



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

08433 - F

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

**Série "Mise au point et transfert des techniques"**

**N° 10**

**BRIQUETERIE:  
PROFIL  
D'UNE INDUSTRIE**



**BRIQUETERIE : PROFIL D'UNE INDUSTRIE**

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL  
Vienne

Série "Mise au point et transfert des techniques"  
Numéro 10

# **BRIQUETERIE : PROFIL D'UNE INDUSTRIE**

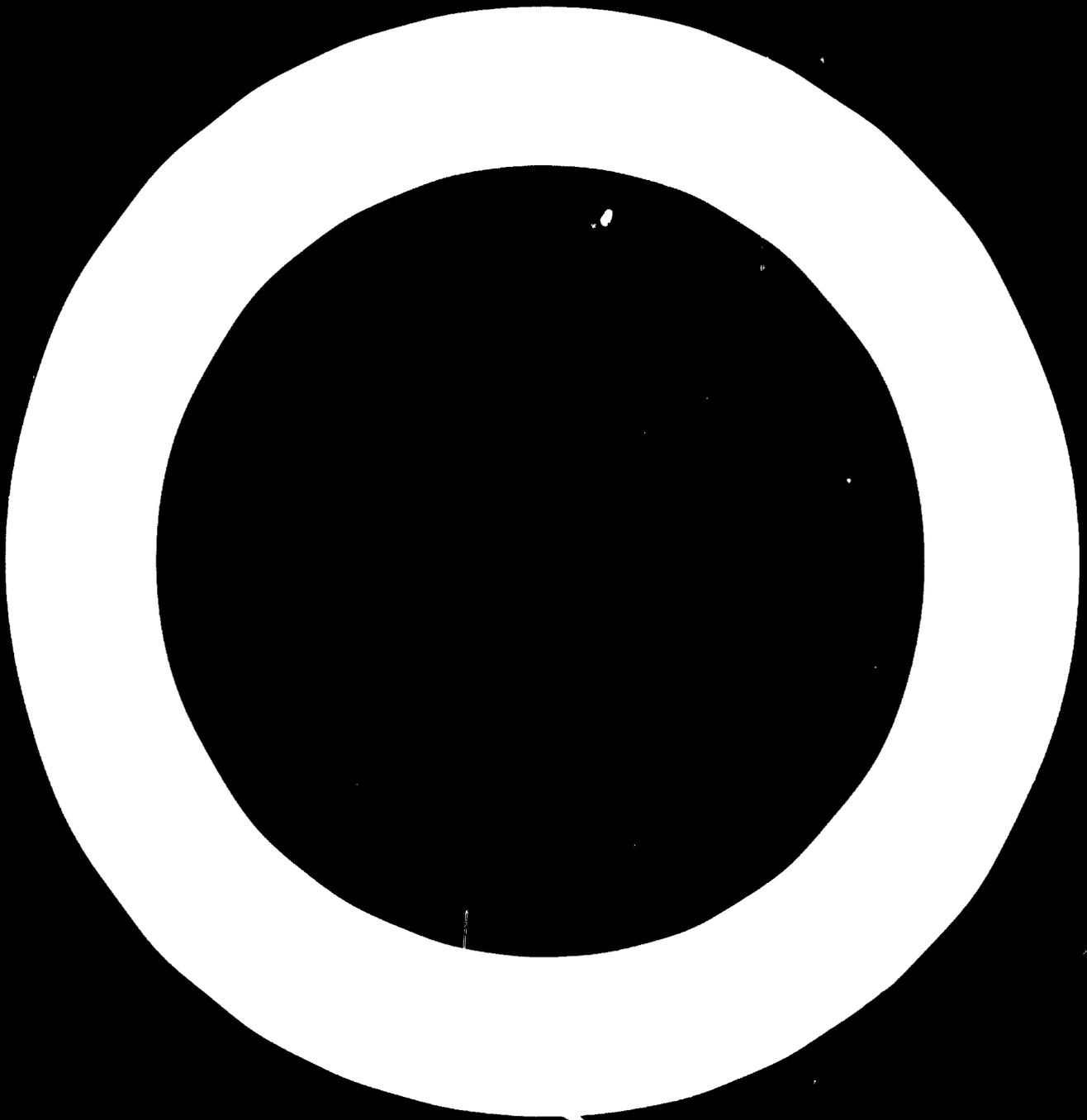


NATIONS UNIES  
New York, 1980

Les vues exprimées dans cette publication sont celles de l'auteur et elles ne reflètent pas nécessairement les opinions du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position de la part de l'ONUDI.

La reproduction, en tout ou en partie, du texte de la présente publication est autorisée. L'Organisation souhaiterait qu'en pareil cas il soit fait mention de la source et que lui soit communiqué un exemplaire de l'ouvrage où sera reproduit l'extrait cité.



# Préface

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) a pour tâche de promouvoir le développement et le transfert des technologies; pour ce faire, elle fournit une assistance technique, fait des études et organise des réunions d'experts, des séminaires, des programmes de formation et des services d'information.

L'un des principaux objectifs de ces activités est de renforcer les possibilités technologiques des pays en développement, notamment en les aidant à choisir les techniques les mieux adaptées à leur situation, à leurs priorités et à leurs plans. A cette fin, l'ONUDI a entrepris l'établissement de plusieurs profils d'industries. La présente étude, qui constitue le premier de ces profils, est publiée dans la série *Mise au point et transfert des techniques*.

Le but de cette étude est de fournir au lecteur -- un entrepreneur, un responsable national ou régional de la planification, voire un investisseur ou un organisme de financement -- des données de base sur tous les paramètres importants à considérer dans la création et l'exploitation d'une briqueterie industrielle. L'auteur traite des sujets suivants : procédés techniques; machines et matériel; matières premières; sites et terrains, énergétique et eau; main-d'œuvre (nombre et catégories du personnel) nécessaire selon la capacité de production; montant des investissements pour une production donnée; établissement des bilans.

Cette monographie est consacrée aux techniques applicables dans les briqueteries industrielles; elle décrit des briqueteries ayant une capacité de production annuelle d'au moins cinq millions de briques standard. Elle sera suivie d'une autre monographie destinée aux lecteurs s'intéressant plutôt aux techniques applicables dans les briqueteries artisanales (faible rapport capitaux/main-d'œuvre, opérations semi-mécanisées ou manuelles) appropriées aux conditions rurales.

La présente étude a été établie par Ian Knizek, expert en céramiques, à Mexico, en qualité de consultant de l'ONUDI.

**Notes explicatives**

**Sauf indication contraire, le terme dollar s'entend du dollar des Etats-Unis.**

**Sauf indication contraire, le terme tonne (t) désigne une tonne métrique.**

## TABLE DES MATIERES

	<i>Pages</i>
I. FACTEURS D'IMPLANTATION D'UNE BRIQUETERIE . . . . .	I
II. EXTRACTION ET TRANSPORT DE L'ARGILE . . . . .	7
III. PROCEDES DE FAÇONNAGE . . . . .	9
IV. SECHAGE . . . . .	23
V. FOURS DE CUISSON . . . . .	25
VI. COMPARAISON DE DEUX BRIQUETERIES DE MEME CAPACITE, A FOUR-TUNNEL ET A FOUR HOFFMANN . . . . .	31
VII. COMMERCIALISATION . . . . .	36
VIII. CONCLUSION . . . . .	38

### Annexes

I. Formes et perforations courantes en République fédérale d'Allemagne . . . . .	39
II. Dimensions courantes en République fédérale d'Allemagne . . . . .	40
III. Dimensions courantes en France . . . . .	41
IV. Organismes de recherches et d'essais . . . . .	43
V. Coût des installations de fabrication, de cuisson et de séchage pour des briqueteries à four-tunnel de diverses capacités . . . . .	43
VI. Coût des installations de fabrication, de cuisson et de séchage pour des briqueteries à Hoffmann de diverses capacités . . . . .	43
VII. Production et besoins de briqueteries à four-tunnel et à four Hoffmann . . . . .	44
VIII. Investissement en capitaux fixes – briqueterie à four-tunnel . . . . .	44
IX. Investissement en capitaux fixes – briqueterie à four Hoffmann . . . . .	47
X. Besoins en personnel d'une briqueterie à four-tunnel . . . . .	50
XI. Besoins en personnel d'une briqueterie à four Hoffmann . . . . .	50
XII. Prix de revient annuel des matières premières pour les deux briqueteries . . . . .	51
XIII. Prix de revient annuel de la briqueterie à four-tunnel, matières premières non comprises . . . . .	51
XIV. Prix de revient annuel de la briqueterie à four Hoffmann, matières premières non comprises . . . . .	52
XV. Récapitulation des dépenses annuelles de production . . . . .	53
XVI. Frais généraux pour les deux briqueteries . . . . .	53
XVII. Etat des profits et pertes . . . . .	54
 Bibliographie . . . . .	 55

## Tableaux

1. Coût de briques industrielles et de parpaings en mortier de ciment . . . . .	36
2. Comparaison de briques industrielles et de briques artisanales . . . . .	36

## Figures

I. Surface au sol de briqueteries à four-tunnel, selon la capacité de production . . . . .	5
II. Surface au sol de briqueteries à four Hoffmann, selon la capacité de production . . . . .	6
III. Schéma d'une installation de préparation par voie sèche . . . . .	13
IV. Installation à désintégrateur et crible horizontal . . . . .	14
V. Briqueterie moderne à fours-tunnels, façonnage par extrusion en dur . . . . .	18
VI. Briqueterie à four-tunnel, façonnage par extrusion en mou . . . . .	19
VII. a. Plan d'une briqueterie à four Hoffmann . . . . .	20
b. Briqueterie à four Hoffmann, coupe A-A . . . . .	21
VIII. Plan partiel d'une briqueterie pratiquant le moulage en pâte molle . . . . .	22
IX. Evolution du four Hoffmann . . . . .	28

# I. Facteurs d'implantation d'une briqueterie

## La brique, matériau de construction idéal

Pour son prix, la brique d'argile est l'un des matériaux de construction les plus polyvalents et les plus utiles. Dans un bâtiment en briques, on éprouve une sensation de "confort"; cette qualité, difficile à définir, résulte d'une combinaison de propriétés que ne possèdent pas les autres matériaux de construction. On dit souvent que les murs en briques respirent; en effet, les pores de la brique sont assez gros pour permettre le passage de la vapeur d'eau et de l'air, mais assez fins pour empêcher la pénétration de l'eau de pluie.

Les parpaings en mortier de ciment, qui coûtent souvent moins cher que les briques, se laissent imprégner par l'eau de pluie parce que leur surface présente de nombreux capillaires ouverts. Ceci est un lourd handicap, notamment dans les pays tropicaux où une vague de chaleur après de violents orages transforme souvent les intérieurs en véritables bains de vapeur.

La brique possède des propriétés remarquables d'isolation thermique et phonique; ceci est encore dû au système de pores propre à la terre cuite. En perforant la brique selon une géométrie déterminée, on peut contrôler et améliorer chacune de ces deux propriétés d'isolation. La résistance mécanique de la brique est généralement plus grande que nécessaire pour les utilisations normales. En fait, on peut même construire en briques des bâtiments de plusieurs étages à condition de poser les briques de telle sorte que leur sens d'extrusion soit à la verticale. Pratiquement, le seul inconvénient des briques est leur résistance relativement faible à la tension, défaut que possèdent toutes les céramiques. Mais même cet inconvénient a été pallié par la réalisation de profils précontraints et armés avec des tiges d'acier et un peu de ciment.

Une brique est généralement définie comme un parallépipède rectangle en terre cuite que la main peut saisir dans sa largeur, laquelle est normalement la moitié de la longueur et à peu près le double de la hauteur. A l'origine, les briques avaient approximativement les dimensions suivantes (en millimètres) :

Allemagne, République fédérale d'	240 x 115 x 71
---	----------------

Etats-Unis	202 x 95 x 57 (8 x 3 3/4 x 2 1/4 in.)
France	220 x 110 x 60
Italie	250 x 120 x 55
Royaume-Uni	277 x 110 x 66 (9 x 4 3/8 x 2 5/8 in.)
Suisse	250 x 120 x 60

On fabrique encore des briques pleines, mais la plupart des briques sont maintenant évidées, c'est-à-dire qu'elles contiennent des perforations en nombres et de formes variables. L'annexe I montre les formes et les perforations des briques utilisées en République fédérale d'Allemagne. Les briques pleines ont trois inconvénients : a) leur pouvoir d'isolation thermique et phonique est faible; b) leur résistance à l'eau est mauvaise; c) leur pose est coûteuse. On a constaté que la pose de briques pleines de dimensions normales demandait quatre fois plus de temps de travail que celle des plus gros blocs de béton, qui mesurent 460 x 230 x 230 mm. En conséquence, on a développé l'utilisation de grandes briques évidées. Les annexes II et III donnent les dimensions des briques utilisées actuellement en République fédérale d'Allemagne et en France, respectivement.

## Fabrication des briques

La briqueterie est souvent considérée comme l'une des activités industrielles les plus simples, tant du point de vue commercial que du point de vue technique. Cette impression erronée est sans doute fondée sur le fait que pratiquement n'importe qui peut faire chez soi, avec un minimum d'outils, des briques de bonne qualité. Toutefois, lorsqu'il s'agit de fabriquer mécaniquement des briques à raison de quelque 20 000 par jour, la situation est beaucoup plus compliquée; la preuve en est le nombre relativement élevé de faillites de briqueteries, même dans les pays développés. Ces échecs peuvent avoir diverses causes. Premièrement, la marge bénéficiaire est assez étroite, de sorte que les coûts de production et les frais généraux doivent être contrôlés très attentivement et maintenus aussi faibles que possible. Deuxièmement, il faut traiter et déplacer dans la briqueterie des quantités relativement importantes de

matières et de produits pour obtenir un revenu décent. Néanmoins, si l'on en juge par d'autres critères, la briqueterie est une industrie très satisfaisante du point de vue économique, du fait de sa forte valeur ajoutée, qui n'est surpassée peut-être que par l'industrie de la brique réfractaire.

On peut trouver en maints endroits d'importantes quantités d'argiles de qualité appropriée, dont le coût se limite à celui de l'extraction et du transport à la briqueterie. En fait, on attribue parfois à l'argile une "valeur" fixée arbitrairement, car on considère qu'il est peu orthodoxe de produire un article commercial à partir de "rien", comme c'est le cas lorsque l'extraction et le transport de l'argile sont considérés comme parties intégrantes du processus de fabrication. Avant de prendre la décision d'implanter une briqueterie, il convient d'examiner divers facteurs. Ces facteurs sont discutés ci-après.

### Marché

Des données fiables sur le marché sont indispensables au succès de toute entreprise commerciale; c'est notamment le cas pour une briqueterie. Il faut donc procéder à une étude de marché. Bien faite, une étude de marché permettra évidemment à l'entrepreneur de planifier ses opérations en termes de production, mais elle lui fournira aussi des indications sur les tendances du marché et sur la nature de la concurrence probable. Elle lui donnera également des renseignements sur les problèmes que les concurrents (s'il y en a) doivent ou ont dû surmonter. Le futur briquetier sera ainsi en mesure de planifier sa stratégie.

Malheureusement, une étude de marché exhaustive est coûteuse et demande beaucoup de temps. Pour donner les meilleurs résultats, elle doit être faite par des professionnels parfaitement qualifiés et spécialisés. Dans un pays en développement, une étude du marché national pour l'industrie de la brique a coûté récemment 40 000 dollars.

Peu d'entrepreneurs dans les pays en développement seront prêts à dépenser une telle somme en vue d'obtenir de simples données, quelle que soit leur importance. De plus, des professionnels ayant l'expérience voulue pour ce genre de travail ne sont pas toujours disponibles, de sorte qu'il faut s'assurer les services d'un organisme extérieur, ce qui rend l'étude de marché encore plus coûteuse. Heureusement, un grand nombre de données utiles peuvent être obtenues par du personnel non spécialisé, à condition de savoir où les chercher.

La plus importante source de renseignements est constituée par les statistiques officielles sur la production ou l'importation de matériaux de construction, quels qu'ils soient. Par extrapolation, on peut tirer des enseignements précieux des statistiques de consommation de ciment, de chaux, de sable et même d'armatures métalliques. Des données

sur les activités passées, présentes et futures de l'industrie du bâtiment sont également utiles, à condition de les interpréter correctement. Toutefois, ces statistiques ne sont pas toujours disponibles, ou bien elles peuvent être trop anciennes ou peu fiables. On peut obtenir des renseignements sur les projets gouvernementaux de construction auprès des départements ministériels compétents; toutefois, il convient d'utiliser avec prudence les informations concernant les programmes gouvernementaux, étant donné que l'exécution de programmes ou même de projets déterminés dépend toujours de fonds qu'il est parfois impossible de dégager.

La deuxième source de données est constituée par les entreprises privées de construction. Ces entreprises sont normalement en mesure de fournir des renseignements sur leurs activités passées, d'où on peut extrapoler la demande future. Enfin, les marchands de matériaux de construction sont généralement dans une bonne position pour évaluer la demande présente et future de briques, mais les renseignements qu'ils fourniront ne seront pas toujours dignes de foi. On trouvera dans la bibliographie en fin de volume des titres d'ouvrages sur les études de marché et l'évaluation des données.

### Matière première

#### *Prospection de l'argile*

D'une manière générale, on peut trouver n'importe où des argiles utilisables dans la fabrication des briques. Ceci ne signifie pas qu'elles peuvent toutes être traitées et façonnées par n'importe lequel des procédés connus; bien que l'on puisse maintenant concevoir un procédé technique pour pratiquement n'importe quelle argile, des considérations d'ordre économique peuvent interdire l'utilisation d'une argile donnée. Dans la prospection, on commence généralement par étudier les affleurements exposés par des glissements de terrain, des tranchées de routes ou des lits de cours d'eau<sup>1</sup>. Des échantillons recueillis dans ces affleurements peuvent être analysés pour obtenir une première indication des propriétés de l'argile. Il faudra extrapoler avec beaucoup de prudence ces résultats initiaux; en effet, les propriétés des couches superficielles d'argile, qui ont été exposées aux effets de l'air et de l'eau, ne traduisent pas fidèlement les caractéristiques des couches plus profondes.

Outre certaines propriétés fondamentales, les caractéristiques les plus importantes d'un gisement d'argile sont sa dimension et son uniformité. Des travailleurs expérimentés sont capables d'évaluer l'épaisseur de couches d'argile d'après la configuration de la surface du sol, mais la seule solution vraiment

<sup>1</sup> La procédure à suivre a été décrite dans le document ID/WG.81/9, pages 32 à 36.

valable est de procéder à des forages et à des carottages.

L'évaluation des réserves d'argile est l'une des tâches fondamentales du futur briquetier. Beaucoup trop d'entreprises ont échoué par suite d'une pénurie imprévue. Lorsqu'une argile est épuisée plus tôt que prévu, on peut presque toujours trouver une argile de remplacement; mais son gisement risque d'être trop éloigné: l'augmentation des frais de transport peut signifier la différence entre le succès et l'échec de la briqueterie.

On utilise parfois une seule argile, mais il est courant d'en mélanger plusieurs pour obtenir les qualités optimales. Un autre avantage du mélange d'argiles est que les effets de la diversité de leurs propriétés physiques sont minimisés et peuvent fréquemment s'annuler. Les carrières contiennent souvent plusieurs variétés, que l'on peut associer pour obtenir les propriétés voulues; on peut aussi être amené à mélanger des argiles provenant de diverses carrières.

#### *Tests de qualité*

Une connaissance approfondie des caractéristiques de l'argile est essentielle. Des données sur ces caractéristiques ne peuvent être obtenues que par une série de tests; leurs résultats montreront, non seulement si l'argile possède les qualités voulues pour être utilisable, mais aussi le type de produits qui pourront être fabriqués. En outre, ce sont les propriétés physiques de l'argile qui déterminent les procédés techniques de préparation et de façonnage.

Simple en apparence, l'analyse de l'argile est complexe si l'on veut en retirer des renseignements fiables. Encore plus difficile, mais trop souvent sous-estimé, est le problème de l'extrapolation des résultats de laboratoire aux conditions réelles de fabrication en usine.

Pour que les résultats soient fiables, l'argile doit être testée par des personnes expérimentées. Etant donné que la plupart des pays en développement ne possèdent pas les laboratoires et les experts nécessaires, il faut faire appel à un organisme spécialisé dans l'étude des argiles. L'annexe IV donne les noms et adresses de certains de ces organismes.

Toutefois, on peut vouloir faire une évaluation préliminaire d'une argile avant d'engager les dépenses afférentes à une analyse approfondie. Quelques tests simples peuvent être faits avec un minimum de matériel, dont disposent généralement tous les laboratoires. Certaines des caractéristiques que l'on peut ainsi déterminer sont décrites ci-après.

*"Granulation" de l'argile (arbitrairement définie comme la proportion de particules dures et non délayables de plus de 1 mm)*

Il faut prêter une attention particulière à la nature des "graviers" ou "granulés" présents dans

l'argile. Ils peuvent être semblables à de l'argile délayable, auquel cas on peut les ramener par meulage à un grain acceptable. Si leur proportion est excessive, on peut les éliminer à l'aide d'un matériel spécial, mais celui-ci est coûteux à l'achat et à l'utilisation. Les graviers sont fréquemment à base de carbonate de calcium; il est particulièrement important de le déceler le plus tôt possible, car cela peut être la source de graves ennuis. Heureusement, ces calcaires se distinguent facilement des autres éléments nuisibles du fait de leur réaction en présence d'un acide même faible (par exemple du vinaigre ou du jus de citron), qui est accompagnée d'une violente effervescence. Les particules de calcaire ou de calcite de plus de 1 mm peuvent provoquer un boursoufflement qui dépare la brique cuite et même l'éclatement de la brique, parce qu'à la cuisson les particules de carbonate de calcium donnent de l'oxyde de calcium, ou chaux vive: la chaux vive absorbe l'humidité atmosphérique et se transforme en chaux hydratée, ou hydroxyde de calcium: les particules grossissent et éclatent comme des grains de maïs grillé. Toutefois, si elles ne sont présentes qu'en petites quantités, les particules de carbonate de calcium peuvent être rendues relativement inoffensives par un meulage fin.

Certaines argiles ne sont pas délayables dans l'eau; elles n'en sont pas pour autant impropres à la fabrication de briques, bien au contraire. Aux Etats-Unis d'Amérique, certaines des plus belles briques de parement sont fabriquées avec des schistes et même des ardoises qui, avant meulage, ne présentent aucune plasticité. Ces matières premières sont largement utilisées aux Etats-Unis, mais selon un procédé spécial.

#### *Comportement de l'argile au séchage*

Il est important de savoir si une argile séchera rapidement et sûrement, sans fissuration ou gondolage. Le gondolage est généralement provoqué par la présence de montmorillonite, laquelle absorbe l'eau avec avidité et en plus grande quantité que tout autre minéral argileux inoffensif ou même bénéfique. Par conséquent, la possibilité d'un mauvais comportement au séchage peut normalement être décelée par la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance donnée. Ce renseignement peut être obtenu facilement par la méthode d'Atterberg, qui n'exige pour tout matériel qu'une spatule et un récipient. Les argiles contenant de la montmorillonite sont caractérisées par des valeurs très élevées de la limite de liquidité et de la limite de plasticité et, en conséquence, par des indices de plasticité élevés. Un mauvais comportement au séchage se traduit également par un retrait généralement important.

Certaines kaolinites ou illites ont un grain extrêmement fin et, de ce fait, une plasticité élevée; leur seul inconvénient est la possibilité d'un fort retrait au séchage; ce défaut peut être pallié par l'addition d'argiles à grain plus gros ou de sable. En

revanche, le mauvais comportement au séchage des montmorillonites peut rarement être corrigé par l'addition de matières réduisant le retrait, à moins de n'utiliser qu'une proportion extrêmement faible de montmorillonite; dans ce cas, elle devient un agent de plasticité, ce qui peut être utile ou même nécessaire dans des mélanges comportant des argiles maigres, comme la plupart des schistes. Néanmoins, les montmorillonites ne devraient jamais être utilisées comme le principal ingrédient d'un mélange d'argiles, à moins de recourir à un procédé de façonnage approprié, normalement le pressage en pâte ferme; l'extrusion ou le moulage en pâte molle sont exclus.

#### *Retrait au séchage et à la cuisson*

Le retrait au séchage et à la cuisson peut être déterminé très facilement, sans grand outillage. Un moule en bois ou en métal, de 15 x 5 x 2 cm, peut être fabriqué par n'importe quel menuisier ou ferronnier semi-qualifié. L'argile est mise en pâte et on moule des échantillons; la manière de procéder s'apprend très facilement. Le retrait au séchage peut alors être calculé comme un rapport, exprimé en pourcentage : différence des longueurs de l'échantillon avant et après séchage divisée par la longueur initiale. On a déjà souligné l'importance d'un faible retrait au séchage. Presque aussi important est le retrait à la cuisson, que l'on calcule de la même manière : différence des longueurs de l'échantillon avant et après cuisson divisée par la longueur avant cuisson. L'une des principales caractéristiques de la plupart des montmorillonites est que leur retrait au séchage est élevé, tandis que leur retrait à la cuisson est faible.

Toute argile accusant un retrait total, au séchage et à la cuisson, supérieur à 7 % quand la température de cuisson a été telle que l'absorption d'eau soit d'environ 15 % - devra être dégraissée, c'est-à-dire additionnée d'argiles maigres ou de sable. Font exception à cette règle certaines argiles schisteuses que l'on utilise même lorsque leur retrait à la cuisson atteint 10 %; en pareil cas, le produit fini est généralement une brique de parement cuite à une température telle que l'absorption d'eau soit inférieure à 7 %.

De bonnes argiles à briques exigent rarement des températures de cuisson supérieures à 1 050 °C, mais il y a évidemment des exceptions. Avec la plupart des schistes, la température de cuisson doit être égale ou même supérieure au chiffre ci-dessus, notamment si l'on veut rendre les briques pratiquement hydrofuges. Mais, en général, les briques ordinaires et les briques de parement de qualité inférieure sont cuites à des températures comprises entre 900 et 960 °C. On atteint aisément de telles températures avec tout four électrique de laboratoire d'analyses.

L'absorption d'eau, qui est un bon indicateur de la résistance mécanique de l'argile cuite, est facilement déterminée en immergeant dans l'eau

bouillante, pendant au moins deux heures, un échantillon cuit et pesé. L'absorption d'eau est donnée par la différence de poids de l'échantillon avant et après immersion. On juge un échantillon après cuisson d'après sa couleur; une belle couleur rougeâtre est souhaitable si on envisage la fabrication de briques de parement; si l'on veut faire uniquement des briques de structure, qui seront revêtues d'un crépi, la couleur après cuisson est moins importante. Il en est de même de la tendance à l'efflorescence, qui se manifeste par la formation d'un "voile" blanc ou parfois jaunâtre à la surface de la brique. Encore une fois, la présence d'un tel voile ne permettra pas de faire des briques de parement, mais ne présente aucun inconvénient pour les briques ordinaires. Toutefois, il ne faut pas oublier qu'une belle couleur rouge est un puissant atout pour la commercialisation, même si les briques doivent être crépies ou peintes à la chaux. Dans la plupart des cas, l'efflorescence peut être prévenue par l'addition de carbonate de baryum à la pâte d'argile; mais un tel traitement est coûteux et le prix des briques s'en ressentira.

Les quelques tests élémentaires brièvement décrits ci-dessus ne sauraient remplacer les essais exhaustifs faits par des experts dans des organismes ou des laboratoires spécialisés. C'est surtout l'extrapolation des résultats de laboratoire aux conditions réelles de fabrication en usine qui présente la plus haute importance. Le fait que des briques de qualité satisfaisante peuvent être moulées à la main avec une certaine argile ne signifie pas que cette argile donnera les mêmes résultats à l'extrusion. Même si une argile se révèle satisfaisante dans un organisme ou un laboratoire spécialisé en renom, il sera toujours nécessaire de faire vérifier ses propriétés par le fabricant du matériel envisagé pour la briqueterie; c'est la seule manière d'obtenir une garantie de sa part. La plupart des fabricants ont des laboratoires bien équipés, l'acheteur éventuel devrait toujours insister pour que l'on y fasse des essais complets, c'est-à-dire que l'on y suive toutes les étapes de fabrication d'une brique normale avec l'argile considérée et le matériel envisagé.

#### **Choix du site de la briqueterie**

Le choix du site n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. L'impulsion naturelle est évidemment de choisir un site aussi proche que possible de la carrière, parce que les argiles fraîchement extraites sont généralement humides, leur teneur en eau libre étant variable mais toujours considérable; par la suite, elles perdent jusqu'à 13 % de leur poids. En d'autres termes, on paie inutilement de 15 à 25 % de la charge transportée. Bien que fondée en principe, cette impulsion naturelle d'implanter la briqueterie près de la carrière d'argile doit parfois être refrénée.

Un facteur important, qui peut influencer sur la décision finale quant au choix du site, est l'état des

routes entre la carrière et les centres de consommation de briques. Généralement, les gisements d'argile ne sont pas situés près de bonnes routes asphaltées. Le transport des produits finis sur des routes défoncées et cahoteuses provoque une casse importante, notamment dans les chargements de tuiles ou de briques à parois minces. L'entretien des chemins de terre est coûteux, car les pluies torrentielles que connaissent beaucoup de pays en développement à certaines époques de l'année, associées au poids des camions de briques, peuvent détériorer très rapidement ces chemins. Dans de telles conditions, il serait préférable d'implanter la briqueterie près du centre de consommation, à condition que le coût du terrain soit raisonnable.

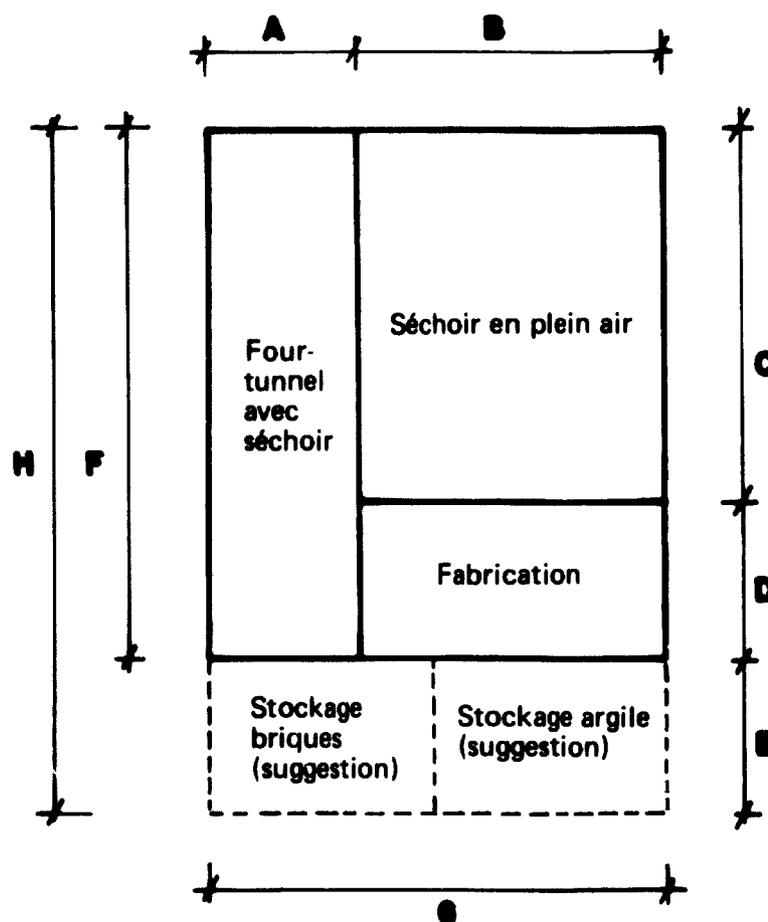
Si on choisit un site près d'un grand centre de consommation, il faudra prêter attention au sens

d'expansion de la localité. En effet, quelques années après leur construction, beaucoup trop de briqueteries ont été victimes de l'urbanisation qui provoque, non seulement l'escalade des prix du terrain, mais aussi l'isolement de la briqueterie dans des quartiers résidentiels.

L'argument en faveur de l'implantation près d'un grand centre de consommation prend encore plus de poids si l'on doit utiliser plusieurs argiles et que toutes les carrières ne soient pas dans la même zone. En outre, on trouvera plus facilement des habitations pour les ouvriers, les employés et les cadres à proximité de grands centres urbains.

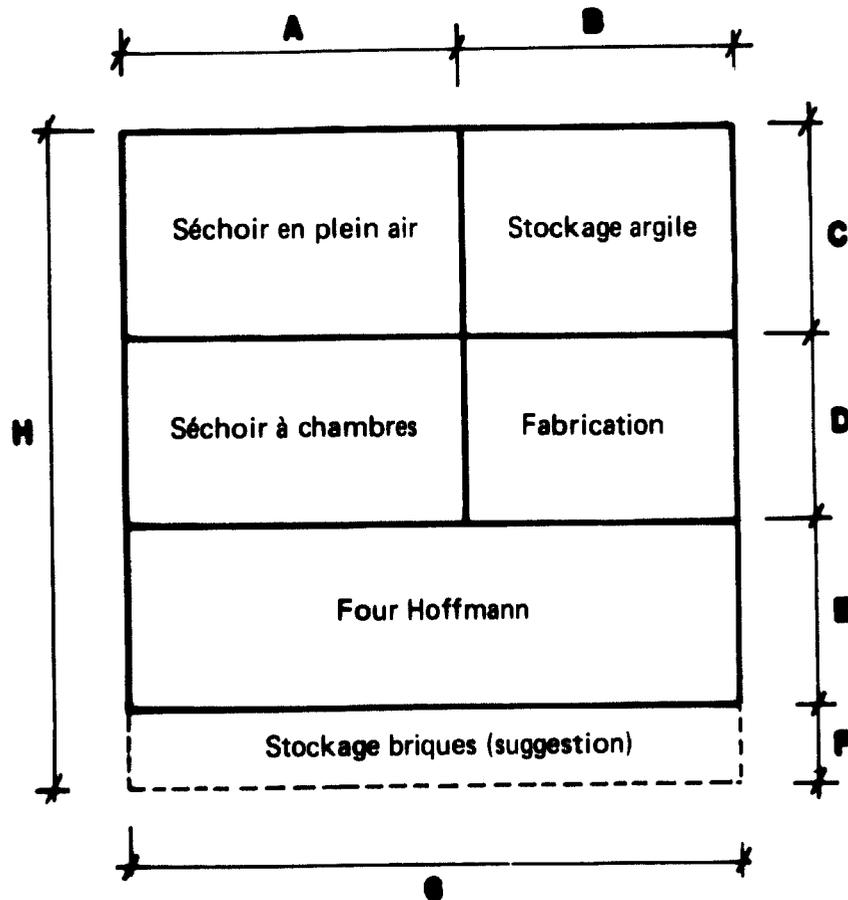
Les figures I et II donnent les dimensions au sol approximatives de briqueteries à four-tunnel et à four Hoffmann, respectivement, selon la capacité de production.

Figure I. Surface au sol de briqueteries à four-tunnel, selon la capacité de production



Capacité (tonnes par jour)	A	B	C	D (m)	E	F	G	H	Surface au sol (m <sup>2</sup> )
40	19,5	26	30,5	20	13	50,5	45,5	63,5	2 889
50	19,5	34	30,5	30,5	12	61	53,5	73	3 905
60	19,5	39	30,5	38	20	68,5	58,5	88,5	5 177
80	30	53	30,5	20	13,5	50,5	83	64	5 312
100	30	63	30,5	30,5	14	61	93	75	6 975

Figure II. Surface au sol de briqueteries à four Hoffmann, selon la capacité de production



Capacité (tonnes par jour)	A	B	C	D	E (m)	F	G	H	Surface au sol (m <sup>2</sup> )
40	30	18	28	24	24	7	48	83	3 984
50	37	23	28	24	24	8,5	60	84,5	5 070
60	44	27,5	27,5	24	24	10	71,5	85,5	6 113
80	58,5	36,5	27	24	24	14	95	89	8 455
100	73	48	27	24	24	17,5	119	92,5	11 007

## II. Extraction et transport de l'argile

### Ouverture d'une carrière

On ne devrait jamais acheter un terrain contenant de l'argile sans avoir déterminé au préalable toutes les dimensions du gisement et la qualité de l'argile. Les données sur l'épaisseur et la configuration des couches d'argile sont ensuite utilisées pour planifier l'exploitation de la carrière; à ce stade, on peut corriger tout renseignement inexact concernant les couches d'argile. Pour délimiter une carrière, il suffit normalement de faire des forages à des intervalles de 100 à 250 m; pour obtenir des données plus précises, il faut faire de nouveaux forages à des intervalles de 50 ou même de 20 m.

Il a déjà été indiqué qu'il faut choisir des gisements d'argile avec peu de morts-terrains. Toutefois, il y aura toujours quelques morts-terrains à enlever pour dégager les couches de bonne argile; à moins qu'ils ne soient rocheux, auquel cas le gisement ne devrait pas être exploité, ils doivent être enlevés de la manière la moins coûteuse possible. Le mieux est évidemment d'utiliser un bulldozer; il est préférable de le louer plutôt que de l'acheter, étant donné que l'enlèvement de morts-terrains est rarement une opération renouvelable. Il existe des entreprises de travaux publics dans tous les pays, et on en trouvera toujours une qui acceptera de faire ce travail.

La décision à prendre ensuite concerne la profondeur d'exploitation. Cette décision dépend essentiellement de l'épaisseur des couches d'argile et de la configuration du terrain. On se trouve fréquemment en présence de plusieurs couches d'argiles ayant des propriétés différentes, qui peuvent se compléter mutuellement; un mélange d'argiles peut même être nécessaire. En pareil cas, il faut exploiter plusieurs couches en même temps; ceci détermine la profondeur d'exploitation de la carrière. Cette profondeur dépend également de la surface de terrain que l'on possède. Un autre facteur est le niveau hydrostatique; des carrières qui deviennent inondées sont une source d'ennuis sans fin. Il faut également tenir compte de la configuration générale du terrain du point de vue des couches d'argile. On ne saurait assez déconseiller d'ouvrir une carrière dans une dépression; il faut toujours s'efforcer d'exploiter le terrain le plus élevé possible, pour une raison évidente de drainage du front de taille. L'exploitation de la carrière doit être bien organisée et le front de taille doit être impeccable; on ne saurait extraire

l'argile au petit bonheur et tout flot de terre ou de roche indésirable doit être enlevé dès qu'il est mis au jour.

### Extraction de l'argile

Dans la plupart des pays en développement, qui disposent d'une main-d'œuvre abondante et bon marché, l'extraction de l'argile sera faite manuellement, avec l'aide d'explosifs pour les argiles dures. Une étude exhaustive du travail à la pelle<sup>2</sup> a montré qu'une équipe de deux hommes peut, en un jour de travail, extraire et transporter en brouette sur une distance de 100 yards (91,4 m) l'argile nécessaire à la fabrication de 10 tonnes de produits finis. Le rendement d'un pelleteur dépend dans une grande mesure du poids et de la taille de son outil; un homme équipé d'une pelle appropriée verra son rendement augmenter, quoi qu'il fasse. On peut encore améliorer le rendement en enseignant aux ouvriers la bonne manière d'utiliser leurs outils; ceci peut paraître étonnant, mais peu d'ouvriers savent le faire, même avec une longue expérience du pelletage. Toutefois, la meilleure méthode pour augmenter le rendement est de recourir à des stimulants financiers; sous le contrôle de personnel spécialement formé, le système des bonus est le meilleur mode de rémunération: un salaire raisonnable est garanti à l'ouvrier pour tout travail en deçà d'une norme fixée; au-delà de cette norme, il reçoit des primes de rendement.

En 1967, on avait calculé que l'extraction mécanique de l'argile devenait rentable lorsque la production de la briqueterie était supérieure à 20 tonnes de produits finis par jour. La situation a beaucoup changé depuis lors; du fait de l'augmentation des coûts du matériel et du combustible, le seuil de rentabilité peut être maintenant deux fois plus élevé que le chiffre précédent, ce qui signifie une production supérieure à 14 000 briques par jour. Néanmoins, dans un pays en développement, un briquetier envisageant une production bien au-dessus de ce seuil hésitera peut-être avant d'acheter dès le début du matériel moderne d'extraction; en effet, les capitaux d'investissement n'ont jamais été abondants dans la plupart des pays en développement et les taux d'intérêt sont élevés.

<sup>2</sup>G. T. Harley, "A study of shovelling", *Transactions of the British Ceramic Society*, 31, 1-44.

Les quatre machines les plus fréquemment utilisées pour l'extraction de l'argile sont l'excavateur à godets, la raboteuse à schistes, la pelle en butte et la dragline.

L'excavateur comporte plusieurs godets à bord tranchant fixés sur deux chaînes sans fin montées sur une élinde. Les godets raclent le front de taille, l'angle d'attaque pouvant atteindre  $45^\circ$ , que l'on travaille en butte ou en fouille. Normalement, la machine se déplace sur des rails parallèles au front de taille; pour des raisons d'économie, celui-ci doit être le plus long possible, parce que la position des rails doit être modifiée après chaque parcours du front. L'argile est déversée sur un transporteur à bande.

La raboteuse à schistes, très utilisée aux Etats-Unis d'Amérique, fonctionne selon le même principe, mais elle est équipée de lames au lieu de godets; l'argile est enlevée par des godets fixés à la même chaîne que les lames ou tombe sur un transporteur à bande monté sur la machine. Alors que l'excavateur à godets peut travailler en butte ou en fouille, la raboteuse à schistes ne peut travailler qu'en butte; elle attaque le front de taille selon un arc de cercle.

Les pelles en butte et les draglines sont montées sur chenilles. La pelle en butte se compose essentiellement d'une flèche rigide portant à mi-hauteur un bras articulé qui se termine par un godet; la dragline se compose d'une flèche articulée à la base dans le plan vertical et d'un godet relié aux deux extrémités de la flèche par des câbles actionnés par un treuil. Avec la pelle en butte, la combinaison flèche et bras articulé permet de peser sur le godet dans la position d'attaque et d'extraire ainsi tous les matériaux, même les schistes durs. Tel n'est pas le cas de la dragline, avec laquelle on ne peut exercer aucune pression; en revanche, le godet peut être lancé, ce qui accroît fortement le rayon d'action de la machine. Si le front de taille comporte des couches d'argiles différentes, l'excavateur à godets, la raboteuse à schistes et la pelle en butte donnent une coupe de tous les matériaux traversés, ce qui contribue à l'uniformité de l'argile livrée à la briqueterie; à cet égard, la dragline semble quelque peu inférieure aux autres engins.

On peut conclure que, d'une manière générale, le choix du matériel d'extraction dépend de la nature du gisement. S'il comporte des couches de matières indésirables, on ne peut utiliser aucune machine travaillant sur tout le front de taille; en pareil cas, il faut enlever les matières indésirables manuellement ou avoir recours à une niveleuse. Cette machine comporte essentiellement une flèche horizontale fixe, le long de laquelle se déplace un godet qui pratique une entaille horizontale. Les excavateurs à godets et les raboteuses à schistes ont le meilleur rendement avec des argiles grasses et des schistes friables, respectivement.

Les besoins de main-d'œuvre sont variables: avec les excavateurs à godets, il faut compter de 0,02 à 0,05 heure de travail par tonne extraite; avec les autres machines, y compris les pelles en butte, il faut de 0,02 à 0,1 heure de travail par tonne. Evidemment, cela ne constitue pas la plus grosse dépense afférente à l'utilisation de ces machines; ce qui est coûteux, c'est le combustible, la maintenance et l'amortissement. Avant d'acheter du matériel d'extraction, il faut faire des calculs soigneux et détaillés pour déterminer la rentabilité de l'investissement. On considère généralement que le prix d'achat des machines ne doit pas être supérieur à trois ans de salaires des ouvriers qu'elles remplacent.

### Transport de l'argile

Le choix du moyen de transport de l'argile dépend de la distance entre la carrière et la briqueterie. Si elle est inférieure à 200 m, le système le plus pratique est le train de wagonnets basculant latéralement, actionné par câbles et treuils; les wagonnets peuvent être déchargés directement dans une trémie. Au-delà de 200 m, le train de wagonnets doit être mû par une locomotive à moteur Diesel. Lorsque la distance est supérieure à 800 m, il est préférable d'utiliser des dumpers, en notant que la distance optimale du point de vue économique est 1 500 m pour un dumper ayant une capacité de  $1 \text{ m}^3$ . Pour de plus grandes distances, il faut utiliser des camions à benne basculante.

Dans la plupart des pays européens, on a coutume de constituer des stocks d'argile pour plusieurs mois et de laisser l'argile vieillir, ou mûrir. L'argile est stockée dans des fosses cimentées que l'on remplit grâce à un transporteur à bande qui les surplombe et qui est équipé de culbuteurs pour décharger l'argile et la répartir dans la fosse. Une pratique courante consiste à humidifier l'argile et à la laisser vieillir. Pour l'extraire de la fosse, on utilise un excavateur à godets qui se déplace le long de la fosse et décharge l'argile sur un transporteur à bande. Une toiture appropriée protège l'argile contre les précipitations et le rayonnement solaire et permet de contrôler son humidité.

On peut se demander si l'amélioration de la qualité de l'argile que l'on peut ainsi obtenir justifie le coût de ces installations; en fait, les pays en développement devraient éviter d'y avoir recours. Néanmoins, il est bon de constituer un stock d'argile suffisant pour la durée de la saison des pluies. Si le stock est réalisé avec de l'argile très sèche, il ne sera pas nécessaire qu'il soit très important, car on pourra toujours mélanger cette argile sèche à de l'argile humide. Les dépôts d'argile avec toiture sont coûteux, de l'ordre d'au moins 80 dollars le mètre carré.

### III. Procédés de façonnage

Au moins deux facteurs influent sur le choix du procédé de façonnage : a) la nature du produit à fabriquer; b) les caractéristiques physiques de la matière première. Le premier facteur est généralement déterminé par le marché. S'il y a des artisans briquetiers dans le pays, le produit manufacturé devra être semblable aux briques artisanales quant aux dimensions, mais il sera plus résistant, plus léger, d'une meilleure coloration, etc. Si les constructions en briques ne sont pas traditionnelles dans le pays, le choix du produit à fabriquer dépendra largement de la nature des matériaux de construction concurrents; dans la plupart des cas, il s'agira de parpaings en béton ou, plus vraisemblablement, en mortier de ciment; le produit en terre cuite qui aura les plus grandes chances de succès sera donc la brique ayant à peu près les mêmes dimensions que le parpaing en mortier de ciment.

Cela ne signifie pas qu'il ne faudra pas fabriquer d'autres produits en terre cuite; l'idée est que, tout au moins au début, le principal produit de la briqueterie devra être semblable au produit concurrent. Du point de vue commercial, ce n'est pas une bonne politique de lancer prématurément des nouveautés et de chercher à les imposer aux acheteurs. L'industrie du bâtiment est toujours conservatrice. Toutefois, la gamme des produits devra être élargie dès que la demande le justifiera, afin d'offrir un bon choix à la clientèle.

Il va de soi que les propriétés des matières premières disponibles influent également sur le choix des produits à fabriquer. Toutes les argiles ne se prêtent pas à la fabrication de tuiles minces; par contre, on a beaucoup plus de latitude lorsqu'il s'agit de fabriquer des briques creuses ordinaires.

#### Façonnage selon l'argile

Si l'argile ou le mélange d'argiles possède des propriétés moyennes d'ouvrabilité et de séchage, le procédé de façonnage à choisir sera probablement l'extrusion. En effet, elle présente de nombreux avantages, notamment celui de se prêter également bien à la fabrication de briques pleines ou creuses et de tuiles minces. Une production extrêmement élevée peut être facilement assurée avec des machines que l'on peut se procurer dans de nombreux pays.

Cependant, l'extrusion pose certains problèmes. Pour obtenir la plasticité voulue, il faut imprégner

l'argile d'une certaine quantité d'eau qui doit ensuite être éliminée, ce qui exige des manipulations coûteuses. L'extrusion est effectuée par une vis sans fin : elle découpe l'argile en deux rubans qui doivent ensuite être réunis pour former un "boudin" continu; celui-ci sort de la machine par la filière qui lui donne la section voulue, puis est coupé à la longueur fixée. Par suite des frottements et, par conséquent, des différentes vitesses d'écoulement de l'argile dans la filière, il peut se produire un feuilletage et des fendillements. Ces défauts sont rarement visibles à la sortie de la machine; ils ne se manifestent généralement qu'après séchage et cuisson du produit. Pendant la saison des pluies, les argiles deviennent parfois trop imprégnées d'eau pour un bon façonnage par extrusion. En dépit de ces difficultés, l'extrusion reste le procédé de façonnage le plus utilisé dans les briqueteries.

Après l'extrusion, il faut envisager le moulage en pâte molle. Ce procédé est largement utilisé aux Etats-Unis et à un degré moindre aux Pays-Bas et au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, mais il est peu connu en dehors de ces pays. On peut y recourir avantageusement pour faire des briques avec des argiles maigres ou sableuses, qui se prêtent mal à l'extrusion. En fait, toute argile pouvant être facilement moulée à la main peut être façonnée par moulage en pâte molle; la machine imite fidèlement les mouvements du briquetier moulant à la main. Ce procédé convient particulièrement bien à la fabrication de briques de parement, notamment de briques sablées, étant donné que le sablage du moule est un élément essentiel du processus. La capacité de production des machines est élevée et toutes les opérations peuvent être facilement automatisées. Le moulage en pâte molle a deux inconvénients : on ne peut faire que des briques pleines et la teneur en eau des briques fraîchement façonnées est plus élevée qu'avec les autres procédés; de ce fait, le coût du séchage est généralement plus élevé.

Le pressage en pâte ferme — appelé aux Etats-Unis pressage en pâte sèche — a été peu utilisé jusqu'à une époque récente pour la fabrication des briques ordinaires. Le principal avantage de ce procédé est que le séchage des briques pressées est inutile si leur cuisson est faite dans un four à fonction intermittente ou un four à fonction continue avec feux mobiles. Les aspects économiques du séchage seront étudiés plus loin, mais il faut noter dès maintenant que si le séchage ne peut pas être effectué grâce à la chaleur

résiduelle des fours et exige donc un apport spécial de chaleur, il requiert la production d'une grande quantité d'énergie thermique. L'un des inconvénients du pressage en pâte ferme est l'usure rapide des moules, ce qui signifie des travaux de maintenance fréquents et coûteux. De plus, la capacité de production des presses est faible par comparaison à celle des machines d'extrusion. Normalement, les argiles façonnées à la presse en pâte ferme n'acquièrent pas des propriétés physiques - notamment la porosité et la résistance mécanique - comparables à celles des briques extrudées si la cuisson est faite à la même température; il faut atteindre des températures plus élevées, c'est-à-dire consommer davantage de combustible. Toutefois, cet inconvénient peut être pallié en utilisant des argiles plus humides.

Pendant la plus grande partie de l'année, la plupart des argiles sont humides à l'extraction: pendant la saison des pluies, elles deviennent facilement sursaturées d'eau. Comme la teneur en eau de l'argile doit avoir une valeur bien définie pour un pressage optimal, un préséchage de l'argile est souvent nécessaire.

En dépit des améliorations qui ont été apportées, l'entretien des moules reste coûteux. Si les matrices ne sont pas remplacées ou refaites, il se produit un biseautage excessif, qui nuit beaucoup à l'apparence des briques et réduit leur valeur marchande. La productivité des presses en pâte ferme reste plus faible que celle des extrudeuses. Le plus gros inconvénient du procédé est sans doute que la taille des briques ne peut pas être supérieure à 2,5 fois celle d'une brique standard. En outre, les possibilités de perforation sont limitées; on ne peut guère faire que des briques à parois épaisses avec deux perforations rectangulaires ou une grande perforation circulaire.

En dépit de ces inconvénients, 12 millions de briques "Fletton" par semaine sont façonnées en Angleterre par pressage en pâte ferme. Cependant, l'argile utilisée contient environ 20 % d'eau. Ce chiffre montre qu'il s'agit sans doute de montmorillonites qui poseraient des problèmes de séchage si elles étaient façonnées par extrusion. Une teneur en eau de 20 % est à peu près la teneur voulue pour qu'une argile se prête à l'extrusion en mou. En pareil cas, il va de soi que l'argument de l'économie d'énergie perd toute sa valeur. En conclusion, le pressage en pâte ferme devrait être réservé à des argiles ayant un comportement médiocre au séchage, à condition qu'elles réagissent bien au pressage et qu'elles ne soient pas trop abrasives.

Le dernier procédé étudié ici est le façonnage par vibration-compactage. Jusqu'ici, ce procédé a été utilisé surtout pour le moulage de parpaings en béton ou en mortier de ciment; il a été peu utilisé avec les argiles. Il donne les meilleurs résultats avec des matières non plastiques ou avec des mélanges de granulés non argileux et d'argile jouant le rôle de liant. Le produit ainsi façonné a une faible teneur en

eau et il n'y a aucun problème de séchage. Il vaut mieux réserver ce procédé au façonnage de grandes briques creuses. Le matériel nécessaire est simple, mais la préparation d'un mélange convenable est une opération très délicate, car l'argile de liaison, utilisée en très faibles proportions, doit être incorporée avec beaucoup de soin.

Avant d'étudier en détail les trois premiers procédés décrits ci-dessus, il faut traiter de la préparation de l'argile avant le façonnage, que ce soit par extrusion, pressage en pâte ferme ou moulage en pâte molle. On a le choix entre deux méthodes, dont le principe est très différent: il dépendra essentiellement de la nature de l'argile.

#### *Préparation par voie humide*

La préparation par voie humide est la méthode la plus utilisée en Europe continentale; elle l'est beaucoup moins au Royaume-Uni et très rarement aux Etats-Unis. Elle tire parti du fait qu'à l'extraction la plupart des argiles sont imbibées d'eau ou pour le moins humides. Elle convient aux argiles plutôt molles, qui se délayent facilement dans l'eau. On ne devrait jamais l'utiliser avec des argiles dures et non délayables, bien que cette règle souffre quelques exceptions.

La machine essentielle est le laminoir, constitué de paires de cylindres de plus en plus rapprochés l'un de l'autre. On peut avoir de une à quatre paires de cylindres, selon la dureté de l'argile, la granulation, etc. Le laminoir est normalement précédé d'une trémie installée au-dessus d'un transporteur à raclettes. Dans le sens longitudinal, la trémie peut être divisée en plusieurs compartiments par des panneaux mobiles. On peut ajuster la distance entre le bas des panneaux et le transporteur; ceci permet de doser avec une précision suffisante le débit des diverses argiles contenues dans les compartiments.

Pour un dosage optimal, on ne doit pas verser dans la trémie de mottes d'argile de plus de 5 cm. Les mottes plus grosses doivent être préalablement broyées. Pour cela, on utilise le plus souvent des broyeurs à deux cylindres; les cylindres sont parfois unis, mais ils sont généralement dentés ou à barres. On peut également utiliser des désintégrateurs; ils diffèrent des broyeurs en ce sens qu'ils sont constitués d'un gros cylindre uni et d'un petit cylindre denté, le second tournant à plus grande vitesse que le premier.

On installe souvent au bas de la trémie, au-dessus du transporteur, des araignées tournant dans le même sens que lui; on estime que cela permet de régulariser le débit d'argile. Au voisinage des araignées, on injecte parfois de l'eau à l'argile.

La trémie déverse l'argile sur le transporteur à raclettes, qui est horizontal ou incliné; à son tour, le transporteur déverse l'argile dans le malaxeur à humectation (ainsi appelé parce que c'est là que l'on

ajoute éventuellement l'eau nécessaire pour obtenir la consistance voulue).

Le malaxeur à humectation est une cuve fixe, à sole perforée, dans laquelle tournent deux lourdes meules; elles ont un arbre vertical commun, mais sont fixées sur leur axe horizontal à des distances différentes du pont, afin de recouvrir toute la surface de la sole. Des raclours stratégiquement placés envoient l'argile sous les meules. Après un important malaxage, l'argile est évacuée à travers la sole perforée. Pour la recueillir et l'envoyer au laminoir, une autre machine est nécessaire : le malaxeur Mauk. C'est une cuve moins profonde que la précédente, dont la rotation est plus lente et intermittente; dans cette cuve, une vis sans fin de longueur un peu inférieure au rayon de la cuve tourne continuellement. L'argile traversant la sole perforée du malaxeur à humectation est recueillie sur toute la surface de la machine Mauk par la vis sans fin, puis évacuée à la partie centrale de la machine; elle tombe directement au début du laminoir installé au-dessous. Parfois, pour éviter d'installer le malaxeur à humectation à une trop grande hauteur, le laminoir est monté séparément et l'argile y est envoyée par un transporteur à raclettes incliné. Le laminoir peut comporter une ou plusieurs paires de cylindres lisses, l'intervalle entre les cylindres de la dernière paire ne devant pas dépasser 0,5 mm. L'objet du laminoir est de désintégrer toutes les noix restantes, quelle que soit leur nature. S'il y a plusieurs paires de cylindres, ceux de la dernière tournent à des vitesses différentes, de sorte que les particules d'argile sont brisées par une combinaison d'écrasement, de découpage et de frottement. Le nombre de paires de cylindres est généralement déterminé par la consistance de l'argile, la granulation, etc. L'argile sort du laminage sous forme d'un ruban extrêmement fin, qui se déchire facilement et avec lequel on peut alimenter la machine de façonnage. Certains prétendent que cette pratique peut favoriser la tendance de l'argile à se feuilletter lors de l'extrusion, parce que les fins rubans d'argile se décomposent, après passage dans le dernier laminoir, en feuilles qui peuvent s'orienter parallèlement au sens d'écoulement. Pour cette raison et afin de mieux homogénéiser l'argile, on intercale un malaxeur à deux arbres entre le laminoir et la machine de façonnage.

Ce malaxeur est une cuve ouverte contenant deux arbres qui sont équipés de lames se chevauchant et qui tournent en sens contraire; les lames sont orientées de manière à pousser l'argile vers la sortie du malaxeur; pendant son passage dans le malaxeur, l'argile est continuellement découpée et il en résulte un important brassage.

On n'a décrit ci-dessus que le mode le plus simple de préparation. Dans les briqueteries les plus modernes d'Europe occidentale, on installe souvent, après le malaxeur à humectation, un distributeur à grille dans lequel des spatules de forme appropriée contraignent l'argile humide à passer à travers une

sole perforée. Quelques briqueteries modernes ont remplacé les désintégrateurs par des "raboteuses d'argile"; ce sont des cuves cylindriques à fond rotatif équipé de lames tranchantes qui rabotent l'argile; les copeaux d'argile sont recueillis au-dessous de la cuve par un transporteur qui les mène à la machine suivante, normalement le malaxeur à humectation. Toutefois, l'entretien du malaxeur est très coûteux.

Si la granulation de l'argile est trop élevée, on peut la réduire par passage à travers une paire de cylindres à cannelures hélicoïdales ou dans un épurateur. Quand l'argile passe entre les cylindres, les cannelures brisent les mottes molles, mais les graviers doivent longer les cannelures et sont évacués sur le côté de la machine; on dit que les cylindres à cannelures hélicoïdales peuvent même enlever les mottes dures d'argile sèche; plus les mottes sont grosses et plus ces cylindres sont efficaces. Dans l'épurateur, les graviers sont évacués de l'argile humide lorsque celle-ci est contrainte de traverser la paroi perforée d'un cylindre fermé à l'une de ses extrémités par l'action d'une vis sans fin; cette rotation crée une pression qui oblige l'argile à passer par les perforations, tandis que les particules trop grosses pour ces perforations sont raclées et transportées vers l'extrémité fermée du cylindre; là, une porte coulissante actionnée par un levier permet d'enlever de temps à autre les matières premières accumulées. Cette machine est normalement installée avant le malaxeur à humectation et le laminoir à cylindres lisses.

Une autre machine que l'on trouve souvent dans les briqueteries est la tour d'acidification, ou de vieillissement. Cependant, on n'a jamais établi dans quelle mesure le vieillissement améliore la qualité du produit fini ou facilite le façonnage; on n'a pas davantage établi si les avantages éventuels justifiaient la dépense supplémentaire. On croit savoir maintenant que les principaux avantages du vieillissement sont obtenus pendant les premières 24 heures. C'est pour cela qu'a été conçue la tour d'acidification dite tour Mauk. Cette machine, qui a la forme d'un tronc de cône, contient normalement 100 tonnes d'argile préparée; elle a une sole rotative, semblable à celle du malaxeur Mauk décrit plus haut; l'argile y est versée par le haut et en est enlevée par le bas au moyen d'une vis sans fin; dans la plupart des installations modernes, on injecte de la vapeur dans la tour afin que l'argile soit maintenue à une température et à une pression supérieures à la normale. La tour Mauk est généralement installée entre le laminoir et l'extrudeuse ou le malaxeur à deux arbres.

La décision d'installer ou non une tour Mauk ne doit être prise qu'après des essais très poussés. Il ne faut pas oublier un fait important : d'excellentes briques de parement sont fabriquées aux Etats-Unis avec des argiles schisteuses dures, ayant une faible plasticité et n'ayant subi aucun vieillissement. Toutefois, la plupart des briqueteries aux Etats-Unis utilisent la méthode de préparation par voie sèche et

sont normalement équipées de chambres de stockage de l'argile meulée; ceci est nécessaire à un fonctionnement régulier et continu de la briqueterie. On peut considérer que la tour Mauk joue dans la préparation par voie humide le même rôle que la chambre de stockage dans la préparation par voie sèche.

Dans quelques installations très modernes, on injecte de la vapeur dans l'argile lors de son passage dans un malaxeur à deux arbres installé au haut de la tour Mauk. L'argile désaérée et chauffée par la vapeur est alors versée dans la tour, qui est hermétiquement fermée pour empêcher les pertes de vapeur et de chaleur.

Lorsque la préparation par voie humide est associée au façonnage en pâte molle, le processus est généralement plus simple et nécessite beaucoup moins de machines. Généralement, il suffit d'avoir une ou deux trémies doseuses, un malaxeur à grille ou un malaxeur à humectation et un malaxeur à un ou deux arbres, qui alimente la machine de façonnage.

Les machines normalement utilisées dans la préparation par voie humide peuvent également servir maintenant dans le pressage en pâte ferme; ceci est un perfectionnement récent. L'argile passe successivement dans le broyeur (si nécessaire), la trémie doseuse et le laminoir; on n'ajoute que la quantité d'eau nécessaire au pressage. Si l'argile est trop humide pour un bon pressage, on en sèche une partie dans un séchoir rotatif. Les languettes d'argile ainsi obtenues sont versées dans les moules de la presse. Si l'argile est trop sèche, les languettes sont trop grosses pour la presse; il faut alors intercaler un crible à mouvement vibratoire entre le malaxeur et la presse; les languettes d'argile doivent traverser des ouvertures de 8-10 mm; les languettes trop grosses retournent dans un malaxeur à un ou deux arbres, où elles sont ramenées à des dimensions acceptables.

#### *Préparation par voie sèche*

La préparation par voie sèche est généralement utilisée aux Etats-Unis d'Amérique et dans le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord.

Si l'argile exige un broyage préliminaire, cette opération est faite dès l'arrivée de l'argile à la briqueterie, afin de disposer en tout temps d'une réserve de matériau broyé. Pour la préparation proprement dite, la principale machine est la cuve de meulage: un arbre vertical lui imprime un mouvement de rotation et actionne en même temps deux lourdes meules qui tournent sur une table constituée par une plaque circulaire de métal fixée sur le bâti de l'arbre. La cuve peut être du type à sole perforée ou du type à éjection périphérique; dans le premier cas, la table de roulement des meules est entourée d'une sole à perforations circulaires ou rectangulaires; dans le deuxième cas, la sole est pleine, mais une large rainure est ménagée à la périphérie, entre la sole et la paroi verticale de la cuve.

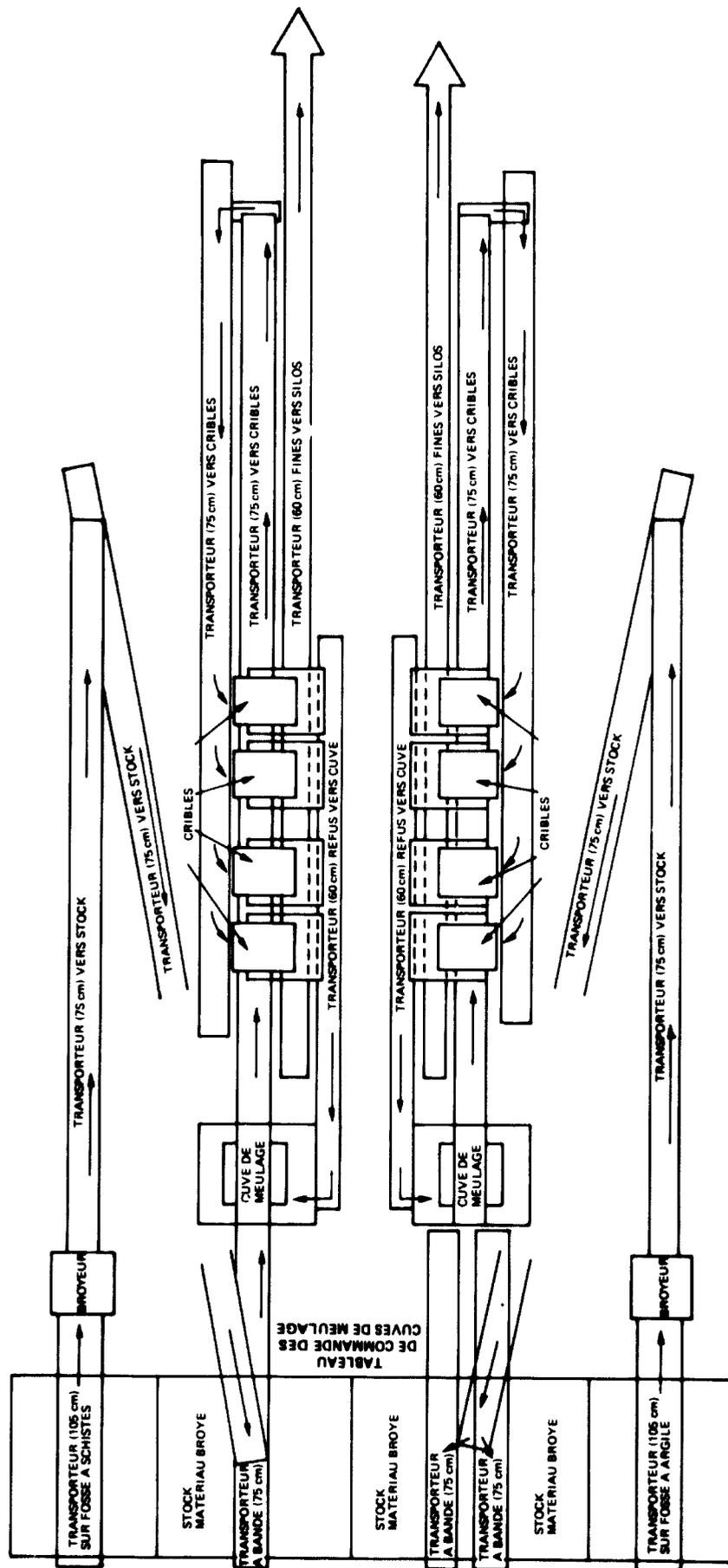
L'argile versée dans la cuve est broyée et désintégrée par les meules; puis, la force centrifuge la projette dans les perforations de la sole ou dans la rainure périphérique; les particules trop grosses pour les traverser sont renvoyées sur la table de roulement des meules par des racloirs stratégiquement placés. Les fines évacuées à travers la sole ou la rainure tombent, avec ou sans l'aide de racloirs, dans un collecteur installé au-dessous de la cuve. De là, elles sont transportées vers les cribles.

Avant d'étudier les cribles, il convient d'ouvrir une parenthèse. Les refus normalement renvoyés à la cuve de meulage après avoir été rejetés par les cribles posent un sérieux problème, étant donné que les chances de réduire leur taille par un nouveau meulage sont assez faibles. Il semble donc logique d'envoyer les refus, non pas vers la cuve de meulage, mais vers un désintégreur ou un broyeur à marteaux, où ils sont pulvérisés avant d'être envoyés de nouveau sur les cribles. Cette manière de procéder permet de diminuer fortement la charge en circulation. Incidemment, il faut noter que, pour la même taille, la cuve à éjection périphérique a une plus grande capacité de meulage que la cuve à sole perforée, mais que la charge en circulation est beaucoup plus élevée.

Dans les anciennes briqueteries, l'argile sortant de la cuve de meulage était transportée vers les cribles par des élévateurs à godets. On estime maintenant que cette méthode n'est pas économique: les élévateurs à godets consomment beaucoup d'énergie et leur entretien est difficile. On utilise de plus en plus des transporteurs à bande inclinés; la pente devant être assez faible pour éviter un glissement de l'argile vers l'arrière, les transporteurs doivent être relativement longs; pour gagner de l'espace, on peut remplacer le transporteur unique par plusieurs transporteurs plus courts en zigzag. La figure III montre ce type d'installation.

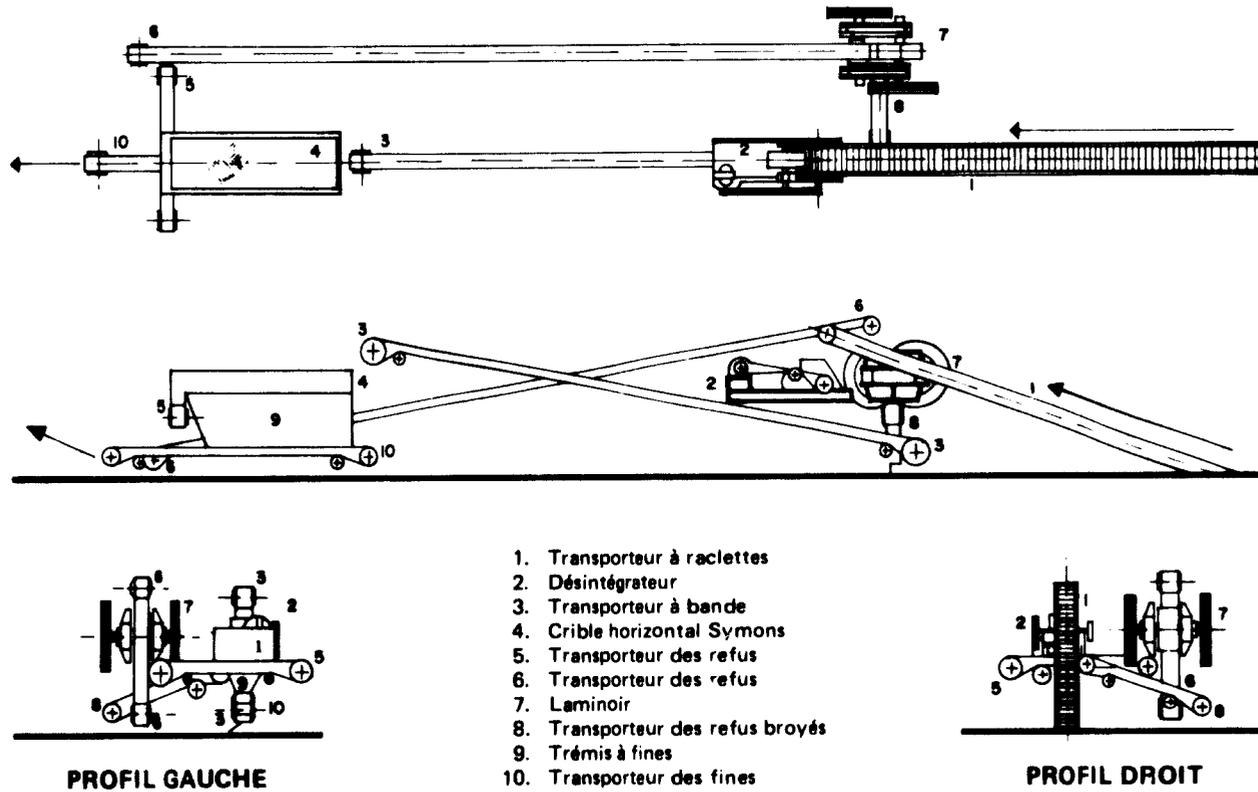
Les cribles - qui sont un élément très important de la préparation par voie sèche - étaient autrefois installés très haut au-dessus du sol; on estime maintenant que cette disposition n'est pas satisfaisante, parce qu'un matériel situé à 20 m au-dessus du niveau général de la briqueterie risque d'être quelque peu négligé. En conséquence, les cribles sont aujourd'hui installés près du sol, où ils peuvent faire l'objet de l'étroite surveillance que leur fonctionnement exige. L'utilisation encore fréquente des anciens cribles faisant un angle important avec l'horizontale complique la question. Heureusement, la mise au point de grands cribles presque horizontaux, chauffés et vibrants a rendu plus facile leur installation au sol. Finalement, l'apparition de cribles horizontaux a encore simplifié le problème; ces cribles sont animés d'un mouvement alternatif simultané vers le haut et vers l'avant, qui entraîne les refus vers l'extrémité où ils sont évacués. La figure IV montre ce type d'installation.

Figure III. Schéma d'une installation de préparation par voie sèche



Source : Brick and Clay Record, octobre 1956.

Figure IV. Installation à désintégrateur et crible horizontal



Après criblage, les fines doivent être déposées dans des silos, dont le nombre est fonction du nombre d'argiles traitées. Ici encore, il vaut mieux utiliser des transporteurs à bande inclinés que des élévateurs à godets. Pour répartir les diverses argiles dans leurs silos respectifs, il existe au moins trois possibilités. Si le nombre d'argiles est limité et si les silos sont disposés en trèfle, l'utilisation de glissières est une solution très satisfaisante. S'il y a plus de quatre argiles (ce qui est rarement le cas) et si les silos sont disposés sur une ou deux rangées, il est préférable d'avoir recours à une "navette" ou à un "culbuteur"; on n'utilise le culbuteur que lorsque le nombre d'argiles est exceptionnellement élevé. Les silos doivent être suffisamment grands pour contenir au moins deux jours de stock. La meilleure forme pour les silos est la pyramide renversée. On préconise parfois l'utilisation de silos à parois verticales; ces silos ne se vident pas entièrement automatiquement et il faut une main-d'œuvre supplémentaire pour pelleter l'argile dans l'ouverture d'évacuation lorsqu'on veut les vider complètement; mais on estime que le risque de bouchage est minime.

Pour transférer l'argile des silos à la machine de façonnage, il faut du matériel de dosage, de transport et de malaxage. S'il faut mélanger plusieurs argiles, contenues chacune dans un silo distinct, chaque silo doit être équipé d'un doseur. Plusieurs doseurs peuvent alors être déversés sur un transporteur à bande unique, qui déversera ensuite les argiles dans le

malaxeur, lequel alimentera à son tour la façonneuse. Le doseur le plus courant, bien qu'il ne soit pas très précis, est le doseur à disque rotatif; il consiste en un plateau, fixé au-dessous du silo, sur lequel l'argile tombe en formant un cône où une lame, fixe mais ajustable, prélève la quantité d'argile nécessaire. Ce dispositif est très satisfaisant dans la plupart des cas. Les doseurs à pales rotatives sont également populaires, mais leur maintenance est coûteuse à cause de l'action abrasive de l'argile. On utilise aussi fréquemment des transporteurs à tablier, lorsque les quantités d'argile à transférer sont importantes; ils fonctionnent selon le même principe que les trémies doseuses, mais sont plus petits.

On peut doser les diverses argiles avec plus de précision en utilisant des doseurs à mouvement vibratoire. Sous leur forme la plus simple, il s'agit d'un bac auquel est attaché un vibreur à rhéostat; le débit d'argile peut être facilement réglé en modifiant l'amplitude des vibrations grâce au rhéostat. Ces doseurs peuvent délivrer de quelques grammes à plusieurs tonnes à la minute.

Il existe également des doseurs beaucoup plus simples et moins coûteux, qui assurent un dosage en poids constant. Bien qu'efficaces, ils sont maintenant rarement utilisés. Ils consistent en une petite trémie fixée au-dessous du silo, dont l'un des côtés comporte une ouverture rectangulaire dont la hauteur peut être modifiée par une porte coulissante; cette ouverture surplombe une pièce de toile fixée à la trémie par des

galets de tension; deux ou trois de ces galets sont accrochés à un bras de levier dont le mouvement est transmis à la porte coulissante; ce sont les "galets de mesure". La quantité d'argile à déverser est réglée par des poids fixés sur le contrepoids du levier. La hauteur de la porte coulissante est réglée par un certain débit; si la quantité d'argile passant par l'ouverture augmente pour une raison quelconque, les galets de tension s'abaissent; ce mouvement, transmis au mécanisme de la porte, fait baisser celle-ci de la hauteur nécessaire pour diminuer le débit. On assure ainsi un dosage en poids constant.

Si l'on admet que le nombre de machines dans une briqueterie doit être aussi faible que possible, afin de réduire les frais de maintenance, la solution la plus satisfaisante consiste sans doute à effectuer le dosage des argiles dans la cuve de meulage. On peut le faire, par exemple, en déversant dans la cuve un certain nombre de brouettes de chacune des argiles à mélanger. Une autre méthode, encore plus précise, consiste à jeter dans une même brouette un certain nombre de pelletées de chaque argile; le dosage ainsi réalisé peut être étonnamment précis. Dans certaines briqueteries, on utilise des wagonnets culbuteurs qui peuvent être divisés en plusieurs compartiments grâce à des panneaux mobiles; on remplit chaque compartiment, dont la taille est déterminée par la quantité voulue de chaque argile, puis on vide le wagonnet dans la cuve de meulage.

Une cuve de meulage est une machine durable. Bien qu'elle fonctionne au mieux si les argiles ont été préalablement broyées, elle peut meuler des mottes très grosses sans dommage, mais cela au prix d'une augmentation de la consommation d'énergie et des frais d'entretien ainsi que d'une diminution de son rendement. Toutes les pièces usées peuvent être facilement remplacées; elles sont d'un modèle simple et peuvent être normalement fabriquées dans n'importe quelle fonderie. Malheureusement, le rendement de la meule diminue quand la teneur en eau de l'argile augmente, la limite supérieure étant 12%. Toutefois, il n'y a pas de règle absolue quant à la teneur en eau admissible. Une argile schisteuse dure et peu plastique tolérera sans doute une teneur en eau plus élevée qu'une argile plus ou moins tendre qui, dans certaines conditions, peut même former une croûte relativement dure sur la table de roulement des meules. Comme la plupart des argiles sont humides à certaines périodes de l'année, la formation d'une telle croûte peut poser un problème. La meilleure solution consiste à accumuler un stock suffisamment important d'argiles sèches pour durer pendant toute la saison des pluies; mais cela exige de gros investissements. L'impossibilité pour les cuves de meulage de traiter des argiles trop humides est l'un des facteurs qui limitent l'emploi du procédé de préparation par voie sèche, alors que ce procédé a par ailleurs de nombreux avantages, notamment une moindre consommation d'énergie par tonne d'argile.

On a mis au point récemment des meules capables de traiter des argiles dont la teneur en eau peut atteindre 30%. Toutefois, la consommation d'énergie augmente fortement, ainsi que l'usure du matériel.

Il faut prêter une attention particulière à la préparation de l'argile qui sera ensuite façonnée par pressage en pâte ferme. Dans ce façonnage, l'humidité de l'argile ne doit pas dépasser un certain degré; si l'argile est trop humide, il faut la sécher. En pareil cas, on perd la plupart des avantages résultant du fait qu'il n'est pas nécessaire de sécher le produit façonné avant la cuisson; en effet, les séchoirs d'argile ne sont guère moins coûteux que les séchoirs de briques. Il convient de rappeler que le séchage est toujours une opération coûteuse. On peut souvent sécher l'argile pendant son broyage, en utilisant la chaleur dégagée. C'est le cas, par exemple, avec les machines Raymond et Novorotor; malheureusement, il s'agit de machines coûteuses et d'un entretien délicat, qu'il n'y a pas lieu d'utiliser pour le meulage d'argiles ordinaires.

Pour la préparation de l'argile qui sera façonnée en pâte ferme dans la presse rotative Spengler, on utilise généralement de l'argile meulée à sec, selon le procédé décrit ci-dessus. Les argiles sont prélevées dans les cuves de stockage et dosées en volume, car le dosage en poids serait compliqué et coûteux, tout en étant inutile. L'argile est humidifiée dans un broyeur-malaxeur du type Eirich, Lancaster ou Clearfield; elle y est pelotonnée, puis envoyée vers la presse. La machine Spengler est équipée de sa propre cuve cylindrique d'alimentation. Comme tous les broyeurs-malaxeurs susmentionnés sont à fonction intermittente, le chargement de la cuve d'alimentation doit être effectué de la même manière; le système le plus approprié est l'élévateur à godets, qui doit être installé de sorte qu'il reçoive l'argile directement du malaxeur. Cette procédure, bien que recommandée par la société Spengler, est trop compliquée pour être utilisée dans la fabrication de briques ordinaires.

Une solution également satisfaisante consiste à broyer et à humidifier simultanément l'argile dans la cuve de meulage. Il convient de l'adopter lorsque l'humidité requise pour le pressage est faible, c'est-à-dire inférieure à 10%. Si le façonnage exige une argile plus humide, on utilise le même matériel que dans la préparation par voie humide. Comme aux Etats-Unis on utilise la préparation par voie sèche en même temps que le façonnage en pâte molle, il convient de mentionner le dispositif utilisé dans une briqueterie de Sugar creek, dans l'Ohio: les argiles sont meulées à sec, passées au crible et malaxées dans deux malaxeurs distincts; puis elles sont mouillées pour obtenir une humidité d'environ 20%; après quoi elles passent à travers une sole perforée ayant des trous de 25 mm; la matière ainsi obtenue est déversée dans une cuve verticale au-dessus de la machine de façonnage.

### Façonnage par extrusion

Dans ce mode de façonnage, l'argile humidifiée et pétrie dans le malaxeur à deux arbres est envoyée dans la machine d'extrusion, qui est constituée essentiellement par une vis sans fin tournant dans un cylindre horizontal. La rotation de la vis sans fin fait avancer l'argile vers l'extrémité du cylindre, où elle est comprimée avant de passer dans une filière d'où elle émerge sous la forme d'un boudin continu.

La vis sans fin comprend deux parties. La première a essentiellement pour objet de faire avancer l'argile; il se produit certes une certaine consolidation des grains d'argile, mais la compression est très faible; le pas de l'hélice reste constant. La seconde partie est la tête, qui provoque le passage de l'argile dans la filière; la tête de la vis sans fin peut avoir diverses formes, selon les dimensions de la filière; elle peut être en forme de cône ou pratiquement plate.

Afin d'améliorer les propriétés de l'argile, les machines modernes sont équipées d'un dispositif de désaération : avant l'extrusion, l'argile passe dans une chambre de désaération. Dans cette chambre, l'argile est exposée à un vide poussé; ceci pose un problème d'herméticité; il faut maintenir le vide tout en permettant à l'argile d'entrer dans la chambre et d'en sortir. Il existe plusieurs solutions pour assurer l'herméticité, mais la plus générale consiste à superposer deux vis sans fin. La vis supérieure, appelée parfois vis de scellement, joue un double rôle : elle assure l'herméticité et elle oblige l'argile à passer à travers une filière multiple qui la découpe en petits fragments de la grosseur du doigt; ces fragments tombent directement de la chambre de désaération dans la vis sans fin d'extrusion. Pour faciliter la désaération, l'argile est parfois découpée en petits fragments par un couteau rotatif fixé à l'arbre de la vis de scellement.

Dans un autre modèle, la vis de scellement fait passer l'argile dans la chambre de désaération à travers une filière carrée. Là, une vis sans fin verticale – tournant exactement devant la filière – découpe l'argile en très petits fragments qui tombent ensuite dans le cylindre renfermant la vis sans fin d'extrusion.

La plupart des machines d'extrusion sont équipées de leur propre malaxeur, où s'effectuent le mouillage et le pétrissage de l'argile. Les machines fabriquées en Europe sont équipées de malaxeurs à deux arbres, tandis que les machines fabriquées aux Etats-Unis ont généralement des malaxeurs à un seul arbre.

Il existe deux variantes du procédé d'extrusion. La première, que l'on devrait appeler l'extrusion en dur, a été mise au point aux Etats-Unis; l'humidité de la pâte peut descendre jusqu'à 10 %. La deuxième est l'extrusion en mou. Evidemment, l'extrusion en dur exige des machines beaucoup plus solides et de puissance beaucoup plus élevée; c'est l'une des raisons pour lesquelles il n'est pas rare de trouver maintenant aux Etats-Unis des machines de 800 ch.

L'extrusion en dur, telle qu'elle est pratiquée dans la plupart des briqueteries aux Etats-Unis, impose de sévères contraintes aux points de fixation des noyaux; c'est peut-être l'une des raisons pour lesquelles la plupart des briques fabriquées aux Etats-Unis ont moins de perforations que les briques européennes. En outre, la production de hourdis – qui exige des noyaux particulièrement épais – est pratiquement inexistante aux Etats-Unis, où la plupart des produits fabriqués sont des briques de parement.

En dépit de la consommation beaucoup plus élevée d'énergie, l'extrusion en dur présente de nombreux avantages. L'un d'eux est la faible teneur en eau de la brique extrudée. Une différence de 5-7 % dans la teneur en eau entraîne une grande économie de combustible. De plus, les briques ainsi façonnées peuvent être empilées en lots transportables par des chariots élévateurs à fourche. Par contre, la plupart des briques extrudées en mou doivent être chargées individuellement sur des lattes, sans être empilées.

Le boudin extrudé doit être découpé pour obtenir des briques ou des tuiles. Il existe de nombreux modèles de coupeurs. Pour les briques, il faut donner la préférence aux coupeurs à plusieurs fils; les coupeurs rotatifs sont supérieurs aux alternatifs. Les fils du coupeur rotatif traversent le boudin en diagonale, alors qu'avec le coupeur à mouvement alternatif ils le traversent perpendiculairement au plan horizontal. Comme les fils s'encrassent du fait de la résistance de l'argile, ils font ressort en approchant de la surface du boudin, arrachent des fragments d'argile et ébrèchent les angles. Dans un modèle récent de coupeur, cet inconvénient a été partiellement pallié en rendant l'angle des fils avec le plan horizontal inférieur à 90° : les fils ne pénètrent plus dans le boudin par un côté, mais par un coin.

L'usure des fils est également moindre avec le coupeur rotatif. Encore plus important, les fils se brisent moins souvent. En outre, le remplacement des fils brisés est plus facile dans le coupeur rotatif parce que celui-ci est équipé de quatre jeux de fils, dont un seul est utilisé à la fois, alors que le coupeur à mouvement alternatif n'a qu'un jeu de fils.

Le découpage est synchronisé mécaniquement avec le mouvement d'une courroie de mesure entraînée par le boudin. Toutefois, il arrive que le boudin ne soit pas assez lourd pour entraîner la courroie de mesure; ceci arrive notamment dans le cas de hourdis; une poulie en fer, généralement reliée à un pivot fixé au cadre du transporteur et reposant sur le boudin, augmente la friction de celui-ci contre la courroie de mesure. En fait, pour le sectionnement de hourdis, on emploie encore fréquemment des coupeurs rotatifs à main.

On utilise beaucoup en Europe un coupeur du type massicot, instrument très précis à une lame; mais son ajustement et son entretien ont souvent posé des difficultés dans les pays en développement. Cet

instrument est particulièrement intéressant pour les hourdis ou les briques à nombreuses perforations façonnées en mou. Son inconvénient est qu'il ne comporte qu'une seule lame: lorsqu'elle se brise, la production est arrêtée jusqu'à ce qu'elle soit remplacée.

La plupart des briqueteries européennes utilisent un appareil automatique pour charger les briques sur des palettes ou, plus souvent, des lattis. Il comporte normalement un système de chargement des lattis, un monte-charge pour les recevoir et un chariot à fourche pour les transporter du monte-charge vers le séchoir; en général, le chariot à fourche se déplace sur des rails et il est à bras ou à moteur électrique ou Diesel.

Un tel appareil automatique coûte environ 125 000 dollars (à la fin de 1975) et fait le travail de trois ouvriers. Si son coût doit être équivalent à trois années de salaire des ouvriers remplacés (ce qui est le calcul approximatif de la rentabilité du matériel), il ne devient intéressant que lorsque le salaire de chacun de ces ouvriers est d'au moins 38,5 dollars par jour; de tels salaires sont rares dans la plupart des pays en développement.

Lorsque les briques sont façonnées par extrusion en dur, il n'est pas nécessaire de les charger en un seul lit; on peut les empiler sur des palettes jusqu'à une hauteur qui sera déterminée expérimentalement, mais qui pourra aller jusqu'à 10 lits. Les palettes sont ensuite transportées, manuellement ou mécaniquement, par des chariots élévateurs à fourche; si elles sont transportées manuellement, on peut utiliser des bennes basculantes spéciales.

La figure V donne le schéma d'une grande briqueterie où le façonnage est fait par extrusion en dur et la cuisson dans des fours-tunnels; elle produit environ 44 millions de briques par an. La figure VI donne le schéma d'une briqueterie où le façonnage est fait par extrusion en mou et où la production est de 60 tonnes de briques par jour; elle est équipée d'un four-tunnel, mais elle est beaucoup plus simple que la précédente. Les figures VIIa et VIIb donnent le schéma d'une briqueterie, ayant également une production de 60 tonnes de briques par jour, équipée d'un four Hoffmann à bois.

#### *Façonnage à la presse en pâte ferme*

Le façonnage à la presse en pâte ferme est quelquefois appelé le pressage à sec, ce qui est erroné car la matière à presser n'est jamais sèche: elle contient au moins 5 % d'humidité; l'expression "pressage en pâte ferme" est beaucoup plus réaliste. Il existe de nombreuses presses à pâte ferme: elles peuvent être à excentrique, à manivelle ou à genouillère. Elles sont utilisées à des fins particulières, telles que le pressage de briques réfractaires, mais rarement pour le façonnage de briques ordinaires ou de briques de parement, étant donné leur capacité

relativement faible. Toutefois, une presse à manivelle, à un seul moule, ayant une capacité de production de 1 200 briques à l'heure, est très répandue au Royaume-Uni.

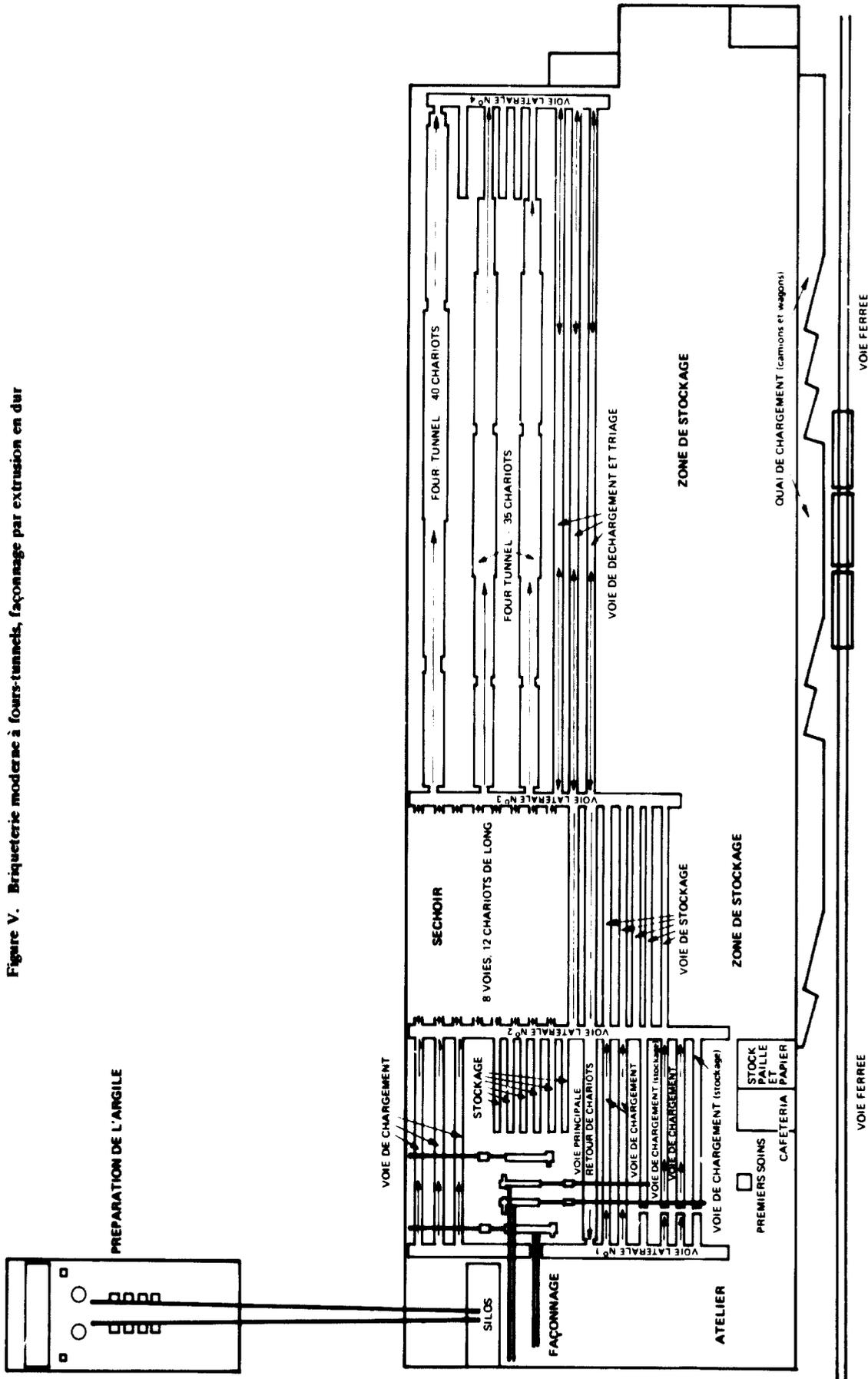
On n'étudiera ici que les presses à table rotative. Les presses britanniques Hercules et Emperor peuvent produire jusqu'à 1 800 briques à l'heure. La presse Spengler a été améliorée récemment et semble être la presse rotative la plus rapide actuellement sur le marché; sa particularité est que la table tourne continuellement, alors que les autres tournent par intermittence. Cette table peut recevoir six ou huit moules, ou matrices, dont les dimensions vont jusqu'à deux fois celles de la taille standard: la pression est exercée des deux côtés du moule. La combinaison d'une pression purement mécanique et d'une pression hydraulique permet de produire un produit compact en six ou huit mouvements. Un doseur rotatif remplit les moules directement à partir de la trémie installée à côté de la presse: les moules sont ensuite arasés par le doseur lui-même; une légère frappe de la matrice supérieure assure un pressage préliminaire et une première désaération; le stade suivant consiste à effectuer une première pression, en même temps que la deuxième désaération; au troisième et dernier stade, la matrice inférieure contribue à donner au produit pressé sa forme définitive. La brique est ensuite éjectée par la matrice inférieure et envoyée automatiquement sur un transporteur à bande. Le moule vide est nettoyé et préparé pour recevoir une nouvelle charge d'argile. Le chauffage électrique des matrices supérieure et inférieure peut faciliter le démoulage des briques.

La production maximale d'une telle presse est de 2 500 pièces à l'heure, ce qui est faible par comparaison avec la production des machines modernes d'extrusion. Les plus grandes briques que l'on peut façonner avec cette presse ont environ 240 mm de long et 171 mm de large; la hauteur maximale de remplissage des moules est de 240 mm, ce qui donne après pressage une brique ayant environ 150 mm d'épaisseur.

Outre la possibilité d'éliminer le séchage (dans le cas seulement de cuisson dans un four continu à feux mobiles), le pressage en pâte ferme consomme moins d'énergie – environ 20 % – que l'extrusion. En revanche, la presse est beaucoup plus chère: elle coûte plus de 180 000 dollars.

Les avantages du procédé sont indéniables. Dès lors que l'on a pu utiliser de l'argile contenant jusqu'à 20 % d'humidité, teneur supérieure à celle de l'argile que l'on peut façonner par extrusion en dur, beaucoup des inconvénients du pressage en pâte ferme ont disparu. On peut obtenir la même porosité et la même résistance mécanique que par extrusion, sans avoir à pousser la cuisson à des températures plus élevées. Les briques obtenues par pressage d'argile contenant de 6 à 8 % d'humidité ont toujours été caractérisées par une résistance moindre et une porosité plus élevée.

Figure V. Briqueterie moderne à fours-tunnels, façonnage par extrusion en dur



Source : Brick and Clay Record, octobre 1956.

Figure VI. Briqueterie à four-tunnel, façonnage par extrusion en mou

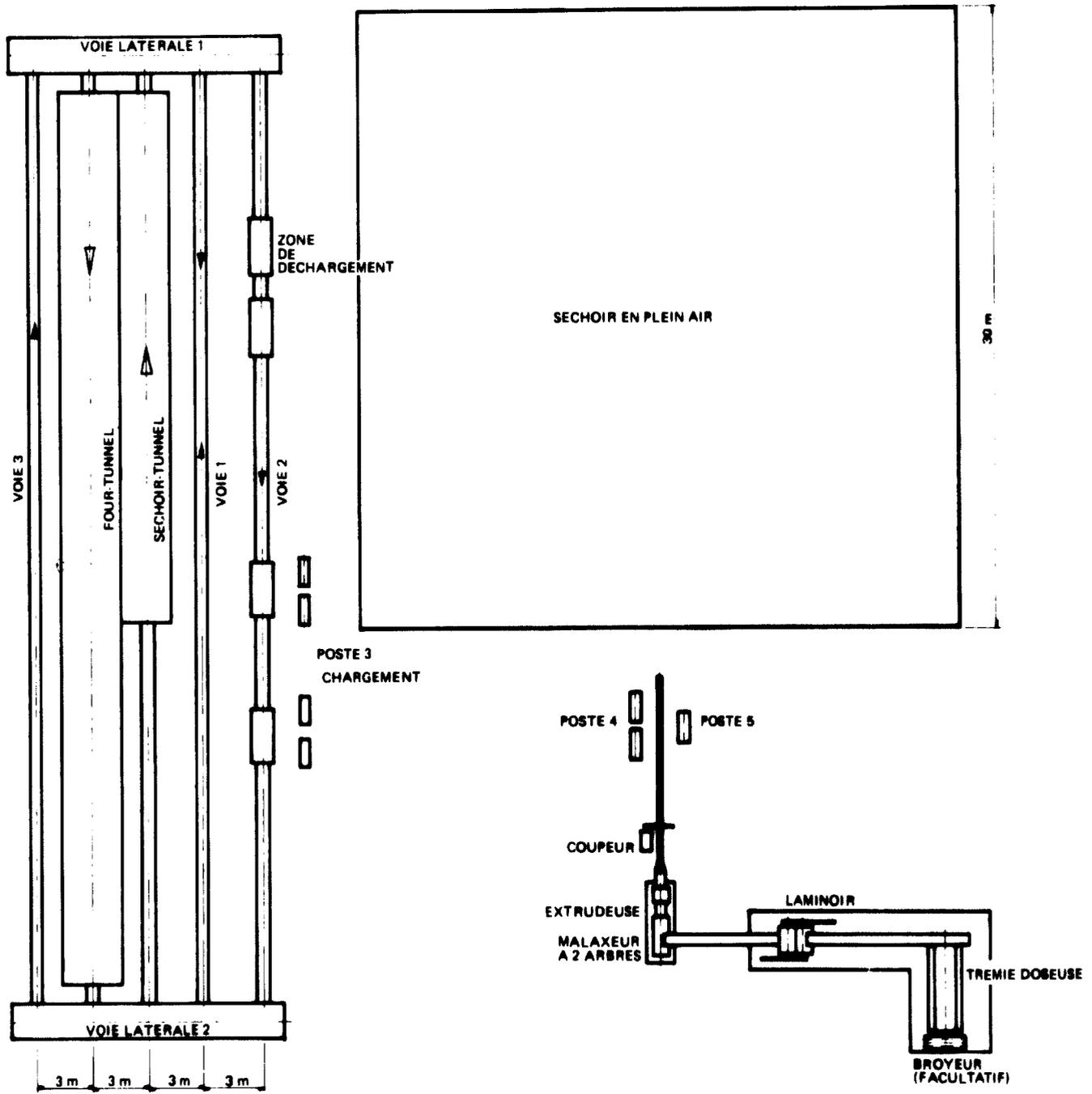
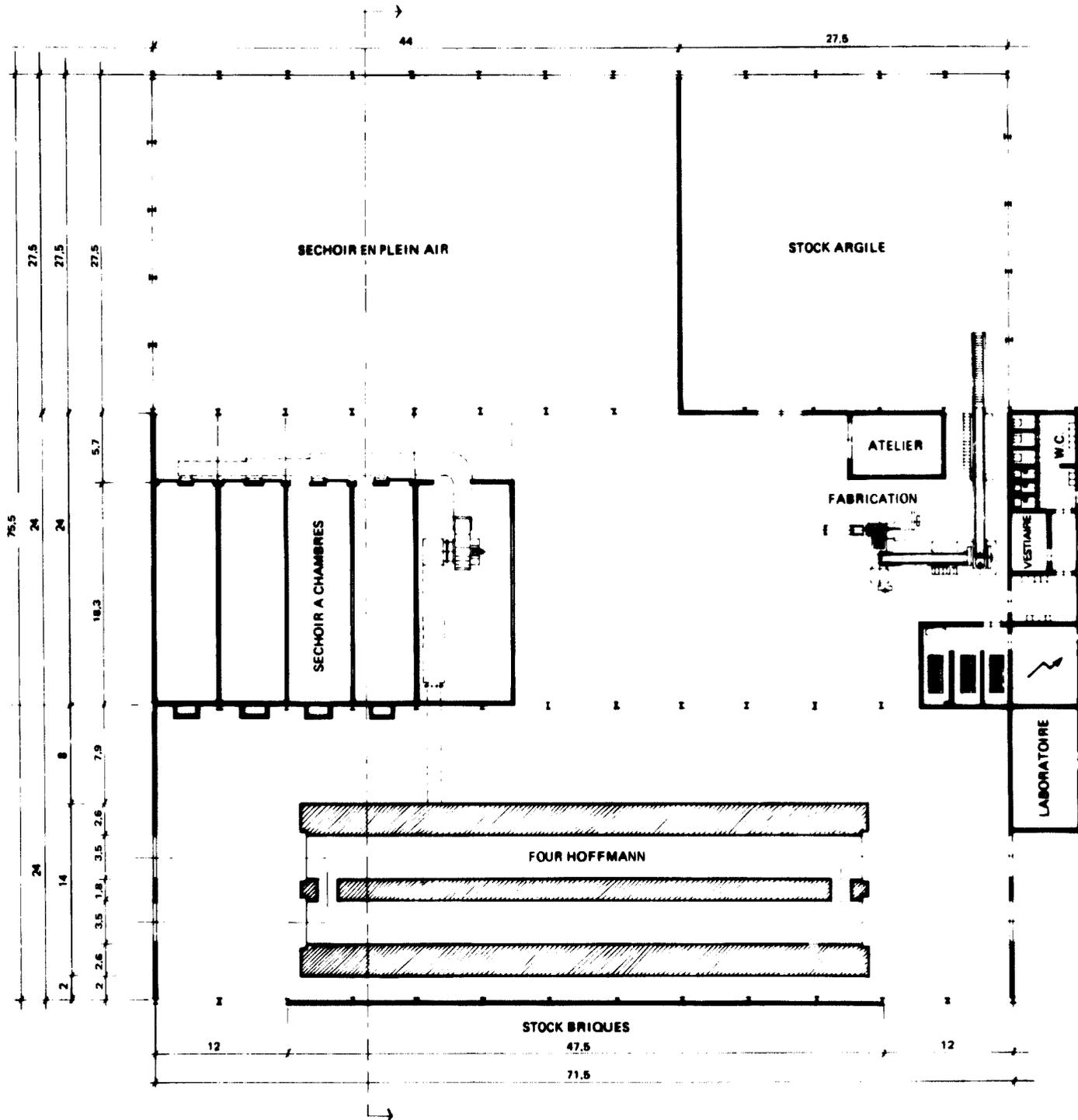


Figure VII a. Plan d'une briqueterie à four Hoffmann  
(Cotes en mètres)

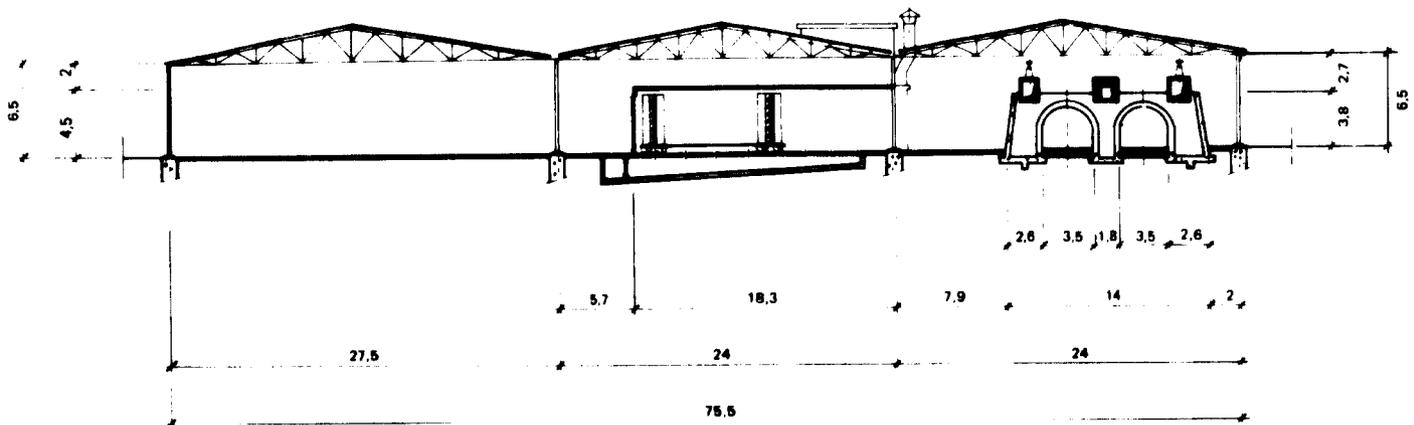


Même s'il est nécessaire de sécher les briques contenant 20 % d'humidité, le processus de séchage est toujours simple, car aucune contrainte n'a été incorporée dans les briques, comme c'est le cas dans le façonnage par extrusion. Un certain briquetier charge directement dans son four Hoffmann des briques façonnées par pressage en pâte ferme et contenant 20 % d'eau, et assure le ressuage avec la

chaleur récupérée dans les chambres de refroidissement; compte non tenu de la question de savoir s'il est bon de convertir un four en séchoir, c'est certainement là une réalisation remarquable.

Les briques façonnées par pressage en pâte ferme ont généralement une bien plus belle apparence que les briques façonnées par extrusion et se prêtent donc mieux à l'utilisation comme briques de parement.

Figure VII b. Briqueterie à four Hoffmann, coupe A-A  
(Cotes en mètres)



#### Façonnage par moulage en pâte molle

Dans la plupart des machines de moulage en pâte molle, le processus est similaire à celui du moulage à la main. En conséquence, toute argile se prêtant au moulage à la main peut être moulée à la machine.

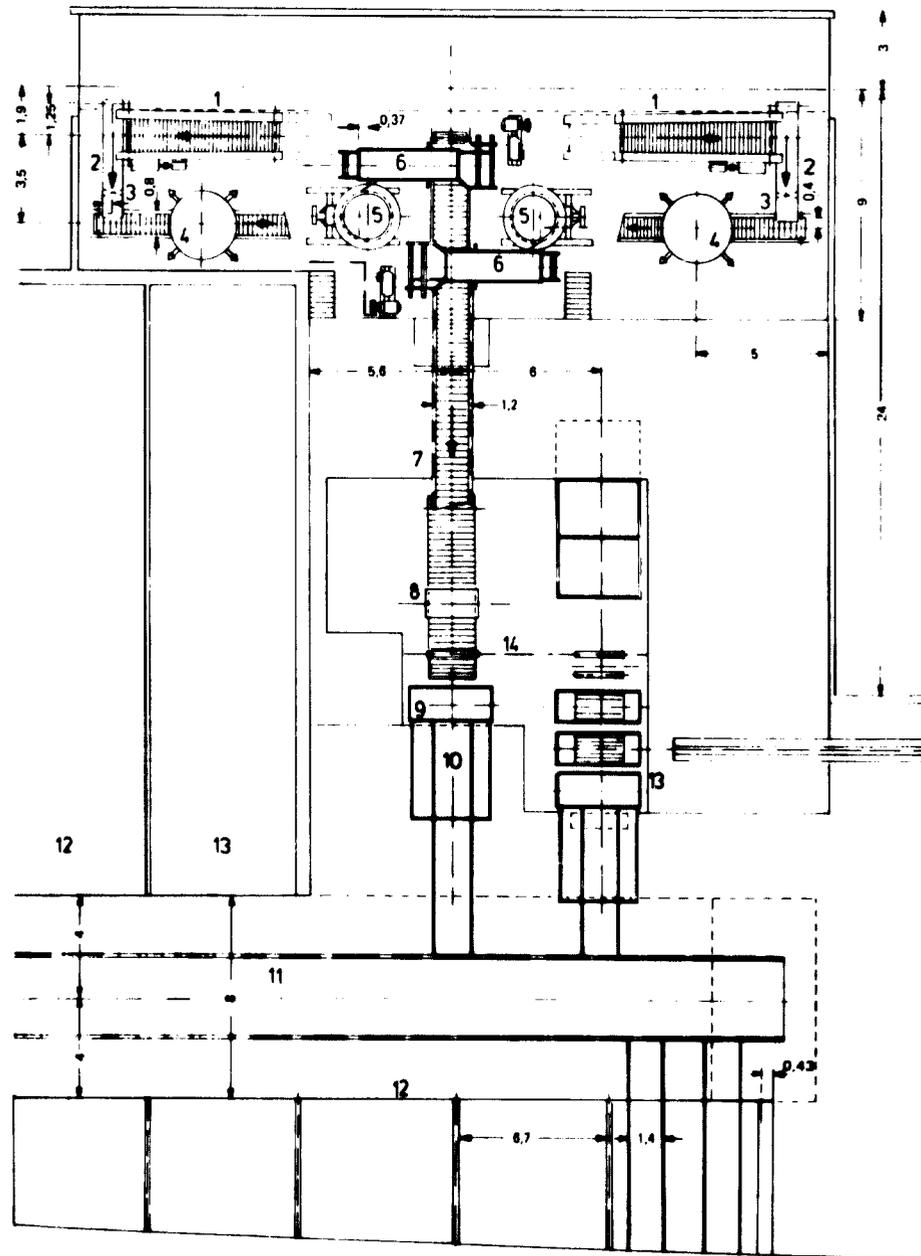
Ce procédé est très utilisé aux Etats-Unis et aux Pays-Bas, beaucoup moins au Royaume-Uni, où il semble réservé à la fabrication de briques de construction. Aux Pays-Bas et au Royaume-Uni, le moulage en pâte molle est imposé par la nature des matières premières disponibles; aux Etats-Unis, en revanche, on l'applique parce qu'il donne aux briques une apparence particulière, très recherchée pour les briques de parement.

La machine la plus simple est sans doute la machine Berry, employée presque exclusivement au Royaume-Uni. L'argile, normalement beaucoup plus molle que pour le façonnage par extrusion, avance dans un cylindre sous l'action d'un malaxeur à lames monté sur un arbre central; le cylindre est fermé à une extrémité, mais des orifices d'évacuation sont ménagés à la partie inférieure; des spatules, montées sur le même arbre, au-dessus de ces orifices, obligent l'argile à les traverser et à tomber dans les moules qui se trouvent au-dessous. Comme dans toutes les machines de façonnage en pâte molle, les moules doivent être sablés, à la main ou automatiquement. Les moules, en bois, sont poussés automatiquement sous les orifices du cylindre, puis de l'autre côté de la machine; les moules pleins reçoivent une secousse pour faciliter le démoulage, puis ils sont retournés pour déposer les briques sur des planchettes en bois, que l'on charge ensuite sur des palettes. Une machine Berry à quatre moules a un rendement théorique de 1 400 briques à l'heure. Les machines fabriquées aux Pays-Bas et aux Etats-Unis sont beaucoup plus compliquées. Elles fonctionnent selon le même principe général, mais comportent divers raffinements.

La machine américaine est équipée d'un malaxeur à un seul arbre qui envoie l'argile dans un malaxeur vertical (mais quelquefois horizontal); les moules, fixés à une ceinture continue, passent sous l'orifice d'évacuation de ce malaxeur, où ils reçoivent leur chargement d'argile, l'excédent étant arasé automatiquement; des butoirs automatiques rompent l'adhérence de l'argile dans le moule, puis des déverseurs automatiques déposent les briques sur des palettes en contre-plaqué; les moules vides retournent à la machine pour être resablés et le cycle recommence.

Dans la plus grande machine hollandaise, qui peut être entièrement automatisée, on peut mouler 10 briques à la fois, au rythme de 28 moulages par minute (soit une capacité de 16 800 briques à l'heure). Les moules parcourent un circuit fermé, qui contient 64 moules en bois; après remplissage, les moules reçoivent une secousse qui leur est imprimée par une courroie en caoutchouc; l'argile excédentaire est renvoyée à la presse; une palette en contre-plaqué est placée au-dessus des moules pleins, après quoi la palette et les moules sont renversés, de sorte que les briques reposent sur la palette; pendant que les palettes avancent, elles reçoivent des vibrations pour faciliter le démoulage et uniformiser la consistance des briques; le démoulage est ensuite effectué par un appareil mécanique qui soulève les moules et les accroche à des crampons. Les palettes de 10 briques passent dans un monte-charge à crémaillère et sont empilées dans un cadre qui contient 16 lits de 6 palettes; les cadres pleins sont transportés par un chariot à fourche dans le séchoir à chambres. Les moules vides font l'objet d'un lavage à la vapeur, suivi d'un séchage à l'air comprimé; toujours retournés, ils sont ensuite sablés sous pression; puis ils sont remis à l'endroit pour recevoir une nouvelle charge d'argile. La figure VIII donne le schéma d'une briqueterie moderne pratiquant le façonnage par moulage en pâte molle.

Figure VIII. Plan partiel d'un briqueterie pratiquant le moulage en pâte molle  
(Cotes en mètres)



1. Trémie doseuse
2. Transporteur à bande
3. Collecteur magnétique des déchets ferreux
4. Doseur d'additifs
5. Crible à frasse
6. Malaxeur à un arbre
7. Transporteur à raclettes
8. Machine de moulage
9. Récupération des palettes
10. Récupération des palettes chargées
11. Voie de transfert
12. Séchoir à chambres
13. Rayonnages à briques
14. Retour des palettes vides

Source : Ziegelindustrie, No. 5 (1975), p. 201.

## IV. Séchage

Les pièces façonnées par extrusion ou par moulage en pâte molle doivent être séchées avant d'être envoyées à la cuisson. Du point de vue de la consommation d'énergie, le séchage est en fait le stade le plus coûteux de tout le processus. La seule évaporation de l'eau contenue dans les briques crues exige environ 2 440 kJ/kg d'eau. Il faut y ajouter la chaleur nécessaire pour élever la température du corps argileux, soit environ 230 kJ/kg d'argile. L'air effectuant le séchage doit également être chauffé; la quantité de chaleur nécessaire à cet effet varie, selon le type et l'efficacité du séchoir, entre 1 700 et 4 200 kJ/kg d'eau évaporée. Enfin, la déperdition de chaleur varie entre 400 et 2 000 kJ/kg d'eau éliminée.

La chaleur à fournir pour évaporer 1 kg d'eau contenue dans des briques crues variera donc, selon Macey<sup>3</sup>, de 4 200 à 12 000 kJ. Ce qui intéresse le briquetier, c'est par exemple le coût du séchage de 1 000 briques de 240 x 115 x 71 mm, perforées de sorte que leur densité soit de 1,8. Après extrusion, une telle brique contient environ 700 g d'eau. Pour en sécher 1 000, il faut 2 900-8 200 MJ, obtenus par la combustion de 70-196 litres d'huile lourde n° 5, soit un coût de 3,50 à 9,80 dollars.

A moins que l'on ne dispose de chaleur récupérée dans le four de cuisson, il n'est pas recommandé de produire de la chaleur aux fins de séchage. On a bien essayé de récupérer la chaleur dégagée lors du refroidissement de fours scellés à l'argile et autres fours à tirage direct; mais cela n'est pas très pratique, car il faut placer une couverture en tôle métallique au-dessus du four lors du refroidissement. Généralement, les supports de cette couverture sont rattachés à des roues qui permettent de la déplacer le long du four, sur des rails en béton ou en fer reposant sur des piliers. Dans le cas de fours continus à feux mobiles, on peut récupérer un maximum d'environ 250 kJ/kg de briques, soit la chaleur nécessaire pour sécher 30 % seulement du chargement du four. Cette chaleur doit être extraite uniquement des chambres de refroidissement. Certaines briqueteries utilisent pour le séchage les fumées récupérées directement à la sortie du four de cuisson. Ceci ne doit être fait que lorsqu'on utilise des combustibles non sulfureux. Beaucoup d'huiles lourdes résiduelles et presque tous les charbons contiennent beaucoup de soufre, qui s'oxyde lors de la combustion pour former des oxydes sulfureux ou

sulfurique. Comme les gaz de combustion contiennent également beaucoup d'eau, il y a production d'acide sulfurique qui se dépose lorsque la température du point de rosée est atteinte; du fait de la présence d'acide sulfurique, cette température peut être de l'ordre de 180 °C. L'eau acide qui se dépose peut provoquer non seulement une efflorescence qui dépare la surface des briques, mais également la corrosion de toutes les parties métalliques du séchoir avec lesquelles elle vient en contact.

Seuls les fours-tunnels modernes, dans lesquels la combustion du combustible est optimale, permettent de sécher toutes les briques à cuire grâce à la seule chaleur récupérée, et cela seulement dans certaines conditions. Peu de pays en développement possèdent de tels fours.

### *Séchage en plein air*

Dans le séchage en plein air, il faut utiliser rationnellement l'énergie solaire. Les briques disposées sur des palettes peuvent être séchées au soleil, mais il faut les protéger par une couverture appropriée (feuillage ou tôle ondulée) pendant les premiers stades du séchage. Le séchage en plein air est quelque peu plus compliqué pendant la saison des pluies, car les briques doivent alors être placées sous abri; il faut protéger de la pluie, non seulement le dessus, mais aussi les côtés des empilements de briques. On a intérêt à construire des abris permanents, qui ne sont pas nécessairement coûteux; une structure en bois très simple, recouverte d'un feuillage, peut convenir, tout au moins au début. Ces abris doivent être assez hauts pour que les ouvriers puissent s'y déplacer facilement; si on utilise des chariots à fourche, les abris doivent être conçus de manière que ces machines puissent y circuler sans encombre.

Les briques et tuiles chargées automatiquement sur des lattis ou des palettes peuvent également être séchées en plein air, sous abri. Il suffit que les abris aient des parois avec des corniches assez solides pour supporter les palettes déchargées par les chariots à fourche.

Les petites briqueteries qui ne disposent pas de matériel de chargement automatique des lattis ou palettes utilisent fréquemment des treillis métalliques sur lesquels les briques sont disposées en un seul lit. Selon leur taille, ces treillis sont ensuite transportés,

<sup>3</sup>H. H. Macey, *Drying in the Heavy Clay Industries*, National Brick Advisory Council Paper No. 3 (Londres, HM Stationery Office).

manuellement ou par chariot élévateur, aux séchoirs en plein air ou aux séchoirs à chambres. Un treillis-cadre typique pour le transport par chariot élévateur à bras mesure 150 x 50 cm, sur 60 cm de haut, et peut recevoir environ 200 briques de 20 x 10 x 6,5 cm.

### *Séchoirs artificiels*

Lorsqu'on dispose d'un four continu, environ 30% de sa contenance peut être séchée dans un séchoir artificiel, le plus souvent un séchoir à chambres. Un séchoir à chambres est normalement un long tunnel, avec des épaulements sur les deux côtés pour recevoir les palettes ou les lattis. Les palettes sont généralement apportées dans les chambres par un chariot à fourche sur rails; après séchage des briques, elles sont retirées de la même manière. Dans certaines briqueteries anciennes, le chariot avec son chargement de briques sèches est poussé dans le four, déchargé au point voulu, puis ramené dans le séchoir pour être rechargé. On peut utiliser des transporteurs à bande ou charger les briques sur des chariots à bras, que l'on pousse ensuite dans le four. C'est cette opération qui exige le plus de main-d'oeuvre dans tout le processus de fabrication des briques. C'est aussi celle pendant laquelle il y a le plus de casse. Dans les briqueteries les plus modernes, les briques sèches sont retirées du séchoir et immédiatement mises en lots qui seront transportés et déposés tels quels dans le four de cuisson. Il faut respecter strictement le mode de chargement voulu pour obtenir une circulation optimale des gaz chauds qui assurent la cuisson.

Les briques façonnées par extrusion en dur peuvent être ainsi empilées dès la sortie du façonnage. Le premier lit de la pile risque d'être comprimé par la fourche du chariot élévateur; il est donc parfois constitué par des briques déjà cuites. Comme la cuisson exige que les lots de briques soient disposés de manière à permettre la circulation des gaz chauds, la même disposition permettra le séchage.

Les séchoirs doivent être conçus pour permettre la circulation de l'air chaud à travers les lots de briques. Dans un séchoir à chambres du type tunnel, l'air chaud peut être insufflé : a) des deux côtés en même temps, et évacué vers le haut; b) d'un seul côté, et évacué du côté opposé; c) par le bas, et évacué vers le haut. Les lots de briques sont enfournés et défournés au moyen de chariots élévateurs à fourche. Normalement, il n'est pas nécessaire de mesurer et de contrôler l'humidité; l'appareillage nécessaire à cette fin est coûteux et d'un emploi difficile. Par conséquent, il ne faudrait pas utiliser d'argiles ayant une grande sensibilité au séchage. Toutefois, comme

des ventilateurs sont nécessaires pour insuffler l'air chaud, une manière rudimentaire de contrôler l'humidité pendant les premiers stades du séchage consiste à remettre en circulation une partie de l'air humide et encore tiède sortant du séchoir. Les ventilateurs devraient aspirer l'air de séchage, en partie de la zone de refroidissement du four et en partie des chambres de séchage, grâce à des conduites à registres. Un briquetier aurait tort de vouloir dessiner et construire lui-même ses séchoirs, car cela demande beaucoup d'expérience et de savoir-faire; les spécifications des séchoirs devraient être demandées à un spécialiste des méthodes de séchage et leur réalisation devrait être confiée à un ingénieur qualifié.

Dans les briqueteries à four-tunnel fabriquant des briques pleines ou perforées, le façonnage devrait être par extrusion en dur, afin que les briques puissent être chargées directement sur les plates-formes des chariots du four. De la sorte, elles peuvent être séchées dans des séchoirs contigus au four-tunnel et chauffés par la chaleur résiduelle du four; leur conception est semblable à celle des séchoirs dans lesquels les lots de briques sont enfournés et défournés au moyen de chariots élévateurs à fourche. Pour obtenir un rendement optimal, on utilise parfois dans le même séchoir les trois modes de circulation de l'air décrits plus haut.

Les briques façonnées par moulage en pâte molle, qui sont normalement chargées sur des palettes en contre-plaqué, sont généralement transportées par des chariots à fourche et séchées de la même manière que les briques ou les tuiles façonnées par extrusion en mou. Les briques façonnées par pressage en pâte ferme, qui seront cuites dans des fours continus à feux mobiles ou dans des fours périodiques, n'exigent aucun séchage et peuvent être enfournées directement dès la sortie de la presse; mais si leur cuisson est effectuée dans un four-tunnel, elles doivent être préalablement séchées en passant dans le séchoir contigu au four.

Le séchage des briques a été récemment révolutionné. On s'est rendu compte que le séchage des briques sous de grands volumes n'était pas efficace. La plupart des briques peuvent être cuites beaucoup plus rapidement et sans dommage si elles sont préalablement exposées de tous côtés à l'air de séchage. Ce principe est maintenant appliqué dans les nouveaux séchoirs, dans lesquels les briques sont séchées en quelques heures. Toutefois, comme d'importants travaux de mise au point sont encore nécessaires, les briquetiers dans les pays en développement devraient s'en tenir pour le moment aux anciens séchoirs à chambres et tirer le meilleur parti possible de l'énergie solaire.

## V. Fours de cuisson

Les installations pour la cuisson des briques sont très diverses : depuis un dispositif que l'on est à peine en droit d'appeler un four jusqu'à des installations très raffinées qui coûtent des centaines de milliers de dollars. Au bas de la gamme, on trouve ce que l'on appelle le "four de campagne", dans lequel l'empilement des articles à cuire constitue le four; à l'autre extrémité, on trouve le four-tunnel moderne. Dans les pays en développement, l'installation à choisir dépendra des conditions locales, notamment du degré de développement, de la nature et de l'importance du marché et des capitaux disponibles.

Les fours intermittents, rectangulaires ou circulaires (aussi appelés fours-ruches) ne seront pas étudiés ici, car leur utilisation n'est justifiée que pour la cuisson de briques de parement de belle qualité, afin d'obtenir des effets spéciaux. Ces fours consomment cinq à sept fois plus de combustible qu'un four continu. De plus, même les fours utilisés à des fins spéciales sont de plus en plus remplacés par de grands fours modernes alternatifs, pouvant contenir jusqu'à 60 000 briques dont la cuisson et le refroidissement ne demandent que 48 heures.

Le plus pratique est le four continu à feux mobiles, auquel on a donné initialement le nom de four Hoffmann, mais dont il existe maintenant de nombreuses versions. L'ancien modèle, appelé four en zigzag, qui avait pour caractéristique les toutes petites portes par lesquelles les briques étaient introduites sur des chariots à bras et enfournées à la main, a été peu à peu remplacé par le four Hoffmann modifié, dont les grandes ouvertures permettent le passage de chariots élévateurs à fourche. Le four annulaire de Bull, qui est au four Hoffmann ce que le four scellé à l'argile est au four intermittent, mérite une mention particulière.

Les fours-tunnels ont été utilisés initialement aux Etats-Unis, où pratiquement toutes les briques sont des briques de parement. Après la Seconde Guerre mondiale, leur emploi s'est généralisé en Europe. On ne trouve pratiquement plus de fours continus à feux mobiles en France et en République fédérale d'Allemagne; il y en a encore en service en Italie, mais on n'en construit plus.

### Combustibles

Jusqu'à une époque récente, un pays en développement ne possédant pas de combustibles fossiles et utilisant, par exemple, les coques de noix

de coco comme combustible, aurait pu envisager d'extraire l'huile des amandes, d'utiliser les fibres comme textile et d'importer du fuel à bon marché. Une telle politique n'est plus à conseiller. Depuis la crise de l'énergie, l'utilisation de fuel pour le chauffage est hors de question dans beaucoup de pays en développement.

Dans le tiers monde, la quantité d'énergie produite chaque jour par la combustion de bois et d'excréments animaux est à peu près équivalente à celle contenue dans le pétrole brut livré sur le marché mondial, c'est-à-dire environ 30 millions de barils par jour. La caractéristique de la pauvreté n'est pas tellement la faible consommation d'énergie par habitant que la quantité relativement faible de travail utile fourni par cette énergie. Le problème est d'accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources disponibles, qui sont en grande partie renouvelables.

Certes, peu de personnes envisageraient sérieusement d'utiliser les excréments animaux comme combustible pour la cuisson des briques (bien qu'ils servent encore dans maints pays à la cuisson de poteries); mais certains déchets agricoles comme les enveloppes de noix, de riz et d'arachides, les fanes et la paille peuvent se trouver presque partout et constituer un combustible très satisfaisant pour la cuisson des briques, si on les utilise rationnellement. Par exemple, peu de gens savent que les coques de noix de coco ont un pouvoir calorifique élevé : 14 700 kJ/kg; bien que l'on ne dispose pas de statistiques fiables, on a calculé qu'un petit pays comme le Togo produisait près de 12 000 tonnes de coques par an, qui permettraient de produire 176 milliards de kJ. Les déchets agricoles sont donc, potentiellement, le meilleur combustible pour les briqueteries et elles devraient en faire largement usage; malheureusement, ils sont rarement disponibles à proximité et leur volume rend les frais de transport élevés.

Deuxième en importance est le bois. Les esprits conservateurs avaient coutume d'élever des objections à cause de la déforestation résultant d'une utilisation incontrôlée et abusive du bois comme combustible. La déforestation peut être évitée si on élabore et applique strictement une politique raisonnable de conservation.

Un bois entièrement sec fournit entre 17 000 et 21 000 kJ/kg. Dans les forêts africaines, par exemple, une coupe claire peut donner jusqu'à 60 tonnes de grumes par hectare, mais il serait peu sage de chercher

à obtenir un tel rendement. En revanche, le nettoyage des taillis peut donner environ 125 tonnes de bois par kilomètre carré et par an; ce tonnage est loin d'être négligeable.

Cependant, l'utilisation du bois ou des déchets agricoles limite le choix du four. Ces combustibles peuvent alimenter des fours continus à feux mobiles, mais leur utilisation dans les fours-tunnels modernes n'est probablement pas envisageable. Certains partisans des fours-tunnels suggèrent d'incorporer des fanes ou des glumes dans le corps argileux, qui sera ensuite cuit dans un four-tunnel à mazout; toutefois, on ne peut utiliser qu'une petite quantité de ces déchets dans l'argile sans altérer ses propriétés mécaniques; ils ne devraient pas constituer plus de 5 % du corps argileux.

L'utilisation de fours-tunnels devrait sans doute être limitée aux pays ayant des réserves suffisantes de combustibles fossiles.

#### Fours à tirage direct

Le four "scellé à l'argile" semble être une amélioration du four de campagne, qui a déjà été mentionné. Les briques y sont disposées de manière à former une pyramide tronquée à pente raide, dont la hauteur peut atteindre une quarantaine de lits. La base de la pyramide dépend du combustible utilisé; elle est d'environ 60 paneresses pour les fours à mazout et d'environ 40 pour les fours à bois. Des foyers sont ménagés à la partie inférieure de la structure; leur largeur est généralement de trois paneresses et leur hauteur peut atteindre 13 épaisseurs de briques; ils sont le plus souvent espacés de six paneresses. Les gaz chauds produits dans les foyers s'élèvent à travers l'empilement de briques, puis s'échappent dans l'atmosphère en passant par des carneaux stratégiquement disposés. Initialement, l'extérieur de la pyramide de briques était luté pour éviter les pertes de chaleur. Maintenant, les grands fours sont revêtus d'une épaisseur de briques déjà cuites, qui peuvent être réutilisées; ceci constitue une amélioration sensible; la proportion d'incuits est beaucoup plus faible qu'avec les fours primitifs, dans lesquels il fallait rejeter ou recuire jusqu'à 20 % du chargement.

Jusqu'à une époque récente, les fours scellés à l'argile étaient très répandus aux Etats-Unis. On y a construit des fours extrêmement grands, pouvant contenir plus de un million de briques dont la cuisson était faite en une seule fois. Il s'agissait généralement de fours à mazout, mais on aurait pu y utiliser n'importe quel combustible. L'économie de combustible est très bonne. Avec le mazout, la consommation varie selon la nature de l'argile et la dureté désirée; d'après les chiffres dont on dispose, la consommation la plus faible et la consommation la plus élevée seraient, respectivement, de 1 400 et 3 600 kJ/kg de briques. Dans un pays africain où l'on

utilise comme combustible des coques de noix de coco, la consommation serait de 2 100 kJ/kg de briques.

Ces fours à tirage direct sont pratiques pour une nouvelle briqueterie, parce qu'il n'y a pas à faire immédiatement de gros investissements pour la construction d'un four permanent, qui est coûteux même dans sa forme la plus simple. Un four permanent peut être construit ultérieurement, grâce aux bénéfices réalisés pendant la période d'utilisation d'un four à tirage direct. En fait, même si un four permanent est envisagé dès le début, il serait inconcevable de ne pas commencer avec un four à tirage direct pour la cuisson des briques nécessaires à sa construction.

Les fours à tirage direct se prêtent fort bien à l'enfournement et au défournement mécanisés. Les analyses des dépenses afférentes à la main-d'oeuvre dans une briqueterie montrent fréquemment que le transport, l'enfournement et le défournement absorbent jusqu'à 40 % de la main-d'oeuvre totale. N'ayant ni parois ni couverture permanentes, de grands fours à tirage direct peuvent être facilement chargés avec des chariots élévateurs à fourche. Certaines briqueteries ont même utilisé des grues sur portique roulant.

On construit parfois des fours à tirage direct permanents afin d'économiser la main-d'oeuvre nécessaire pour faire le revêtement extérieur du four après chaque chargement et pour le démolir après la cuisson. Ces fours permanents permettent également quelques économies de combustible, mais elles sont peu importantes, étant limitées à la prévention ou à la diminution des pertes par rayonnement. En même temps, la déperdition de chaleur est plus élevée, du fait de la chaleur emmagasinée dans les parois du four. Du point de vue économique, le succès des fours à tirage direct dépend de la possibilité d'assurer une cuisson rapide.

#### Fours continus

Dans la plupart des fours intermittents, l'économie du combustible est mauvaise; en fait, une bonne partie de la chaleur fournie est perdue : a) dans les gaz de combustion, qui sortent du four à la température de cuisson; b) en chaleur sensible emmagasinée dans les parois du four; c) en chaleur retenue dans les briques. Dans les fours à tirage direct, les fumées sortent du four à une température beaucoup plus basse, ce qui signifie que moins de chaleur est perdue; en contrepartie, on trouve beaucoup d'incuits dans le haut du four.

Dans les fours continus, l'économie de combustible est réalisée en diminuant chacune des pertes de chaleur mentionnées ci-dessus : les pertes sous a) sont fortement réduites en utilisant les gaz de combustion chauds pour préchauffer les briques qui restent à cuire; la chaleur perdue sous c) est normalement utilisée pour le séchage; les pertes sous b) sont traitées ci-après.

Il y a deux manières, fondamentalement différentes, de traiter le problème de l'économie de chaleur. Elles ont en commun le fait que le four n'est jamais éteint; mais, dans un type de four continu la charge de briques reste stationnaire et le feu est mobile, tandis que dans l'autre type le feu reste stationnaire et la charge de briques est déplacée. Cette différence entre les deux types de fours continus indique comment on peut réduire les pertes de chaleur mentionnées sous *h)* plus haut. Dans les fours continus à feux mobiles, la chaleur emmagasinée dans la maçonnerie du four est utilisée pour le séchage, en même temps que la chaleur libérée par les articles en refroidissement. Dans le four-tunnel, cette chaleur reste emmagasinée dans les parois et la voûte du four et n'est perdue que lorsque le four doit être arrêté, en général pas plus d'une fois par an. Toutefois, les pertes de chaleur par conduction à travers les parois du four et rayonnement ultérieur peuvent être prononcées; ce problème peut être facilement résolu, soit par une bonne isolation thermique des parois, soit en utilisant la chaleur de conduction pour le séchage; c'est donc une question de conception du four.

#### *Fours continus à feux mobiles*

Bien que le four annulaire de Bull soit bien postérieur au four d'Hoffmann, dont il découle, il sera étudié le premier, car c'est le plus primitif des deux. Le four de Bull consiste en une tranchée circulaire ou ovale creusée dans le sol; ses dimensions peuvent varier fortement, mais le type le plus commun a un diamètre de 30-50 m; l'anneau lui-même a environ 6 m de large et 2,5 m de profondeur. Un autre modèle très utilisé consiste en deux tranchées parallèles, reliées aux extrémités. Le chargement de briques est normalement constitué de colonnes ayant une longueur de brique de côté, espacées de 7-8 cm pour permettre la circulation des gaz chauds. Dans les trois lits supérieurs, on ne laisse aucun espace entre les briques, afin de réaliser une voûte continue. Le four est divisé en sections ou chambres, séparées l'une de l'autre par de grandes plaques de métal fermant hermétiquement chaque chambre. Dans les trois lits supérieurs de briques, on ménage des ouvertures pour l'introduction du combustible, ainsi qu'une ou deux fentes latérales par chambre. Le dernier lit de briques est ensuite recouvert d'une épaisseur de 10-15 cm de cendres de charbon.

La principale caractéristique de ce four est sa cheminée mobile. Elle est en tôle de fer et peut avoir jusqu'à 15 m de haut; sa partie inférieure recouvre entièrement les fentes dont il a été question plus haut; ceci assure le tirage nécessaire au fonctionnement du four. On prévoit parfois deux cheminées; on les déplace au-dessus des fentes, d'une chambre à l'autre, à mesure que le feu progresse. On enlève

ensuite les cloisons métalliques et on allume de nouveaux foyers.

Dans les modèles plus modernes, les parois latérales peuvent être en briques, ou partiellement enterrées et partiellement en briques. Parfois, les carneaux d'évacuation des gaz sont ménagés dans les parois latérales; c'est le plus souvent dans la paroi extérieure, mais quelquefois dans la paroi intérieure. Ces carneaux sont reliés aux fentes au-dessus desquelles on place la cheminée mobile.

Un four des dimensions susmentionnées peut contenir jusqu'à 600 000 briques, dont la cuisson peut être réalisée au rythme de 30 000-35 000 par 24 heures. La consommation moyenne de combustible varie de 1 150 à 1 1900 kJ/kg de briques; de ce fait, le four de Bull mérite d'être mieux connu et plus largement utilisé. A l'heure actuelle, on le trouve essentiellement en Inde et au Pakistan. Son fonctionnement exige beaucoup de main-d'oeuvre : six hommes pour les feux seulement.

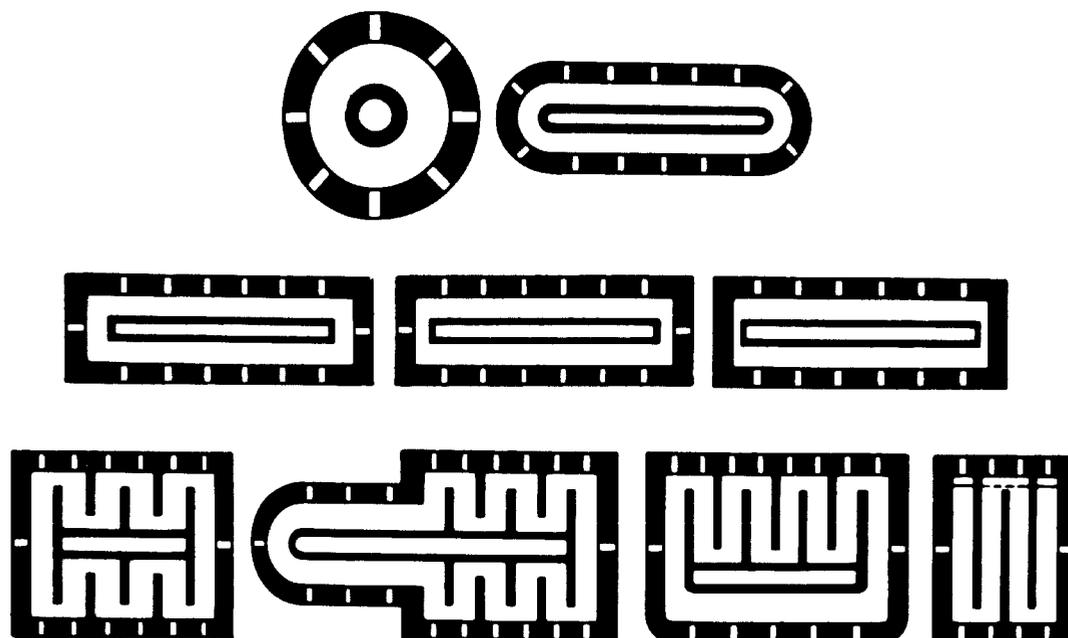
Il faut distinguer deux modèles principaux de four, selon leur construction. Les fours du premier type ont une voûte longitudinale continue; ceux du second type sont divisés en chambres latérales ayant chacune sa propre voûte. Les premiers sont appelés fours Hoffmann, bien que la conception initiale ait été souvent modifiée; la figure IX montre l'évolution du four Hoffmann depuis le modèle circulaire initial, ainsi que des exemples de fours en zigzag, c'est-à-dire de fours à chambres latérales.

Le four Hoffmann moderne est composé de deux longues galeries voûtées, reliées aux extrémités par un couloir qui ne sert qu'à la circulation des gaz. Les petites ouvertures latérales qui caractérisaient les premiers modèles ont disparu. Maintenant, la paroi intérieure de chaque chambre est entièrement ouverte pour permettre l'enfournement et le défournement au moyen de chariots élévateurs à fourche. Certaines ouvertures doivent être fermées, pour la cuisson, par une cloison qu'il faut ensuite abattre. La démolition des cloisons et le défournement sont les opérations qui demandent le plus de main-d'oeuvre; de plus, ce sont celles pendant lesquelles il y a le plus de casse. Toutes les briqueteries dans les pays en développement devraient introduire l'utilisation de chariots élévateurs à fourche dans leurs opérations; c'est là une phase de mécanisation qu'aucune briqueterie ne doit chercher à éviter.

Un four Hoffmann bien exploité consomme au minimum 1 340 kJ/kg de briques pour une température de cuisson d'environ 1 000 °C; une consommation de 2 500-3 400 kJ est plus courante. On peut récupérer environ 250 kJ/kg de briques dans les chambres de refroidissement, afin de les utiliser pour le séchage; ceci signifie que l'on ne peut sécher qu'environ 30% du chargement du four grâce à la chaleur récupérée.

N'importe quel combustible peut être utilisé dans un four Hoffmann. Le charbon a été et reste le

Figure IX. Evolution du four Hoffmann



Source : W. Avenhaus, *Rechnungsgrundlagen für den Entwurf und den Betrieb keramischer Brennöfen* (Halle, Knapp).

combustible le plus employé, suivi par le fuel chaque fois qu'on peut en disposer. Les pays manquant de combustibles fossiles devraient chercher à alimenter les fours au bois et aux déchets agricoles.

Un four Hoffmann peut être construit à moindres frais que tout autre type de four continu; à capacité égale, il coûte environ 30 % moins cher qu'un four-tunnel. On le construit normalement avec le même type de briques que celles qui y seront cuites ultérieurement. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des briques réfractaires, étant donné que chaque partie du four devient successivement accessible pour inspection et réparations éventuelles; toutefois, en vue de minimiser les frais de maintenance, les carneaux reliant l'intérieur du four à la conduite principale d'évacuation et parfois même cette conduite devraient être revêtus intérieurement de briques réfractaires de bonne qualité. Dans les premiers fours Hoffmann, le tirage nécessaire au fonctionnement était assuré par une cheminée; aujourd'hui, on obtient de meilleurs résultats avec des ventilateurs.

#### Four-tunnel

Le four-tunnel est certainement le moyen le plus efficace de cuisson des briques. S'il est bien conçu, il a un rendement thermique remarquable; dans certaines conditions, c'est-à-dire si les températures de cuisson sont supérieures à 1 000 °C, la chaleur récupérable est suffisante pour sécher tout le chargement du four.

Toutes les opérations – enfournement, cuisson et défournement – peuvent être facilement mécanisées. On trouve sur le marché de nombreux modèles de machines automatiques ou semi-automatiques d'enfournement; mais ces machines sont complexes et coûteuses, et les briqueteries de pays en développement devront sans doute s'en passer pendant quelque temps. Cependant, un four-tunnel moderne peut facilement être enfourné et défourné avec des chariots élévateurs à fourche; c'est le cas notamment des fours les plus récents – qui sont larges et bas – dans lesquels le chargement de chaque chariot est divisé longitudinalement et transversalement en plusieurs lots. Les fours-tunnels deviennent de plus en plus larges et bas; une largeur supérieure à 6 m est commune; les dimensions optimales seraient une largeur égale à environ 30 panneresses et une hauteur de 10 lits.

Le perfectionnement le plus récent est le four "monolit", dans lequel le chargement de briques est exactement ce que le nom implique: une seule couche de briques. Un tel four permet une cuisson extrêmement rapide et les pièces à cuire peuvent y être enfournées automatiquement par la machine la plus simple. Le nombre de rejets est minimal. Toutefois, l'avantage réel de ce four n'a pas encore été démontré. Il n'a sans doute qu'un intérêt marginal, parce que les briques demandées dans la plupart des pays en développement seront probablement une combinaison de briques ordinaires et de briques de parement, c'est-à-dire des articles pouvant être utilisés aux deux fins.

Un four-tunnel peut être décrit comme un long tunnel revêtu intérieurement de briques réfractaires. Il est normalement divisé en trois sections – préchauffage, cuisson et refroidissement – qui sont traversées successivement par les briques chargées sur des plates-formes à revêtement réfractaire. Ces trois sections principales sont elles-mêmes subdivisées. On trouve tout d'abord une zone d'effluents, où les gaz provenant de la section de cuisson passent à travers les briques crues pénétrant dans le four avant d'être évacués par un ventilateur à travers plusieurs ouvertures latérales; la zone suivante est parfois appelée zone de ressuage, bien que dans un four-tunnel bien conçu et bien exploité il ne soit pas nécessaire de procéder à un ressuage; elle précède la section de préchauffage, suivie elle-même de la section à haute température où a lieu la cuisson proprement dite.

La section de refroidissement vient évidemment en dernier. Sa première subdivision peut être une zone de refroidissement rapide, dans laquelle de l'air en circulation forcée refroidit rapidement les briques de la température de cuisson à une température quelque peu supérieure à celle qui pourrait provoquer un choc thermique, c'est-à-dire aux environs de 800 °C. Lorsque cette température a été atteinte, le refroidissement doit être beaucoup plus lent. Selon la conception du four (qui dépend notamment de la teneur en quartz ou de la porosité des briques cuites), il peut y avoir une zone de refroidissement indirect, grâce à une série de déflecteurs en briques réfractaires minces ou en tôles de fer, suivie d'une zone de refroidissement direct par de l'air insufflé.

L'air chaud dégagé par les briques en refroidissement est utilisé d'au moins deux manières : une partie est envoyée dans la section de cuisson, où elle peut constituer une source d'air secondaire pour la combustion; une autre partie est évacuée et utilisée pour le séchage des briques.

Cependant, les briques en refroidissement ne constituent pas la seule source de chaleur résiduelle. Une quantité de chaleur additionnelle, qui est loin d'être négligeable, peut être récupérée au-dessus du four; la présence de cet air chaud est due à la conduction à travers la voûte réfractaire. Théoriquement, une isolation appropriée peut empêcher toute perte de chaleur à travers la voûte du four; mais ceci n'est pas à conseiller de manière générale, étant donné que la température moyenne de la voûte augmente sensiblement. On cherche généralement à réaliser un compromis, en ce sens que l'on fait une isolation juste suffisante pour obtenir assez d'air chaud pour le séchage des briques. Pour des raisons évidentes, la voûte de la section de refroidissement n'est pas isolée et une quantité raisonnable de chaleur est récupérée au-dessus d'elle.

L'apport de chaleur a lieu, évidemment, dans la section de cuisson. Le four-tunnel se prête particulièrement bien à l'utilisation de combustibles gazeux

ou liquides. Traditionnellement, les feux sont montés dans les parois latérales du four et sont constitués par des brûleurs utilisant de l'air à basse pression ou à haute pression pour la pulvérisation et comme air primaire de combustion. Dans le passé, l'air secondaire était partiellement attiré par l'action des brûleurs et partiellement obtenu de la section de refroidissement; la tendance actuelle est d'avoir des brûleurs scellés. Certains fours utilisent même de l'air préchauffé, qui peut provenir de la section de refroidissement et être insufflé dans le four devant les brûleurs.

Des problèmes particuliers se posent aux pays dépourvus de combustibles fossiles, qui n'ont pas le désir ou les moyens d'en importer. Les pays possédant du charbon peuvent s'en servir pour produire du gaz dit de gazogène; mais ce gaz a un faible pouvoir calorifique et n'est pas à conseiller comme combustible dans les fours-tunnels, car il produit un important volume d'effluents, c'est-à-dire des pertes considérables de chaleur dans la cheminée. Dans quelques pays, du charbon pulvérisé est envoyé directement, par le haut du four, dans les espaces ménagés dans le chargement de briques: ceci imite en un sens le fonctionnement d'un four Hoffmann. Cette pratique a deux inconvénients : manque de propreté dans l'usine et décoloration fréquente des briques qui ont été en contact avec le charbon. Les fours-tunnels modernes sont rarement alimentés directement au charbon.

Même avec les combustibles liquides, on a fréquemment recours à l'alimentation par le haut. Aujourd'hui, les opinions sont également partagées quant à l'intérêt de l'alimentation par le haut ou par les côtés. La cause de l'alimentation par le haut a probablement été renforcée par le fait, déjà mentionné, que les fours-tunnels deviennent de plus en plus larges, ce qui implique – si on a recours à des brûleurs installés dans les parois latérales – que les côtés du chargement de briques contiendront des surcuits ou que l'on trouvera des incuits au centre du chargement. Toutefois, cet obstacle a été surmonté, soit en utilisant des brûleurs spéciaux dans lesquels la combustion a lieu entièrement à l'intérieur du brûleur, soit en installant des brûleurs au-dessous des chariots transportant les briques.

Les plates-formes recouvrant le châssis métallique des chariots sont normalement faites en un matériau réfractaire : briques, carreaux de sol ou béton, le premier nommé étant le moins satisfaisant. Si l'on ne trouve pas dans le pays de matériaux réfractaires ou s'ils sont trop chers, on peut faire les plates-formes avec des briques de même nature que celles qui devront être cuites; cette possibilité est déterminée par la température de cuisson, qui ne devra pas être supérieure à 1 000 °C; avec des plates-formes en briques ordinaires, les travaux de maintenance sont plus fréquents. Une autre possibilité, meilleure mais plus coûteuse, consiste à broyer et à cribler des

fragments de briques réfractaires mises au rebut et à préparer avec ce matériau un béton réfractaire (ou "moulable" comme on l'appelle aux Etats-Unis), en le mélangeant avec environ 20 % de ciment alumineux et 5 % d'argile; avec ce mélange, on peut mouler des plates-formes de chariots.

Pour un rendement optimal, les fours-tunnels doivent comporter un grand nombre d'instruments de contrôle; un réglage entièrement automatique de la chauffe est indispensable. Ceci pose un nouveau problème à certains pays en développement, étant donné que ces instruments exigent des opérateurs très qualifiés et un entretien extrêmement soigneux; le personnel nécessaire n'est pas toujours disponible. Une solution en pareil cas consiste à former un ingénieur à l'utilisation d'un pyromètre ou de matériel pyrométrique; cependant, les moyens de formation devront être cherchés à l'étranger.

Les fours-tunnels modernes consomment 1 450-2 300 kJ/kg d'argile. D'une manière générale, plus long sera le four et meilleure sera l'économie du combustible. Celle-ci dépend largement de l'isolation thermique du four, du poids des chariots, etc. La question de savoir si la chaleur résiduelle récupérable permettra de sécher tout le chargement de briques dépend de nombreux facteurs, le moins important n'étant pas la conception du four. Le volume et la température des gaz de combustion évacués revêtent une importance primordiale.

Le volume des gaz de combustion dépend de l'excédent d'air de fonctionnement et du degré d'infiltration d'air inutile; ce volume peut être exprimé sous forme d'un rapport : volume de gaz/volume de briques; la plupart des fours-tunnels fonctionnent avec un rapport de 5,5 et la température des gaz de combustion est de 150 °C. La perte de chaleur dans ces gaz est d'environ 3 000 MJ/h, soit 41,5 % de l'apport total de chaleur. En réduisant la température des gaz à 100 °C et en maintenant un rapport de 2,5, on peut économiser chaque mois environ 37 000 litres de fuel.

La question de savoir si cette économie peut être réalisée dépend largement de la quantité d'air de combustion excédentaire, elle-même fonction de la teneur en carbone de l'argile. Par ailleurs, un volume important de gaz de combustion facilite la pré-chauffe, ce qui permet des vitesses de cuisson plus rapides. Il y a donc une limite au-dessous de laquelle il n'y a pas intérêt à réduire le volume de gaz de combustion. La quantité d'air inutile est déterminée par la conception du four.

La température des gaz de combustion évacués dépend essentiellement de la teneur en soufre du combustible. Si cette teneur est très élevée, la température des gaz évacués doit parfois atteindre 180 °C, étant donné le risque de voir des gaz contenant de l'acide sulfurique ou de l'acide sulfureux — qui ont un point de rosée élevé — se

condenser sur les briques avant leur cuisson et provoquer une efflorescence.

La question de savoir si la chaleur récupérée dans le four permettra de sécher tout le chargement de briques dépend de nombreux facteurs, le moins important n'étant pas la conception du four. En vue d'obtenir suffisamment d'air chaud pour le séchage, on sacrifie parfois l'économie de combustible. D'autres facteurs sont la température de cuisson et l'humidité des briques enfournées. Selon une enquête faite en République fédérale d'Allemagne sur 14 fours ayant une consommation moyenne de 1 737 kJ/kg de briques cuites, la quantité de chaleur récupérée dans l'air chaud pour le séchage était de 322 kJ/kg (ce qui correspond à 18,5 % de l'apport total de chaleur et à 46 % de la chaleur effectivement utilisée pour la cuisson, compte non tenu des pertes dans le four).

Les fours-tunnels fabriqués aux Etats-Unis sont conçus pour sécher tout leur chargement de briques façonnées par extrusion en dur et ayant une teneur en eau pouvant descendre jusqu'à 10 % dans certains cas extrêmes. Cependant, les chiffres mentionnés montrent que la plupart des fours-tunnels n'ont pas suffisamment de chaleur résiduelle pour sécher tout leur chargement de briques extrudées en mou et ayant une teneur en eau de 20 % ou davantage, notamment si la température de cuisson est inférieure à 1 000 °C.

Le four-tunnel a des avantages certains sur le four continu à feux mobiles. Certes, un four à feux mobiles bien conçu et bien exploité consomme à peu près autant de chaleur par kilogramme de briques qu'un four-tunnel de même capacité et le coût de la main-d'oeuvre pour l'enfournement et le défournement est à peu près le même, si on utilise des chariots élévateurs à fourche, mais un four-tunnel automatisé demande beaucoup moins de surveillance qu'un four à feux mobiles et l'uniformité de cuisson est très supérieure. Pour obtenir une cuisson uniforme avec un four à feux mobiles, il faut une main-d'oeuvre très qualifiée et expérimentée, tant pour l'enfournement que pour la chauffe. Il est indéniable que le four-tunnel permet une production de qualité supérieure, en même temps qu'une proportion bien plus faible de rejets. De plus, les fours à feux mobiles peuvent rarement être utilisés pour des températures supérieures à 1 000 °C, alors que la température de cuisson n'a pas de limite dans les fours-tunnels.

Un inconvénient du four-tunnel est qu'il ne peut consommer que des combustibles liquides ou gazeux; un autre est son coût initial élevé, qui augmente considérablement les dépenses d'investissement et l'amortissement. Les annexes VIII et IX contiennent des données qui permettent de comparer un four-tunnel ayant une capacité de 60 tonnes par jour à un four Hoffmann de même capacité; on constatera que le coût du second ne représente que 54 % du coût du premier.

## VI. Comparaison de deux briqueteries de même capacité, à four-tunnel et à four Hoffmann

Le coût des installations de façonnage, séchage et cuisson pour une production annuelle de 1 million de briques décroît très lentement lorsque la capacité totale augmente, comme le montrent les annexes V et VI. Cette diminution est plus lente pour la briqueterie à four Hoffmann que pour la briqueterie à four-tunnel, parce que le rapport ci-après est plus faible dans le premier cas :

### Coût des installations de séchage et de cuisson Coût des installations de façonnage

Il ressort à l'évidence qu'il y a intérêt à projeter une capacité de production supérieure à celle qui est nécessaire; on n'en aura pas besoin dans l'immédiat, mais on l'installe parce que l'investissement est favorable: le rapport production/capacité dépendra des résultats de l'étude de marché qui sera faite spécialement du point de vue du potentiel de croissance. Avec cette réserve, on décrit ci-après deux projets déterminés de briqueteries.

Les deux briqueteries fonctionnent dans des conditions identiques; elles ne diffèrent que pour les opérations de séchage et de cuisson des briques façonnées par extrusion. Chaque briqueterie a une production quotidienne de 60 tonnes de briques perforées, mesurant 240 x 115 x 75 mm et pesant 2,5 kg après cuisson. L'extraction de l'argile est faite manuellement dans une carrière ayant en moyenne 1 m de morts-terrains et située à environ 5 km de la briqueterie. L'argile est transportée de la carrière à la briqueterie par un camion à benne basculante pouvant contenir 10 tonnes d'argile.

Le façonnage est fait par extrusion en mou et les argiles dont on dispose permettent d'utiliser un matériel simple. Les argiles font l'objet d'un broyage préliminaire, puis sont déversées dans une trémie doseuse; celle-ci alimente un laminoir qui prépare l'argile pour le malaxeur à deux arbres, où l'on obtient un corps argileux homogène, ayant la teneur en eau appropriée pour extrusion dans une machine à désaération, suivie d'un coupeur automatique à un seul fil. Jusqu'à ce point, les deux briqueteries sont identiques.

Dans la briqueterie à four-tunnel, les briques coupées sont disposées manuellement sur des palettes aux points 4 et 5 (indiqués dans la figure VI), de sorte

que plusieurs ouvriers peuvent charger et décharger simultanément. Les palettes pleines sont transportées vers le séchoir en plein air par des chariots à bras. Ce séchoir a une surface utile d'environ 1 200 m<sup>2</sup>; le séchage en plein air a pour objet d'éliminer suffisamment d'eau pour que les briques soient assez dures pour être chargées sur les chariots du four-tunnel. Les palettes sont transportées au point 3, où a lieu ce chargement. Les palettes vides sont ramenées aux points 4 et 5. Les chariots chargés sont conduits, par la voie latérale 2, à l'entrée du séchoir-tunnel, ou bien — si l'on veut constituer une réserve pour le reste de la journée ou pour le week-end — sur la voie 1. Après passage dans le séchoir, les chariots entrent dans le four-tunnel en empruntant la voie latérale 1. Le séchoir-tunnel utilise exclusivement la chaleur récupérée du four. Après cuisson, les chariots sont envoyés sur la voie 3 pour déchargement, parfois directement sur les camions de livraison à la clientèle; on peut aussi stocker les briques dans la cour en plein air qui longe la voie latérale 1.

Le four-tunnel a 65 m de long; alimenté par le haut, il utilise du fuel n° 5; la consommation de chaleur est de 2 300 kJ/kg de briques cuites. Le fuel est stocké dans un réservoir souterrain en béton de 100 000 litres, d'où il passe dans un réservoir cylindrique surélevé de 5 000 litres pour la consommation quotidienne du four. Pour assurer la production requise, les opérations autres que la cuisson sont faites par une équipe travaillant 5 jours par semaine et 50 semaines par an. On trouvera à l'annexe VII les programmes de production et les besoins de la briqueterie en argile, eau et fuel.

Dans la briqueterie à four Hoffmann, les briques coupées sont chargées à la main sur des palettes plus grandes et transportées vers le séchoir en plein air par un chariot élévateur. Lorsqu'elles ont suffisamment durci pour pouvoir être empilées, elles sont transportées de nouveau par chariot élévateur dans un séchoir à quatre chambres, qui utilise la chaleur récupérée du four; le séchage y dure 20 heures.

Lorsque la teneur en eau des briques a été ramenée à un maximum de 3%, le chariot élévateur retire les palettes du séchoir; les briques sont déchargées et empilées en lots à l'extérieur du four.

Les lots sont enfournés par un chariot élévateur à fourche, qui sert également à défourner les briques cuites et à les transporter dans la cour. Afin que ce chariot puisse pénétrer dans le four, celui-ci est du type à grandes ouvertures. C'est un four à bois, alimenté par le haut. La figure VII donne une représentation schématique de la briqueterie. On trouvera à l'annexe VII les programmes de production et les besoins de la briqueterie en argile, eau et bois, sauf en ce qui concerne le combustible, les chiffres sont les mêmes que pour la briqueterie à four-tunnel.

### Contrôles de la qualité

Les contrôles de la qualité, tant des matières premières que des produits finis, sont généralement négligés dans les petites ou moyennes briqueteries, parce qu'ils sont jugés trop onéreux. Cependant, au moins certains contrôles doivent être faits dans une briqueterie ayant une capacité de 60 tonnes par jour, comme celles dont il est question ici.

La résistance mécanique étant la qualité primordiale de tout matériau de construction, la plupart des laboratoires d'essais d'argiles sont équipés de machines pour la déterminer. Comme la résistance à l'écrasement doit être mesurée avec des briques normales, ces machines sont généralement de grande taille et, par conséquent, assez coûteuses; leur achat ne saurait être recommandé, tout au moins au début. Toutefois, étant donné qu'il existe une relation presque linéaire entre la porosité et la résistance, la détermination de la porosité peut donner de bonnes indications. Une fois établie la relation entre la résistance et la porosité d'une argile ou d'un mélange d'argiles (ce qui peut être fait en envoyant des échantillons représentatifs de briques à un organisme spécialisé pour déterminer la résistance à l'écrasement), des tests de la porosité associés notamment à l'observation de la couleur après cuisson permettent un bon contrôle de l'uniformité de l'argile et des propriétés des produits finis. En conclusion, le contrôle en briqueterie sera limité à la détermination de la porosité, du retrait et de la couleur après cuisson.

L'uniformité des approvisionnements en argile revêt une importance primordiale. La matière première doit être vérifiée avant d'être envoyée à la briqueterie, normalement au moins un mois avant son utilisation; par conséquent, le laboratoire de contrôle devrait travailler sur des échantillons prélevés par le chef de carrière dans les parties de la carrière que l'on pense exploiter un mois plus tard. Comme il est toujours souhaitable de planifier l'exploitation de la carrière longtemps à l'avance, on devrait également tester des échantillons prélevés dans les parties qui seront mises en valeur un ou deux ans plus tard; comme les précédents, ces échantillons seront prélevés et soumis par le chef de carrière.

### Investissement

Les prévisions des dépenses totales d'investissement pour chacune des deux briqueteries sont données aux annexes VIII et IX, respectivement. Les chiffres doivent être utilisés avec prudence, car leur degré de fiabilité est très variable. Seuls les chiffres suivis d'un astérisque sont fondés sur des quotations réelles soumises par plusieurs fabricants de matériel; ils donnent l'ordre de grandeur des prix pratiqués à la fin de 1975. Ils ont été augmentés de 40% pour tenir compte des frais de transport outre-mer, ainsi que des droits, commissions et autres dépenses; cependant, ce pourcentage peut varier d'un pays à l'autre, selon les régimes fiscaux; certains pays ne prélèvent aucune taxe à l'importation, en vue de favoriser le développement industriel.

Les chiffres suivis de deux astérisques, notamment les prix du terrain, sont fondés sur ce que l'on pense être les besoins minimaux. Les prix du mètre carré de terrain représentent le maximum que l'on devrait payer. Encore moins fiables sont les chiffres suivis de trois astérisques; ils n'ont pas de valeur universelle, car les dépenses de génie civil varient fortement d'un pays à l'autre.

Il est également hasardeux d'estimer les frais de main-d'œuvre. Les dépenses d'enlèvement des morts-terrains et d'extraction de l'argile ont été calculés d'après l'expérience acquise dans plusieurs pays en développement, mais elles ne sont peut-être pas applicables dans tous les cas du fait des différences dans la configuration des couches argileuses, la nature des morts-terrains, le niveau des salaires, etc. Le prix de l'électricité varie beaucoup, mais tend à être élevé; le tarif de 0,048 dollar le kilowatt-heure et les prix estimés du fuel et de l'essence sont sans doute inférieurs à la réalité; toutefois, comme toutes les estimations sont faites d'après des unités telles que les heures de travail, les tonnes et les mètres carrés, on peut faire les ajustements nécessaires en se fondant sur les coûts et prix réels dans chaque pays ou localité.

Dans les annexes VIII et IX, la section 1 donne les dépenses encourues depuis la conception de la briqueterie jusqu'à l'achat du terrain et la commande du matériel. Pendant cette période, on prépare les spécifications pour le matériel, on fait des appels d'offres et on procède à la prospection et à l'essai de l'argile.

La section 3 donne les dépenses afférentes au personnel administratif nécessaire pendant la période de construction, ainsi qu'au personnel technique pendant sa formation. En revanche, les dépenses afférentes à ce personnel pendant la période de construction figurent à la section 7, car elles représentent des dépenses légitimes d'installation, qui font partie du coût final de l'équipement.

Les investissements nécessaires à chacune des deux briqueteries sont résumés ci-après :

*Briqueterie à four tunnel*

(En dollars)

*Capitaux fixes (annexe VIII)*

1) Dépenses préinvestissement et préparatoires	46 000
2) Préparation de la carrière d'argile	106 600
3) Traitements et salaires et autres dépenses pendant la période de construction	47 720
4) Eau, électricité, etc.	50 400
5) Matériel de bureau	10 000
6) Terrain et génie civil	464 300
7) Equipement de la briqueterie	1 361 000
<b>Total des capitaux fixes</b>	<b>2 086 050</b>

*Fonds de roulement*

Fabrication, administration et commercialisation pendant environ deux mois	95 000
<b>Total des investissements</b>	<b>2 181 050</b>

*Briqueterie à four Hoffmann*

(En dollars)

*Capitaux fixes (annexe IX)*

1) Dépenses préinvestissement et préparatoires	46 000
2) Préparation de la carrière d'argile	106 600
3) Traitements et salaires et autres dépenses pendant la période de construction	49 520
4) Eau, électricité, etc.	35 400
5) Matériel de bureau	10 000
6) Terrain et génie civil	608 150
7) Equipement de la briqueterie	1 003 700
<b>Total des capitaux fixes</b>	<b>1 859 370</b>

*Fonds de roulement*

Fabrication, administration et commercialisation pendant environ deux mois	90 000
<b>Total des investissements</b>	<b>1 949 370</b>

La briqueterie à four Hoffmann coûte environ 150 000 dollars de moins que la briqueterie à four-tunnel. Cette différence relativement faible s'explique par le fait que si l'équipement est beaucoup plus coûteux pour la briqueterie à four-tunnel, la surface couverte est presque 70 % plus grande pour la briqueterie à four Hoffmann.

**Besoins en personnel**

Les annexes X et XI montrent les besoins en personnel des deux briqueteries. Si le nombre d'ouvriers est quelque peu plus élevé pour la briqueterie à four Hoffmann, ceci est dû essentiellement à l'utilisation du bois comme combustible (transport du bois et alimentation du four à la main).

Si le four Hoffmann fonctionnait avec un autre combustible, cette briqueterie emploierait un peu moins d'ouvriers que la briqueterie à four-tunnel.

Le directeur général doit avoir des connaissances approfondies en gestion des entreprises et, si possible, être diplômé d'une faculté ayant ce sujet dans son programme. Il doit être parfaitement au courant des méthodes modernes de marketing. Une certaine expérience des matériaux de construction ou de l'industrie du bâtiment est souhaitable. On peut souvent se dispenser d'un directeur commercial, si le directeur général est en mesure de jouer ce rôle et si le marché le permet; par exemple, si la briqueterie a de gros clients, peu nombreux, le directeur général peut faire office de directeur commercial, avec l'aide peut-être d'un représentant travaillant à la commission. Si on engage un directeur commercial, il doit avoir une bonne expérience des matériaux de construction ou de l'industrie du bâtiment.

Les cadres techniques ne sont qu'au nombre de trois : un directeur technique, un chef de laboratoire et un chef de fabrication. Les deux premiers postes doivent être occupés par des ingénieurs, le premier étant de préférence confié à un ingénieur mécanicien et le second à un ingénieur chimiste ou un spécialiste de la céramique; avec une formation appropriée, un diplômé de l'enseignement secondaire peut occuper le second poste, car des connaissances en chimie ne sont pas absolument indispensables; son travail consistera à vérifier l'uniformité des approvisionnements en argile et la qualité des produits finis.

Le directeur technique, qui est responsable de toutes les opérations, rend compte directement au directeur général. Il supervise et contrôle l'exploitation de la carrière et l'approvisionnement en matière première par l'intermédiaire du chef de carrière, et les opérations dans la briqueterie par l'intermédiaire du chef de fabrication et du chef de four. Le chef de fabrication est un élément clef; beaucoup dépend de ses qualités personnelles et professionnelles. Il forme et dirige les ouvriers, prend soin des installations, supervise la production tant du point de vue qualitatif que du point de vue quantitatif. Il établit les états de production et de salaires. Avec une formation appropriée, un homme ayant de bonnes connaissances en mécanique doit faire un bon chef de fabrication.

Le chef de carrière doit avoir la plupart des qualités requises du chef de fabrication. Trois chefs de four sont nécessaires, un adjoint assurant la relève pendant leurs jours de repos; lorsqu'il ne fait pas fonction de chef de four, cet adjoint procède à des travaux d'entretien des fours et de leur matériel.

**Formation du personnel**

Normalement, aucune formation spécialisée préalable n'est nécessaire au directeur général et au directeur commercial. En revanche, une formation

spécialisée est absolument nécessaire au directeur technique. Pour la recevoir, il devrait aller dans une grande briqueterie moderne, de préférence dans un pays développé, où il passerait au moins six mois pour se familiariser avec toutes les opérations de la briqueterie, y compris l'exploitation des carrières, les essais des argiles, le contrôle de la production et la maintenance. Toutefois, comme les procédures appliquées dans les pays industrialisés ne peuvent pas être appliquées systématiquement dans les pays en développement, il devrait avoir la possibilité de parfaire cette formation en travaillant pendant trois mois dans une briqueterie moderne dans un pays en développement.

Après son retour et le début des travaux de construction de la briqueterie, il sera l'homologue de l'expert qui dirige ces travaux; il pourra ainsi se familiariser avec les installations et les besoins de la briqueterie. Cela lui permettra d'approfondir ses connaissances et de se préparer à assumer ses fonctions de directeur technique.

Le futur chef de laboratoire tirera profit de six mois de stage, soit dans un centre technique des briques et tuiles, soit dans une grande briqueterie pratiquant elle-même le contrôle de la qualité. S'il doit travailler dans une briqueterie à four-tunnel, il devra avoir quelques connaissances de la maintenance du matériel pyrométrique (thermocouples, voltmètres, ampèremètres, potentiomètres, etc.). Ces connaissances ne sont pas difficiles à acquérir, mais sont très précieuses parce qu'on ne trouve pas toujours de bons ateliers de réparation; la meilleure manière de les acquérir est évidemment de faire un stage chez le fabricant, mais on peut également les obtenir dans la plupart des centres de recherche et d'essais des argiles.

Le chef de fabrication devrait lui aussi recevoir une formation approfondie en travaillant pendant au moins six mois dans une briqueterie moderne. Il devrait parfaitement connaître tous les travaux de maintenance (entretien et réparations) et leur programmation.

Le chef de carrière devrait faire un stage d'au moins trois mois dans une grande briqueterie n'utilisant pas d'excavatrices pour l'extraction de l'argile. Il devrait apprendre la manière correcte d'utiliser des outils tels que les pioches et les pelles, ainsi que les précautions à prendre dans le maniement et l'emploi des explosifs. Il devrait être familier avec les différentes configurations des couches d'argile.

Dans le cas du four Hoffmann, les chefs de four sont normalement formés par l'ingénieur chargé de sa construction. Cependant, cette formation est rarement suffisante, car seule une longue expérience permet d'évaluer à l'oeil la température et de déterminer la progression des feux. Trois mois de stage dans une briqueterie à four Hoffmann consommant du bois ou un combustible similaire sont nécessaires pour au moins l'un des chefs de four; de

telles briqueteries se trouvent normalement dans des pays en développement. La situation est totalement différente dans le cas du four-tunnel. En effet, ces fours comportent de nombreux instruments de mesures et des réglages automatiques de la température; de ce fait, la formation donnée par l'ingénieur chargé de la construction du four est généralement suffisante.

#### Etablissement du prix de revient

Les diverses dépenses qui constituent le prix de revient sont indiquées aux annexes XII, XIII et XIV. Les dépenses afférentes aux matières premières donnent sans doute une idée assez exacte de la situation à la fin de 1975. Evidemment, le coût total dépend largement du niveau des salaires. La provision pour épuisement de la carrière a été fixée à 0,50 dollar par tonne d'argile extraite; cette provision est généralement fixée de manière arbitraire, selon l'usage commun, et sert à alimenter un fonds de réserve spécial qui permettra l'achat éventuel de nouvelles carrières, lorsque la carrière en exploitation sera épuisée. On attribue à cette provision une valeur plus élevée que le coût du terrain en exploitation du fait que le prix de la terre a tendance à augmenter, notamment quand on sait que le terrain renferme de l'argile précieuse pour une briqueterie apparemment prospère.

Les dépenses afférentes au personnel dépendent évidemment de l'échelle des salaires dans chaque pays. Le prix donné pour le fuel représente le cours mondial en 1975. Le prix du bois est sujet à des variations importantes, selon que le pays intéressé est plus ou moins boisé; dans un pays producteur de bois d'oeuvre, le bois de chauffage est généralement assez bon marché, car on utilise à cette fin des déchets des opérations de sciage et peut-être même de la sciure. Les prix donnés ici sont ceux en vigueur dans un pays peu boisé, où l'abattage, le transport et le sciage du bois coûtent environ 1 dollar le mètre carré.

Un peu plus discutable est le montant de l'intérêt du capital investi, que l'on a imputé sur le prix de revient, comme indiqué à la dernière ligne des annexes XIII et XIV. Le chiffre donné représente l'amortissement de l'intérêt que le capital aurait produit pendant les périodes de préinvestissement et de construction s'il avait été investi ailleurs; mais comme tout le capital n'est pas nécessaire dès le début et n'est investi qu'au fur et à mesure des besoins, on ne devrait considérer que l'intérêt qu'auraient produit les montants réellement engagés. Il serait risqué de chercher à anticiper le rythme des paiements; c'est pourquoi on a choisi la solution consistant à prendre la moitié du taux réel d'intérêt. Ces taux varient d'un pays à l'autre et sont généralement plus élevés dans les pays en développement que dans les pays industrialisés; on estime que 5 % est une approximation raisonnable; toutefois, dans la plupart des pays, les autorités fiscales

n'accepteront sans doute pas cette pratique aux fins de déduction d'impôt.

L'annexe XV donne un tableau récapitulatif des dépenses de production. Le pourcentage de chacun des six principaux postes, qui représentent plus de 80 % des frais de fabrication, est donné ci-après.

	Four-tunnel	Four Hoffmann
Argile	18,5	20,1
Main-d'oeuvre directe	9,2	12,3
Fuel	11,7	10,1
Dépréciation	30,2	27,9
Courant électrique	7,3	7,6
Intérêt	4,2	4,1
Total	81,1	82,1

On peut constater que le pourcentage le plus élevé est représenté par la dépréciation du matériel et des bâtiments et que les dépenses afférentes à la main-d'œuvre sont relativement mineures en comparaison. Par conséquent, dans tout investissement de cette nature, le coût du matériel doit être maintenu au niveau le plus faible possible.

On peut difficilement comprimer les dépenses de combustible. Les calculs montrent que le remplacement du fuel par le bois n'entraîne pas une économie sensible; en revanche, on peut sans doute réaliser des économies importantes en utilisant des déchets agricoles, comme on l'a vu plus haut; malheureusement, on ne dispose pas de données fiables sur le prix de ces déchets.

Les dépenses afférentes à l'argile constituent le deuxième poste par ordre d'importance. Sur la base des données figurant à l'annexe XII, ce poste peut être ventilé comme suit (en pourcentages) :

Extraction	38
Transport	16
Enlèvement des morts-terrains	29
Provision pour épuisement	17

L'extraction de l'argile représente le plus fort pourcentage; la solution consisterait à mécaniser les travaux d'extraction, mais le prix actuellement élevé des machines nécessaires augmenterait sensiblement le coût de leur amortissement; or, on peut constater à l'annexe XII que l'amortissement représente plus de 50 % des frais de transport. L'enlèvement des morts-terrains est la deuxième dépense par ordre d'importance; ici encore, toute compression des dépenses est difficile, car on ne trouve que très rarement des gisements d'argile sans morts-terrains.

Les coûts unitaires peuvent être diminués en augmentant la production. Comme le montrent les annexes V et VI, le prix de revient du matériel par million de briques produites annuellement diminue lorsque la capacité de production augmente. Le pourcentage de l'amortissement du matériel dans le prix de revient total diminuera aussi très

sensiblement avec une production accrue; les dépenses afférentes à l'argile, à la main-d'œuvre directe, aux combustibles et à l'électricité augmenteront proportionnellement, tandis que les autres dépenses — qui, dans les exemples donnés, représentent moins de 20 % du total — resteront stationnaires ou n'augmenteront que légèrement.

Toutefois, dans la plupart des pays en développement, même s'il existe un besoin réel de briques et tuiles, la situation économique de la population dans son ensemble ne permet pas la consommation des quantités souhaitables, la raison étant évidemment le prix relativement élevé des briques industrielles. Par conséquent, il n'est pas toujours souhaitable de créer une briqueterie ayant une forte capacité de production à seule fin de rendre le prix de revient plus favorable; en fait, l'impossibilité d'écouler toute la production est la principale cause de faillite de briqueteries.

#### Etat des profits et pertes

Après avoir calculé le prix de revient, on peut établir l'état des profits et pertes. Cependant, il faut d'abord déterminer le prix de vente, qui doit être suffisant pour procurer un bon rendement du capital investi; il est fixé ici à 92 dollars les 1 000 briques.

La production annuelle des briqueteries considérées à l'annexe VII est de 8 millions de briques; il faut prévoir qu'au moins une brique sur 400 ne sera pas vendable et la production nette tombe donc à 7 980 000 briques. Au prix de vente indiqué plus haut, les recettes brutes s'élèvent à 734 160 dollars. Pour compléter l'état et arriver au bénéfice net d'exploitation, il faut calculer les frais généraux, comme indiqué à l'annexe XVI. L'état des profits et pertes est donné à l'annexe XVII.

Tous les remboursements ou rabais accordés aux acheteurs doivent être soustraits des recettes brutes pour obtenir les recettes nettes. Dans le cas considéré, il n'y en a pas. La différence entre les recettes nettes et les coûts directs ou coûts de production (indiqués à l'annexe XV) donne le bénéfice brut, dont il faut soustraire les frais généraux. Le chiffre ainsi obtenu représente le bénéfice d'exploitation, qui est ici identique au bénéfice avant impôts.

S'il y a des recettes accessoires, c'est-à-dire des recettes découlant d'opérations sans rapport avec l'activité principale de la briqueterie (fabrication et vente de briques), telles que la vente de terrains appartenant à la briqueterie ou la vente de vieux métaux ou de matériel hors service, ces recettes doivent être ajoutées au bénéfice d'exploitation pour obtenir le bénéfice avant impôts. L'annexe XVII indique des bénéfices de 137 218 dollars et 164 600 dollars pour la briqueterie à four-tunnel et la briqueterie à four Hoffmann, respectivement; ces chiffres représentent un rendement de 6,29 et de 8,40 % du capital investi.

## VII. Commercialisation

Les résultats de l'étude de marché permettront d'élaborer et de mettre en oeuvre la stratégie de commercialisation. Peu de pays sont entièrement dépourvus d'une industrie des matériaux de construction; il existera toujours au moins un matériau du type adobé (mélange de terre et de paille cuit au soleil), dont les inconvénients sont facilement admis par tous. Dans beaucoup de pays en développement, le passage de l'adobé à un matériau de construction plus permanent est considéré comme un progrès économique et social et donne un certain prestige. Les vrais concurrents des briques industrielles seront les briques artisanales, d'une part, et les parpaings en mortier de ciment, d'autre part; ces deux articles concurrencent les briques industrielles pour une question de prix uniquement, bien que l'on accorde parfois une certaine confiance aux parpaings en mortier de ciment en leur attribuant, à tort d'ailleurs, les qualités bien connues du ciment Portland et du béton.

Le vrai bloc de béton - réalisé avec un mélange approprié et bien défini de gravillons, de sable et de ciment Portland - concurrence rarement les grandes briques, car il coûte environ deux fois plus cher que le parpaing en mortier de ciment de mêmes dimensions.

Plus sérieuse que la concurrence des parpaings industriels est celle des petits artisans qui font leurs produits sur le chantier même où ils seront utilisés. Cette situation est courante dans les pays où l'on trouve du sable propre en abondance.

Il y a quelques années, on a calculé, en fonction de la surface de mur construite, que la moins chère des briques artisanales revenait à environ 50 % de plus que le parpaing en mortier de ciment; les prix unitaires ont sans doute changé depuis lors, mais le rapport 2/3 n'a probablement pas été modifié. Cette grande différence entre les deux articles est due essentiellement aux petites dimensions des briques en argile (en l'occurrence 29 x 14 x 6,5 cm) en regard des parpaings en mortier de ciment (40 x 20 x 15 cm). On a déjà mentionné l'influence des dimensions sur la possibilité pour les briques de concurrencer les autres matériaux de construction. Le tableau 1 montre que, dans des conditions identiques, des briques industrielles de grandes dimensions peuvent être meilleur marché que les parpaings en mortier de ciment; les chiffres proviennent d'un pays africain en voie de développement.

TABEAU 1. COUT DE BRIQUES INDUSTRIELLES ET DE PARPAINGS EN MORTIER DE CIMENT

Article	Dimensions (en mm)	Surface de mur (en cm <sup>2</sup> )	Coût du m <sup>2</sup> (en dollars)
Parpaings en mortier de ciment	403 x 101 x 202	869	1,57
Briques d'argile	252 x 126 x 151	380	1,55
Briques d'argile	353 x 101 x 202	713	1,38

Le tableau 2 montre la position plutôt désavantageuse des briques industrielles par rapport aux briques artisanales. Les données ont été obtenues dans un pays en développement, mais les rapports sont probablement valables pour d'autres pays. En fait, ils peuvent même être plus défavorables pour des pays à forte densité de population, comme l'Inde.

TABEAU 2. COMPARAISON DE BRIQUES INDUSTRIELLES ET DE BRIQUES ARTISANALES

Briques de 240 x 120 x 60 mm	Prix du 1 000 (en dollars)	Pourcentage
Briques artisanales "à emporter"	36	55
Briques artisanales, livrées	46	71
Briques industrielles, livrées	65	100

La grande différence entre les prix "à emporter" et "livrées" provient du fait que ces briques artisanales ne peuvent être achetées qu'à des grossistes qui passent avec les petits artisans des contrats portant sur des fournées entières.

La position désavantageuse des briques industrielles devient encore plus évidente quand on sait que l'enquête sur laquelle le tableau 2 est basé a révélé que le coût de fabrication de ces briques ne s'élevait qu'à 23 dollars. Dans le pays en question, toutefois, les briques artisanales et les briques industrielles étaient utilisées dans le rapport de 4 à 1.

Une fois encore, la taille des briques garde toute son importance pour déterminer la position concurrentielle des briques industrielles vis-à-vis des briques

artisanales. Il est hors de doute qu'une brique de dimensions supérieures à 24 x 12 x 6 cm pourra mieux concurrencer les briques artisanales. L'introduction de grandes briques sur un marché accoutumé à de petites se heurtera sûrement à une vive résistance. Les premiers opposants seront évidemment les maçons : habitués à poser de petites briques, ils perdraient leur tour de main et travailleraient moins rapidement avec des briques plus grandes et plus lourdes. Pour surmonter cet obstacle, il faut organiser des stages de formation à l'intention des maçons.

On doit également s'attendre à une certaine résistance de la part des clients et peut-être même des architectes. La raison en sera probablement que l'apparence d'un mur non crépi en grandes briques est moins esthétique. Avec un peu d'imagination dans la construction des murs – par exemple en faisant des joints à fleur ou à plat, vieilliss, semi-ronds, concaves ou convexes, en alternant des rangées en retrait ou en saillie, et par une articulation horizontale ou verticale de la surface du mur – on obtiendra l'équilibre de lumière et d'ombre qui embellit l'apparence d'un mur non crépi.

Dans un pays en développement où les briques artisanales et les briques industrielles sont utilisées à peu près également, des clients ont été invités à énumérer les avantages et les inconvénients des secondes par rapport aux premières. Leurs réponses sont résumées ci-après.

**Avantages :**

- a) La résistance mécanique est supérieure;
- b) Les arêtes et les angles sont bien nets;
- c) Les dimensions sont uniformes;
- d) Les livraisons sont régulières, même pendant la saison des pluies, lorsque la plupart des artisans

interrompent ou diminuent fortement leur fabrication; cela permet de respecter les calendriers établis à l'avance;

e) Les prix ne sont pas soumis aux fluctuations de l'offre et de la demande;

f) Ces briques donnent des constructions plus solides, plus durables et de meilleure apparence;

g) Elles peuvent être utilisées sans crépissage ultérieur, ce qui permet des économies sensibles;

h) Les murs non crépis n'exigent pratiquement aucun entretien.

**Inconvénients :**

a) Le prix des briques est élevé. Pour pallier cet inconvénient, il conviendrait de souligner l'avantage g;

b) Leur pose exige des maçons qualifiés.

Il y a probablement une pénurie aiguë de bons maçons dans les pays en développement. Dans un pays où la fabrication artisanale de briques est une vieille tradition, les maçons sont peut-être devenus peu soigneux du fait de la mauvaise qualité de ces briques. Dans un pays où la seule concurrence sera le fait des parpaings en mortier de ciment, il n'y aura pas de véritables maçons. En effet, il faut relativement peu d'habileté et d'expérience pour ériger des structures avec des parpaings en mortier de ciment (murs épais et gros joints en mortier); toutes les irrégularités peuvent toujours être dissimulées sous un crépi. Il faut beaucoup plus d'habileté pour poser des briques pleines ou creuses, notamment si elles ne sont pas ensuite recouvertes d'un crépi.

Dans maints pays en développement, le déclin de l'utilisation des briques coïncide avec la pénurie de bons maçons, qui se traduit fréquemment par un coût élevé de la pose des briques.

## VIII. Conclusion

### Fabrication

Si les propriétés de l'argile le permettent, le façonnage par extrusion en mou reste le plus approprié pour la plupart des pays en développement.

On a présenté dans cette étude deux exemples de briqueteries, utilisant toutes deux ce mode de façonnage, mais équipées respectivement d'un four-tunnel au fuel et d'un four Hoffmann au bois. On a indiqué leurs besoins en matériel, terrain, personnel et capitaux, et suggéré une structure administrative. Pour chacune de ces deux briqueteries, on a calculé les coûts de production approximatifs et établi un état des profits et pertes. Les calculs ont été fondés en partie sur des données obtenues dans plusieurs pays en développement et en partie sur des estimations. Même si les chiffres ne sont plus valables du fait de l'inflation, la présentation des calculs montre comment projeter les coûts de production et quelles sont les données qu'il faut rassembler pour aboutir à des prévisions réalistes.

### Formation

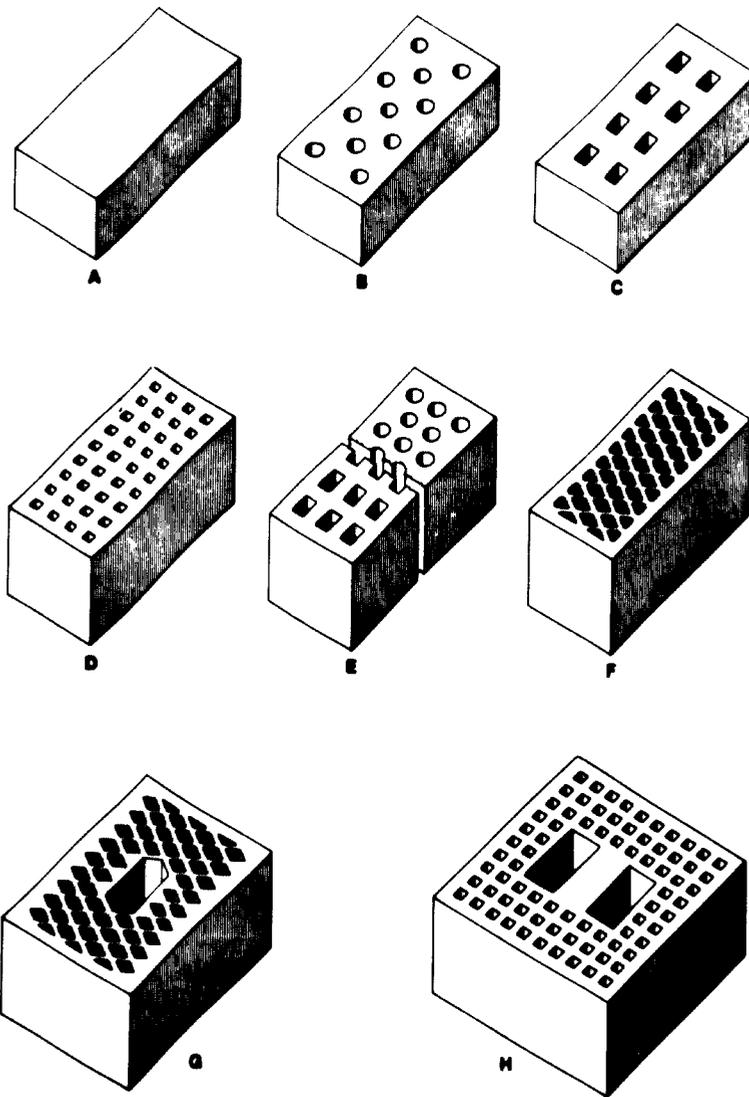
Devant la pénurie de maçons qualifiés, il faudrait organiser des stages de formation, en faisant appel au besoin à des instructeurs venant de pays ayant une longue tradition de la pose des briques, tels que le Danemark, la Suède ou le Royaume-Uni. Une autre solution consisterait à envoyer un maçon dans l'un de ces pays pour qu'il y reçoive une formation afin de devenir à son tour instructeur.

### Commercialisation

Pour promouvoir la vente des briques, il faut sans cesse appeler l'attention des clients éventuels sur les qualités traditionnelles des briques en argile comme matériau de construction idéal. Il faut toujours mettre l'accent sur le "confort" des constructions en briques par rapport aux autres constructions. Une bonne solution consiste à construire des "maisons témoins". Il faut également avoir recours aux moyens classiques de publicité, tels que le cinéma, les brochures publicitaires et l'affichage.

*Annexe I*

FORMES ET PERFORATIONS COURANTES EN REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE

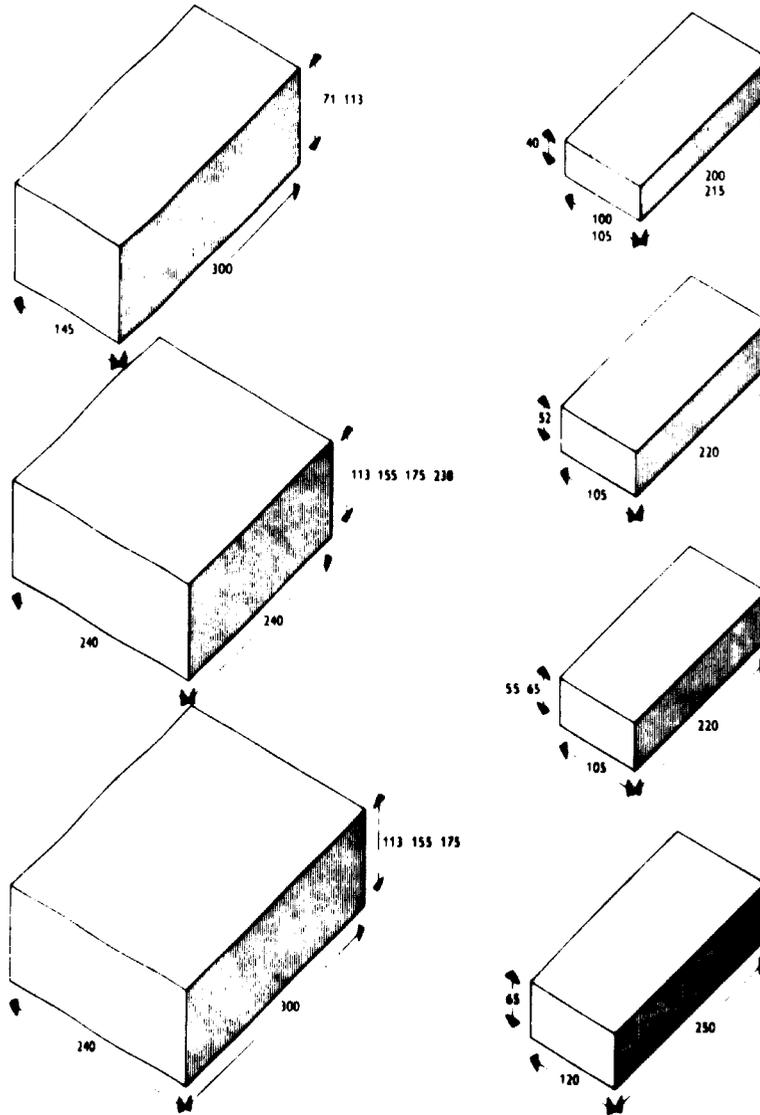


Source : F. Hart et E. Bogenberger, *Der Mauerziegel* (Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, 1964).

## Annexe II

## DIMENSIONS COURANTES EN REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE

(En millimètres)



## Annexe III

## DIMENSIONS COURANTES EN FRANCE

Dimensions (cm)	Poids (kg)	Quantité		
		Au m <sup>2</sup>		Au m <sup>3</sup>
		De chant	A plat	
<b>Briques ordinaires</b>				
<b>Extrudées ou pressées</b>				
<b>Pleines ou creuses</b>				
10,5 x 5,5 x 22	2,2	38	68	565
10,5 x 6 x 22	2-2,6	38	62	540
11 x 6 x 22	2-2,6	36	62	520
<b>Briques spéciales</b>				
<b>Parement, cloison, gaines</b>				
10,5 x 4 x 22	1,6	38	87	730
10,5 x 5,5 x 22	2,2	38	68	565
10,5 x 6 x 22	2-2,6	38	62	540
11 x 6 x 22	2-2,6	36	62	520
12 x 6,5 x 23	3,1	-	51	390
<b>Briques rebattues ou comprimées</b>				
<b>Forte résistance</b>				
10,5 x 5,5 x 22	2,4	38	68	565
10,5 x 6 x 22	2,4-2,6	38	62	540
11 x 5 x 22	1,8	36	72	600
11 x 6 x 22	2,4-2,6	36	62	520
<b>Briques creuses, pleines et rebattues</b>				
10,5 x 3 x 22	1	38	108	950
10,5 x 4,5 x 21,5 ou 22	1,4-1,5	38	87	760
10,5 x 4,5 x 22	1,6	38	80	700
10,5 x 5 x 22	1,7	38	72	600
10,5 x 5,4 x 21,5 ou 22	1,8-1,9	38	68	590
10,5 x 5,5 x 22	1,9	38	68	565
10,5 x 6 x 21,5 ou 22	2-2,2	38	62	540
13,5 x 5 x 28	2,5	24	56	396
13,5 x 10 x 28	5	24	31	216
<b>Blocs de coffrage</b>				
<b>A crépir</b>				
12 x 9 x 25	3,5		39,5	
14 x 9 x 29	4,1		31	
18 x 10,5 ou 13 x 25,28 ou 30	6,5-9		31,5-21,5	
19 x 9 x 29	6		31	
22 x 10,5 ou 13 x 25,28 ou 30	7,5-10		31,5-21,5	
24 x 13 x 28 ou 30	9-12		23-21,5	
25 x 13 x 25 ou 28	8,5-11,5		26-23	
<b>Blocs de parement</b>				
<b>Deux faces apparentes</b>				
18 x 10,5 ou 13 x 25	6,5		26-31,5	
22 x 10,5 ou 13 x 25	7,5		26-31,5	
25 x 10,5 ou 13 x 25	8,5		26-31,5	
27,5 x 10,5 ou 13 x 25	9,5		26-31,5	
<b>Briques à plâtrer</b>				
3 x 15 x 30	1,4	19		
3 x 20 x 40	1,6	11		
3,5 x 15 x 30	1,6-2	19		

Dimensions (cm)	Poids (kg)	Quantité		
		Au m <sup>2</sup>		Au m <sup>3</sup>
		De chant	A plat	
<i>Briques à plâtrer (suite)</i>				
3,5 x 20 x 40	1,7	11		
4 x 15 x 30	1,8	19		
4 x 20 x 40	1,9	11		
4 x 25 x 40	2,1	9		
4,5 x 15 x 30	2	19		
4,5 x 20 x 40	2,1	11		
5 x 15 x 30 ou 40	2,2-2,8	11-19		
5 x 16 x 30	2,4	18		
5 x 20 x 30 ou 40	2,5-3,5	11-19		
5 x 40 x 50	7,5	4,7		
5,5 x 15 x 30	2,7	19		
5,5 x 20 x 40	3,5	11		
6 x 20 x 40	3,5	11		
7 x 20 x 40	4	11		
<i>Briques creuses, normales ou grandes</i>				
8 x 15 x 30	3,3	19		
8 x 16 x 30	3,4	18		
8 x 20 x 40	4	11		
10 x 15 x 30	3,4	19		
10 x 20 x 40	4,2	11		
10 x 25 x 40	4,6	9		
11 x 11 x 22	2,8	34	34	
11 x 15 x 22	4,3	19		
11 x 20 x 40	7,5	11		
11 x 22 x 40	8	10		
15 x 20 x 40	9	11		14,5
18,5 x 20 x 38,5	11	11		11,5
20 x 20 x 40	12,5	11		11
22,5 x 15 x 40	12,7	10		14,5
22,5 x 20 x 40	13,5	10		11
25 x 15 x 40	14	9		14,5
25 x 20 x 40	16	9		11
30 x 15 x 40	17	7,6		14,5
30 x 20 x 40	18,5	7,6		11
<i>Briques à rupture de joint</i>				
20 x 15 x 40	10,5			14,5
20 x 18,5 x 40	12,5			11,5
20 x 20 x 40	13			11
22,5 x 15 x 40	12,5			14,5
22,5 x 18,5 x 38,5	13,5			11,5
22,5 x 20 x 40	14			11
25 x 15 x 40	13,9			14,5
25 x 18,5 x 38,5	16			11,5
25 x 20 x 40	16,5			11
27,5 x 15 x 40	15,5			14,5
27,5 x 18,5 x 38,5	18			11,5
27,5 x 20 x 40	18,3			11
30 x 15 x 40	17			14,5
30 x 18,5 x 38,5	19			11,5
30 x 20 x 40	20			11

Source : Fédération des fabricants de tuiles et de briques de France.

Note. Presque toutes les briqueteries font des "demi-briques". Certaines, spécialisées dans les produits de parement, font aussi des briques de formes particulières : arrondies, biseautées, etc.

## Annexe IV

## ORGANISMES DE RECHERCHES ET D'ESSAIS

British Ceramic Research Association, Queen's Road, Penkhull, Stoke-on-Trent, ST4 7 LG (Royaume-Uni)

Centre technique des tuiles et briques, 2, avenue Hoche, 75008 Paris (France)

Centre national d'études et recherches céramiques, 23, rue Cronstadt, 75013 Paris (France)

Institut für Ziegelforschung Essen E.V., am Zehnthof, 4300 Essen-Kray (République fédérale d'Allemagne)

## Annexe V

## COUT DES INSTALLATIONS DE FABRICATION, DE CUISSON ET DE SECHAGE POUR DES BRIQUETERIES A FOUR-TUNNEL DE DIVERSES CAPACITES

(En dollars)

	Tonnes de briques par jour <sup>a</sup>				
	40	50	60	80	100
Matériel de fabrication <sup>b</sup>	154 500	154 500	154 500	266 700	266 700
Equipement du four et du séchoir	320 400	373 400	426 800	589 800	694 700
Matériaux et main-d'œuvre	188 000	230 350	274 850	338 700	432 900
Total	662 900	758 250	856 150	1 195 200	1 394 300
Investissement par million de briques par an	118 375	108 321	101 923	106 714	99 593

<sup>a</sup>Dimensions : 24 x 11,15 x 7,5 cm; poids : 2,5 kg.

<sup>b</sup>Prix f.o.b.

## Annexe VI

## COUT DES INSTALLATIONS DE FABRICATION, DE CUISSON ET DE SECHAGE POUR DES BRIQUETERIES A FOUR HOFFMANN DE DIVERSES CAPACITES

(En dollars)

	Tonnes de briques par jour				
	40	50	60	80	100
Matériel de fabrication	154 500	154 500	154 500	266 700	266 700
Equipement du four et du séchoir	220 000	260 000	310 000	388 000	465 600
Total	374 500	414 500	464 500	654 700	732 300
Investissement par million de briques par an	66 875	59 214	55 298	58 455	52 307

## Annexe VII

## PRODUCTION ET BESOINS DE BRIQUETERIES A FOUR-TUNNEL ET A FOUR HOFFMANN

<i>Production totale brute</i>		<i>Besoins en bois (m<sup>3</sup>) pour le four Hoffmann</i>	
Briques par an	8 400 000	Par 1 000 briques	2,87
Briques par semaine	168 000	Par an	24 100
Briques par jour	24 000	Par semaine	482
Tonnes par jour	60	Par jour	69
<i>Nombre de briques extrudées</i>		<i>Hypothèses :</i>	
Par an	9 333 333	Rendement de l'argile	0,75
Par semaine	186 667	Perte au séchage	10 %
Par jour (par équipe)	37 333	Fonctionnement	
<i>Besoins en argile (kg)</i>		Four et séchoir	50 semaines/ an 7 jours/ semaine 24 heures/ jour
Par 1 000 briques	3 333	Fabrication	50 semaines/ an 5 jours/ semaine 8 heures/ jour
Par an	31 108 000	<i>Besoins thermiques (kJ/kg de briques)</i>	
Par semaine	622 200	Four-tunnel	2 300
Par jour	124 430	Four Hoffmann	2 500
<i>Besoins en eau</i>		<i>Pouvoir calorifique</i>	
Par 1 000 briques	500 litres	Fuel n° 5	42 MJ/l
Par an	4 667 m <sup>3</sup>	Bois	2 190 MJ/m <sup>3</sup>
Par semaine	93 m <sup>3</sup>	<i>(Bois contenant 48 % d'eau et donnant 156 kg de matière sèche au m<sup>3</sup>)</i>	
Par jour	19 m <sup>3</sup>		
<i>Besoins en fuel (litres) pour le four-tunnel</i>			
Par 1 000 briques	137,5		
Par an	1 155 000		
Par semaine	23 100		
Par jour	3 300		

## Annexe VIII

## INVESTISSEMENT EN CAPITAUX FIXES – BRIQUETERIE A FOUR-TUNNEL

## 1) Dépenses préinvestissement et préparatoires

	Nombre	Période (mois)	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Directeur	1	12	1 000	12 000
Secrétaire	1	12	200	2 400
Caisier-comptable	1	12	200	2 400
Consultants				8 000
Location de bureaux		12	100	1 200
Prospection de l'argile				10 000
Essais de l'argile				5 000
Dépenses diverses				5 000
<b>Total</b>				<b>46 000</b>

## 2) Mise en valeur de la carrière

	Nombre ou quantité	Période	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Chef de carrière	1	6 mois	300	1 800
Main-d'œuvre - enlèvement morts-terrains (1 m) <sup>a</sup>		21 600 h	0,50	10 800
Achat du terrain	2 ha			40 000**
Transport morts-terrains par camions	30 000 t		0,45	13 500
Explosifs				500
Camion Diesel à benne basculante	1, 10 t			40 000*
<b>Total</b>				<b>106 600</b>

<sup>a</sup>Enlèvement et chargement manuels, avec explosifs.

## 3) Traitements, salaires et dépenses divers pendant la construction

	Nombre	Période (mois)	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Directeur	1	12	1 250	15 000
Homologue (futur directeur technique)	1	9	800	7 200
Caissier-comptable	1	12	280	3 360
Secrétaire	1	12	200	2 400
Chef de fabrication	1	6	400	2 400
Chef de carrière	1	3	300	900
Chef de laboratoire	1	9	500	4 500
Dessinateur industriel	1	12	200	2 400
Magasinier	1	8	150	1 200
Gardien	1	12	120	1 440
Veilleur de nuit	3	12	120	4 320
Location des bureaux		6	100	600
Fournitures de bureau				2 000
<b>Total</b>				<b>47 720</b>

## 4) Eau, électricité, etc.

	Capacité	Coût (dollars)
Poste électricité	300 kVA	22 400*
Réservoir souterrain de fuel	100 000 l	10 000***
Réservoir auxiliaire de fuel	5 000 l	5 000
Installation électrique		8 000
Alimentation en eau		5 000
<b>Total</b>		<b>50 400</b>

## 5) Matériel de bureau

	Coût (dollars)
Mobilier	
Machines à écrire	
Machines diverses	
<b>Total</b>	<b>10 000</b>

Note. Pour l'explication des astérisques, voir p. 32.

## 6) Terrain et génie civil

	Surface (m <sup>2</sup> )	Coût unitaire (dollars/m <sup>2</sup> )	Coût (dollars)
Terrain <sup>a</sup>	6 000	5	30 000**
Bâtiments <sup>b</sup>			
Principal	4 010	100	401 000***
Atelier	45	100	4 500***
Laboratoire	58	100	5 800
Bureaux	100	150	15 000***
Sanitaires <sup>c</sup>	50	160	8 000***
<b>Total</b>			<b>464 300</b>

<sup>a</sup>Strict minimum pour la briqueterie envisagée. Toutefois, on pourrait facilement doubler la production du façonnage avec une seconde équipe et il suffirait d'augmenter la capacité de séchage et de cuisson pour que la briqueterie puisse doubler sa capacité de production. Pour cela, il faudrait ajouter 1 600 m<sup>2</sup> sur le côté gauche de la briqueterie schématisée à la figure 1.

<sup>b</sup>Piliers en béton de 6 m de haut, structure en acier, toiture sur fermes en tôle ondulée galvanisée, sol en dalles de béton de 10 cm.

<sup>c</sup>Douches, lavabos, fontaines d'eau potable, toilettes, urinoirs (3 de chaque); vestiaire avec 40 armoires individuelles.

## 7) Equipement

		Coût (dollars)
<i>Préparation et façonnage</i>		
1 broyeur		
1 trémie doseuse		
1 laminoir		
1 malaxeur à 2 arbres		
1 extrudeuse		
2 transporteurs à raclettes		
1 coupeur automatique monofil		
1 transporteur à bande		
<b>Total</b>		<b>244 300*</b>
Pièces détachées		50 000
Matériel d'atelier		20 000
Matériel de laboratoire		10 000
		<b>324 300</b>
<i>Séchage et cuisson</i>		
Lattis et supports	82 600	
Séchoir	41 580	
Four-tunnel	440 300	
Matériaux et main-d'œuvre	274 850	
<b>Total</b>		<b>839 330</b>
Ingénierie et direction		90 000*
Frais de déplacement (direction)		15 000*
Dépenses finales de conception (plans et calculs)		20 000*
Accessoires (petit matériel, quincaillerie, etc.)		24 000
Fondations en béton pour machines		10 000***
Electricité pendant la construction (125 000 kWh à 0,048)		6 000
		<b>1 004 330</b>

Note. Pour l'explication des astérisques, voir p. 32.

## 8) Main-d'œuvre (montage des installations)

	Nombre	Période (mois)	Salaire (dollars)	Total (dollars)
Homologue (futur directeur technique)	1	12	800	9 600
Chef de fabrication	1	12	400	4 800
Mécanicien	1	12	300	3 600
Electricien	1	6	300	1 800
Chef de four	1	6	300	1 800
Ouvriers qualifiés ou spécialisés	90 mois de travail		120	10 800
<b>Total</b>				<b>32 400</b>

## Annexe IX

## INVESTISSEMENT EN CAPITAUX FIXES BRIQUETERIE A FOUR HOFFMANN

## 1) Dépenses préinvestissement et préparatoires

	Nombre	Période (mois)	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Directeur	1	12	1 000	12 000
Secrétaire	1	12	200	2 400
Caissier-comptable	1	12	200	2 400
Consultants				8 000
Location de bureaux		12	100	1 200
Prospection de l'argile				10 000
Essais de l'argile				5 000
Dépenses diverses				5 000
<b>Total</b>				<b>46 000</b>

## 2) Mise en valeur de la carrière

	Nombre ou quantité	Période	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Chef de carrière	1	6 mois	300	1 800
Main-d'œuvre – enlèvement morts-terrains (1 m) <sup>a</sup>		21 600 h	0,50	10 800
Achat du terrain	2 ha			40 000**
Transport morts-terrains par camion	30 000 t		0,45	13 500
Explosifs				500
Camion Diesel à benne basculante	1, 10 t			40 000*
				<b>106 600</b>

<sup>a</sup>Enlèvement et chargement manuels, avec explosifs.

## 3) Traitements, salaires et dépenses diverses pendant la construction

	Nombre	Période (mois)	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Directeur	1	12	1 250	15 000
Homologue (futur directeur technique)	1	9	800	7 200
Caissier-comptable	1	12	280	3 360

Note. Pour l'explication des astérisques, voir p. 32.

## 3) Traitements, salaires et dépenses diverses pendant la construction (suite)

	Nombre	Période (mois)	Coût unitaire (dollars)	Total (dollars)
Secrétaire	1	12	200	2 400
Chef de fabrication	1	6	400	2 400
Chef de four	1	6	300	1 800
Chef de carrière	1	3	300	900
Chef de laboratoire	1	9	500	4 500
Dessinateur industriel	1	12	200	2 400
Magasinier	1	8	150	1 200
Gardien	1	12	120	1 440
Veilleur de nuit	3	12	120	4 320
Location de bureaux		6	100	600
Fournitures de bureau				2 000
<b>Total</b>				<b>49 520</b>

## 4) Eau, électricité, etc.

	Capacité	Coût (dollars)
Poste électricité	300 kVA	22 400*
Installation électrique		8 000
Alimentation en eau		5 000
<b>Total</b>		<b>35 400</b>

## 5) Matériel de bureau

	Coût (dollars)
Mobilier	
Machines à écrire	
Machines diverses	
<b>Total</b>	<b>10 000</b>

## 6) Terrain et génie civil

	Surface (m <sup>2</sup> )	Coût unitaire (dollars/m <sup>2</sup> )	Total (dollars)
Terrain <sup>a</sup>	7 000	5	35 000**
Bâtiments <sup>b</sup>			
Principal	5 398,5	100	539 850***
Atelier	45	100	4 500***
Laboratoire	58	100	5 800
Bureaux	100	150	15 000***
Sanitaires <sup>c</sup>	50	160	8 000***
<b>Total</b>			<b>608 150</b>

<sup>a</sup> Strict minimum pour la briqueterie envisagée. Toutefois, on pourrait facilement doubler la production du façonnage avec une seconde équipe et il suffirait d'augmenter la capacité de séchage et de cuisson pour que la briqueterie puisse doubler sa capacité de production. Pour cela, il faudrait ajouter 2 772 m<sup>2</sup> sur le côté gauche de la briqueterie schématisée à la figure 11.

<sup>b</sup> Piliers en acier, toiture sur fermes en tôle ondulée galvanisée, sol en dalles de béton de 10 cm.

<sup>c</sup> Douches, lavabos, fontaines d'eau potable, toilettes, urinoirs (3 de chaque); vestiaire avec 40 armoires individuelles.

Note. Pour l'explication des astérisques, voir p. 32.

## 7) Equipement

	<i>Coût (dollars)</i>
<i>Préparation et façonnage</i>	
1 broyeur à cylindres	
1 trémie doseuse	
1 laminoir	
1 malaxeur à 2 arbres	
1 extrudeuse	
2 transporteurs à raclettes	
1 coupeur automatique monofil	
1 transporteur à bande	
<b>Total</b>	<b>244 300*</b>
Pièces détachées	50 000
Matériel d'atelier	20 000
Matériel de laboratoire	10 000
	<u>324 300</u>
<i>Séchage et cuisson</i>	
Lattis et supports	80 000
Séchoir	154 000
Four Hoffmann	<u>200 000</u>
<b>Total</b>	<b>434 000*</b>
2 engins élévateurs à fourche	48 000*
Ingénierie et direction	90 000*
Frais de déplacement (direction)	15 000
Dépenses finales de conception (plans et calculs)	20 000*
Accessoires (petit matériel, quincaillerie, etc.)	24 000
Fondations en béton pour machines	10 000***
Electricité pendant la construction (125 000 kWh à 0,048)	<u>6 000</u>
	<b>647 000</b>

## 8) Main-d'œuvre (montage des installations)

	<i>Nombre</i>	<i>Période (mois)</i>	<i>Salaire (dollars)</i>	<i>Total (dollars)</i>
Homologue (futur directeur technique)	1	12	800	9 600
Chef de fabrication	1	12	400	4 800
Mécanicien	1	12	300	3 600
Electricien	1	6	300	1 800
Chef de four	1	6	300	1 800
Ouvriers qualifiés ou spécialisés	90 mois de travail		120	10 800
<b>Total</b>				<u>32 400</u>

*Note.* Pour l'explication des astérisques, voir p. 32.

## Annexe X

## BESOINS EN PERSONNEL D'UNE BRIQUETERIE A FOUR-TUNNEL

Catégorie	Nombre	Catégorie	Nombre
<b>Administration</b>		<b>Briqueterie</b>	
Directeur général	1	Fabrication, transport	
Directeur commercial	1	au séchoir	8
Comptable	1	Chargement des chariots	
Caissier	1	du four	6
Secrétaire	1	Chef de four	4
Employé de bureau	1	Défournement et expédition	4
Magasinier	1	Mécanicien	1
Gardien	1	Electricien	1
	<b>Total</b>	Ouvrier spécialisé	3
	8	Contremaître chantier	1
<b>Technique</b>		Maçon	1
Directeur technique (ingénieur)	1	Gardien	1
Chef de laboratoire (ingénieur ?)	1	Veilleur de nuit	3
Chef de fabrication	1	Laborantin	1
	<b>Total</b>		<b>Total</b>
	3		34
<b>Carrière</b>			
Chef de carrière	1	Main-d'oeuvre directe	25
Conducteur de camion	1	Main-d'oeuvre indirecte	9
Ouvrier	16		
	<b>Total</b>		
	18		

## Annexe XI

## BESOINS EN PERSONNEL D'UNE BRIQUETERIE A FOUR HOFFMANN

Catégorie	Nombre	Catégorie	Nombre
<b>Administration</b>		<b>Briqueterie</b>	
Directeur général	1	Fabrication, chargement pour	
Directeur commercial	1	séchage	4
Comptable	1	Mise en lots pour enfournement	6
Caissier	1	Chef de séchoir	1
Secrétaire	1	Conducteur de chariot pour séchage	2
Employé de bureau	1	Chef de four	4
Magasinier	1	Chauffeur du four	8
Gardien	1	Conducteur de chariot pour	
	<b>Total</b>	enfournement	4
	8	Mécanicien	1
<b>Technique</b>		Electricien	1
Directeur technique (ingénieur)	1	Ouvrier spécialisé	3
Chef de laboratoire (ingénieur ?)	1	Contremaître chantier	1
Chef de fabrication	1	Gardien	1
	<b>Total</b>	Veilleur de nuit	3
	3	Laborantin	1
<b>Carrière</b>			<b>Total</b>
Chef de carrière	1		40
Conducteur de camion	1	Main-d'oeuvre directe	32
Ouvrier	16	Main-d'oeuvre indirecte	8
	<b>Total</b>		
	18		

## Annexe XII

## PRIX DE REVIENT ANNUEL DES MATIERES PREMIERES POUR LES DEUX BRIQUETERIES

(En dollars)

<i>Extraction</i>		
16 ouvriers à 5 dollars par jour	29 000	
Pelles et pioches	800	
Explosifs	1 000	
1 chef de carrière, à 300 dollars par mois	3 600	
		34 600
<i>Transport</i>		
1 chauffeur à 245 dollars par mois	2 940	
Gas-oil, 8 000 l à 0,06 dollar	480	
Un train de pneus	1 600	
Dépréciation du camion	8 000	
Pièces détachées, réparations, etc.	2 000	
		15 020
<i>Dépréciation de la carrière</i>		
Enlèvement des morts-terrains		26 600
Provision pour épuisement, à 0,50 dollar la tonne		15 554
	<b>Total</b>	<b>91 774</b>

## Annexe XIII

## PRIX DE REVIENT ANNUEL DE LA BRIQUETERIE A FOUR-TUNNEL, MATIERES PREMIERES NON COMPRISES

(En dollars)

<i>Main-d'œuvre directe</i>		
25 ouvriers qualifiés et ouvriers spécialisés, à 5 dollars par jour en moyenne		45 625
<i>Combustible</i>		
Fuel n° 5, 1 155 000 litres à 0,05 dollar le litre		57 750
<i>Dépenses de fabrication et frais généraux</i>		
a) Direction		
1 directeur technique (1 000 dollars par mois)	12 000	
1 chef de fabrication (500 dollars par mois)	6 000	
b) Contrôle de la qualité		
1 chef de laboratoire (500 dollars par mois)	6 000	
1 laborantin (200 dollars par mois)	2 400	
c) Maintenance		
1 électricien (300 dollars par mois)	3 600	
1 mécanicien (300 dollars par mois)	3 600	
d) Pièces détachées		
2 % du prix f.o.b. du matériel (498 700 dollars)	9 974	
e) Entretien du four		
1 maçon (200 dollars par mois)	2 400	
6 mois de travail à 200 dollars	1 200	
Matériaux	3 000	
f) Entretien des bâtiments (peinture, toitures, etc.)	1 500	

g) Fournitures diverses (estimation)	5 000	
h) Sécurité		
1 gardien (200 dollars par mois)	2 400	
3 veilleurs de nuit (150 dollars par mois)	5 400	
i) Gestion directe		
1 employé de bureau (300 dollars par mois)	3 600	
1 magasinier (300 dollars par mois)	3 600	
1 contremaître chantier (200 dollars par mois)	2 400	
j) Frais médicaux (estimation)	2 500	
k) Assurance : 0,005 % de la valeur des lieux de production (machines et bâtiments)	8 977	
l) Dépréciation		
Machines (10 %)	136 103	
Bâtiments (5 %)	21 715	
m) Electricité : 755 000 kW h à 0,048 dollar	36 240	
n) Eau : 10 000 m <sup>3</sup> à 0,30 dollar	3 000	
		282 609
Total		
Amortissement des dépenses d'organisation : 5 % de 93 720 dollars		4 686
Amortissement de l'intérêt du capital pendant les travaux préparatoires et la construction : 5 % de 2 181 050 dollars = 109 052 dollars à amortir en cinq ans		21 810

## Annexe XIV

**PRIX DE REVIENT ANNUEL DE LA BRIQUETERIE A FOUR HOFFMANN,  
MATIERES PREMIERES NON COMPRISES**

*(En dollars)*

*Main-d'œuvre directe*

32 ouvriers qualifiés et ouvriers spécialisés,  
à 5 dollars par jour en moyenne 58 400

*Combustible*

24 108 m<sup>3</sup> de bois à 2 dollars le mètre cube 48 216

*Dépenses de fabrication et frais généraux*

a) Direction		
1 directeur technique (1 000 dollars par mois)	12 000	
1 chef de fabrication (500 dollars par mois)	6 000	
b) Contrôle de la qualité		
1 chef de laboratoire (500 dollars par mois)	6 000	
1 laborantin (200 dollars par mois)	2 400	
c) Maintenance		
1 électricien (300 dollars par mois)	3 600	
1 mécanicien (300 dollars par mois)	3 600	
d) Pièces détachées		
2 % du prix f.o.b. du matériel (328 000 dollars)	6 560	
e) Entretien du four		
6 mois de travail à 200 dollars	1 200	
Matériaux	2 000	
f) Entretien des bâtiments (peinture, toitures, etc.)	1 500	
g) Fournitures diverses (estimation)	5 000	

h) Sécurité		
1 gardien (200 dollars par mois)	2 400	
3 veilleurs de nuit (150 dollars par mois)	5 400	
i) Gestion directe		
1 employé de bureau (300 dollars par mois)	3 600	
1 magasinier (300 dollars par mois)	3 600	
1 contremaître chantier (200 dollars par mois)	2 400	
j) Frais médicaux (estimation)	2 500	
k) Assurance : 0,005 % de la valeur des lieux de production (machines et bâtiments)	7 884	
l) Dépréciation		
Machines	95 570	
Bâtiments (5 %)	28 658	
Matériel de transport (20 %)	9 600	
m) Electricité : 755 000 kWh à 0,048	36 240	
10 000 litres d'essence pour 2 camions, à 0,35 dollar le litre	3 500	
n) Eau : 10 000 m <sup>3</sup> à 0,30 dollar le mètre cube	3 000	
Total		254 212
Amortissement des dépenses d'organisation : 5 % de 95 520 dollars		4 776
Amortissement de l'intérêt du capital pendant les travaux préparatoires et la construction : 5 % de 1 949 370 = 97 468 dollars, à amortir en cinq ans		19 494

## Annexe XV

## RECAPITULATION DES DEPENSES ANNUELLES DE PRODUCTION

(En dollars)

	Briqueterie à four-tunnel	Briqueterie à four Hoffmann
Matières premières	91 774	91 774
Main-d'œuvre directe	45 625	58 400
Combustible	57 750	48 216
Dépenses de fabrication	282 609	254 212
Amortissement des dépenses d'organisation	4 686	4 776
Amortissement de l'intérêt	21 810	19 494
Total	504 254	476 872

## Annexe XVI

## FRAIS GENERAUX POUR LES DEUX BRIQUETERIES

(En dollars)

## Dépenses d'administration

a) Traitements et salaires		
1 directeur général	15 000	
1 comptable	4 800	
1 caissier	3 360	
1 secrétaire	3 360	
1 gardien	1 460	
		27 980

b) Fournitures de bureau		5 000
c) Dépréciation du matériel de bureau : 10 % de 10 000 dollars		<u>1 000</u>
	Total partiel	<u>33 980</u>
<i>Dépenses de commercialisation</i>		
1 directeur commercial	10 000	
Frais de publicité	12 000	
Commissions : 5 % du total des ventes	<u>36 708</u>	
		<u>58 708</u>
	Total	<u>92 688</u>

## Annexe XVII

## ETAT DES PROFITS ET PERTES

(En dollars)

	<i>Briqueterie à four-tunnel</i>	<i>Briqueterie à four Hoffmann</i>
Ventes totales (7 980 000 briques à 92 dollars le mille)	734 160	734 160
A déduire : remboursements, rabais, etc.	—	—
Ventes nettes	<u>734 160</u>	<u>734 160</u>
Prix de revient	504 254	476 872
Bénéfice brut	<u>229 906</u>	<u>257 288</u>
Frais généraux		
Dépenses d'administration	33 980	
Dépenses de commercialisation	<u>58 708</u>	
Bénéfice d'exploitation	<u>137 218</u>	<u>164 600</u>
Rendement de l'investissement (%)	6,29	8,44

## Bibliographie

- Aldersely, A. E. Fuels, combustion and heat transfer. Londres, Brick Development Association.
- Atkinson, C. R. Clay winning and haulage. Londres, Brick Development Association.
- Clews, F. H. Heavy clay technology. Stoke-on-Trent, British Ceramic Research Association, 1955.
- Ford, R. W. The drying of bricks. Londres, Brick Development Association.
- Goodson, E. J. Clay preparation and shaping. Londres, Brick Development Association.
- Kracmer, John Z. Marketing research in the developing countries. New York, Praeger, 1971.
- Macey, H. H. et A. T. Green. Brickmaking: labour requirements. National Brick Advisory Council Paper No. 1. Londres, HM Stationery Office, 1947.
- Brickmaking: the getting of clay. National Brick Advisory Council Paper No. 2. Londres, HM Stationery Office, 1947.
- Miller, A. Clay brickmaking in Great Britain. National Brick Advisory Council Paper No. 6. Londres, HM Stationery Office, 1956.
- Nations Unies. Création d'une industrie de la brique et de la tuile dans les pays en voie de développement. [Rédigé par H. W. H. West] (1D/15).  
Numéro de vente : F.69.II.B.19.
- Organisation des Nations Unies pour le développement industriel. Perspectives de développement de l'industrie de la brique. [Rédigé par I. Knizek.] Document présenté aux Journées d'études régionales sur le développement des industries des matériaux de construction à base d'argile en Afrique. Tunis, 6-12 décembre 1970. (1D/WG.81/9). Distribution limitée.
- Readings in marketing information system, a new era in marketing research. Par Samuel V. Smith, ed. et autres. Boston, Houghton Mifflin, 1968.
- Rowden, E. The firing of bricks. Londres, Brick Development Association, 1967.
- West, H. W. H. The layout of brickworks. Londres, Brick Development Association.
- Wilson, Aubrey. Assessment of industrial markets. Atlantic Highlands, N.J., Hillary, 1968.
- Worcester, P. M. Consumer market research. Handbook. New York, McGraw-Hill, 1972.

**Série "Mise au point et transfert des techniques"**

- \*N<sup>o</sup> 1 Systèmes d'acquisition des techniques (ID/187), numéro de vente : F.78.II.B.7.  
Prix : 8 dollars des Etats-Unis.
- N<sup>o</sup> 2 UNIDO Abstracts on Technology Transfer (ID/189).
- \*N<sup>o</sup> 3 Fabrication de véhicules bon marché dans les pays en développement (ID/193),  
numéro de vente : F.78.II.B.8. Prix : 3 dollars des Etats-Unis.
- N<sup>o</sup> 4 Manuel sur l'instrumentation et le contrôle de la qualité dans l'industrie textile  
(ID/200).
- \*N<sup>o</sup> 5 Techniques d'utilisation de l'énergie solaire (ID/202), numéro de vente :  
F.78.II.B.6. Prix : 10 dollars des Etats-Unis.
- N<sup>o</sup> 6 Les techniques audiovisuelles au service de l'industrie (ID/203).
- N<sup>o</sup> 7 Techniques provenant des pays en développement (ID/208).
- N<sup>o</sup> 8 Process Technologies for Phosphate Fertilizers (ID/209).
- N<sup>o</sup> 9 Process Technologies for Nitrogen Fertilizers (ID/211).
- \*N<sup>o</sup> 10 Briqueterie : profil d'une industrie (ID/212), numéro de vente : F.78.II.B.9.  
Prix : 4 dollars des Etats-Unis.

En Europe, en Amérique du Nord et au Japon, toutes les publications citées ci-dessus peuvent être obtenues gratuitement à l'exception de celles qui sont marquées d'un astérisque et qui sont mises en vente, séparément, dans ces régions, au prix indiqué. Dans les autres régions, toutes les publications, sans exception, peuvent être obtenues gratuitement.

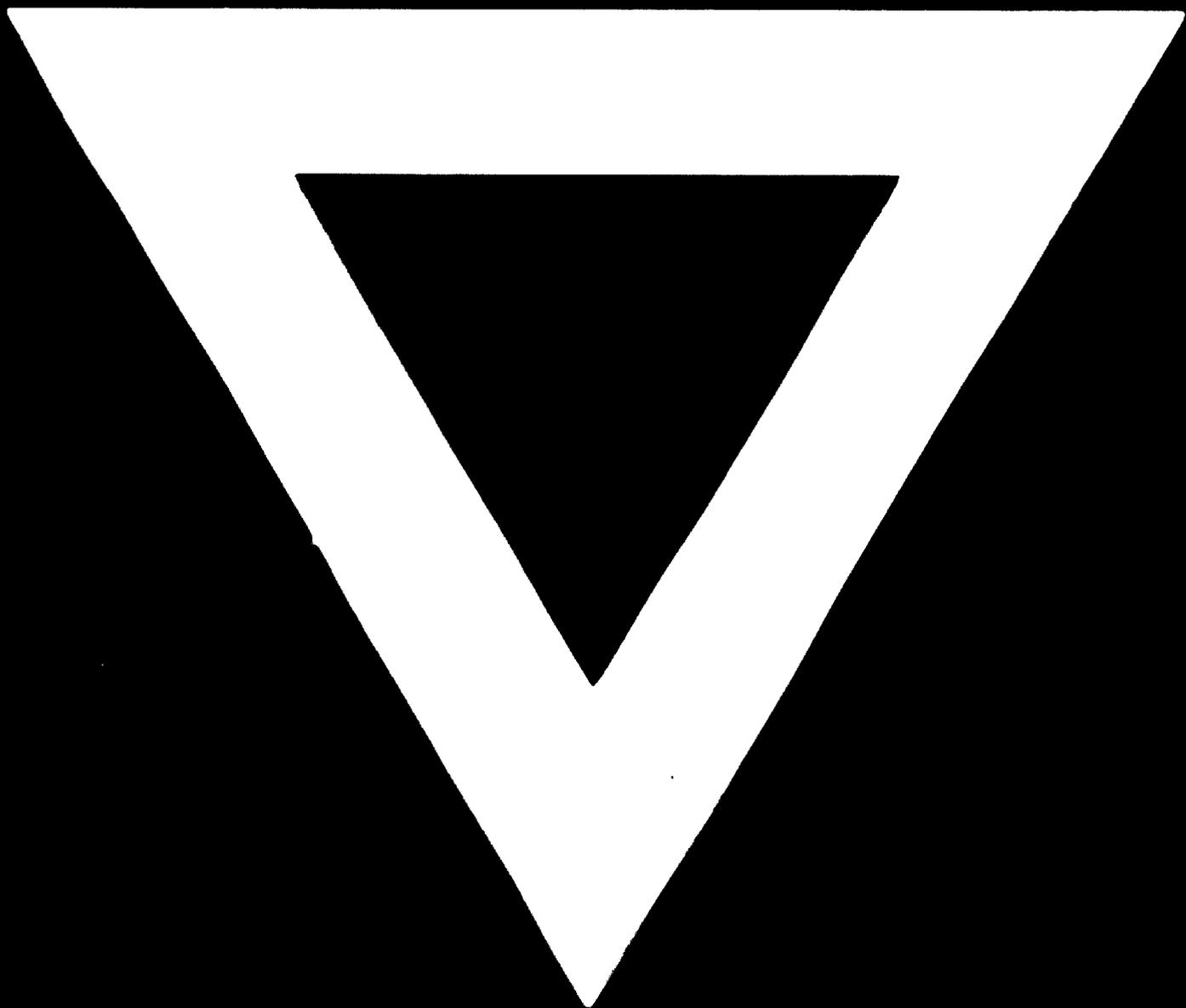
Pour obtenir des numéros gratuits, il suffit d'adresser une demande au Rédacteur en chef du *Bulletin d'information*, boîte postale 300, A-1400 Vienne (Autriche), en indiquant le titre et la cote du ou des documents souhaités.

Il est possible de commander les numéros mis en vente, en indiquant le titre et le numéro de vente, aux vendeurs autorisés des publications des Nations Unies ou à l'un des services suivants :

*Pour l'Europe*  
Section des ventes  
Office des Nations Unies  
CH-1211 Genève 10  
(Suisse)

*Pour l'Amérique du Nord et le Japon*  
Section des ventes  
Nations Unies  
New York, New York 10017  
(Etats-Unis d'Amérique)

**G-351**



**80.11.24**