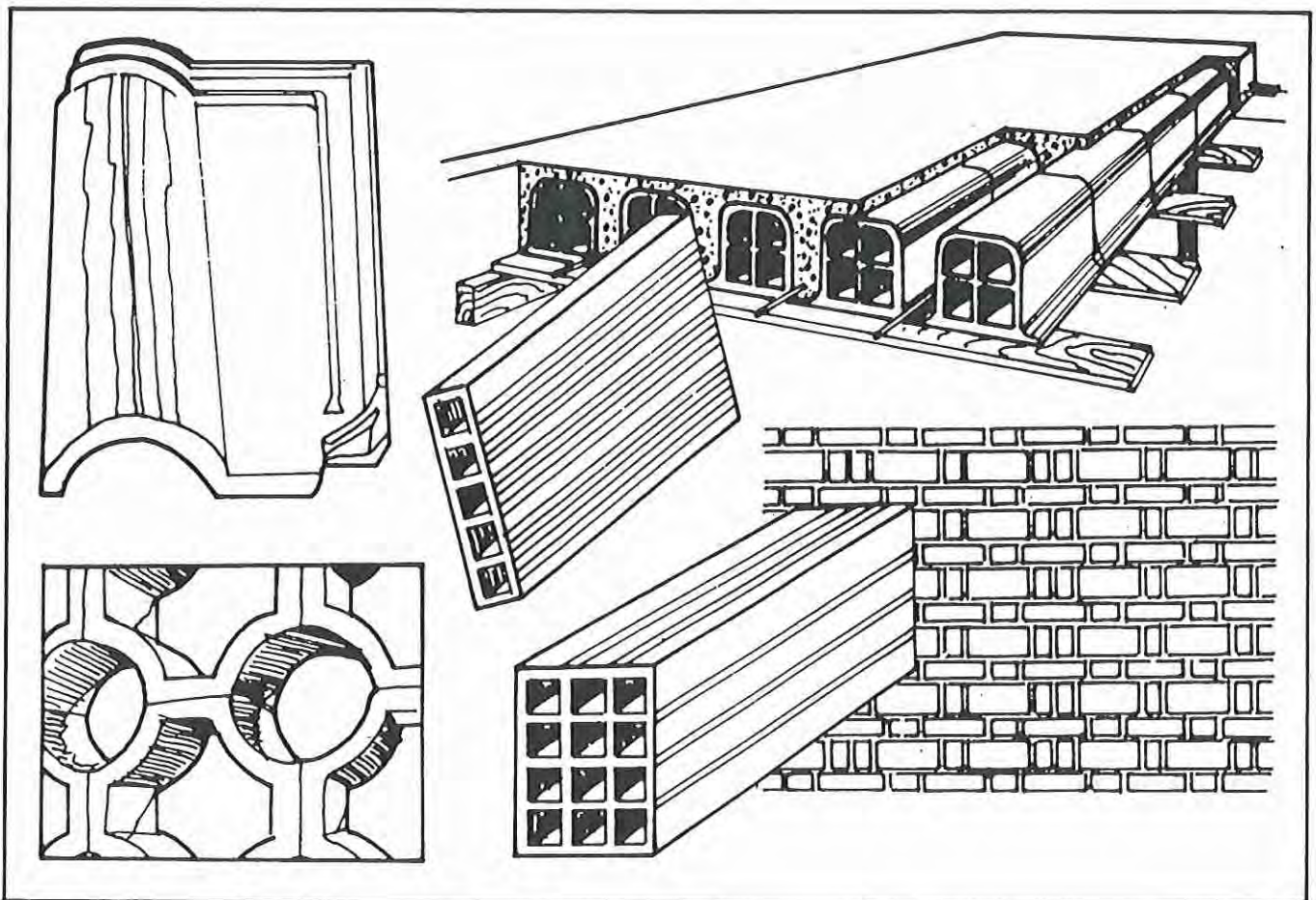


DOSSIER N°6
LE POINT SUR

BRIQUES ET TUILES



GRET

DOSSIER N°6
LE POINT SUR

BRIQUES ET TUILES

Novembre 1985

Ce dossier a été réalisé, à la demande de la Cellule Habitat et du service Échanges et Communication du GRET, par M. Bernard MESTIVIERS, consultant, et avec le concours de la Mission Interministérielle de l'Information Scientifique et Technique (MIDIST) et des services de la Coopération et du Développement du Ministère des Relations Extérieures.

GRET

GROUPE DE RECHERCHE
ET D'ÉCHANGES TECHNOLOGIQUES

La publication d'un dossier "Le point sur..." un sujet aussi délicat que la fabrication de produits en terre cuite relevait du défi.

Il existe beaucoup de travaux spécialisés, très spécialisés, d'études de faisabilité, mais pas ou peu d'ouvrages *d'initiation pratique*, permettant de connaître les avantages comparés du foyer coréen et du four Hoffmann, ou le pouvoir calorifique des coques d'arachides par rapport au bois de chêne ou au fuel pour la cuisson des produits.

Bien sûr, nous n'avons pu être exhaustifs : de nombreux points restaient à préciser, d'autres expériences vaudraient d'être relatées. La bibliographie et les adresses que nous avons sélectionnées permettent au lecteur d'aller plus loin. Nous demandons par ailleurs aux lecteurs de nous adresser leurs remarques, leurs expériences sur le sujet, qui enrichiront une seconde édition.

Cet ouvrage n'a d'autre souci que d'initier le lecteur à l'art millénaire de la terre cuite, et lui permettre d'acquérir les connaissances de base. Même si les informations contenues sont utilisables pour des unités de petite taille dans les pays du Tiers-Monde, nous avons choisi de ne pas séparer ceux-ci des pays développés. De la même manière, nous avons volontairement présenté des unités de grande taille à côté de celles de petite taille.

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE

LES PRODUITS DE TERRE CUITE ET LEUR UTILISATION

1. <u>Eléments pour murs et cloisons (briques).</u>	1
2. <u>Eléments pour planchers (hourdis).</u>	3
3. <u>Eléments pour couverture (tuiles).</u>	4
4. <u>Eléments variés.</u>	5

DEUXIÈME PARTIE

LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA FABRICATION DES PRODUITS DE TERRE CUITE.

1. <u>Les matières premières.</u>	7
2. <u>Extraction.</u>	8
3. <u>Préparation du mélange.</u>	10
4. <u>Façonnage.</u>	11
5. <u>Séchage.</u>	15

TROISIÈME PARTIE

LA CUISSON

1. <u>But de la cuisson.</u>	21
2. <u>Phénomènes intervenants.</u>	21
3. <u>Conséquences pratiques.</u>	21
4. <u>Principaux défauts de cuisson.</u>	23
5. <u>Différents types de fours.</u>	24
6. <u>Consommation d'énergie - combustibles.</u>	32

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE DE CAS

1. <u>Petite production artisanale de briques pleines en GUINÉE.</u>	35
2. <u>Unités industrielles de petite capacité en TUNISIE.</u>	37
3. <u>Tuilerie-Briqueterie Lagonotte (France).</u>	41

ANNEXES

1. <u>Organismes et personnes à consulter (France - Etranger).</u>	45
2. <u>Constructeurs de matériel et usines.</u>	46
3. <u>Bibliographie.</u>	47

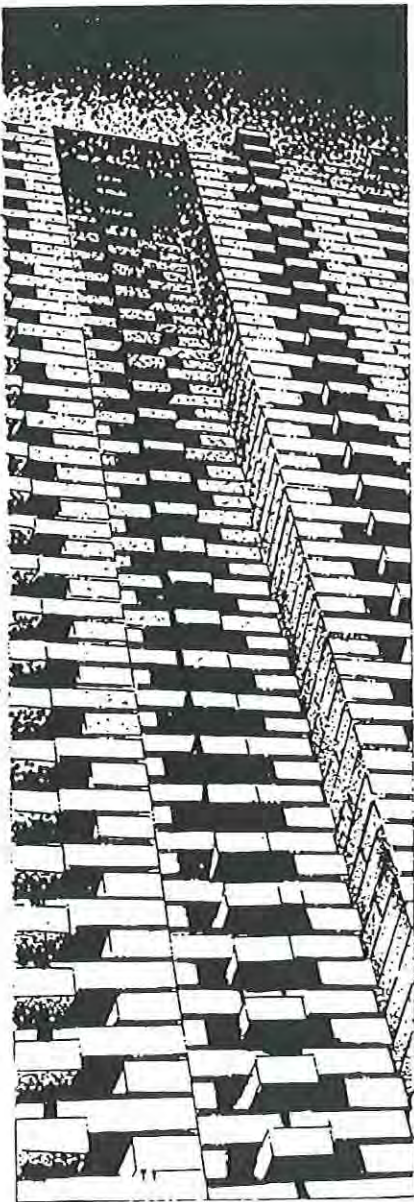
PREMIÈRE PARTIE

Les Produits de Terre Cuite et leur Utilisation

1. <u>Eléments pour murs et cloisons (briques).</u>	_____	1
1.1. Briques pleines et perforées.		
1.2. Briques creuses.		
2. <u>Eléments pour planchers (hourdis).</u>	_____	3
2.1. Planchers à solivage métallique.		
2.2. Planchers sur coffrage.		
2.3. Planchers préfabriqués.		
3. <u>Eléments pour couverture (tuiles).</u>	_____	4
3.1. Tuiles canal.		
3.2. Tuiles plates.		
3.3. Tuiles à emboîtement.		
4. <u>Eléments variés.</u>	_____	5
4.1. Tuyaux de drainage.		
4.2. Eléments pour revêtement de sol : carreaux.		
4.3. Claustres.		

Les produits de terre cuite sont nombreux et variés. On peut les classer en quatre grandes catégories en fonction de leur utilisation :

- Éléments pour murs et cloisons (briques)
- Éléments pour planchers (hourdis)
- Éléments pour couverture (tuiles)
- Éléments variés (drains, carreaux, claustras)



1. ÉLÉMENTS POUR MURS ET CLOISONS (Briques)

1.1. Briques pleines et perforées :

Les briques pleines sont un des plus anciens matériaux de terre cuite. Elles se présentent sous la forme de parallélépipèdes rectangles obtenus par filage ou par pressage. Les formats les plus couramment employés ont une épaisseur variant de 4 à 6 cm, une largeur de 11 cm et une longueur de 22 cm (poids : environ 2,5 kg). Leur résistance mécanique à l'écrasement peut varier de 100 à 350 kg/cm².

Appareillages : les appareillages de briques pleines et perforées sont variés et tiennent compte du fait qu'elles seront enduites ou laissées apparentes. Nous présentons ci-dessous quelques exemples d'appareillages courants.

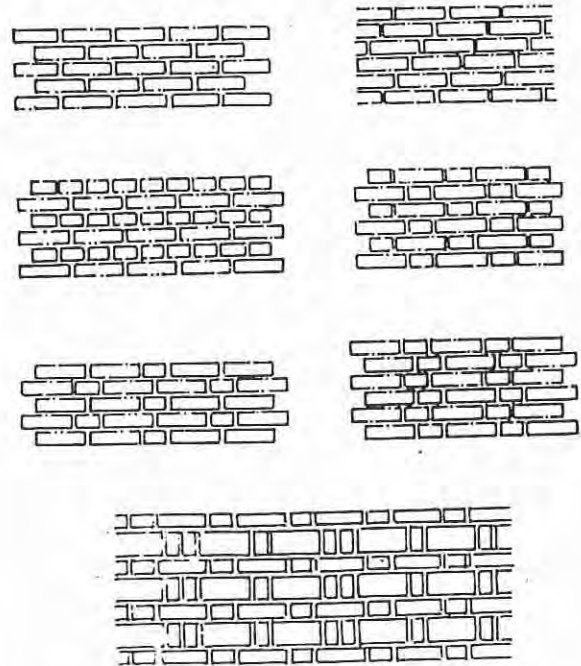


Fig.1 Quelques exemples d'appareillage courant.

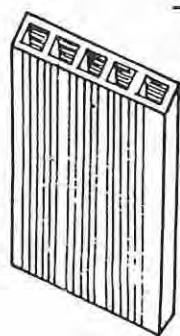
En ce qui concerne les briques perforées, la somme des sections des trous est inférieure à 40 % de la section totale. Ces trous sont perpendiculaires au plan de pose.

1.2. Briques creuses :

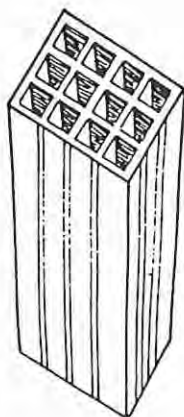
Ce sont des produits dont la somme des sections des trous dépasse 40 % de la section totale -, les perforations étant parallèles au plan de pose. Elles sont obtenues uniquement par filage et de ce fait sont de création relativement récente (XIXème siècle) par rapport aux briques pleines. Les briques creuses ont pris un développement considérable (en France 80 % de la production) car les perforations permettent d'obtenir des matériaux de dimensions plus importantes avec un faible poids, améliorant ainsi considérablement la mise en oeuvre.

De plus, tout en conservant des caractéristiques mécaniques intéressantes, les lames d'air incluses dans les produits améliorent notablement - à épaisseur égale par rapport aux produits pleins - l'isolation thermique des parois. On distingue essentiellement deux familles :

- les briques creuses platrières
- les briques creuses courants



- Brique creuse platrière.



- Brique creuse courante.

Fig.2 Briques creuses

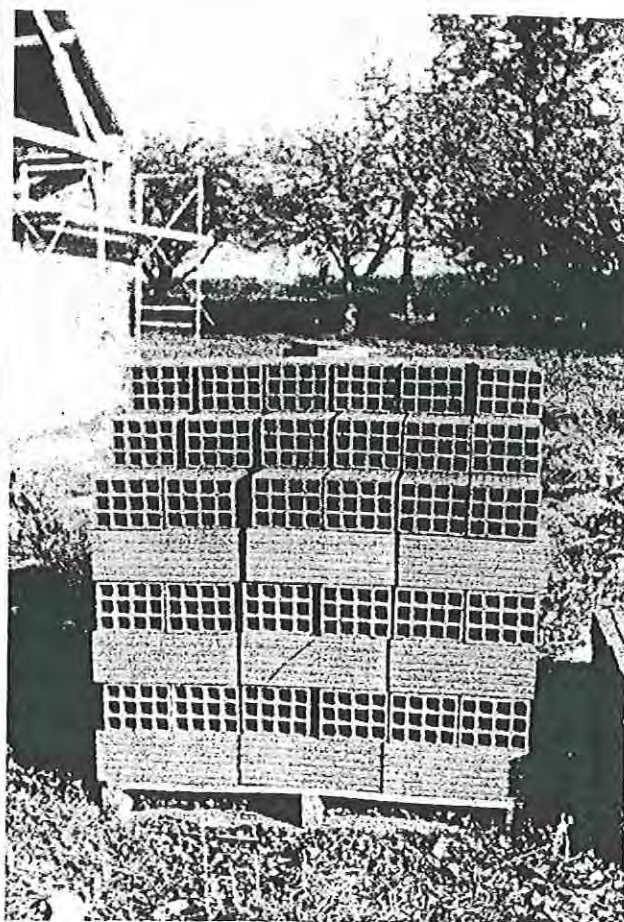


Fig.3 Briques creuses
15 X 20 X 40 - 12 trous

1.2.1. Les briques creuses platrières sont des éléments minces généralement hourdés au plâtre. Elles servent particulièrement à la réalisation des cloisons de distribution ainsi qu'en doublage de paroi.

Les formats les plus courants sont les suivants :

Dimensions (en cm)			Poids cuit (kg)
épaisseur	hauteur	longueur	
5	20	40	3,5
8	20	40	4
10	20	40	5,5

1.2.2. Les briques creuses courantes entrent dans la réalisation des murs de façades et des murs intérieurs. Elles peuvent être utilisées (en fonction de leur résistance mécanique) en éléments de remplissage ou comme éléments porteurs. Les formats les plus utilisés sont les suivants :

Dimensions (en cm)			Poids cuit (kg)
épaisseur	hauteur	longueur	
15	20	40	9
20	20	40	12,5

Les résistances des briques creuses à l'écrasement peuvent varier de 20 à plus de 100 kg/cm² de surface brute.

2. ÉLÉMENTS POUR PLANCHERS (Hourdis)

Dans la réalisation des planchers, la terre cuite offre une gamme de solutions extrêmement variée. Les techniques terre cuite offrent l'avantage d'une grande facilité de mise en œuvre. De plus, elles sont appréciées par leurs intéressantes caractéristiques thermiques et phoniques.

Les planchers de terre cuite se prêtent à tous les revêtements de sol usuels et leur sous-face est un excellent support d'accrochage pour les enduits en plâtre.

2.1. Plancher à solivage métallique :

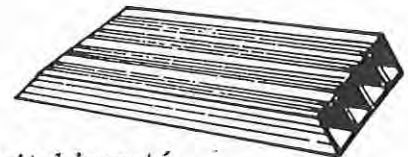
Ce système est particulièrement simple mais assez coûteux. Il peut s'employer aussi bien dans le cas de planchers à usage d'habitation que dans ceux destinés à supporter des surcharges élevées. Il est très couramment employé dans les locaux industriels en raison de la grande facilité avec laquelle il peut être liaisonné sur une charpente métallique.

La partie résistante est constituée par des poutrelles métalliques en fer (généralement I.P.N.) dont les dimensions sont choisies en fonction de la portée et de la surcharge d'utilisation. Entre les poutrelles, et prenant appui sur les ailes inférieures des poutrelles métalliques, sont disposés des éléments intercalaires en terre cuite. Les éléments peuvent être droits ou biais.

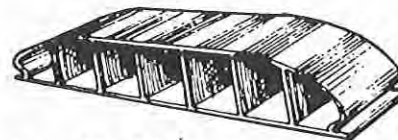
En principe, on effectue un remplissage en béton maigre lorsque la surface des planchers doit être constituée par une chape en ciment ou un carrelage. Pour des entraxes de 70 cm, l'épaisseur des hourdis varie de 5 à 20 cm suivant les différents types. Le poids de la céramique au mètre carré est compris entre 40 et 75 kg/cm².



Hourdis droit



Hourdis droit biseauté



Hourdis biais

Fig. 4 Hourdis

2.2. Planchers sur coffrage

Ce type de plancher possède l'avantage par rapport au précédent d'être d'un coût moins élevé, notamment dans les pays en voie de développement, où le coût de la main-d'oeuvre n'est pas encore prohibitif. Il nécessite par contre un coffrage continu ou semi-continu sur toute la surface à réaliser. Les éléments de terre cuite sont disposés en file, côte à côte, sur ce coffrage. Par leur forme, ils réservent un espace vide entre les files, dans lesquelles sont disposées les armatures et où l'on coule le béton. Ceci constitue les nervures résistantes du plancher. Au-dessus des corps creux, on coule une dalle de compression dans laquelle on incorpore des armatures légères (4 cm d'épaisseur, généralement). La résistance n'est évidemment acquise qu'après prise et durcissement du béton, ce qui entraîne un certain délai avant de pouvoir décoffrer. Ce type de plancher peut recevoir tous les sols usuels.

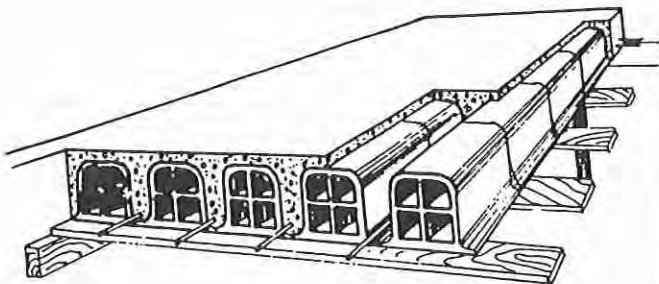


Fig. 5 Schéma de montage d'un plancher sur coffrage.

Exemple de formats courants :

Dimensions (en cm)			Poids cuit (kg)
Epaisseur	Largeur	Longueur	
12	33	25	6
15	33	25	6,5
19	33	25	7,5

2.3. Planchers préfabriqués :

C'est là un domaine où la variété des solutions est très grande, aussi limitons-nous notre étude aux planchers à poutrelles préfabriquées en céramique et béton armé. Les planchers en terre cuite et béton précontraint, qui nécessitent l'investissement de matériels importants et coûteux, ne sont pas à notre avis toujours très adaptés aux P.V.D.

Les planchers à poutrelles préfabriquées en céramique et béton armé comportent :

- des poutrelles mixtes, terre cuite - béton armé, préfabriquées soit sur le chantier, soit en atelier.
- éventuellement des hourdis en terre cuite qui seront posés entre les poutrelles lors du montage du plancher.
- un béton de complément coulé à la mise en oeuvre qui constitue une table de compression au-dessus des éléments de terre cuite.

Il doit être prévu pendant la pose la disposition d'étais intermédiaires dont le nombre sera fonction de la portée.

3. ÉLÉMENTS POUR COUVERTURE (Tuiles)

Le toit et sa couverture représentent la structure terminale de la construction, celle dont le rôle protecteur est le plus important puisqu'elle est la plus exposée aux intempéries.

Le toit en terre cuite est nécessairement constitué par un support continu ou discontinu et un revêtement (tuile).

La toiture doit répondre à un certain nombre de qualités :

Protection : étanchéité, évacuation rapide des eaux de ruissellement, isolation.

Durabilité : résistance mécanique

Economie : faible coût d'achat, facilité de pose et d'entretien.

Les principaux types de tuiles utilisés sont :

3.1. Les tuiles canal :

Directement dérivées des tuiles romaines, elles ont la forme de gouttières tronconiques et ne comportent pas de système spécial d'accrochage. L'élément unique de couverture sert pour l'onde inférieure (tuile de courant) et pour l'onde supérieure (tuile de couvert). Les pentes de pose sont faibles (0,25 à 0,40 par mètre). L'étanchéité est assurée par un recouvrement de la tuile amont sur la tuile aval (de l'ordre de 15 cm) et latéralement par celui de la tuile de couvert à cheval sur deux tuiles de courant.

Les caractéristiques sont en général les suivantes :

Longueur : 30 à 40 cm

Largeur : - extrémité évasée : 16 cm
- extrémité resserrée : 14 cm

Épaisseur : 10 à 12 mm

Poids de l'élément : 1,3 kg à 1,8 kg

Poids au m² : 40 à 60 kg.

3.2. Les tuiles plates :

La tuile dite plate est un élément constitué par une plaque de terre cuite rectangulaire. Avec les tuiles plates, l'étanchéité est assurée par recouvrement simple de la tuile d'amont sur les 2/3 de la tuile d'aval. Cet important chevauchement permet l'étanchéité latérale. Les pentes sont de l'ordre de 0,85 à 1,25 m par mètre.

Caractéristiques générales :

Longueur : 24 à 27 cm

Largeur : 13 à 18 cm

Épaisseur : 10 à 13 mm

Poids au m² : 70 à 90 kg (60 à 80 tuiles au m²).

3.3. Les tuiles à emboîtements :

Ces tuiles ont été conçues de façon à assurer l'étanchéité par un jeu de rainures et de nervures distribuées sur le pourtour de la tuile et s'emboîtant les unes dans les autres, allégeant ainsi la couverture. Cette conception permet évidemment d'obtenir une grande variété de types de tuiles.



Fig.6 Exemple de tuile à emboîtement

4. ÉLÉMENTS VARIÉS

4.1. Tuyaux de drainage

Le tuyau de drainage a pour fonction d'évacuer l'eau en excédent en la conduisant hors du périmètre à assainir. Les drains sont constitués par des tuyaux en terre cuite de 33 cm de longueur (3 au mètre linéaire). Les diamètres intérieurs vont de 5 à 20 cm.

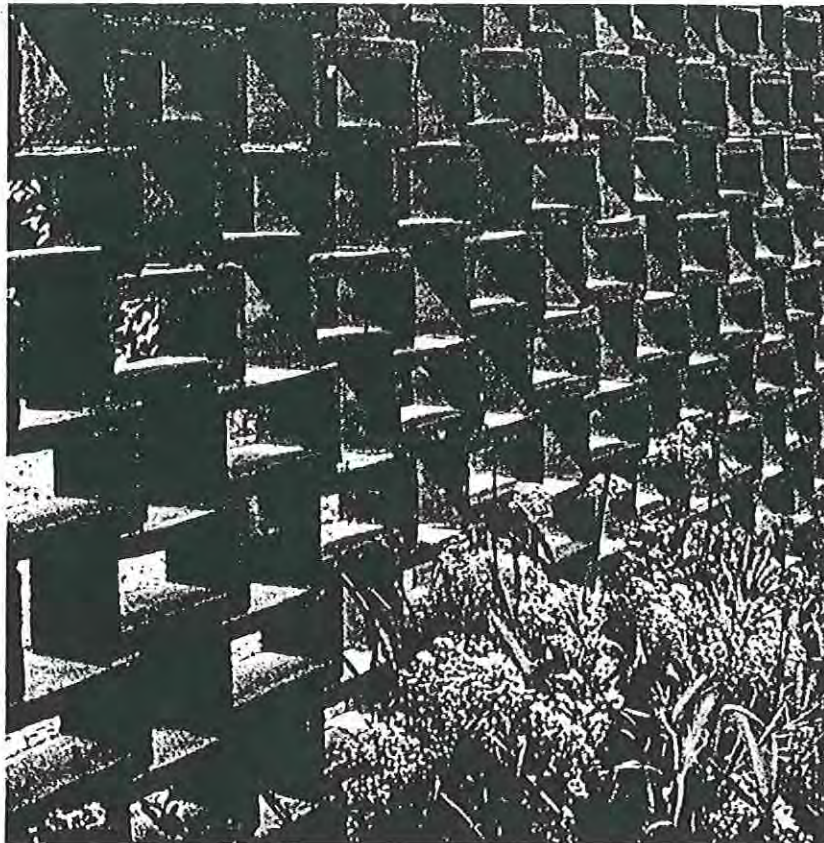
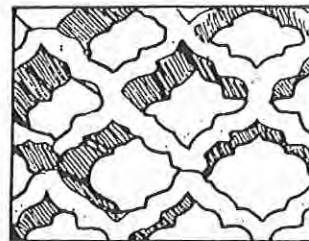
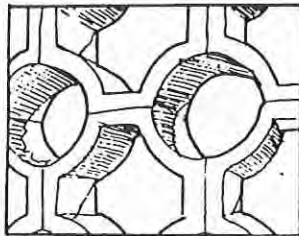
4.2. Éléments pour revêtements de sols :
carreaux

Ils peuvent être de formes géométriques diverses (carrée, rectangulaire, hexagonale, etc.)

4.3. Claustras.

Ces éléments décoratifs sont conçus pour réaliser des parois ajourées. Les formes et les formats sont également nombreux.

Fig. 7 Elements variés



DEUXIÈME PARTIE

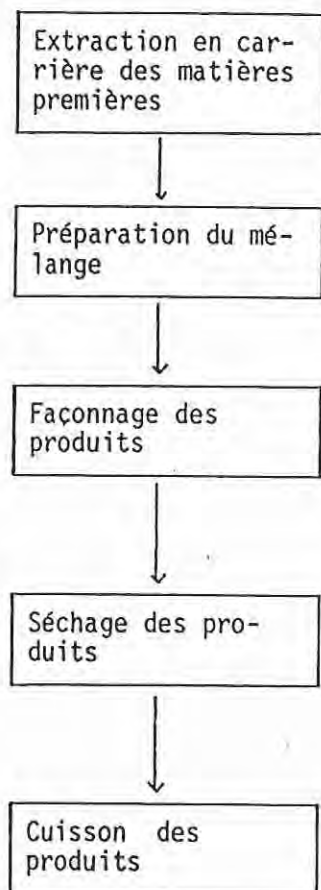
Les Différentes Étapes de la Fabrication des Produits de Terre Cuite

1. <u>Les matières premières.</u>	7
1.1. Principales matières premières.	
1.1.1. Les argiles.	
1.1.2. Les constituants secondaires.	
1.1.3. Les dégraissants.	
1.2. Caractéristiques essentielles.	
1.2.1. Argiles.	
1.2.2. Dégraissants.	
2. <u>Extraction.</u>	8
2.1. Etude des gisements.	
2.1.1. Qualité.	
2.1.2. Quantité.	
2.1.3. Position du gisement.	
2.2. Exploitation.	
3. <u>Préparation du mélange.</u>	10
3.1. Préparation manuelle.	
3.2. Préparation mécanique.	
4. <u>Façonnage.</u>	11
4.1. Le façonnage des produits creux.	
4.2. Le façonnage des tuiles.	
4.2.1. Fabrication manuelle des tuiles.	
4.2.2. Fabrication à la presse.	
4.3. Le façonnage des briques pleines.	
4.3.1. Façonnage manuel.	
4.3.2. Façonnage à la presse.	
4.3.3. Façonnage par étirage à la mouleuse.	
4.4. Façonnage des carreaux et dalles du sol.	
4.5. Récapitulatif des méthodes de façonnage.	
5. <u>Séchage.</u>	15
5.1. But du séchage	
5.2. Mécanisme du séchage.	
5.2.1. Phénomène de retrait.	
5.2.2. Conditions nécessaires du séchage.	
5.2.3. Conduite théorique du séchage.	
5.3. Les différents types de séchoir.	
5.3.1. Généralités.	
5.3.2. Définition du poste séchage.	
5.3.3. Les séchoirs naturels.	
5.3.4. Les séchoirs artificiels.	
5.4. Les principaux défauts de séchage.	
5.4.1. Défauts se manifestant au cours du séchage mais provenant de causes antérieures.	
5.4.2. Défauts imputables aux réglages du séchoir.	

Toute fabrication de produits de terre cuite, qu'elle soit artisanale ou industrielle, passe par différentes étapes successives que nous allons étudier.

Ces étapes sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Fig. 8 Schéma production



1. LES MATIÈRES PREMIÈRES

1.1. Principales matières premières

1.1.1. Les argiles

Les argiles constituent la base essentielle des matières premières utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite. Néanmoins, il est parfois nécessaire d'intégrer à la pâte des *dégraissants* et même des *ajouts spéciaux*.

On réunit sous le nom d'argile un grand nombre de roches présentant la propriété de donner, avec de l'eau, des pâtes plus ou moins plastiques, susceptibles de prendre et de conserver après cuisson des formes déterminées en donnant un "tesson" suffisamment résistant.

A ces roches, on attribue une origine sédimentaire ou alluviale ; elles proviennent de l'altération de roches cristallines de la famille des granits et sont constituées d'un grand nombre d'éléments. D'une façon schématique, ce sont :

- un minéral argileux pur, tel que la kaolinite ou l'illite.
- des "impuretés", qui représentent très souvent plus de la moitié de l'argile.

Or, bien sûr, les impuretés sont d'une argile à l'autre différentes entre elles, et les minéraux argileux purs ne sont pas tous identiques : ils appartiennent à une famille dont les membres ont des plasticités, des aptitudes au séchage et des réactions à la cuisson différentes.

Leur seul point commun est qu'ils sont des silicates d'alumine.

Nous n'entrerons pas dans le détail des propriétés et des caractéristiques de chaque type d'argile ; disons simplement que la plupart des argiles utilisées en terre cuite sont des *illites* (altération des micas). Les illites n'ont pas de composition fixe, ce qui explique pourquoi la fabrication des produits de terre cuite ne saurait être *standardisée* et demande, pour chaque cas, des mises au point spéciales.

1.1.2. Constituants secondaires des argiles pour terre cuite.

a) Éléments sableux :

Le sable présent dans les argiles pour terre cuite est généralement très fin (de 10 à 40 microns). Néanmoins, son pourcentage atteint souvent 30 à 40 %.

b) Fer :

En principe réparti dans la masse de l'argile (oxyde ou hydrate de fer), il est à l'origine de la coloration rouge des produits.

c) Calcaire :

Certaines argiles contiennent du carbonate de chaux. C'est le cas particulièrement de la plupart des argiles d'Afrique du Nord.

d) Matières organiques ou végétales :

Ce sont ces matières qui donnent les colorations bleue ou verte des argiles en cru.

1.1.3. Les dégraissants

Les impératifs de fabrication conduisent souvent à ajouter aux argiles des proportions variables de "dégraissants", qui modifient la plasticité ainsi que les caractéristiques de séchage et de cuisson des produits. On peut signaler que le principal dégraissant couramment utilisé est le sable.

1.2. Caractéristiques essentielles

1.2.1. Argiles

La possibilité d'utiliser une argile est conditionnée par 3 facteurs principaux :

- . sa plasticité,
- . son aptitude au séchage (voir § séchage)
- . ses caractéristiques après cuisson (voir § cuisson)

Plasticité : Cette caractéristique est la propriété pour une matière de se déformer sans rupture sans un certain effort et de garder la forme acquise quand l'effort a cessé.

La plasticité caractérise l'aptitude au façonnage. La plasticité d'une argile dépend de la nature minéralogique, du pourcentage de constituants inertes ainsi que de sa finesse.

Plus une argile est fine, plus elle est plastique. La fabrication des tuiles, carreaux, claustras ainsi que les produits creux (briques creuses, hourdis...) demande des argiles relativement plastiques. Il est à noter, malgré tout,

que l'utilisation d'argile trop plastique présente des inconvénients tels que les collages dans les différentes machines de préparation ou l'obtention de produits feuilletés à la fabrication (la présence de feuilletages - lamelles d'air interposées entre les couches d'argile - se remarque surtout sur les produits après séchage).

Limites de plasticité pour de bons sols

Limite plastique : 12 à 22 %
 Limite liquide : 30 à 35 %
 Indice de plasticité : 7 à 18 %

1.2.2. Dégraissants

Certaines argiles trop plastiques ne peuvent pas être utilisées seules. Pour obtenir une pâte normale (qui ne colle pas aux doigts), on doit les mélanger avec une certaine quantité de "dégraissant" (sable ou argile sableuse).

La granulométrie est la caractéristique essentielle des sables dans leur utilisation : On admet en général que 70 % environ de grains de diamètre moyen doivent être compris entre 0,3 et 1 mm. Les pourcentages de sable utilisé sont variables en fonction de la matière première de base ainsi que des produits à façonner.

2. EXTRACTION

2.1. Etude des gisements.

Tout projet de création ou d'extension d'unité de production passe nécessairement par l'assurance de pouvoir disposer d'un gisement d'argile en rapport avec la production envisagée.

Il est donc nécessaire, avant d'entreprendre tout investissement, d'effectuer des recherches géologiques et de recourir à quelques essais céramiques sur les échantillons prélevés :

Certains facteurs influencent l'exploitation d'un gisement, notamment :

2.1.1. La qualité :

La nature de la matière première conditionne la fabrication (par exemple, certaines argiles maigres conviennent à la fabrication de briques pleines mais par manque de plasticité ne peuvent convenir à la fabrication de produits creux ou de tuiles).

2.1.2. La quantité :

La connaissance de la superficie et de l'épaisseur d'un gisement permet le calcul du volume donc de la réserve de matière première dont dispose l'entreprise.

En règle générale, on estime qu'un mètre cube d'argile en place dans le gisement donne une tonne de produits cuits.

2.1.3. La position du gisement :

Deux critères sont à prendre en compte, d'une part l'éloignement de la carrière par rapport à l'usine, d'autre part les possibilités d'accès à la carrière.

Plus la carrière est loin de l'usine, plus le transport sera cher et risque d'avoir une incidence importante sur le prix de revient de la brique. Le mode de transport est à définir en fonction de cet éloignement et du tonnage à traiter (camions, dampers, tracteurs plus remorques, brouettes...).

Les possibilités d'accès à la carrière seront à examiner avec attention également (route, piste) ainsi que les possibilités d'extraction en fonction des

saisons. Il est à noter que certains bons gisements se situent dans "des cuvettes" et de ce fait l'extraction ne peut se faire que pendant quelques mois par an dans certains pays à forte saison des pluies.

Cette dernière considération nous amène à préconiser la mise en place d'un stock de matières premières tampon, entre la carrière et le lieu de l'utilisation proprement dite. Il s'avèrera utile dans tous les cas car, outre les impossibilités temporaires d'extraction, il permet l'argile de "se reposer" avant son utilisation ; cette *action* appelée "pourrisage" permet d'améliorer la qualité de l'argile. Pour que cette opération soit efficace, la durée du stockage doit être de l'ordre de 5 à 6 mois.

2.2. Exploitation

Les moyens mis en oeuvre pour l'exploitation d'un gisement dépendent de la nature de l'argile, de l'épaisseur de la couche ou des couches d'argile, de l'homogénéité du gisement et bien sûr de la capacité de production de l'entreprise.

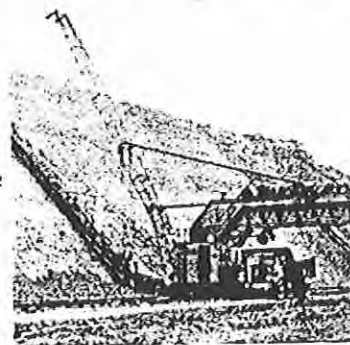
Pour des petites productions, l'exploitation du gisement s'effectue couramment manuellement, à la pioche et à la pelle. On peut avoir recours à différents appareils comme pelle mécanique, excavateur à godets ou bulldozer. Il est intéressant d'éliminer au maximum, au stade de l'extraction, certaines impuretés telles que cailloux, silex, nodules de calcaire, racines etc.

Notons également que l'on essaiera, dans la mesure du possible, de réaliser un mélange assez homogène dans le temps afin d'éviter des problèmes de fabrication.



Exploitation à la pelle mécanique

*Fig. 9
Extraction de l'argile*



Exploitation par excavateur

3. PRÉPARATION DU MÉLANGE

Que l'on utilise une ou plusieurs argiles, ou une argile et un dégraissant, le stade de la préparation ne doit pas être négligé, car il permet d'obtenir *une pâte plastique et homogène*, nécessaire à la fabrication de produits de qualité.

En réalité nous avons vu que cette préparation commençait à la carrière et que le "pourrissage" améliorerait l'aptitude à l'emploi de l'argile.

La préparation a pour but le dosage des constituants, le broyage de l'argile ainsi que son humidification adéquate. Ces différentes opérations peuvent s'effectuer, en fonction de la production recherchée, soit manuellement, soit mécaniquement.

3.1. Préparation manuelle

Cette opération s'effectue en général dans une fosse en maçonnerie. L'argile, préala-

blement débarrassée des corps étrangers et ayant subi un premier concassage manuel des grosses mottes, est jetée dans la fosse avec l'eau nécessaire à l'obtention de la pâte à l'humidité désirée. Ensuite, un ouvrier muni d'un outil (bêche...) piétine cette pâte et la recoupe. Lorsque la pâte est homogène, on ajoute la quantité de sable éventuellement nécessaire pour la dégraisser ainsi que la quantité d'eau voulue pour son utilisation au façonnage.

3.2. Préparation mécanique

La préparation manuelle n'est en général, possible que pour de petits tonnages, ou pour une argile ne demandant pas une préparation importante. Pour faciliter et rationaliser cette phase, il existe différents appareils que l'on relie entre eux par des convoyeurs à tapis. Nous donnons ci-après un exemple de chaîne de préparation classique, très couramment utilisée.

DISTRIBUTEUR-DOSEUR LINEAIRE	Il permet de régulariser le débit et éventuellement le dosage des constituants.
↓	
DESAGREGATEUR ou (et) BROYEUR-LAMINEUR-DEGROSSISSEUR	Ce sont des broyeurs à 2 cylindres tournant en sens contraire. L'argile passant entre les cylindres est broyée à une certaine granulométrie.
↓	
MOUILLEUR - MÉLANGEUR	Cet appareil est constitué d'une cuve dans laquelle deux arbres parallèles, munis de pales, tournent, en sens contraire ; une arrivée d'eau permet le mouillage de la pâte à la consistance désirée.
↓	
BROYEUR-LAMINEUR-FINISSEUR	Appareil identique au broyeur-dégrossisseur mais avec un écartement entre les 2 cylindres plus faible, permettant de broyer plus finement la pâte.
↓	
Il est bien évident que la taille, la puissance installée de tous ces appareils diffèrent en fonction de la production horaire à traiter.	

4. FAÇONNAGE

Le rôle du façonnage est de donner à l'argile (ou au mélange) la forme désirée. Notons qu'il sera nécessaire pour obtenir les dimensions définitives en cuit de tenir compte des retraits de séchage et de cuisson.

Nous allons étudier successivement diverses méthodes de façonnage, en fonction des produits désirés : le façonnage des produits creux, le façonnage des tuiles, le façonnage des produits pleins.

4.1. Le façonnage des produits creux

Pour ce type de produits, le façonnage est obtenu au moyen d'une mouleuse-étireuse. Cette machine a comme principe général de faire passer la pâte fortement comprimée par une vis sans fin dans un moule (appelé filière) épousant le profil des produits.

La filière donne les deux dimensions du produit (largeur x hauteur). La troisième dimension (longueur) sera obtenue par tronçonnage du boudin de pâte à la

sortie de la mouleuse : cette opération est réalisée par un coupeur automatique. Actuellement, les mouleuses employées sont nanties d'une pompe à vide pour la désaération de la pâte, ce qui lui donne une meilleure cohésion et permet de diminuer la quantité d'eau nécessaire à la fabrication.

Les différents types de mouleuses sont essentiellement caractérisés par le diamètre de l'hélice. Il existe actuellement sur le marché des mouleuses avec des diamètres allant de 300 mm, pour un tournage moyen de l'ordre de 2 à 3 tonnes/heure, jusqu'à 650 mm pour des tournages très importants (de l'ordre de 50 à 60 tonnes/heure).

Notons que pour des petites productions (de l'ordre de 2 à 3 tonnes par heure), une chaîne de préparation/fabrication comprenant doseur linéaire, broyeur-dégrossisseur, mouilleur-mélangeur, mouleuses, tapis de liaison, coupeur automatique, armoires électriques de commande, coûte actuellement environ 600 à 700.000 FF. Toutefois certains briquetiers préparent encore manuellement l'argile et utilisent une mouleuse sans vide ; l'investissement est alors limité à environ 350.000 FF.

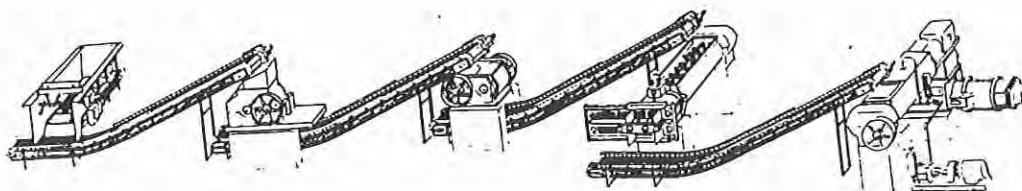


Fig. 10 Exemple de chaîne de préparation/fabrication comprenant :
1 doseur linéaire, 2 broyeurs, 1 mouilleur-mélangeur,
1 mouleuse-étireuse.

4.2. Façonnage des tuiles

4.2.1. Fabrication manuelle des tuiles :

Les tuiles peuvent être fabriquées à la main. Les plus faciles à fabriquer avec cette méthode sont les tuiles plates et les tuiles canal.

La tuile est généralement fabriquée sur un moule en bois lui donnant sa forme. En principe, l'ouvrier taille une galette (de l'épaisseur de la tuile) dans un pain d'argile préalablement préparée (voir paragraphe "Préparation manuelle") ; il saupoudre de sable fin la face au contact avec le moule pour éviter le collage ; ensuite il plaque la galette contre le moule, finit le moulage avec les mains en lissant le dessus et la découpe aux dimensions requises.



Fig.11 Façonnage des tuiles

4.2.2. Fabrication à la presse

Fabrication à la presse manuelle : Il existe sur le marché des presses manuelles, en général mobiles, permettant à partir d'une préparation manuelle de la pâte d'obtenir certains produits tels que

des tuiles de différents modèles ainsi que des briques pleines, ou perforées. Ces presses sont dites manuelles car la force nécessaire au pressage est exercée par l'homme.

Le coût d'une presse d'un tel type est de l'ordre de 5 à 7000 FF.

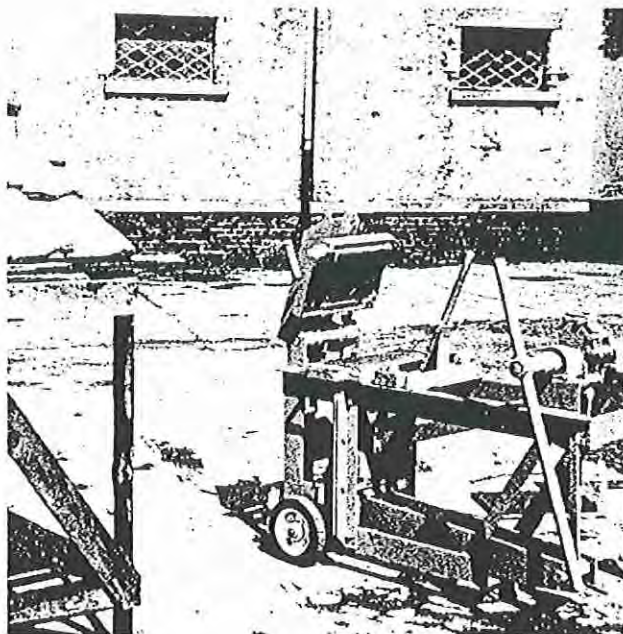


Fig.12 Presse manuelle

Fabrication par pressage mécanique : Dans ce type de presse, la force de pressage est exercée par un vérin hydraulique ou un système mécanique. Certains constructeurs proposent des versions mobiles à moteur thermique. Ces unités de pressage peuvent être équipées également d'un broyeur et d'un malaxeur pour la préparation de la pâte.

Le coût varie en fonction des options choisies et se situe entre 60.000 à 200.000 F et plus (capacité 200 à 1000 blocs/heure).

Fabrication à la mouleuse-étireuse : les tuiles plates et les tuiles canal sont fabriquées très avantageusement à l'aide d'une mouleuse-étireuse (voir fabrication des produits creux).

4.3. Façonnage des briques pleines.

4.3.1. Façonnage manuel :

On fabrique facilement des briques pleines à la main. Le moulage s'effectue à l'aide de cadres sans fond en bois ou en métal. L'ouvrier mouleur pose ce cadre sur une table saupoudrée de sable fin, le remplit d'argile qu'il comprime fortement, enlève l'excédent avec la main et un couteau de bois. Le démoulage s'opère en retirant le moule tout en maintenant la brique sur la table à l'aide d'une plaque en bois de mêmes dimensions que la section de la brique.

Note sur le façonnage manuel des briques pleines : Dans plusieurs pays, certains artisans s'évertuent à fabriquer des briques pleines de grandes dimensions, de l'ordre de 15 x 20 x 30 cm. Ce type de produit est à proscrire pour les raisons suivantes :

- produit difficile et même impossible à sécher d'une façon homogène (voir chapitre Séchage), d'où une perte importante après séchage.
- produit difficile à cuire, d'où une perte importante à la sortie du four et de toute façon l'obtention de produits insuffisamment cuits donc de très médiocre qualité (voir exemple dans étude de cas).

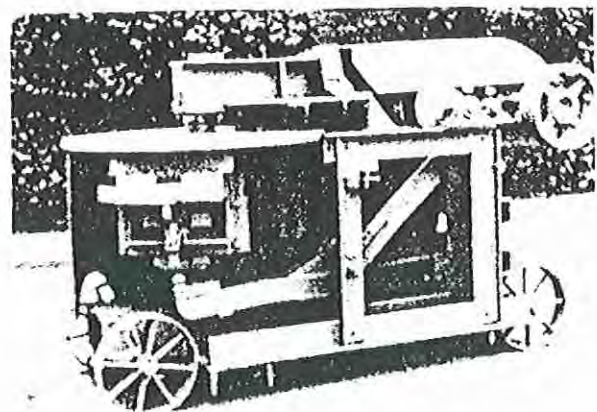


Fig.13 Presse mécanique

pois d'une telle brique très important (une brique pleine de 15 x 20 x 30 cm pèse environ 18 kg alors qu'une brique creuse de mêmes dimensions ne pèse que 7 kg environ. Il en résulte une manutention et une mise en oeuvre difficiles, ainsi qu'une consommation d'énergie importante.

L'expérience prouve que les dimensions d'un tel type de briques ne devraient pas être supérieures aux cotes suivantes : longueur : 240 mm, largeur : 120 mm, épaisseur : 60 mm. Cette observation est valable également pour la fabrication mécanique de ce type de produit.

4.3.2. Façonnage à la presse :

Presse manuelle : Ce type de produit ainsi que les briques perforées peuvent s'obtenir à la presse manuelle (voir fabrication tuiles).

Presse mécanique : (idem fabrication tuiles). La production avec ce type de presse peut être de l'ordre de 1200 à 2000 briques (60 x 120 x 240 mm) à l'heure.

4.3.3. Façonnage par étirage à la mouleuse :

Les briques pleines ainsi que les briques perforées s'obtiennent également par étirage à l'aide d'une mouleuse, d'une façon identique à la fabrication de produits creux.

4.4. Façonnage des carreaux et dalles de sol :

Les carreaux de différentes dimensions et différentes formes s'obtiennent soit par :

- . façonnage manuel dans des moules en bois ou métallique
- . façonnage à la presse manuelle
- . façonnage à la presse mécanique
- . façonnage par étirage.

4.5. Récapitulatif des méthodes de façonnage

Nature des Produits	Mode de façonnage
<i>Produits creux</i> (briques creuses de différents formats, hourdis, claustras, drains)	Mouleuse étireuse
<i>Tuiles</i> . canal, plates <hr/> . tuiles mécaniques	- à la main - à la presse - mouleuse-étireuse <hr/> - à la main (mais difficile) - à la presse (souvent nécessaire de fabriquer une "galette" par étirage avant pressage)
<i>Briques pleines, Briques perforées</i>	- à la main - à la presse - mouleuse-étireuse
<i>Carreaux et Dalles de sol</i>	- à la main - à la presse - mouleuse-étireuse

5. SÉCHAGE

5.1. But du séchage

Le séchage a pour but d'évacuer l'eau qui a permis le façonnage afin d'obtenir des produits suffisamment résistants et secs pour être manutentionnés au four. Le séchage est donc une opération intermédiaire entre le façonnage et la cuisson et qui régit donc de ce fait la cadence de production de l'unité.

Le séchage des produits argileux doit évidemment s'effectuer avec un minimum de déchets or *la matière argileuse en cours de séchage se rétracte* : Il faut donc évacuer l'eau suffisamment lentement pour que les faces externes du produit ne sèchent pas trop vite avant que l'eau de l'intérieur du produit ne soit évacuée. Le séchage sera donc plus ou moins rapide suivant les matières premières et les produits fabriqués. Pour éviter une détérioration du produit, il devra être toujours progressif et homogène.

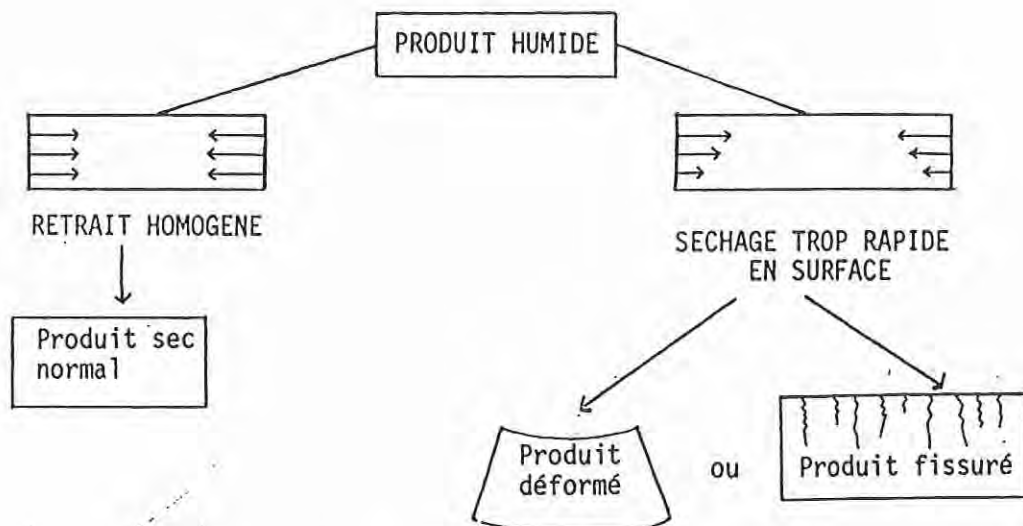


Fig. 14 Retrait au séchage

5.2. Mécanisme du séchage

5.2.1. Phénomène de retrait

Sans entrer dans la théorie du séchage qui serait fastidieuse, disons tout simplement que le séchage d'un produit de terre cuite présente deux phases importantes :

- *1ère phase* : Au début du séchage et pendant un certain temps, l'eau s'évapore du produit et en même temps le produit subit une diminution dimensionnelle : *C'est le phénomène de retrait*. L'eau évaporée pendant cette première phase est dite "eau colloïdale".

- *2ème phase* : Après la première phase, l'évaporation de l'eau continue, mais le produit ne subit plus de variation dimensionnelle. L'eau évaporée lors de cette seconde phase est appelée "eau d'interposition".

5.2.2. Conditions nécessaires au séchage :

Il est bien évident que le séchage doit être conduit très prudemment dans la première phase où s'effectue le retrait. En effet, si ce retrait ne s'effectue pas d'une façon homogène dans le produit, il se crée des tensions qui risquent de créer des fissurations, des déformations, des fuites.

Au contraire, dans la 2ème phase de séchage, c'est-à-dire quand le retrait est terminé, on peut en principe accélérer le processus de séchage.

L'opération de séchage doit s'arrêter lorsque la teneur en eau est de l'ordre de 2 à 3 % du poids sec. Un arrêt prématuré du séchage entraîne des difficultés à la cuisson (éclatement des produits, fuites).

Pour que l'opération de séchage s'effectue dans de bonnes conditions il faut donc :

- . une bonne ventilation du produit,
- . une température et une hygrométrie (pourcentage d'humidité) de l'air adaptées.

Pour ces différentes raisons, nous voyons donc l'intérêt de sécher les produits en atmosphère contrôlée, donc dans des enceintes fermées (séchoirs artificiels) où il est possible d'agir sur ces différents points (ventilation, température, humidité), et ceci aux différents stades du séchage.

Cette remarque doit, malgré tout, ne pas faire oublier que le séchage doit avant tout être approprié aux argiles, le retrait étant très variable d'une argile à une autre (nécessité d'essais préalables avant tout investissement).

Notons enfin que l'on peut améliorer le séchage d'une argile difficile, donc à fort retrait (en général argile fine et très plastique) par ajout de dégraissant (sable). L'ajout de dégraissant facilite la diffusion de l'eau du coeur du produit vers la surface et diminue le retrait. Par contre, cet ajout doit être limité pour ne pas abaisser d'une façon anormale la résistance mécanique des produits.

5.2.3. Conduite théorique du séchage

Des différents phénomènes analysés, il est possible de dégager une règle très générale de séchage des produits argileux. L'opération doit être conduite en 3 phases :

- . 1ère phase : *échauffement sans élimination d'eau*. La viscosité de l'eau diminue sensiblement avec sa température. Si l'humidité de l'air du séchoir est suffisamment importante, le produit s'échauffe sans perdre d'eau. Par suite, la migration de l'eau de l'intérieur vers la surface sera facilitée.

- . 2ème phase : *déshydratation progressive* (élimination de l'eau colloïdale). Le produit étant suffisamment chaud, si l'on fait baisser le degré hygrométrique de l'air qui l'entourne, il perd de l'eau. Cette opération doit être conduite suffisamment lentement jusqu'à la fin du retrait.

- . 3ème phase : *fin de séchage* (élimination de l'eau d'interposition). Cette phase peut s'effectuer dans une ambiance aussi sèche et chaude que possible.

Pratiquement, dans un séchoir artificiel, ces trois phases s'obtiennent assez facilement en agissant sur la ventilation et la température de l'air.

5.3. Les différents types de séchoirs

5.3.1. Généralités :

Chaque constructeur a son ou ses séchoirs qui lui sont particuliers, c'est pourquoi ce serait une gageure de vouloir les passer tous en revue. Le but de cette étude n'est donc pas de décrire en détail tous les matériels de séchage mais de définir les principaux séchoirs pouvant intéresser la petite industrie et d'en dégager les grands principes de fonctionnement.

5.3.2. Définition du poste séchage :

Sur le plan financier, et afin de déterminer le prix de revient, il est indispensable de définir les limites du poste séchage.

Le séchage comporte donc :

- . le transport de la fabrication vers le lieu de séchage ;
- . l'opération de séchage elle-même et par suite les installations l'assurant ;
- . la manutention éventuelle des produits en cours de séchage ;
- . le transport à proximité du four des produits secs ;
- . l'évacuation des déchets.

5.3.3. Les séchoirs naturels :

Ils sont caractérisés par un séchage à l'extérieur à l'air libre. Les produits doivent être protégés d'une part contre la pluie, d'autre part contre le soleil trop intense. On leur donne le nom de séchoirs "halettes".

Cette technique est avant tout caractérisée par sa simplicité, l'absence de gros investissements et de frais énergétiques. Par contre, elle nécessite une main d'oeuvre importante par rapport aux séchoirs artificiels. Nous conseillons encore cette technique pour le séchage de briques pleines pressées soit manuellement, soit mécaniquement. En effet, les briques pleines, de par leur épaisseur importante, demandent un séchage lent et le séchage artificiel ne serait pas spécialement rentable pour ce type de produits.

Certaines précautions doivent être prises pour obtenir de bons résultats :

- L'aire de stockage doit être plate, couverte, pour éviter une dégradation des produits par la pluie ou les trop fortes chaleurs (ce dernier point, notamment dans le premier stade du séchage). En principe, les briques pleines moulées à la main sont placées à plat en une seule couche sur l'aire de stockage de façon à éviter des déformations qui seraient inévitables par empilage superposée.

A ce stade, une feuille de plastique posée sur les produits pendant un certain laps de temps permettra d'éviter une déshydratation trop rapide des produits en enfermant ceux-ci dans une atmosphère humide.

Lorsque les produits auront pris de la consistance, on les placera sur champ, les uns sur les autres, en haie et en fougères, de manière à en former une espèce de muraille à claire-voie pour qu'ils finissent de sécher entièrement.

Les produits moulés mécaniquement qui ont une teneur en eau moindre que les produits fabriqués à la main seront empilés en haies directement. Pour la même raison, la mise en place d'une feuille de plastique formant un caisson pratiquement étanche pourra être disposée sur la haie de briques au début du séchage, ceci dans les pays à hygrométrie faible et température importante.

Un bon exemple d'empilage de briques pleines pour le séchage à l'air libre est représenté par l'exemple de l'étude de cas "Briqueterie LAGONOTTE".

- Les halettes devront avoir leurs grandes dimensions dirigées face aux vents dominants pour obtenir un maximum de cir-

ulation d'air ; elles devront également être légèrement surélevées au-dessus du sol.

- La durée du séchage dépend en grande partie des conditions atmosphériques et elle peut varier de quelques jours à plusieurs semaines en fonction de la température, de l'hygrométrie (c'est-à-dire la teneur en eau) de l'air ainsi que de la force des vents. On peut activer le séchage en halettes de différentes façons, en fonction du manque soit de température suffisante soit de ventilation.

a) *Manque de température* : différentes techniques peuvent être utilisées :

- apport d'air chaud venant du four,
- pose de braseros entre les halettes,
- pose sur le four de produits mi-secs,
- mise en place d'un générateur d'air chaud.

Il faut noter que ces différentes techniques sont coûteuses soit en énergie, soit en main d'oeuvre, en rapport avec les résultats qu'elles procurent.

b) *Manque de ventilation* : Les séchoirs naturels manquent tous de ventilation, d'autant plus que même s'il y a du vent, celui-ci n'est jamais régulier. Pour combler cette lacune, certaines techniques appliquées aux séchoirs artificiels peuvent être utilisées. Toutes ces techniques mettent en oeuvre une ventilation artificielle par ventilateurs hélicoïdes ou par brasseurs rotatifs fixes ou mobiles.

Une telle installation ne peut pas de toute façon s'envisager sérieusement avant étude de l'installation existante.

5.3.4. Les séchoirs artificiels

Il existe une grande variété de séchoirs artificiels allant du séchoir intermittent à chambres jusqu'au séchoir à balancelles dit "rapide" (séchage entre 3 et 5 heures) utilisé pour des tonnages importants.

Nous nous limiterons, dans le cadre de cette étude, à l'analyse d'un type de séchoir à chambres, ce type de séchoir présentant un grand nombre d'avantages pour les petites entreprises.

a) Description :

Le séchoir à chambres est composé d'un certain nombre d'enceintes (calculées en fonction du tonnage à réaliser et du cycle de séchage) accolées les unes aux autres, entièrement fermées et étanches. Chaque chambre est constituée de deux piédroits réalisés en général en briques creuses. Les piédroits sont surmontés de deux plafonds superposés. Un ou plusieurs groupes moto-ventilateurs hélicoïdes fixés entre ces deux plafonds assurent un recyclage d'air chaud intense à travers les charges (voir croquis ci-dessous). L'alimentation en air chaud des différentes chambres est assurée par un carneau général de distribution.

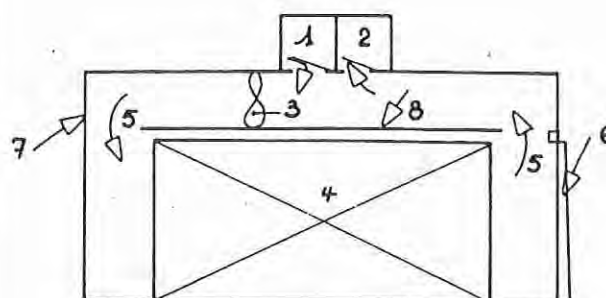
A l'arrivée de chaque chambre, un registre pouvant être actionné manuellement permet de régler la température à l'intérieur de la chambre.

L'air chaud peut être produit par un générateur alimenté par un combustible solide ou liquide et/ou par la récupération d'air chaud du four.

L'extraction d'air usé s'effectue de la même façon par carneau et ventilateur(s) hélicoïde(s).

Chaque chambre est munie sur sa face avant d'une porte métallique ou en bois, qui permet le chargement ainsi que le déchargement.

Fig. 15 Coupe vue en élévation d'une chambre.



1. Carneau d'air chaud
2. Carneau d'air usé
3. Groupe(s) moto-ventilateur(s) hélicoïde(s) de brassage.
4. Charge de produits à sécher
5. Sens de la ventilation
6. Porte d'accès à la chambre
7. Maçonnerie
8. Faux plafond (tôles ondulées fixées sur profilés métalliques)

La charge est constituée de casiers à armatures métalliques. Ces casiers sont eux-mêmes constitués d'étagères sur lesquelles reposent les produits à sécher (voir schémas ci-dessous).

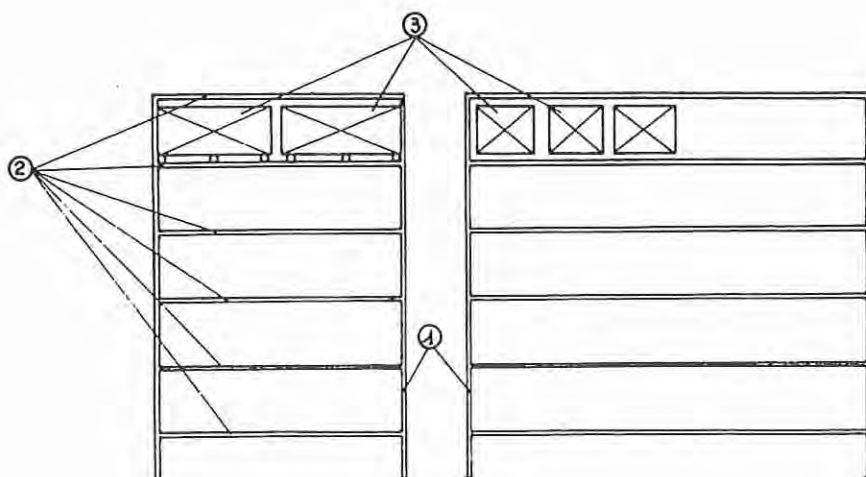


Fig. 16 Coupe schématique (vue en élévation) d'un casier.

1. Cadre rigide métallique
2. Étagères constituées de linteaux en bois ou métalliques.
3. Produits à sécher.

b) Manutention :

A la sortie de la fabrication, les produits sont déposés manuellement sur les étagères des casiers. Lorsque le casier est plein, celui-ci est véhiculé à la chambre de séchage en cours de chargement, par un chariot élévateur à moteur ou par un chariot à main (type transpalettes). Ce dernier type de manutention impose un sol parfaitement plat.

Le déchargement des chambres s'effectue de la même façon. Lorsqu'une chambre est pleine, l'opération séchage proprement dite peut démarrer. Après fermeture de la porte, on met le ou les ventilateurs hélicoïdes de brassage en service et on effectue les réglages d'air chaud et d'extraction nécessaires. Le cycle de séchage dure en moyenne de 24 à 48 heures pour des produits creux ; les produits pleines (briques pleines) sont beaucoup plus longs à sécher. Le cycle de séchage dépend évidemment des caractéristiques propres à l'argile.

c) Intérêt d'une telle installation :

- . Ce type de séchoir a fait ses preuves depuis de longues années.
- . Sa réalisation en est simple et peu onéreuse. En effet, en-dehors des ventilateurs et de l'armoire électrique de commande, l'ensemble des autres fournitures, ainsi que la réalisation, peuvent s'effectuer localement.
- . Le séchage s'effectue plus rapidement qu'à l'air libre d'où une surface couverte beaucoup moins importante.
- . Le pourcentage de déchets est réduit considérablement (notamment en ce qui concerne le séchage de tous produits creux) par rapport au séchage à l'air libre (ce pourcentage ne doit pas dépasser les 5 %).
- . Cette installation permet en outre de faire varier facilement les cycles de séchage et elle est donc très bien adaptée pour la fabrication de multi-produits.

5.4. Les principaux défauts de séchage5.4.1. Défauts se manifestant au cours du séchage, mais provenant de causes antérieures

- a) *Fentes rectilignes dans le sens de la longueur des produits creux d'épaisseur régulière.*

Ce type de fentes peut provenir de la filière, si elles sont identiques sur les produits.

- b) *Coupes des produits concaves ou convexes.*

Déformation du produit en "ballon de rugby" ou "diabolo".

Causes : trop de différences de pression au niveau de la filière.

Remèdes : équilibrer la filière et surveiller l'humidité de façonnage.

- c) *Déformations de manutention : (coins arrachés, produits gauches, etc...)*

Prendre des précautions au niveau de la manutention des produits.

5.4.2. Défauts imputables aux réglages du séchoir :

- a) *Fentes ouvertes en longueur (en général du côté de la face d'attaque de l'air).*

Causes : air à pouvoir séchant trop élevé en début de séchage.

Remèdes : diminuer le pouvoir de l'air séchant en début du séchage en recyclant plus d'air humide, par exemple dans un séchoir à chambres.

- b) *Produits sortant trop humides du séchoir : risque d'écaillage à l'entrée du four.*

c) *Microfissures : non visibles à l'oeil ; apparaissent après passage au pétrole du produit sec.*

Causes : vitesse de séchage non adaptée au mélange.

Remèdes : (pour b et c) : augmenter le cycle de séchage ou rechercher un nouveau mélange.

TROISIÈME PARTIE

La Cuisson

1. <u>But de la cuisson.</u> _____	21
2. <u>Phénomènes intervenants.</u> _____	21
3. <u>Conséquences pratiques.</u> _____	21
4. <u>Principaux défauts de cuisson.</u> _____	23
5. <u>Différents types de four.</u> _____	24
5.1. Les fours intermittents.	
5.1.1. Cuisson à la volée ou en meules.	
5.1.2. Four droit vertical.	
5.1.3. Four couché ou coréen.	
5.2. Les fours à feu continu.	
5.2.1. Four Hoffmann.	
5.2.2. Fours -Tunnels.	
5.3. Fours semi continus.	
5.4. Contrôle des températures.	
6. <u>Consommation d'énergie - combustibles.</u> _____	32
6.1 Généralités.	
6.2. Unités de mesure.	
6.2.1. Unité de chaleur.	
6.2.2. Pouvoir calorifique des combustibles.	
6.3. Différents combustibles utilisés.	
6.3.1. Combustibles solides.	
6.3.2. Combustibles liquides.	
6.3.3. Combustibles gazeux.	
6.4. Consommation usuelle.	

1. BUT DE LA CUISSON

A la sortie du séchoir, les produits n'ont pas encore acquis leurs véritables qualités et les propriétés de l'argile sont restées à peu près inchangées. Au contraire, à la sortie du four, ils sont devenus résistants et les propriétés de l'argile ont été complètement modifiées par la cuisson qui leur confère leur structure et par conséquent leurs caractéristiques et leurs qualités définitives. Les produits de terre cuite étant de très grande série, on mesure toute l'importance du facteur régularité ; il importe donc d'avoir à l'esprit que la cuisson doit être conduite de façon à obtenir des produits de caractéristiques fonctionnelles satisfaisantes et aussi régulières que possible.

2. PHÉNOMÈNES INTERVENANT

Sur le plan céramique, il faut retenir que, du point de vue physique, la chaleur provoque des modifications de densité, de porosité, de dureté, de dimensions et que du point de vue chimique elle provoque essentiellement des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés du produit. Les phénomènes physiques et chimiques peuvent se résumer ainsi :

- jusqu'à 200°C environ, évacuation de l'eau résiduelle de séchage car, même apparemment sec, un produit contient de 2 à 3 % de cette eau.
- de 400°C à 650°C, départ de l'eau de constitution de certains minéraux complexes (silicates d'alumines). Le pourcentage de cette eau est de l'ordre de 3 à 5 %. Son départ se traduit par la fin de la plasticité du produit.
- de 650°C à 900°C, il y a décomposition du carbonate de chaux qui est pratiquement présent dans toutes les argiles, en quantité plus ou moins importante. Cette réaction s'accompagne d'un dégagement de gaz carbonique qui provoque une perte de poids importante.

- au-delà et jusqu'à la température de cuisson : les fondants contenus dans la terre agissent et donnent au produit ses qualités de dureté indispensables.
- au refroidissement des produits : le phénomène physique le plus important se produit vers 570°C où le produit subit une contraction brutale en rapport avec la quantité de sable qu'il contient (zone dit du point quartz).

3. CONSÉQUENCES PRATIQUES

Les phénomènes qui viennent d'être brièvement décrits présentent des conséquences importantes lors d'une cuisson.

Les différents dégagements (eau, gaz carbonique) doivent être progressifs sous peine d'entraîner des déformations (cloques, boursouflures, éclatements). Il convient donc de régler la montée en température dans les zones indiquées en tenant compte de ces phénomènes. Pour la même raison, afin de permettre à l'eau résiduelle de s'échapper, la vitesse de début d'échauffement d'une argile très fine (donc à structure compacte, très serrée) doit être plus lente que la vitesse correspondante pour une argile grossière (dont la structure laisse plus facilement s'échapper la vapeur d'eau).

Les dilatations et retraites doivent s'effectuer aussi assez progressivement. Ceci est vrai en particulier dans la zone du point quartz, lors du refroidissement des produits ; si la chute de température est trop rapide, les produits risquent de "fêler".

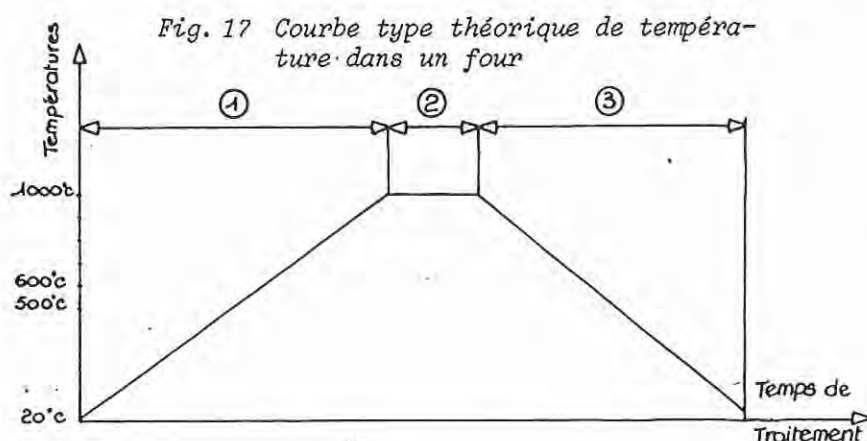
A la température de cuisson, il y a fusion de certains composants, d'autres cristaux restant inertes. Du même coup, les plus ou moins grandes réactions de ces constituants conditionnent la perméabilité, la résistance mécanique, les risques de déformation. De même, la coloration est-elle conditionnée par les réactions développées lors de la cuisson : la transformation de l'oxyde de fer donne en général la teinte rougeâtre des produits. Si l'argile contient de la,

chaux, celle-ci provoque le jaunissement de la teinte.

Il faut ajouter que dans un four ces problèmes sont encore plus complexes du fait que :

- la température atteinte par l'enceinte de cuisson à un instant donné n'est pas celle immédiatement obtenue au coeur des produits ;

- l'uniformité parfaite de la température (et ceci, notamment, dans la zone d'échauffement) en tous les points d'une même pièce est très difficile à obtenir. Ceci explique que l'on doit choisir très soigneusement la courbe de température des produits depuis l'entrée du four jusqu'à leur sortie. Cette courbe comprend trois phases distinctes (voir schéma ci-dessous).



1. Zone de préchauffage
2. Zone de plein feu
3. Zone de refroidissement

a) Zone de préchauffage :

Cette longueur de courbe correspond à l'échauffement progressif des produits en utilisant la chaleur sensible des fumées du four.

b) Zone de plein feu :

C'est ce qui correspond à la température finale de cuisson et qu'on appelle "palier de cuisson". Le palier de cuisson doit toujours avoir une certaine longueur, c'est-à-dire que les produits doivent subir la température finale de cuisson pendant un certain temps. La température de cuisson peut varier, en fonction des différents constituants argileux, entre 800°C et 1000°C. La durée du palier de cuisson peut varier en fonction de plusieurs paramètres (type de four, type de produits, type d'enfournement, type d'argile...).

D'une façon générale, la durée du palier doit toujours permettre de rétablir les différences éventuelles de température existants au niveau de la zone de préchauffage, ceci afin d'obtenir des produits ayant les mêmes caractéristiques.

c) Zone de refroidissement :

C'est la zone qui correspond au refroidissement des produits après cuisson proprement dite. En principe, la température de sortie du four des produits doit être proche de la température ambiante.

NOTA : L'ensemble de ces trois phases de cuisson constitue ce qu'on appelle "cycle de cuisson".

Bien entendu, la longueur de chaque zone, comme la longueur totale (cycle de cuisson), dépendent non seulement de la terre à utiliser, mais aussi des produits à fabriquer : les temps de chauffe, donc les longueurs, sont d'autant plus grandes que les produits à chauffer sont plus épais et que l'empilage réalisé a une plus grande densité. En effet, les densités d'empilage peuvent varier de 450 à 1000 kg/m³ suivant les produits fabriqués. Un empilage de hourdis, par exemple, représente en général, une densité de l'ordre de 450 kg/m³, par contre, un empilage de briques pleines peut aller jusqu'à 1000 kg/m³.

4. PRINCIPAUX DÉFAUTS DE CUISSON

Il est très difficile de passer en revue tous les défauts pouvant intervenir lors de la cuisson. En effet, il faut garder à l'esprit que pour beaucoup de ces "défauts éventuels", la cuisson n'est pas seule en cause, mais qu'ils dépendent le plus souvent de différents facteurs tels que :

. la nature des matières premières.

. le façonnage et le séchage qui peuvent conditionner d'une manière primordiale la genèse de certaines difficultés à l'échauffement des produits.

Lorsqu'un défaut affecte une fabrication, il est souvent nécessaire d'intervenir aux différents postes en recherchant toutes les causes possibles.

Le tableau ci-dessous résume schématiquement les principaux défauts pouvant intervenir au niveau de la cuisson.

Fig. 18 Défauts des briques

	LOCALISATION	EFFETS CARACTERISTIQUES	CAUSES POSSIBLES
Eclatements	Préchauffage	éclats plus ou moins importants attenants encore au produit ou complètement détachés	- séchage insuffisant - programme de cuisson mal adapté
Fentes	Préchauffage	fentes ouvertes d'aspect terreux relativement droites	idem ci-dessus
Fêlés	Refroidissement	fissures très fines à bord net et brillant et à tracé souvent en S.	descente de température trop rapide au niveau du point quartz
Cœurs noirs		teinte noire au coeur du produit	- nature matières premières (matières organiques texture trop fine) - programme de cuisson mal adapté
Boursouflements	Préchauffage haute température	cloques plus ou moins importantes sur les produits	- idem ci-dessus
Incuisson	Plein feu	coloration des produits anomalies dimensionnelles mauvaise sonorité mauvaise résistance mécanique	- température de cuisson insuffisante
Surcuisson	Plein feu	coloration, déformations	- température de cuisson trop importante
Hétérogénéité cuisson	Plein feu	obtention simultanée de produits incuits et surcuits.	- mauvaise homogénéité de cuisson (voir un changement de disposition des produits dans le four) ou/et réglages du four.

Note : Pratiquement, un produit incuit est très facilement décelable : en frottant le produit avec un objet en acier (pointe, par exemple), le produit ne doit pas subir de dégradations ; il doit en résulter une simple rayure superficielle.

5. DIFFÉRENTS TYPES DE FOURS

Le four est l'instrument qui sert à réaliser la cuisson des produits.

Il existe là encore, un grand nombre de variétés de fours et nous n'examinerons que ceux qui peuvent être utilisés dans le cadre de ce dossier.

Le choix d'un mode de cuisson est bien sûr conditionné par le coût d'investissement ainsi que, techniquement, par le tonnage journalier à traiter ainsi que le type de produits à cuire.

Les fours sont classés en 2 grandes familles :

- . les fours cellules ou fours intermittents,
- . les fours à feu continu.

5.1. Les fours intermittents

5.1.1. Cuisson à la volée ou en meules

C'est certainement le procédé le plus ancien, qui existe encore dans de nombreux pays pour la cuisson de très petites productions artisanales en général saisonnières. Le type de produits fabriqués est toujours la brique pleine (en général moulée à la main avec séchage à l'air libre).

Dans ce type de cuisson, ce sont les briques elles-mêmes qui constituent le four :

Le procédé consiste à placer les briques en tas de forme rectangulaire sur un sol dressé. On dispose les premières assises de façon à ménager à la base, des canaux formant des foyers dans lesquels sera placé le combustible nécessaire à la cuisson. Les lits de briques empilées successivement sur champ communiqueront toujours entre eux par des espaces laissés libres entre les briques (de 12 à 15 cm environ).

Les dimensions de la base ainsi que la hauteur d'empilage sont très variables en fonction de la quantité de produits à cuire (certains fours contiennent jusqu'à 80.000 briques).

Ci-contre un exemple de meule à 2 foyers avec dimensions possibles.

Il existe des meules à 3, voire 4 foyers.

Lorsque l'empilage des briques à cuire est terminé, il est nécessaire de procéder à quelques opérations complémentaires avant l'allumage :

- entourer la masse avec un mortier d'argile qui empêchera les gaz chauds de sortir par les côtés du four et les obligera à traverser la masse de briques à cuire sur toute sa hauteur avant d'être évacués à la partie supérieure du four. Cet enduit devra entièrement sécher avant l'allumage du four (de 2 à 4 jours) ;
- des briquillons seront entassés pêle-mêle sur une certaine hauteur, sur le dessus du four, constituant une couche destinée à ralentir les gaz de combustion tout en permettant la sortie de ceux-ci.
- les foyers sont bouchés à une de leurs extrémités, celle opposée au vent avec des briques enduites, comme le four, au mortier d'argile.

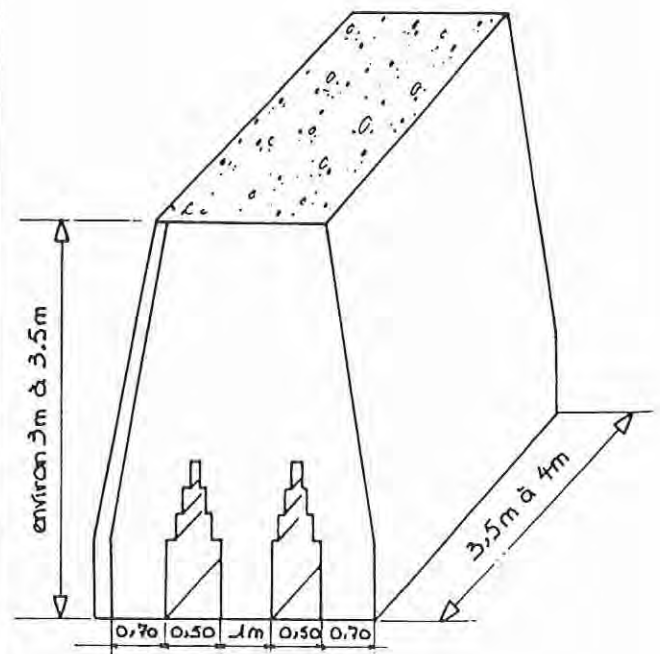


Fig. 19 Meule à 2 foyers.

a) *Méthode de cuisson :*

Lorsque le four est entièrement terminé et que les parois sont sèches, il faut procéder à l'allumage du four. Le préchauffage doit démarrer très progressivement pour éliminer complètement l'eau introduite pendant la construction et l'humidité résiduelle des produits. Pour cela, on entretient dans les foyers un feu aussi doux que possible, en y introduisant des petites charges de combustible. Cette période dure de 2 à 3 jours et est appelé couramment "période de petit feu".

Ensuite, on augmentera progressivement l'apport de combustible afin de monter la charge jusqu'à la température finale de cuisson que l'on devra maintenir pendant un certain temps.

On juge que la cuisson est terminée par une propriété caractéristique de l'argile : le retrait. En effet, connaissant le retrait à la température optimale de cuisson et la hauteur des produits enfournés, à l'aide d'une pige en bois, on peut juger que la pile a pris le retrait voulu.

Le refroidissement devra s'effectuer également très lentement ; pour cela, les ouvertures des foyers devront être obturées assez grossièrement avec des briques cuites. Le four restera totalement fermé pendant plusieurs jours, puis on rouvrira progressivement les ouvertures de part et d'autre des foyers avant de procéder au démontage total. Le cycle complet de cuisson dure en principe de 15 à 20 jours.

Le combustible employé peut être tous les déchets de végétaux préalablement séchés (coques d'arachides, noyaux d'olives, coques de noix de coco, tourteaux d'arachides, carités, bois, sciure de bois... etc.).

b) *Avantages et inconvénients d'un tel mode de cuisson.**Avantages :*

• Four construit à l'air libre, sans infrastructure, qui donc ne demande aucun investissement.

Permet une fabrication locale, pour des besoins périodiques.

Inconvénients :

- Réalisation très longue et difficile.
- Ne permet pas de réaliser des productions très importantes. En effet, même un gros four de ce type, cuisant environ 60.000 à 80.000 briques pleines, soit 150 à 200 tonnes, demande, entre l'enfournement, la cuisson et le défournement, un minimum de 30 jours pour l'obtention des produits, ce qui représente une production maximum de l'ordre de 3 à 4 tonnes par jour calendaire sachant que ce mode de cuisson entraîne un pourcentage important de déchets.
- Obtention de produits de médiocre qualité.
- Consommation importante de combustible (ex. 300 kg bois par tonne de briques cuites).

5.1.2. Four droit vertical

La conception de ce four est dérivée de la méthode de cuisson décrite ci-dessus. Le four droit le plus simple ayant par rapport au précédent l'avantage d'avoir *des parois et des foyers construits en briques rouges cuites.*

Une amélioration sensible de ce type de four a été de surmonter les parois d'une voûte percée d'ouvertures reliant l'intérieur du four à une ou plusieurs cheminées (voir schémas ci-dessous).

QUELQUES CARACTERISTIQUES DE FOURS DROITS

Largeur maximum : 3,50 m
 Longueur maximum : 25 m
 Hauteur à la clef de voûte : 2,5 à 3 m
 Distance maximum entre les foyers : 2 m
 Section totale des cheminées : environ 1 % de la surface utile du four.

La cuisson dans ce type de four est conduite de la même façon que pour la cuisson en meules mais le cycle de cuisson est plus rapide du fait d'une construction en dur et d'une meilleure isolation. On y utilise les mêmes combustibles.

Le four décrit ci-dessus présente de réels avantages par rapport au précédent :

- . Il peut être mis à l'abri dans un hangar, ce qui permet d'effectuer des cuissons par "tout temps".
- . L'empilage et le dépilage s'effectuent dans de meilleures conditions et beaucoup plus rapidement.
- . La cuisson s'effectue plus rapidement (certains fours de ce type permettent des cycles de cuisson de 3 à 4 jours, ceci bien sûr en tenant compte des compositions argileuses) d'où une consommation beaucoup moins importante, notamment lorsque le four est bien conçu.
- . Obtention de produits de bonne qualité.

- . Pourcentage de déchets faible.
- . Investissement peu coûteux : utilisation de matériaux pouvant être fabriqués localement.
- . Il permet de cuire toute la gamme des produits de terre cuite.
- . Il permet d'effectuer des empilages mixtes de plusieurs produits en même temps. Par exemple, empilage de briques pleines, briques creuses, claustras, drains...
- . Il n'utilise pas d'énergie électrique (tirage naturel).
- . Il permet d'effectuer une récupération de chaleur pour le séchage (dans ce cas, il est nécessaire d'installer un ventilateur de récupération).

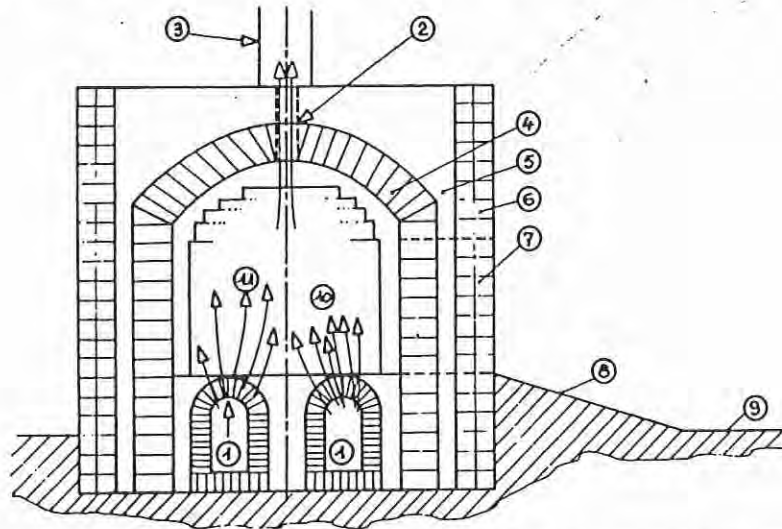


Fig. 20 Coupe schématique d'un four droit (à 2 foyers) amélioré

1. Galeries maçonnées en briques rouges formant foyers.
2. Ouverture dans la voûte permettant la communication des gaz chauds entre le four et la cheminée.
3. Cheminée (s) d'évacuation ou de "tirage".
4. Maçonneries intérieures du four en briques pleines rouges de bonne qualité.
5. Terre battue.
6. Maçonneries extérieures en pierres ou matériaux équivalents.

7. Porte latérale permettant l'enfournement et défournement des produits. Cette porte est fermée pour la cuisson en briques cuites enduites d'un mortier d'argile.
8. Rampe d'accès à la porte.
9. Niveau du sol. Ici les foyers sont semi-enterrés de façon à limiter la pente de la rampe d'accès à la porte.
10. Empilage de briques. On remarque qu'un vide d'air est laissé entre la masse des produits à cuire et la maçonnerie du four.
11. Sens des gaz chauds qui s'échappent des galeries foyers par des ouvertures laissées à cet effet.

5.1.3. Four couché ou four coréen

Ce four est une variante du four droit décrit ci-dessus, le principe en étant identique. La galerie de cuisson est disposée horizontalement. Les foyers sont situés à une des extrémités. L'autre extrémité est reliée directement à une cheminée qui assure l'extraction des fumées. C'est par cette dernière extrémité que s'effectue l'enfournement et le défournement des produits (le transport s'effectuant en général par chariots manuels ou des brouettes).

Ce type de four ne présente pas d'intérêt supplémentaire par rapport au précédent, en dehors du fait que la manutention de certains produits, notamment briques creuses, y est facilitée. Il offre, en outre, la possibilité de construire une batterie de fours juxtaposés, ce qui permet son utilisation semi-industrielle (notamment, dans la fabrication de produits creux).

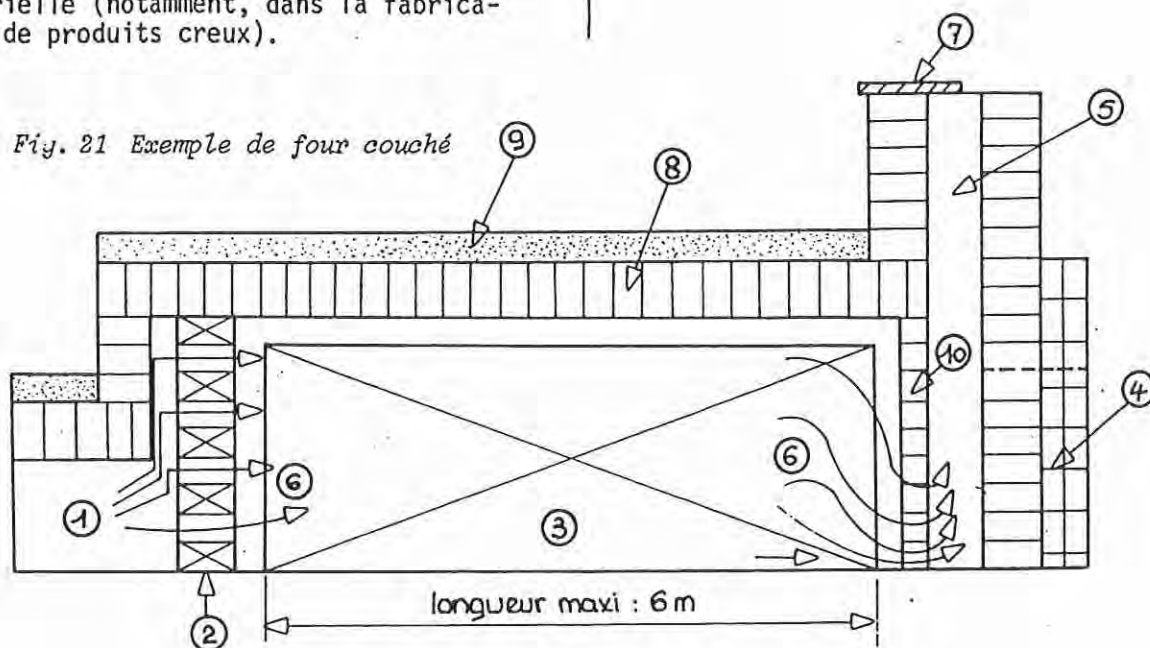
5.2. Les fours à feu continu

Ce type de fours fonctionne en continu, c'est-à-dire que la température doit y être maintenue 24 heures sur 24. Ils ne doivent s'arrêter en principe que pour un entretien annuel ou un cas de force majeure. De ce fait, ces fours ne peuvent être utilisés que pour des productions journalières continues assez importantes.

Il existe deux variétés de ce type de fours :

- . Les fours à feu mobile : le plus connu et le plus répandu de ce type est le four HOFFMANN.
- . Les fours-tunnels.

Fig. 21 Exemple de four couché



1. 1 ou 2 foyers (fonction de la largeur du four)
2. Mur en nid d'abeilles permettant la répartition de l'air chaud.
3. Charge de produits à cuire.
4. Maçonnerie extérieure en pierres.
5. Cheminée de tirage.
6. Sens des gaz chauds;

7. Registre permettant de régler le tirage du four.
8. Maçonnerie intérieure en briques rouges.
9. Isolation du four en terre battue
10. Mur en briques rouges avec vides dans la partie basse obligeant les gaz chauds à passer en pied d'empilage de la charge.

5.2.1. Four Hoffmann

C'est un four à deux galeries parallèles, horizontales et juxtaposées. Ces galeries sont reliées entre elles à leurs extrémités par deux canaux assurant la continuité du feu d'une galerie à l'autre.

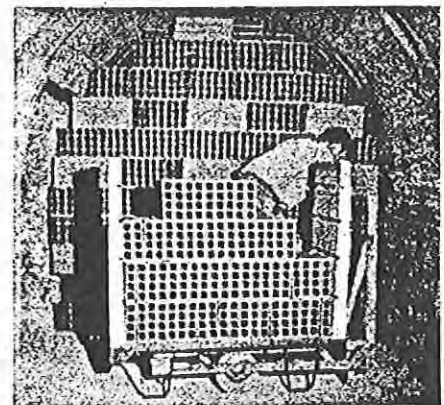
La longueur développée des galeries dans ce type de four (minimum de l'ordre de 50 m) permet d'effectuer simultanément dans le four les trois opérations relatives à la cuisson : empilage des produits secs, cuisson proprement dite, dépilage des produits cuits (voir schémas de fonctionnement ci-contre).

Remarques :

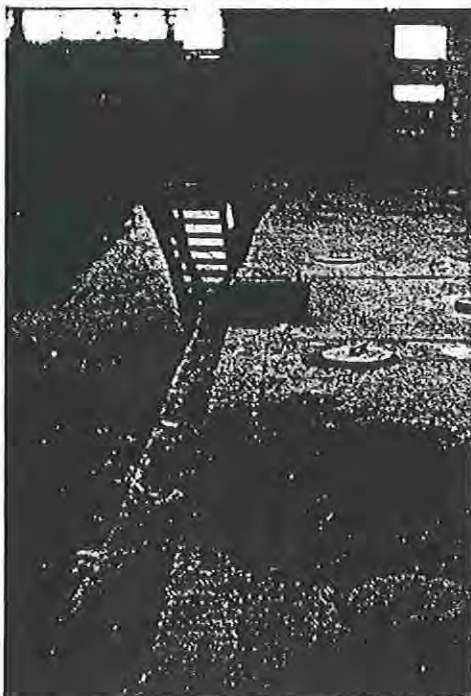
- ce type de fours, de par sa conception, n'est pas utilisé en-dessous d'un tonnage journalier de l'ordre de 30 tonnes par jour. Le tonnage maximum possible étant de l'ordre de 100 tonnes par jour.
- les dimensions d'un tel four (comme tous les fours quels qu'ils soient d'ailleurs) sont toujours calculées en fonction du tonnage journalier à cuire, du cycle de cuisson ainsi que des produits à cuire.
- une récupération artificielle de la chaleur (qui s'effectue dans la zone 5) par ventilateur, relié par une gaine aux séchoirs (notamment dans le cas de séchoirs artificiels) permet un gain appréciable de combustible pour le séchage.

Fig. 22 Four Hoffmann

Empilage de briques platrières dans une galerie de four Hoffmann



Vue de dessus d'un four Hoffmann
On aperçoit quelques puits de chauffe



Empilage mixte (briques, tuiles) dans un four Hoffmann

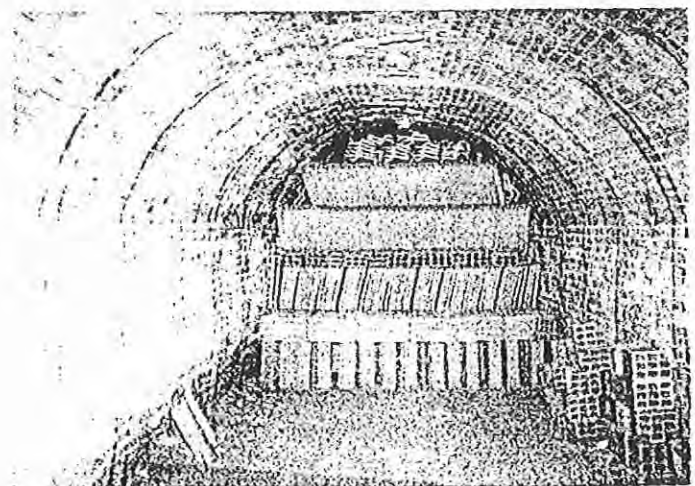
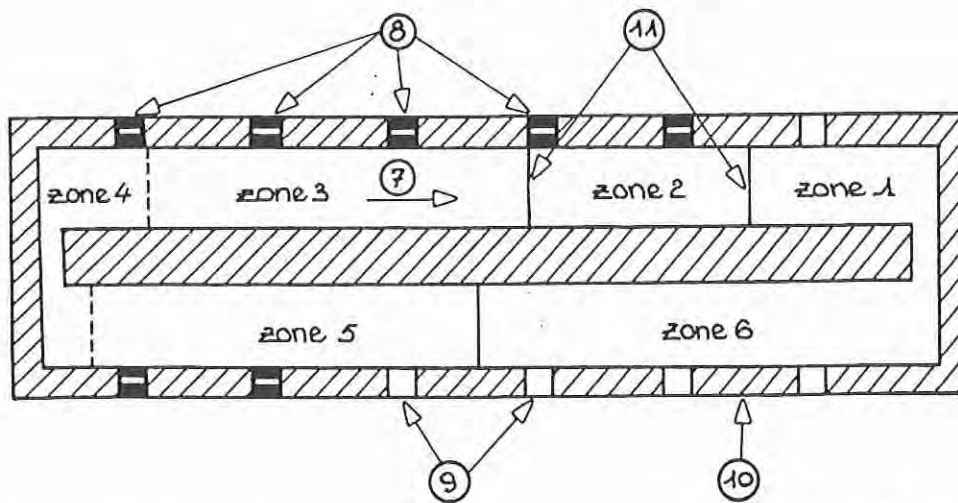


Fig. 23 Four Hoffmann à 2 galeries
(Principe de fonctionnement)



Zone 1 : Empilage des produits secs

Zone 2 : Produits secs empilés prêts à la cuisson. Entre la zone 1 et 2, les enfourneurs ont placé un papier dans toute la section de la galerie pour éviter les entrées d'air froid dans la zone de préchauffage. Dans le même but, un autre papier a été mis en place entre la zone 2 et 3. Ces papiers seront brûlés à l'aide d'une torche par les cuiseurs au fur et à mesure de l'avancement du feu.

Zone 3 : Préchauffage des produits

Zone 4 : Plein feu. C'est dans cette zone que s'effectue l'alimentation en combustible. Cette opération s'effectue par le dessus du four par des orifices appelés "puits de chauffe".

Zone 5 : Refroidissement des produits.

Les zones 3, 4 et 5 constituent donc le cycle de cuisson qui est très variable en fonction des produits à cuire (en moyenne de l'ordre de 3 jours).

7 : Sens d'avancement du feu ; celui-ci avance par déplacement manuel de "pipes de tirage" reliées à un ventilateur d'extraction des fumées par un car-

neau. Il est bien entendu que toutes les zones se déplacent en fonction de l'avancement du feu et ceci notamment pour les zones 3, 4, et 5, qui doivent rester absolument constantes.

8 : Portes fermées (ici 7 portes)

9 : Portes ouvertes (ici 5 portes)

Les portes latérales permettent l'enfournement et le défournement des produits. Ces différentes opérations s'effectuent à l'aide de brouettes à plateau. Notons tout de même que certains types de fours sont ouverts aux extrémités afin de permettre une manutention des produits à l'intérieur du four par chariot élévateur muni d'une pince spéciale.

10 : Maçonnerie du four constituée en principe de deux murs : le mur intérieur, en contact avec le feu, est généralement construit en briques pleines de terre cuite de bonne qualité ; le mur extérieur est généralement construit en pierres ou éléments de construction identiques. Le remplissage entre les murs intérieur et extérieur est en principe fait avec de la terre battue.

11 : Papiers permettant l'isolation entre la zone d'empilage des produits secs et la zone de cuisson.

5.2.2. Fours-Tunnels

Après avoir fait un tour d'horizon sur les fours les plus souvent utilisés dans l'industrie de la terre cuite depuis de nombreuses années, nous allons terminer ce chapitre en étudiant succinctement les four-tunnels qui n'ont été utilisés dans cette industrie que depuis une trentaine d'années environ. A l'échelle industrielle, ce type de four a remplacé (et remplace encore) les autres types de fours : c'est dire que, ce four offre le système de cuisson le plus moderne actuellement connu. Nous avons bien précisé à l'échelle industrielle car l'utilisation de ce type de fours ne peut s'envisager qu'à partir d'une production journalière minimum assez importante (environ 60 à 70 tonnes par jour). La production maximum étant pratiquement illimitée, certains fours produisent en effet jusqu'à 1000 tonnes par jour.

Il existe différentes versions de four-tunnels (en fonction des constructeurs), depuis la version traditionnelle utilisant une construction classique (maçonnerie en briques et voûte cintrée) jusqu'à une version, qui est apparue depuis une dizaine d'années, du type four préfabriqué appelé "four casing" à voûte plate (composé d'un blindage métallique extérieur). De toute façon, quel qu'en soit la conception, le principe du four reste identique. En fait, le fonctionnement du four-tunnel est assez analogue à celui d'un four Hoffmann : la différence essentielle est que dans ce type de fours, les produits sont empilés et dépilés à l'extérieur du four et circulent sur des wagons, la position du feu étant fixe par rapport à la maçonnerie du four. Il faut noter que de ce fait (mobilité des produits dans le four), la construction d'un tel four exige un soin plus grand que pour tout autre four afin d'éviter lors de la marche des déformations intérieures du tunnel qui bloqueraient la circulation des wagons. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de construire la partie de la zone de feu en briques réfractaires. La manutention des wagons à l'intérieur du four s'effectue à l'aide d'une pous-seuse hydraulique. Le transfert des wagons de la voie du four aux voies extérieures s'effectue à l'aide de transbordeurs (un transbordeur à l'entrée et un à la sortie du four).

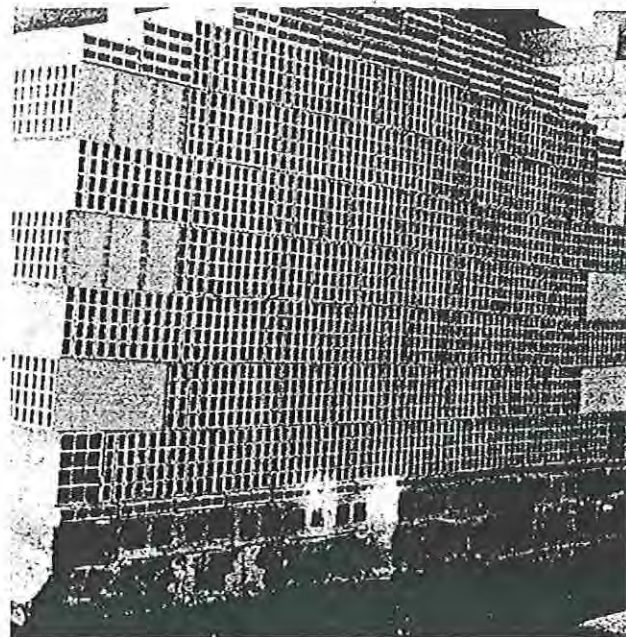


Fig. 24 Empilage de briques sur un wagon de four tunnel circulant sur une voie extérieure au four.

Les trois photos suivantes montrent un four-tunnel classique à voûte cintrée en construction.

Fig. 25 Début de la construction des piédroits du four



Fig. 26 Suite de la construction
Les piédroits intérieurs en
briques réfractaires dans la
zone de cuisson arrivent à la
naissance de la voûte cintrée.



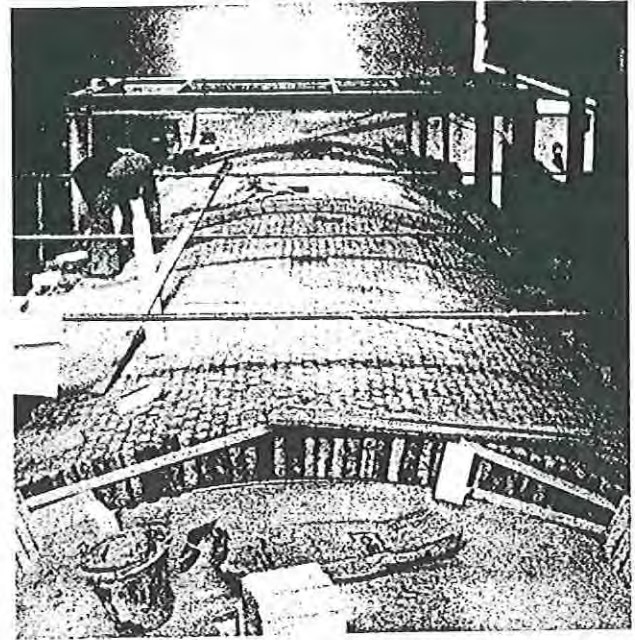
Pour fixer les idées, nous donnons quelques caractéristiques de ce four :

- . tonnage journalier produit en briques creuses : 85 tonnes
- . longueur du four : 65,50 m
- . largeur des wagons (largeur empilage des produits) : 2,70 m
- . hauteur moyenne de l'empilage : 1,40 m
- . cycle de cuisson : environ 32 heures (briques creuses).

5.3. Les fours semi-continus

Ce type de fours représente une variante entre les fours intermittents et les fours à feu continu. Ils sont généralement composés d'une galerie assez longue, que l'on alimente en combustible à une extrémité d'une façon identique à un

Fig. 27 Construction de la voûte cintrée



four couché pour le démarrage de la cuisson. La suite de la cuisson se fait par des puits de chauffe situés en voûte (feu mobile). Du fait de la longueur de la galerie (jusqu'à 25 m), l'extraction des fumées s'opère soit par un ventilateur soit par une grande cheminée en briques (hauteur de 15 à 25 mètres).

Récapitulatif - Capacités des fours

Intermittent	Cuisson à la volée	3-4 t/jour
	Four droit amélioré	10-30 t/jour
Continu	Four Hofmann	30-100 t/jour
	Four tunnel	60-1000 t/jour

5.4. Contrôle des températures

Nous avons vu dans la partie "cuisson à la volée" qu'un moyen très simple de contrôler la fin de cuisson consistait à mesurer le retrait de la charge à l'aide d'une pige.

Lorsque des orifices permettent de voir l'intérieur du four, un moyen complémentaire consiste à juger de la couleur des produits.

On peut juger la température de cuisson à l'oeil également :

- Rouge sombre : 650°C
- Rouge cerise naissant : 800°C
- Rouge cerise : 900°C
- Rouge cerise clair : 1000°C

Notons également que des moyens modernes (cannes pyrométriques reliées à des appareils enregistreurs, indicateurs ou régulateurs) permettent d'obtenir des résultats très précis.

6. CONSOMMATION D'ÉNERGIE COMBUSTIBLES

6.1. Généralités

L'industrie de la terre cuite fait appel à d'importantes quantités de chaleur lors du séchage (séchoir artificiel) et notamment au stade de la cuisson. Cette chaleur, dans l'état actuel des techniques, est obtenue par combustion de certains éléments appelés combustibles.

Notons tout de suite que cette consommation d'énergie intervient pour une part très importante dans le prix de revient et qu'il est donc nécessaire de veiller à une utilisation rationnelle de ces combustibles (le coût de l'énergie thermique en France représente, selon les fabrications, généralement de 15 à 35 % du prix de revient des produits).

6.2. Unités de mesure

6.2.1. Unité de chaleur

L'unité de chaleur dans le système international est le joule (j). En réalité,

cette unité légale est peu utilisée par les thermiciens qui expriment les quantités de chaleur en *thermies* ou en *kilocalories*.

$$(1 \text{ thermie (th)} = 1000 \text{ kilocalories (Kcal)} \\ = 418 \times 10^4 \text{ j.})$$

6.2.2. Pouvoir calorifique des combustibles

La combustion d'une quantité donnée d'un combustible engendre une quantité de chaleur directement liée à la nature de ce combustible : d'où la notion de pouvoir calorifique.

Le pouvoir calorifique d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de poids (pour les combustibles solides et liquides) ou de l'unité de volume (pour les combustibles gazeux) de ce combustible.

Le pouvoir calorifique s'exprime donc en Kcal/kg ou en Kcal/m³.

Le pouvoir calorifique est dit supérieur (PCs) lorsque l'eau, contenue dans les produits de la combustion, est supposée condensée.

Le pouvoir calorifique est dit inférieur (PCi) lorsque l'eau est supposée à l'état de vapeur (cas sur le plan pratique de l'utilisation des combustibles dans le domaine de la terre cuite).

6.3. Différents combustibles utilisés pour la terre cuite

On distingue :

- . les combustibles solides
- . les combustibles liquides
- . les combustibles gazeux

6.3.1. Les combustibles solides

Les combustibles solides pouvant être utilisés dans l'industrie de la terre cuite forment une gamme très vaste. Citons à titre d'exemple : les charbons, le bois, la sciure de bois, la coque d'arachide, le tourteau d'arachide, les grignons d'olives, les coques de noix de coco, les tourbes, le bambou, les cosses de riz, les graines de coton, ainsi que tous les déchets végétaux de récupération.

Il est à noter que l'utilisation de ces différents combustibles nécessite un séchage avant leur utilisation. En effet, la teneur en eau diminue sensiblement le pouvoir calorifique (exemple des pommes de sapin sur le tableau : 1 kg de pommes de sapin donne une chaleur de 4000 Kcal, si sa teneur en eau est de 15 % ; il faudra pratiquement 2 kg de

pommes de sapin pour obtenir la même quantité de chaleur si ces pommes contiennent 50 % d'eau). Ceci montre bien l'intérêt de stocker le ou les combustible(s) utilisé(s) à l'abri de l'humidité, ceci dans un endroit bien aéré pour que le séchage soit le plus complet possible.

Fig. 28 Pouvoir calorifique inférieur de quelques combustibles solides

Désignation	Teneur en eau en %	P.C.I. Kilocalories/kg
BOIS		
. chêne (branches)	15	3600
. chêne (copeaux)	8	2000
. épicéa (bûches)	20	3300
. pommes de sapin	50	2100
. pommes de sapin	15	4000
. sciure de bois	17	3670
VEGETAUX		
. bambou	10	3775
. coques d'arachides	8	4400
. coques de noix de coco	13	3800
. cosses de riz	8	3200
. déchets de coton	7	2800
. farine de tourteaux	10	3770
. feuilles de canne à sucre	8,5	3770
CHARBON		
. charbon moyen		6600
TOURBE		
	30	3300

6.3.2. Combustibles liquides

Les plus utilisés de ces combustibles dans l'industrie de la terre cuite sont essentiellement :

- . le fuel-oil domestique
- . le fuel-oil lourd

Le fuel-oil domestique peut être utilisé pour la fabrication de petits tonnages mais son coût est en principe élevé. Le fuel-oil lourd est le plus utilisé, son coût étant moins prohibitif mais son utilisation demande un réchauffage à environ 110/120°C du fait de sa viscosité importante à la température ambiante. Le pouvoir calorifique inférieur des fuels est très supérieur à celui des combustibles solides usuels puisqu'il se situe généralement entre 9500 et 10000 Kcal/kg.

6.3.3. Combustibles gazeux

Le gaz est un combustible intéressant mais malheureusement, dans la plupart des pays en voie de développement (en dehors de certains pays producteurs), il reste un produit très cher.

6.4. Consommations usuelles

Nous donnons ci-dessous quelques chiffres de consommation couramment admis par la profession ; notons que ces chiffres représentent des consommations normales, mesurées sur des fours bien réglés et de bonne construction. Il est certain que les consommations sont très variables pour un même type de four, en fonction de la température de cuisson, des produits, de l'empilage, de la nature de l'argile, etc...

Toutes les consommations sont ramenées à la tonne cuite sortie du four (il est donc nécessaire de connaître le poids des produits cuits ainsi que le nombre pour établir une comparaison).

Remarques :

- Une consommation nettement inférieure au chiffre du tableau ci-dessous, notamment en ce qui concerne les fours intermittents, prouvera en principe que la cuisson n'a pas été menée à son terme (d'où une qualité très médiocre des produits).

- Une consommation nettement supérieure n'est pas non plus normale (surcuisson des produits, mauvais réglages du four, mauvaise isolation du four... etc.)

La consommation des fours à la volée ne figure pas sur ce tableau car celle-ci peut être très différente d'un four à un autre en fonction de la conception du four. On peut noter cependant que la consommation d'un tel type de four sera toujours supérieure à celle d'un four droit.

TYPE DE FOUR	Consommations moyennes normales
Four intermittent (four droit, four couché amélioré)	1.200 à 2.000 thermies/tonne cuite
Four Hoffmann	300 à 400 thermies/tonne cuite
Four-tunnel	250 à 350 thermies/tonne cuite

QUATRIÈME PARTIE

Étude de Cas

1. Petite production artisanale de briques pleines en GUINEE. _____ 35
2. Unités artisanales de petite capacité en Tunisie. _____ 37
 - 2.1. Briqueterie de Nabeul.
 - 2.2. Briqueterie de l'Ouest.
3. Tuilerie - briqueterie Lagonotte (France). _____ 41

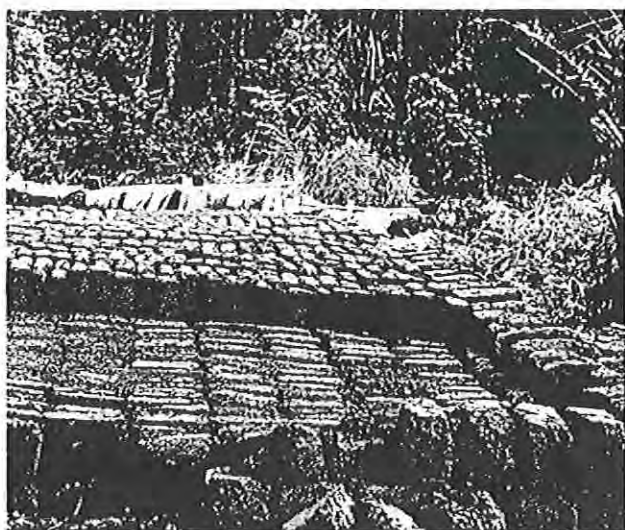
1. Petite production artisanale de briques pleines en GUINÉE

Il s'agit d'une fabrication manuelle de briques pleines de grand format (de l'ordre de 15 x 20 x 30 cm). On utilise un moule en bois sous le seul abri de la briqueterie.

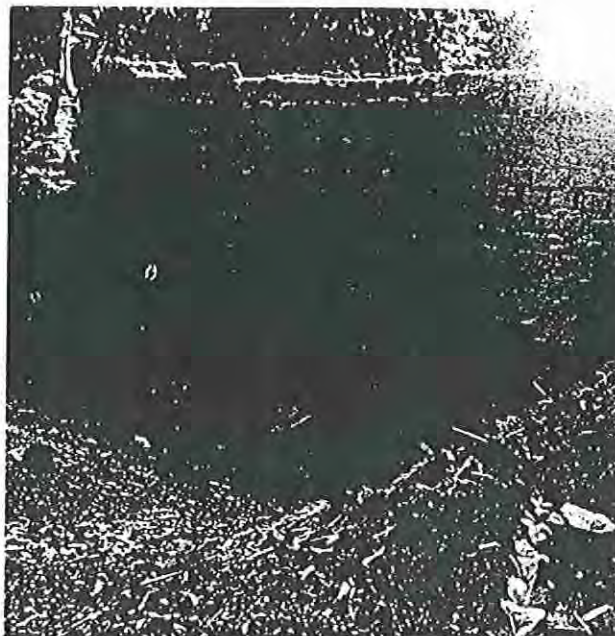
La fabrication s'effectue sur le lieu même d'extraction. La préparation de la pâte est réalisée dans les trous creusés manuellement pour l'extraction de l'argile (ces trous sont remplis d'eau lors de la saison des pluies).



Le séchage s'effectue à l'air libre. On voit ici les dégradations subies par les produits lors d'une forte pluie.

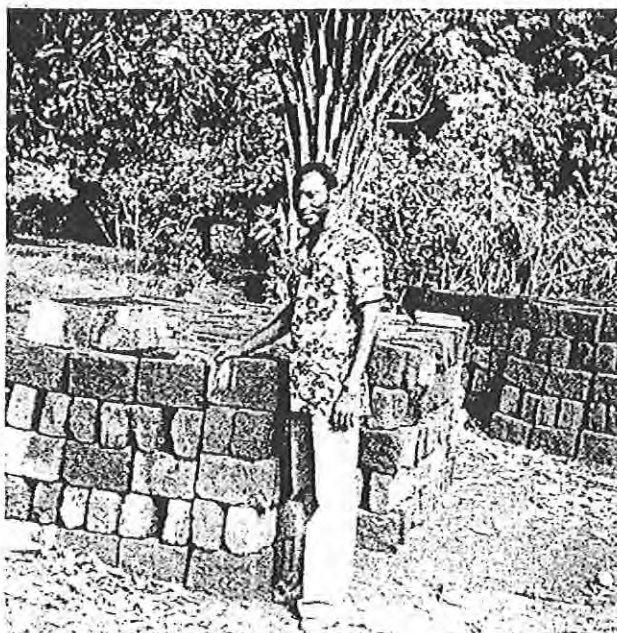


La cuisson s'effectue dans un four droit ouvert à 3 foyers. Le combustible utilisé est le bois.



Four droit ouvert en voûte

Stock de produits cuits. On trouve dans ce stock, des produits totalement incuits (qui s'effritent à la main) et de forme très irrégulière.



Remarques sur cette petite production artisanale.

Les précédentes illustrations sont assez éloquentes, car elles montrent bien la précarité d'une telle installation, qui pourrait être améliorée facilement, et à moindre coût, compte tenu de ce que nous avons dit au cours de cette étude.

Diverses améliorations pourraient être apportées, notamment :

1. *à l'extraction de l'argile* : Nécessité d'extraire l'argile par ouverture d'un front de taille (voir photo dans l'étude de cas de la briqueterie LAGONOTTE) afin d'obtenir une meilleure homogénéité de la pâte et faciliter l'écoulement de l'eau de pluie.

2. *à la fabrication* :

- . utilisation d'un bac pour la préparation de la pâte ;
- . fabrication de briques pleines de plus petit format.

3. *au séchage* (voir paragraphe "séchage à l'air libre des briques pleines" et les photos de l'étude de cas "briqueterie LAGONOTTE").

4. *à la cuisson* : Les différentes améliorations possibles à la fabrication et au séchage ainsi qu'un empilage aéré des produits dans le four et un contrôle sérieux de la cuisson garantiraient une meilleure qualité aux produits cuits.

2. Unités industrielles de petite capacité en TUNISIE

La Tunisie est un pays où la construction a été et reste orientée vers l'utilisation de produits de terre cuite. De ce fait, le pays possède un potentiel important de briqueteries qui vont de l'entreprise artisanale à l'entreprise industrielle. Nous présentons ci-dessous deux cas d'entreprises ; la première, la briqueterie "Brique de Nabeul" est une entreprise familiale depuis de nombreuses générations, la seconde "Briqueterie de l'Ouest" est de création récente (1982).

2.1. "Brique de Nabeul"

A travers cet exemple, il s'agit de montrer comment une briqueterie peut évoluer d'une part en améliorant la qualité des produits pour s'adapter aux besoins du marché et d'autre part par augmentation de la production.

Cette unité ne fabriquait jusqu'au début des années 70 que des petits produits creux du type à 6 trous aux dimensions approximatives suivantes (45 x 105 x 212) ; ces produits étant très utilisés en Tunisie en remplacement de la brique pleine normale pour les raisons techniques suivantes : la brique pleine est considérée comme un matériau lourd, pour sa mise en oeuvre ; de plus sa fabrication, notamment aux stades du séchage et de la cuisson, présentait des inconvénients importants par rapport à une brique creuse de même format (séchage artificiel, consommation d'énergie plus importante).

L'installation comprenait donc à l'époque :

- . Une extraction manuelle de l'argile à la pioche et à la pelle.
- . Une préparation par malaxage manuel dans une fosse (voir paragraphe "préparation manuelle").
- . Une fabrication dite par étirage en pâte humide (25 à 30 % d'eau) obtenue à l'aide d'une mouleuse à moteur thermique sous vide.
- . Le séchage s'effectuait naturellement à l'air libre en halettes.

- . La cuisson était faite dans un four droit chauffé au bois.
- . La production mensuelle de cette unité était de l'ordre de 60 à 70 tonnes.

Dans les années 1972, 1973, l'usine s'est équipée afin de produire une gamme de produits plus importants et d'augmenter sa production. Pour cela, l'investissement a porté sur l'achat d'une chaîne complète de préparation / fabrication ainsi que la construction d'un four Hoffmann. *La production a nettement augmenté puisqu'elle est passée à environ 30 tonnes par jour.* Certains produits demandés par le marché qui n'avaient pu être fabriqués avec l'ancienne installation comme des briques creuses de 15 x 20 x 30 cm ont pu être fabriqués avec la nouvelle. En raison de la quantité d'argile plus importante à traiter, l'usine, ne pouvant pas investir dans du matériel de carrière, a préféré sous-traiter ce poste à une entreprise locale, qui se charge de l'extraction ainsi que du transport de la matière première jusqu'à un stock tampon situé devant le distributeur.

La chaîne de préparation/fabrication comprend successivement :

- . 1 distributeur de brut à tablier métallique :
 - longueur : 4 m
 - largeur : 1 m
 - puissance installée : 3 CV
- . 1 broyeur désagrégateur
 - diamètre du cylindre lisse : 600 mm
 - diamètre du cylindre à barrettes : 300 mm
 - largeur des cylindres : 600 mm
 - puissance installée : 10 CV
- . 1 mouilleur-mélangeur :
 - longueur utile de la cuve : 2.500 mm
 - largeur utile de la cuve : 650 mm
 - puissance installée : 15 CV
- . 1 broyeur-finisser :
 - diamètre des cylindres : 600 mm
 - largeur des cylindres : 600 mm
 - puissance installée : 40 CV
- . 1 mouleuse sous vide :
 - diamètre de l'hélice : 400 mm
 - puissance installée : 50 CV

Cet ensemble est complété par :

- . 4 tapis de liaison
- . un coupeur automatique placé à la sortie de la mouleuse
- . une armoire électrique groupant l'ensemble des commandes des différents appareils.

NOTA : Une telle installation permet une production horaire de l'ordre de 7 tonnes par heure et son coût actuel est d'environ 900.000 FF F.O.B.

Le séchage s'effectue toujours à l'air libre. Le four Hoffmann possède les caractéristiques suivantes :

- . longueur d'une galerie : 26 m
- . largeur intérieure d'une galerie : 2,30 m
- . hauteur à la clef de voûte : 2,40 m
- . hauteur moyenne d'empilage : 2,10 m
- . longueur développée du four : 52 m
- . nombre de puits de chauffe par rang : 3
- . nombre total de puits de chauffe : 126
- . nombre de portes latérales par galerie : 5
- . dimensions hors-tout des maçonneries :
 - longueur : 30 m
 - largeur : 9,20 m
 - hauteur : 3,20 m
- . le combustible utilisé pour la cuisson est le fuel-oil lourd. Deux centrales mobiles à impulsion à 6 injecteurs chacune assurent la cuisson. La régulation de la température s'effectue automatiquement à l'aide de régulateurs de température et de cannes pyrométriques.
- . l'empilage et le dépilage des produits s'effectuent à l'aide de brouettes à plateau.
- . un ventilateur centrifuge assure l'extraction des fumées du four (la puissance installée est de l'ordre de 10 CV).
- . le four ne possède pas de ventilateur de récupération d'air chaud du fait du séchage à l'air libre.

Remarques :

Le fuel lourd a été utilisé sur ce four du fait de son prix assez intéressant en Tunisie à l'époque de l'investissement.

Pour un tel tonnage (25 tonnes par jour), la cuisson pourrait s'effectuer à l'aide de combustibles de récupération tels les grignons d'olive, très utilisés par certains briquetiers en Tunisie sur des fours droits ou semi-continus. En effet, outre le prix d'achat du fuel lourd qui est en général très élevé dans les pays en voie de développement, son utilisation demande une installation relativement coûteuse ; cuve de stockage, réchauffage et pompage ; au niveau de cette cuve, boucle de distribution au four avec petit réservoir tampon muni de réchauffeur ; 2 à 3 centrales de distribution. Cet ensemble représente environ une puissance installée de 40 CV et un investissement de l'ordre de 350.000 FF.

Le coût d'une installation utilisant un combustible de récupération préalablement séché pourrait être nettement inférieur. En effet, il suffirait d'installer un système de vis sans fin (coût 40.000 FF environ) ou un système analogue pour acheminer le combustible sur le four. La cuisson pourrait alors s'effectuer manuellement : le cuiseur alimente le four en combustible, à l'aide d'une petite pelle doseuse, en envoyant périodiquement dans les puits de chauffe une certaine quantité de ce combustible. Nous signalons qu'un certain nombre de petits industriels tunisiens alimentent ainsi leurs fours semi-continus en grignons d'olives. L'auteur a lui-même utilisé cette technique sur un four Hoffmann en Afrique Noire avec des coques d'arachide ; une usine de Lomé au Togo emploie actuellement cette technique en utilisant deux combustibles (graines de coton, coques de palmistes).

En dehors de cette considération, le coût d'un tel four Hoffmann dépend essentiellement du coût des matériaux locaux (briques pleines rouges, pierres, ciment) ainsi que de la main-d'oeuvre locale.

2.2. "Briqueterie de l'Ouest"

Cette usine a été implantée dans une région où le manque de matériaux de construction se faisait sentir et où existait une belle carrière d'argile plastique. Elle est prévue pour fabriquer 25.000 tonnes par an, en 300 jours de travail à la préparation/fabrication de produits de différents formats et en particulier :

briques rouges 15 x 20 x 30 cm, poids
cuit unitaire : 6,5 kg

briques rouges 10 x 20 x 30 cm, poids
cuit unitaire : 4,4 kg

Hourdis pour planchers sur coffrage :
16 x 30 x 33 poids cuit unitaire : 7 kg
19 x 30 x 33 poids cuit unitaire : 9 kg

On organise la production de la façon
suivante :

Préparation/fabrication : 300 jours par
an et 6 jours par semaine. Soit un ton-
nage journalier de : $\frac{25.000}{300} = 83$ tonnes

Cuisson : 7 jours sur 7 soit un tonnage
journalier de :
 $\frac{83 \times 6}{7} = 71$ tonnes

*LA PREPARATION:FABRICATION est du type
classique et comprend :*

- . 1 distributeur-doseur :
 - longueur : 4 m
 - largeur : 1 m
- . 1 broyeur-désagrégateur
 - diamètre des cylindres : 300 et 600 mm
- . 1 broyeur-dégrossisseur
 - diamètre des cylindres : 800 mm
 - largeur des cylindres : 600 mm
- . 1 mouilleur-mélangeur
 - longueur de la cuve : 2,50 m
 - largeur de la cuve : 810 mm
- . 1 broyeur-finisser
 - diamètre des cylindres : 800 mm
 - largeur des cylindres : 600 mm
- . 1 mouleuse sous vide
 - diamètre hélice : 450 mm.

Cet ensemble de construction française,
complété par un coupeur automatique et
une armoire de commandes est prévu pour
fabriquer 10 tonnes par heure de pro-
duits. Son coût actuel est de l'ordre
de 1.700.000 FF. La puissance globale
installée est de 235 CV.

SECHAGE

Le séchage est assuré par un séchoir à
chambres du type décrit au paragraphe
"Séchoirs".

- . Les dimensions utiles d'une chambre
sont :
 - longueur : 10 m
 - largeur : 2,40 m
 - hauteur : 2 m
- . Nombre de chambres : 12
- . Nombre de casiers par chambre : 20
- . Le cycle de séchage minimum est de
24 heures.
- . L'air chaud est produit par un généra-
teur d'une puissance calorifique de
900 thermies/heure et le combustible
utilisé est le fuel lourd.
- . La puissance totale installée est de
150 CV (prévue pour séchage en 24
heures).

CUISSON

La cuisson s'effectue dans un four-tunnel
classique à voûte cintrée et aux caracté-
ristiques suivantes :

- . longueur totale du four (avec sas) : 65 m
- . longueur des wagons : 2,60 m
- . nombre de wagons dans le four : 24
- . nombre de wagons sur les voies exté-
rieures, constituant la réserve de
cuisson pour 32 heures d'arrêt continu
à la fabrication : 20
- . Dimensions utiles des empilages
(2 empilages par wagon)
 - . longueur : 0,90 m
 - . largeur : 2,20 m
 - . hauteur moyenne : 1,40 m
- . Densité moyenne d'empilage
 - . briques creuses : 650 kg/m³
 - . hourdis : 350 kg/m³
- . Production journalière en briques
creuses : 71 tonnes
- . Température de cuisson : 900°C
- . Combustible utilisé : fuel lourd
- . Puissance totale installée environ :
110 CV

Données générales sur l'installation

- . La consommation globale (séchage / cuisson) est de l'ordre de 600 thermies à la tonne cuite.
- . La surface totale couverte est de 2.400 m².
- . L'effectif total de l'usine est d'environ 35 personnes, dont la totalité, en dehors du personnel d'entretien (mécanicien, électricien) a été formée sur place.
- . Le coût global d'une telle installation (génie civil, bâtiments, chaîne techno-

logique, accessoires) est très variable en fonction des différentes parts de réalisation du fournisseur et du briquetier. Le coût minimum pour un tel ensemble est de l'ordre de 10 millions de FF.

CONCLUSION

Cette unité représente un cas type de petite installation industrielle pouvant soit fonctionner au fuel lourd, soit par utilisation d'un combustible solide avec une distribution mécanisée adaptée.

3. Tuilerie-Briqueterie Lagonotte (FRANCE)

Voici un exemple d'usine artisanale qui met en oeuvre des moyens simples et obtient un bon rendement dans un pays où la plupart des usines se sont modernisées à outrance.

L'usine fabrique actuellement des tuiles plates d'un poids unitaire en cuit de 1 kg aux dimensions suivantes (en cuit)

longueur : 25 cm
largeur : 17 cm
épaisseur : 1 cm

soit 68 tuiles au m², ainsi que des briques pleines de 5,5 x 11 x 22 cm (poids cuit unitaire : 2,5 kg) et des accessoires de couverture.

Notons que cette petite unité existe depuis plusieurs générations et qu'un grand nombre d'aménagements a été apporté depuis sa création.

La production mensuelle actuelle est d'environ 70 tonnes dont environ 70 % de tuiles et accessoires et 15 % de briques.

Matière première et extraction :

La matière première est fournie par l'argile d'une carrière située à 2 km de l'usine. L'argile est plastique mais la couche n'est pas très épaisse (environ 2,50 m) et repose sur une couche de sable argileux qui apporte le dégraissant nécessaire pour la fabrication des briques pleines.

L'extraction de l'argile s'effectue à l'aide d'une pelle hydraulique et son transport jusqu'à l'usine avec un tracteur et une remorque.

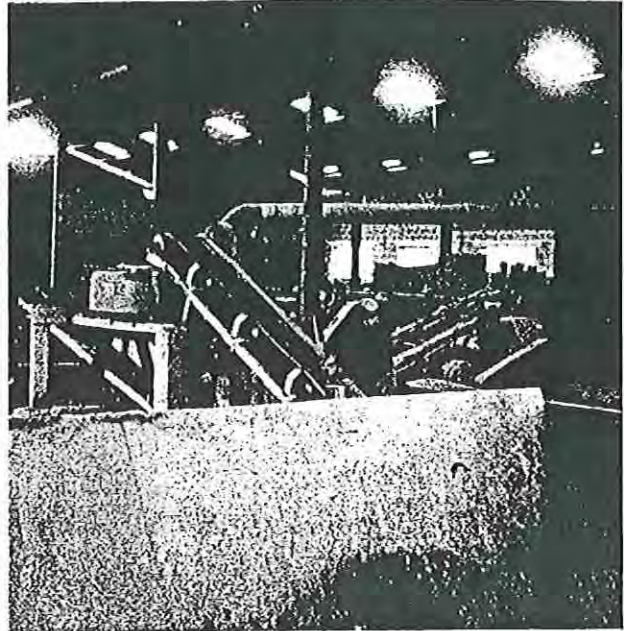
Préparation et façonnage :

La chaîne de préparation est du type classique et comprend :

- . 1 distributeur-doseur linéaire
- . 1 broyeur-dégrossisseur
- . 1 mouilleur-mélangeur
- . 1 broyeur-finisseur

La façonnage de tous les produits s'effectue à l'aide d'une mouleuse-étireuse sous vide de 300 mm de diamètre. L'humidité de fabrication est de l'ordre de 22 %. La production horaire en tuiles est d'environ 3.000 tuiles.

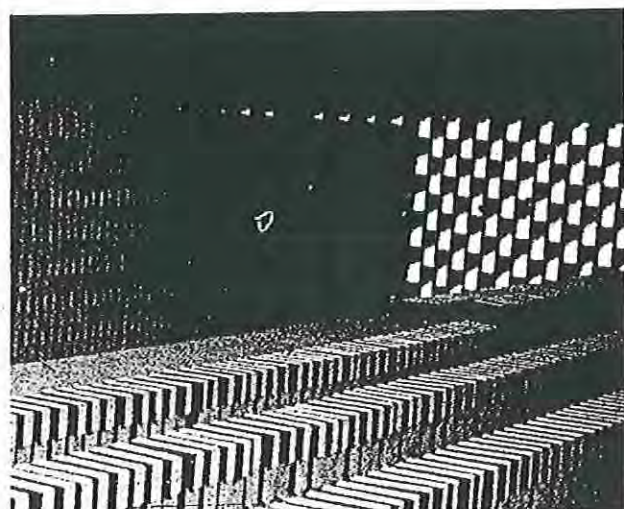
Un coupeur automatique muni d'un système spécial permet la coupe des produits ainsi que la découpe du tenon de maintien de la tuile.



La chaîne de préparation-fabrication (en premier plan la trémie du distributeur-doseur linéaire)

Séchage :

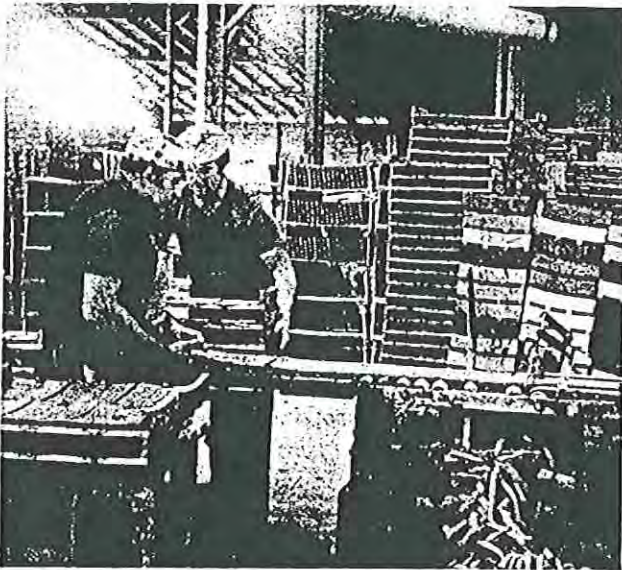
- . Le séchage des briques pleines s'effectue à l'air libre dans le bâtiment.



Vues du séchage à l'air libre à la tuilerie-Briqueterie LAGONOTTE (cf. paragraphe "Séchage à l'air libre de briques pleines").

- Le séchage des tuiles s'effectue dans des séchoirs à chambres classiques (4 chambres).

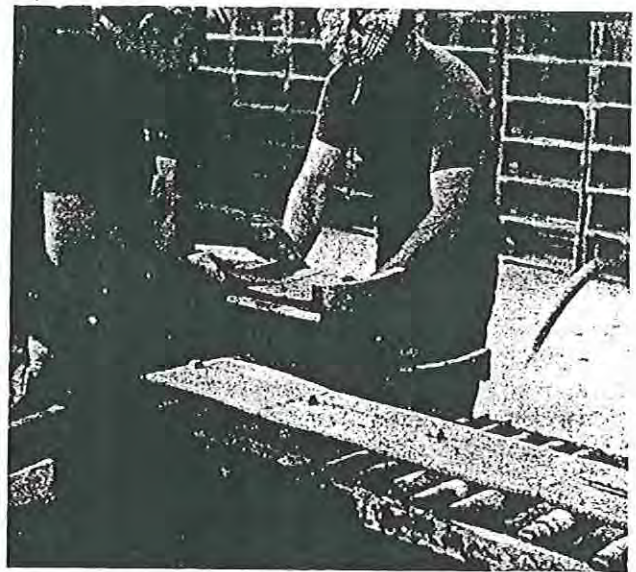
A la sortie du coupeur automatique, les tuiles sont placées manuellement sur des étagères en bois (3 tuiles en largeur). Ces étagères sont individuelles et sont conçues pour s'empiler les unes sur les autres de façon à former une charge de la hauteur utile du séchoir (environ 1,90 m) ; de plus leur fond



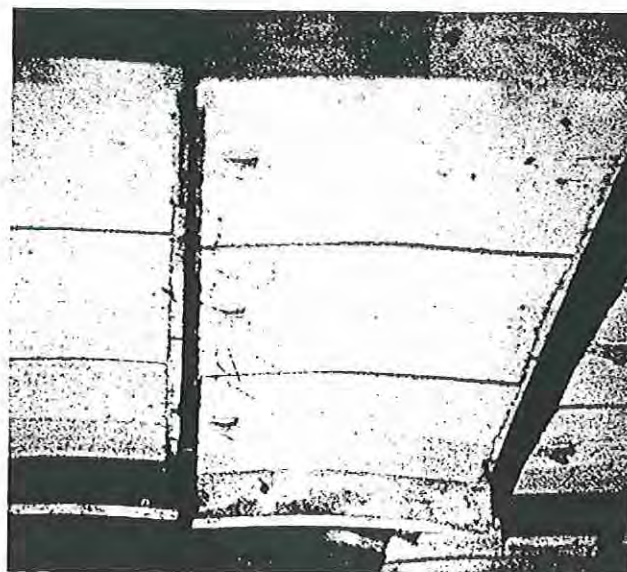
L'ouvrier prend les tuiles à la sortie de la mouleuse.

est légèrement bombé, ce qui permet à la tuile d'épouser cette forme et d'acquiescer ainsi son galbe final. Le transport des étagères au séchoir s'effectue à l'aide de brouettes à plateau.

- Le cycle de séchage est d'environ 3 jours. L'air chaud est fourni par une récupération de chaleur du four lors de son refroidissement (ventilateur centrifuge + gaine métallique).



L'ouvrier pose la tuile sur l'étagère.



Etagères chargées. On remarque la forme légèrement galbée des tuiles

Cuisson :

La cuisson s'effectue périodiquement (3 cuissons par mois) dans un four droit du type amélioré à voûte cintrée. La charge dans le four est constituée généralement de :

- . 2.000 briques pleines posées en pied d'empilage.
- . 20.000 tuiles plates et de quelques accessoires.

Le tonnage global par cuisson est d'environ 25 tonnes. Les dimensions du four sont approximativement les suivantes :

longueur intérieure : 3,40 m
largeur intérieure : 2,50 m
hauteur moyenne intérieure : 2,90 m

Soit un volume intérieur utile d'environ 25 m³. La densité d'enfournement est donc très importante (environ 1.000 kg au m³).

L'épaisseur des maçonneries du four est d'environ 1 m. Une porte (fermée à chaque cuisson avec des briques et un mortier d'argile) permet l'accès dans le four pour l'enfournement et le défournement des produits. Ces deux opérations s'effectuent manuellement et demandent respectivement à 4 personnes, 2,5 jours pour l'enfournement et 1 jour pour le défournement.

Le combustible utilisé pour la cuisson est du bois (résidus de scieries). Généralement, le cycle de cuisson s'effectue de la façon suivante :

- . 2 jours de petit feu (48 heures) avec une consommation moyenne de bois d'environ 8 m³.
- . environ 34 à 36 heures de grand feu avec une consommation moyenne de bois d'environ 22 m³.
- . le refroidissement s'effectue entre 2 et 3 jours (avec récupération d'air chaud pour le séchoir).

La consommation globale de bois pour la cuisson complète du four s'établit donc à environ 30 m³.

Si l'on considère que ces résidus ont un pouvoir calorifique moyen de 3.3000 thermies à la tonne et que la densité du bois compte tenu des vides est d'environ 0,35, nous pouvons calculer la consommation d'énergie calorifique à la tonne cuite :

- . 30 m³ : 25 tonnes = environ 1,2 m³ de bois à la tonne cuite.
- . 1,2 m³ de bois représente : $1,2 \times 0,35 = 0,42$ tonne de bois soit $0,42 \times 3.300$ thermies = environ 1.400 thermies par tonne de produit cuit ; la consommation est donc tout-à-fait normale pour ce type de four.

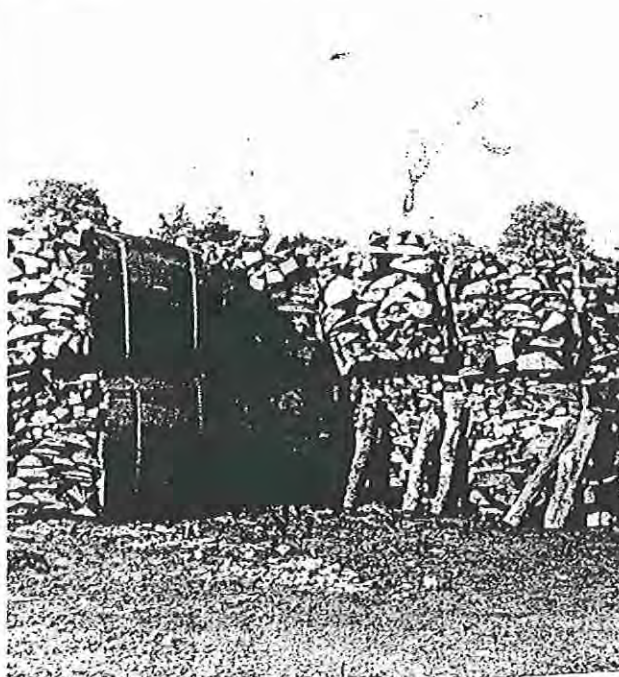
L'usine achète le bois 70 FF le m³
1,2 m³ de bois coûte donc : $70 \times 12 = 84$ FF

Le prix de vente de la tuile est de 0,93 FF pièce. Comme celle-ci pèse 1 kg, il y a 1.000 tuiles environ à la tonne et le prix de vente à la tonne cuite est donc de : 930 FF.

Le coût du combustible représente environ :
 $\frac{84 \times 100}{930} = 9\%$ du prix de vente, soit un chiffre très intéressant.

Notons également que le déchet de cuisson est pratiquement négligeable et que les produits sortant du four sont de très bonne qualité.

Le contrôle de la cuisson s'effectue traditionnellement à la pige et à l'oeil.



Stock de bois pour la cuisson.

COMPLEMENTS D'INFORMATION

- . La surface couverte des bâtiments est d'environ 1.300 m².
- . La force motrice est fournie par un transformateur de 80 KW et la puissance installée totale est de 70 CV.
- . L'effectif est de 4 personnes, plus le responsable.

- . L'usine fabriquait autrefois des briques creuses de différents formats qui séchaient à l'air libre dans des casiers en bois et qui étaient cuites dans le four droit.

Le cas de cette installation est particulièrement intéressant car il démontre que de petites entreprises peuvent fabriquer *des produits d'excellente qualité par la mise en oeuvre de moyens simples*, capables de rivaliser avec des produits fabriqués industriellement.

EN GUISE DE CONCLUSION

Je n'ai pas voulu dans ce document, établir de distinction très précise entre la production artisanale et la production industrielle car il n'y a pas de limites à l'extension, à la recherche d'une meilleure qualité dans le domaine de la terre cuite. Il n'y a seulement que des étapes à franchir, des aménagements successifs,

un savoir-faire qui s'acquiert avec l'expérience. Nous avons vu que les possibilités de fabrication sont multiples et adaptables en fonction de la matière première et des produits fabriqués.

Il est possible d'obtenir de bons produits façonnés à la main à condition que le séchage (même à l'air libre) soit bien suivi et que la cuisson soit bien adaptée. Une bonne cuisson ne peut être obtenue que dans un four bien conçu qui permettra en outre d'économiser au mieux l'énergie.

ANNEXES

1. <u>Organismes et personnes à consulter</u> (France-Etranger). _____	45
2. <u>Constructeurs de matériel et usines.</u> _____	46
3. <u>Bibliographie.</u> _____	47

ORGANISMES À CONSULTER

FRANCE

Bureau de Recherche Géologique et Minière
(BRGM)

B.P. 6009
45060 ORLEANS

Centre Technique des Tuiles et Briques
(CTTB)

200, avenue du Général de Gaule
92140 CLAMART

GRET
30 rue de Charonne
75011 PARIS

ÉTRANGER

A.T.D.A.
P.O. BOX 311 Gandhi Bhawan
Lucknow 226001 UP INDE

C.B.R.I. (Central Building Research Institute)
Roorkee UP INDE

C.O.R.T.
A-89 Madhavan New Delhi
110092 INDE

National Science Development Board
P.O. BOX 3596 Manille
PHILIPPINES

National Housing and Building Research
Unit
P.O. BOX 1964 Dar es Salaam
TANZANIE

Directorate of Building Research
P.O. BOX 15
84 Jalan Tamansari Bandung
INDONESIE

Projet ASECO
B.P. 2980 Bujumbura
BURUNDI

BIT
1211 GENEVE 22
SUISSE

COPIBO
B.P. 454 Kigali
RWANDA

O.N.U.D.I.
P.O. BOX 707
A-1011 Vienne AUTRICHE

I.T.D.G.
9 King Street
Covent Garden
Londres WC 2E 8HN ANGLETERRE

B.R.E.
Garston, Watford
WD2 7JR ANGLETERRE

S.K.A.T.
Varnbullstrasse 14
CH 9000 St Gallen SUISSE

V.I.T.A.
1815 North Lynn Street
Rosslyn Virginia 22209 USA

A.D.A.U.A.
B.P. 648 Ouagadougou
HAUTE-VOLTA

C.C.L.
Cacavelli B.P. 911
Lomé TOGO

CONSTRUCTEURS DE MATÉRIEL ET USINES

FRANCE

ALTECH (presse mécanisée)
Rue des Cordeliers
05200 EMBRUN

BERNAT SAULIERE
75 rue du Rey
81 103 - Castres

CERIC
18, rue Royale
75008 Paris

MORANDO-FRANCE
6, rue Prof. Florence
69 000 Lyon

O.C.I. OCCIDENTAL INDUSTRIE
3, rue de la Boétie
75 008 Paris

PELERIN
1, route d'Orcamps
02.200 Soissons

ÉTRANGER

AGEMAC
Igalada Sitges, Km 2
Vilanova Del Cami
Barcelone - ESPAGNE

BEDESCHI
35 010 Limena
Via Praimbole 40
ITALIE

BONGIOANNI
Via G.B. Bougianni 13
12 045 Fossano ITALIE

J.P.B. EXPORT S.A.
21 Hauswijkvaart
B-2800 Mechelen
BELGIQUE

FUCHS
Puntigamer Strasse 127
A-8055 Graz - AUTRICHE

HANDLE
P.O. BOX 1251
D-7130 Mühlacker - R.F.A.

KELLER
4533 Laggenbeck
Postfach 34 R.F.A.

LINGL
7910 Neu Ulm
Postfach 1629 R.F.A.

MORANDO
Corso Torino 10
14100 Asti
ITALIE

Fernand PLATBROOD
(Presse manuelle)
20 rue de la Rieze
B-6404 - Cul-des-Sarts-
Louvin - BELGIQUE

RIEDHAMMER
D. 85 Nurnberg
Schleifweg 45 R.F.A.

VERDES
(groupe Agemac)
Carretera Igalada Sitges Km 2
Igalada - ESPAGNE

BIBLIOGRAPHIE

- Hand moulded burnt clay bricks - Labor intensive production, 40 p. ONUDI by M. Buchanan.
- Case study data on productivity and factory performance : brick and tile (by the stiff mud process). par J.P. Mitchell, United States Department of Labor, 85 p.
- Creation d'une industrie de la tuile et de la brique dans les PVD, ONUDI, 140 p, 1969.
- Développement des matériaux de construction à base d'argile en Afrique, ONUDI, 32 p.
- Burnt clay brick, BRU DATA SHEETS, National Housing and Building Research Unit, 1973, Tanzanie
- Projet d'amélioration d'une briqueterie artisanale, PNUD, Haute-Volta, 1974.
- Father meijer's brick : a new type of burned clay brick for construction purposes in Bangladesh, 16 p, VITA, 1975.
- Industry profile of common brickmaking plant, I. Knizek, ONUDI, 130 p, 1975.
- La Poterie : les Fours, Daniel Rhodes, 252 p. Dessain et Cobra ed., 1976.
- La fabrication à une faible échelle des briques cuites pour la construction, D. Thomas, 20 p. VITA, 1976.
- Activities for the development of the structural clay industry in Indonesia, Ministry of Industry, 12 p. 1977
- A feasibility study of a gaz fired brick kiln in Bangladesh, Asian Institute of Technology (Bangkok), 67 p, 1977.
- Brickmaking in Developing Countries, J.P.M. Parry, BRE, 88 p. 1974.
- La Terre Cuite, l'Architecture Belge en Terre Cuite de 1200 à 1940, Mardaga ed., 200 p, 1979.
- Tijolos 1, Relatório do projecto, Universidade E. Mondlane, Mozambique, 200 p, 1979.
- Process Profile : bricks, CBRI, 18 p, 1980.
- Produits de terre cuite du bâtiment, caractéristiques, emploi et mise en oeuvre, CTTB, 202 p. 1981.
- Pourquoi et comment créer une briqueterie dans un PVD, CTTB, 15 p. 1981.
- Innovation et adaptation de technologies pour l'industrialisation des pays africains : le cas des matériaux alternatifs au ciment, Y. Cabannes - Sid Boubeker, GRET, 47 p, 1182.
- L'utilisation des combustibles solides dans la fabrication de briques et tuiles, F. Nourbakhsh, GRET, 1983
- Technical options in brick and tile production. J.M. Parry I.T.W. 1983.
- Small scale brickmaking, B.I.T. 210 p, 1984.
- Approche énergétique de la fabrication de la brique cuite dans les PVD (Etude de cas d'Addis Abeba) T. des Lauriers, ENPC/GRET, 110 p, 1983.
- Production de brique cuite - Catalogue de ressources - P. Baloso, GRET, 161 p, 1983.

Achévé d'imprimer
par Corlet, Imprimeur, S.A.
14110 Condé-sur-Noireau



N° d'imprimeur : 7164
Dépôt légal : novembre 1985
Imprimé en France

Les dossiers « Le point sur... » sont rédigés en réponse à de très nombreuses demandes d'informations techniques adressées au GRET, venant généralement des pays en développement. Pour des sujets tels que la transformation à l'échelle artisanale de produits alimentaires ou de matériaux, les alternatives techniques pour l'équipement rural..., on constate qu'il existe peu de publications disponibles, alors que la matière existe pour peu que l'on ait accès à la documentation disponible, ou qu'on tire parti de toutes les expériences qui ont pu être développées...

Dans chaque dossier publié, on trouvera rassemblées des indications sur des techniques et des procédés, des références à des expériences et des réalisations, des conseils pratiques ; une place est réservée aussi à la bibliographie utile et au répertoire d'organismes ou de personnes qui font des recherches, expérimentent, vendent.

Comme son nom l'indique, ce dossier veut faire «le point sur» une technique ou un procédé : il ne prétend pas à l'exhaustivité, et beaucoup d'informations nous ont certainement échappé. Nous attendons vos suggestions, vos critiques, le récit de vos expériences, qui fourniront la matière (vécue) pour enrichir la prochaine édition de ce dossier.

Merci de nous contacter au GRET - Service Echanges et Communications, 30, rue de Charonne, 75011 PARIS (FRANCE).