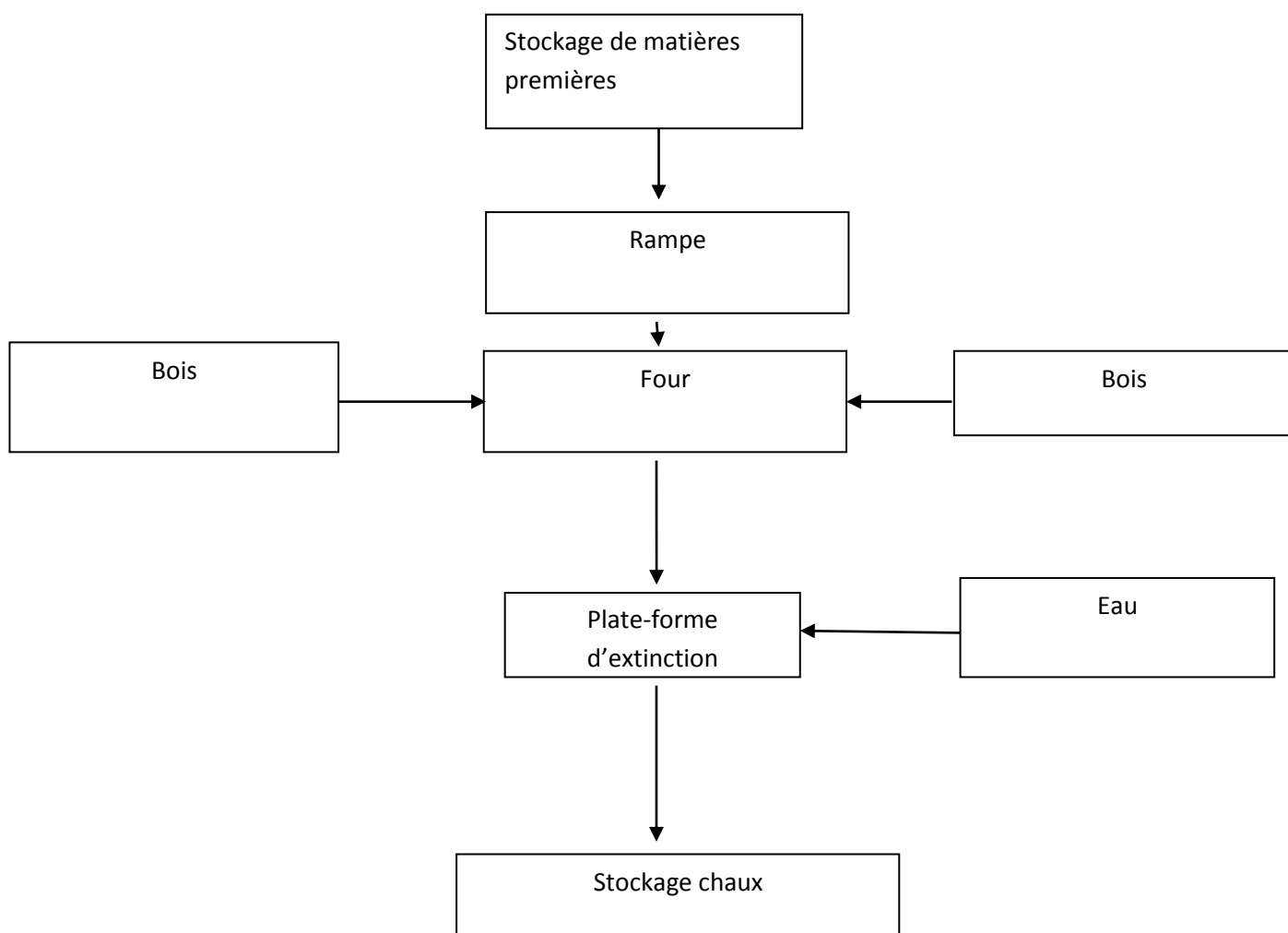
IV.7 Implantation d'une unité de production

Le lieu d'emplacement de l'unité de production est capital pour la bonne marche du processus de production.

Avant de définir l'implantation de l'unité de production, plusieurs paramètres ont été fixés :

- L'installation du four à chaux doit être plus près de la source de matière première (carrière) pour faciliter le transport des pierres à chaux ;
- De préférence, le four doit être installé à côté d'une colline munie d'une passerelle pour facilite le chargement des matières premières ;

- Construction du four loin de la ville pour éviter les méfaits de la population sur l'environnement et les bruits ;
- Une surface nécessaire aux différents stades de production (stockage, des matières premières, four, bac d'extinction de chaux vive, tamisage, broyage, ensachage et stockage des produits finis) ;
- L'approvisionnement en combustible (coût du transport) ;
- La possibilité de transport de la chaux vers le lieu d'utilisation ;
- La morphologie du terrain (moins accidentée).



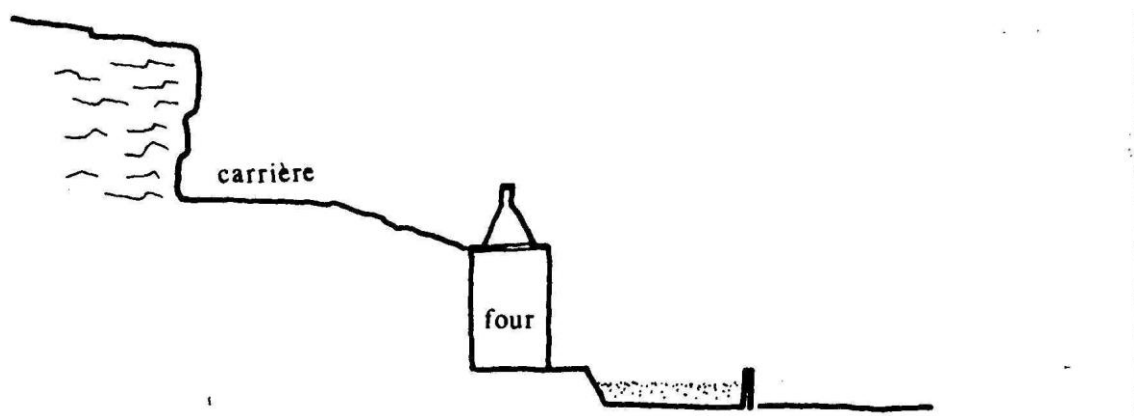


Figure 8: Implantation d'une unité de production

IV.8 Les paramètres et contrôle qualité

Tableau 5: paramètres et contrôle qualité

			EVALUATION DE LA QUALITE		
PHASE	Description des opérations	Paramètre de qualité	Indicateur	Mesure	Moyens
APPROVISIONNEMENT	Extraction	Teneur en CaCO_3	Chaux% $\text{CaCO}_3 > 85\%$	Analyse minérale	Laboratoire
		Absence de déblai	Echantillon témoin	Analyse minérale ou couleur	Laboratoire ou œil nu
		Inaltération	Echantillon témoin	Comparaison avec l'échantillon témoin	Laboratoire ou œil nu
PREPARATION DES MATIERES PREMIERES	Concassage	Forme du calcaire et du bois de chauffe	Géométrie du caillou et du bois de chauffe	Forme sphérique	A l'œil nu
	Calibrage	Grosueur du	Dimension	Triage	Echantillon

		calcaire et du bois de chauffe			témoin
	Dosage	Poids ou volume	Quantité	Pesage ou volume	Balance ou gabarit doseur
CONDUITE DE CUISSON	Enfournement	Respect de proportion			
		Rythme de chargement		Temps	Chronomètre
		Homogénéité de l'alimentation	Répartition de la charge		
	Cuisson	Répartition de la chaleur dans le four	Uniformité de la charge dans le four		Thermomètre ou œil nu
		Température de cuisson	Intensité de la chaleur	Couleur de la charge	
	Déchargement	Rythme de déchargement		Temps	Chronomètre
		Aptitude à distinguer chaux vive et incuits	Echantillon témoin	Comparaison à l'échantillon témoin	Œil nu
		Quantité déchargée		Pesage ou volume	Balance ou gabarit doseur

			EVALUATION DE LA QUALITE		
PHASE	Description des opérations	Paramètre de qualité	Indicateur	Mesure	Moyens
PREPARATION DU PRODUIT FINI	Extinction	Conception du bac d'extinction	Dimension	Métrage	Mètre
		Quantité d'eau	Poudre	Pesage ou volume	Balance ou gabarit doseur
		Remuage périodique	Poudre	Finesse	Râteau
		Durée	Finesse	Temps	Chronomètre
	Tamisage	Conception du tamiseur ou trommel	Dimension et forme	Finesse	Tamis
		Maille du tamis	Ouverture du tamis	Finesse	Calcul
		Pourcentage des refus	Etanchéité du tamis	Pesage	
	Broyage	Conception du broyeur	Dimension et forme	Finesse	Broyeur
		Maille du tamis broyeur	Ouverture du tamis	Finesse	
		Aptitude du machiniste	Quantité de chaux broyée	Pesage	Balance
	Ensachage	Etanchéité de l'emballage	Nature de l'emballage		
		Poids de la chaux	Quantité emballée	Pesage	Balance
		Impression de l'emballage	Qualité d'impression		Constatation œil nu
	Stockage	Etanchéité du magasin de stockage	Qualité de construction du magasin		
		Durée de	Inaltération	Comparaison	

		stockage	de la chaux	avec échantillon témoin	
--	--	----------	-------------	-------------------------------	--

IV.9 Avantages et inconvénients

IV.9.1 Avantages

- Les fours artisanaux comme le four intermittent répondent à des considérations simples
- Les matériaux utilisés sont peu coûteux et disponibles localement.
- Emploi d'une main-d'œuvre peu qualifiée.
- Répond à des besoins discontinus
- Peut être construit rapidement et simplement avec entretien limité.

IV.9.2 Inconvénients

- Faible capacité de production (en général de 2 à 5 tonnes par opération)
- Nécessite un temps assez long de cuisson (parfois jusqu'à une semaine)
- À chaque cuisson, il faut démonter puis remonter la voûte, ce qui est contraignant
- Pour atteindre la température voulue il consomme beaucoup d'énergie
- Il y a beaucoup de temps où le four ne fonctionne pas

CHAPITRE V : ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

V.1 ETUDES DES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

On peut déduire de cette implantation de production de chaux des effets aux environnements qui peuvent être classés en deux types :

- ∞ Impact positif
- ∞ Impact négatif

V.1.1 Impacts positifs

Ils touchent essentiellement l'environnement urbain.

V.1.1.1 *Modification des activités humaines*

- Secteur agricole : il est sûr que la présence de chaux local attire les paysans à employer la chaux dans l'agriculture comme amendement c'est-à-dire corrige l'acidité des sols ; entraînant une augmentation de la production régionale agricole.
- Secteur aménagement : L'existence de chaux locale peut attirer la population à construire des maisons plus modernes et décentes.

V.1.1.2 *Moyens de communication*

Amélioration des infrastructures routières, maritime (le port). On doit réhabiliter les pistes, les routes et le port permettant l'évacuation des produits.

V.1.1.3 *Paysage*

L'installation de l'unité de production engendre l'évolution paysagique. En effet, elle entraîne la création d'un nouveau type de paysage, symbole de développement de la région.

V.1.2 Impacts négatives

V.1.2.1 *Sur le milieu naturel*

∞ Paysage

L'ouverture d'une carrière à ciel ouvert et l'existence de stocks de stériles et de morts terrains affecteront grandement l'impact visuel, inhabituel pour les natifs de la région.

∞ Hydrologie

Le ruissellement des eaux de pluies chargées de poussière vers les milieux vallonnés et des bas-fonds jusqu'à la rivière entraînent la pollution fluviale.

☞ Poussière

Les poussières provenant de l'abattage à l'explosif, de la circulation du camion de transport sur la route, transpirent par le vent se déposent dans le milieu environnant et entraînent une perturbation des ressources biologiques, et également peuvent modifier l'esthétique du paysage.

V.1.2.2 *Sur le milieu humain*

☞ Bruits

Le caractère brusque des explosions, lors des tirs provoque des effets néfastes sur la santé humaine (troubles cardiaque) de même, sur la quiétude des animaux ; L'emploi des différentes machines (camion, marteaux perforateurs), le transport, et le choc provenant de la chute des roches occasionnent des bruits pouvant gêner la population environnante.

☞ Vibration

Les vibrations dont l'origine est essentiellement les tirs à l'explosif, perturbent surement le milieu et l'homme qui habite. Ces vibrations risquent d'affecter les constructions qui se situent dans les environs immédiats du site.

☞ Autres nuisances

La perturbation des coutumes car l'on travaille tous les jours ouvrables et tout le long de l'année.

V.1.2.3 *Sur la cuisson et le traitement*

☞ Flore et faune

L'utilisation du bois dans la cuisson entraîne la déforestation régionale et locale.

Une déforestation perturbe l'équilibre biologique et l'écosystème forestier et créera un retard de pluie faute d'évapotranspiration potentielle(ETP).

Nous tenons à signaler que l'inexistence de bois ligneux fragilise la protection du sol contre la dynamique érosive.

En plus, le déboisement affaiblit la richesse en patrimoine sylvicole si l'on se réfère aux atouts régionaux et internationaux de notre pays en tant que pays en développement où l'urbanisation n'est qu'embryonnaire.

☞ Poussière

La poussière provoquée par la chaux, dès la cuisson jusqu'au traitement entraîne une perturbation des ouvriers.

Bruits

Les bruits assourdissants provenant de broyages créeront une nuisance sur les ouvriers travaillant sur place.

V.2 MESURE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

V.2.1 Mesure envisagées sur l'exploitation

V.2.1.1 Paysage

Limitation des impacts visuels.

Pour dissimuler la carrière et les stockages des stériles, il faudrait mieux planter des bois (de vingtaine espacé de 4m)

V.2.1.2 Poussières

 Au lieu d'utiliser un marteau perforateur à sec, on peut employer un marteau perforateur à injection d'eau pour empêcher la diffusion de la poussière.

 Pour supprimer la diffusion de la poussière causée par le passage de camion de transport sur la route en terre, il est intéressant d'effectuer une stabilisation par la chaux, cela devrait être suivi d'arrosage des pistes tout au long de la saison sèche.

V.2.2 Mesure envisagée sur la cuisson et le traitement

i. Flore

L'utilisation du bois de chauffage dans la cuisson du calcaire entraîne un problème sur le milieu environnant.

Contre les déboisements occasionnés par la cuisson : nous proposons de procéder à un reboisement exhaustif régional et local pour régénérer les bois abattus lors de cette cuisson ;

ii. Poussière

L'ensilotage et l'extinction de la chaux vive doivent se faire dans un Hangar isolé pour atténuer la diffusion de la poussière provoquée par la chaux.

iii. Bruit

Isoler dans un hangar le broyeur afin que le bruit soit atténué.

Conclusion

L'étude nous a permis de voir que le processus de production de chaux dépend de plusieurs paramètres théoriquement et pratiquement.

Avec une hauteur de 3m et de 1,6m de diamètre, on peut avoir 3250kg de chaux par enfournement.

La quantité de chaleur introduite pour produire 1kg de chaux sera de 3692 kJ, ce qui est 5 fois de la valeur théorique. Ce résultat est dû à l'inefficacité du point de vue énergétique ou perte d'énergie durant la cuisson, la granulométrie trop grande, la conception du four et d'autres paramètres qu'on peut rencontrer pendant l'opération.

Au cours de l'étude on a pu constater que l'installation provoque des effets sur l'environnement, pour amendement des sols pour l'impact positif et perturbation des ressources biologiques due à la poussière provenant de l'unité de production comme impact négatif. Donc des mesures sont envisagées sur l'exploitation est sur la cuisson. Compte tenu des résultats obtenus, et en considérant les remarques et constatations, nous envisageons de valoriser notre résultat en créant une unité de production de chaux à partir d'un four intermittent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Mr RAKOTOMANANA Jean Richard « Contribution à l'étude d'implantation d'une unité de production de chaux à Antsohihy », Année 1996, pages 2

[3] : Réalisation de l'Association Géologique d'Alès et de sa Région (AGAR) – Le Calcaire

[5] : Propriétés du calcaire ; académie Dijon Jeunesse Education recherche / Collèges Louise Michel Chagny (Saône et Loire)

[6] : Mr RATSIMBAZAFY Hery Mikaela « contribution à l'exploitation de la chaux à Madagascar : l'unité GPC Ambatondrazaka », Année 1998, pages 12 à 13 et 31

[7] : Abadie de Sarrancolin – Les Hautes Pyrénées au temps de Napoléon II, Combustibles, pages page 240

[8] : Mr RATSIMBAZAFY Hery Mikaela, cours Liants Minéraux (Chaux)

[9] : Mme ROUEL Malala Tahiry, cours « Compte rendu liants minéraux : la chaux »

[11] : Ecole d'Avignon – Technique et pratique de la chaux, Edition 2003, pages 23 et 25

[14] : CHATELET M, « L'habitat de haut moyen âge de Roeschwoog Schwartzacker (Bas- Rhin), Année 2000, pages 249

[15] : BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES - 201 - JANVIER-FÉVRIER 1996 - NIT 4000 95

[16] : four à chaud-Georges Peyruc/Avenue Adrien Hébrard /65400 Argelès-Gazost

[17] : RAOLIARISOA Charlotte, « contribution aux études et réalisations de la mise en fonctionnement du four du département génie chimique

[18] : Ethno Bazin 1989_289.pdf

WEBOGAPHIE

[2] : www.actu.environnement.com Consulté le 10 Mars 2016

[4] : www.universalis.fr Consulté le 10 Mars 2016

[10] : www.la-chaux.net Consulté le 10 Mars 2016

[12] : www.fr.wikipedia.org Consulté le 10 Mars 2016

[13] : www.le-four-a-chaux.com Consulté le 10 Mars 2016

Table des matières

SOMMAIRE	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES UNITES.....	vi
INTRODUCTION	1
Chapitre I :MATIERE PREMIERE	3
I.1 Le calcaire [1], [2] et [3].....	3
I.1.1 Définitions	3
I.1.2 Origine du calcaire [3]	3
I.1.3 Propriétés physiques du calcaire [2], [3], [4] et [5].....	4
I.1.4 Information géographique du site à exploiter [6].....	4
I.1.4.1 Gisement de cipolin dans la région Alaotra-Mangoro	4
I.1.4.2 Gisement de calcaire dans quelque région de Tuléar	5
I.1.4.3 Gisement de cipolin dans la région de Vakinankaratra	5
I.1.4.4 Gisement de calcaire dans larégion de DIANA.....	5
I.1.4.5 Gisement de calcaire dans la région de Haute Mahatsiatra.....	5
I.1.4.6 Gisement de calcaire dans la région de Boeny.....	6
I.2 Les combustibles [7] [8]	6
I.2.1 Bois	6
I.2.2 Coke ou charbon de terre, et charbon de bois	6
I.2.3 Fuel / gaz.....	6
I.2.4 Déchets agricoles.....	7
Chapitre II : LA CHAUX.....	8
II.1 Définition et terminologies.....	8
II.1.1 Le liant [9]	8
II.1.2 La chaux [8] et [9]	9
II.1.2.1 Définitions	9
II.1.2.2 Réaction d’obtention de la chaux.....	9
II.1.2.3 Classifications de la chaux.....	10
II.1.2.4 Caractéristiques et propriétés de la chaux.....	13

II.2	Production de la chaux à l'échelle artisanale [9]	16
II.2.1	L'extraction	16
II.2.2	La cuisson	17
II.2.3	L'extinction	17
II.3	Cycle de la chaux [9]	18
II.4	Utilisations [10] et [11]	19
II.4.1	La chaux en agriculture	19
II.4.2	La chaux dans la technique routière	20
II.4.3	La chaux dans le bâtiment	20
II.4.4	La chaux dans certaines industries	21
II.4.5	La chaux dans l'industrie papetière	22
II.4.6	La chaux dans l'industrie sucrière	22
II.4.7	La chaux dans l'industrie Pharmaceutique	22
II.4.8	La chaux et l'environnement :	23
II.4.9	Autres applications	24
Chapitre III	: LE FOUR A CHAUX	25
III.1	Définition [12]	25
III.2	Historique en Europe [13] et [14]	25
III.3	Les types de fours [7]	26
III.3.1	Fours rotatifs	26
III.3.2	Fours verticaux	26
Chapitre IV	: ETUDE SUR LA MISE EN PLACE DU FOUR	30
IV.1	Historique[6][15] [16]	30
IV.2	Les éléments constitutifs typiques d'un four à chaux	34
IV.2.1	Un foyer	34
IV.2.2	Une voute	34
IV.2.3	Un appareil d'alimentation	34
IV.2.4	Des accessoires	34
IV.3	Caractéristiques et construction d'un four intermittent traditionnel	35
IV.4	Montage de notre four intermittent	35
IV.4.1	Les différentes étapes du montage	35
IV.4.2	Constatation pendant la cuisson	36
IV.4.3	Les données techniques de la cuisson	36
IV.4.4	Remarque	37

IV.5	Les matériels utilisés.....	39
IV.6	Coût indicatif de la chaux produite.....	39
IV.7	Implantation d'une unité de production	40
IV.8	Les paramètres et contrôle qualité	42
IV.9	Avantages et inconvénients	45
IV.9.1	Avantages.....	45
IV.9.2	Inconvénients.....	45
CHAPITRE V : ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.....		46
V.1	ETUDES DES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	46
V.1.1	Impacts positifs.....	46
V.1.1.1	Modification des activités humaines	46
V.1.1.2	Moyens de communication.....	46
V.1.1.3	Paysage	46
V.1.2	Impacts négatives	46
V.1.2.1	Sur le milieu naturel.....	46
V.1.2.2	Sur le milieu humain	47
V.1.2.3	Sur la cuisson et le traitement	47
V.2	MESURE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	48
V.2.1	Mesure envisagées sur l'exploitation	48
V.2.1.1	Paysage.....	48
V.2.1.2	Poussières.....	48
V.2.2	Mesure envisagée sur la cuisson et le traitement	48
i.	Flore	48
ii.	Poussière.....	48
iii.	Bruit	48
Conclusion		49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		50
WEBOGAPHIE		51
RESUME		

Auteur : RAMIARAMANANA Fanambinantsoa Ange Michaëlla

Titre du mémoire : « CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA PRODUCTION DE LA CHAUX A L'ECHELLE ARTISANALE CAS D'UN FOUR INTERMITTENT »

Nombre de page : 49

Nombre de tableaux : 5

Nombre de figures : 8



RESUME

L'objectif principale de cette ouvrage est de contribuer à l'étude de la production de la chaux à l'échelle artisanale dans le cas d'un four intermittent.

Dans le but est de caractériser les dimensionnements nécessaires pour la conception d'un four à chaux intermittent. Dans lesquels on a pu voir dans la première partie la généralité et les processus de production de la chaux. Dans la deuxième partie l'étude des caractéristiques du four, ainsi que les paramètres qui influent la qualité de la production, ses avantages et inconvénients, et quelques études sur l'impact environnementale.

Mots clés : chaux, four intermittent

ABSTRACT

The main objective of this book is to contribute the study of production of lime artisanal scale in the case of an intermittent furnace.

The aim is to characterize the dimensions necessary for the design of a lime kiln intermittent. On the first part we have seen the generality and the process of lime production. And in the second part of the study, the characteristics of the oven, the parameters whom affect the quality of production, the advantages and inconvenients, and of this.

Encadreur : *Monsieur RATSIMBAZAFY Hery Mikaela, Docteur*

Adresse de l'auteur : lot BM 158 Ambohijafy Ampitatafika

E-mail : michaella.ramia@yahoo.com