

L'industrie des matériaux de construction dans les pays en voie de développement

EY

par J.P. MERIC
Directeur Général du C.E.R.I.L.H.

Des technologies de pointe on revient vers des technologies appropriées. La révision est parfois déchirante. Ne pas en tenir compte conduirait les exportateurs à des échecs cuisants.

Le transfert technologique des pays développés vers les pays sous-développés entre dans une nouvelle phase. Après les premières opérations qui ont débuté de façon massive il y a une dizaine d'années, on assiste à une remise en question par les pays en voie de développement des orientations qui avaient été alors choisies. Ces orientations privilégiaient systématiquement la technologie de pointe dans tous les domaines et prônaient leur implantation rapide dans les pays en voie de développement. On escomptait ainsi un effet d'entraînement qui, dans de nombreux cas, n'a pas pu se produire en raison d'un manque d'adaptation de ces technologies aux conditions locales. C'est ainsi que le concept de technologie appropriée a commencé à s'imposer sous l'impulsion de pays en voie de développement qui sont maintenant en mesure d'évaluer une technologie donnée en fonction des objectifs que ces pays se sont assignés. Parmi ces objectifs figure notamment la création d'emplois. Or, la technologie des pays développés privilégie essentiellement la mécanisation, l'automatisation et l'informatisation à grand renfort d'investissements coûteux ; les technologies appropriées fondées sur la création d'emplois peuvent donc paraître anachroniques et sembler « remonter dans le temps ». En réalité, il n'en est rien et, par de nombreux exemples, on peut montrer que les technologies appropriées intègrent autant, sinon plus, de « matière grise » que les technologies de pointe. Beaucoup de ces technologies appropriées n'auraient pas pu être mises au point il y a quelques années faute de connaissances scientifiques suffisantes. Ces mises au point exigent donc la collaboration de laboratoires de haut niveau, ainsi que des expérimentations délicates en vraie grandeur dans les milieux dans lesquels elles seront implantées. La technologie appropriée, c'est adapter une technique à son environnement ; cette technologie ne peut donc naître que de la collaboration de deux types d'organismes :

- les laboratoires ou les Centres Techniques des pays développés qui, comme le C.E.R.I.L.H., maîtrisent les principes fondamentaux des techniques dans un domaine donné par un effort constant de recherche scientifique et d'actualisation technologique ;
- les organismes homologues des pays en voie de développement com-

pétents en outre pour l'étude des conditions locales.

Ces organismes qui existent dans de nombreux cas, mais qui sont sans doute à développer et à coordonner, répondent à un besoin qui se fait de jour en jour plus manifeste. On assiste ainsi à l'éclosion, dans de nombreux pays en voie de développement, d'une prise de conscience de l'importance des choix technologiques qui se traduit par une volonté de plus en plus marquée de maîtriser ces choix.

Les pays développés auront à tenir compte de ces courants d'idées dans leurs rapports avec les pays en voie de développement. Ces courants sont canalisés et amplifiés par les organismes de coopération multilatérale comme l'O.N.U. qui a organisé un Forum International sur les technologies appropriées à New-Delhi du 20 au 30 novembre 1978. De nombreux experts de tous pays se sont rencontrés pour faire le point des technologies appropriées dans une dizaine de domaines. Les conclusions qui ont pu être tirées dans le domaine des matériaux de construction, ainsi que les principales approches technologiques actuellement en cours, sont exposées dans la suite de ce texte.

I. - Les orientations technologiques des pays en voie de développement

Le concept de technologie appropriée dans le domaine des matériaux de construction s'étend à des secteurs très variés qui peuvent cependant être regroupés de la manière suivante :

- la fabrication de liants : ciment portland, chaux et ciments pouzzolaniques ;
- la fabrication de composants : pierre de taille, briques de boue séchée ou de sol stabilisé, briques et blocs de terre cuite, blocs de béton hydraulique ou de matériaux pouzzolaniques, blocs et éléments de couverture à base de fibres naturelles traitées ;

● les procédés de construction, la formation du personnel, les méthodes de mise en œuvre des liants et des composants ;

● les transferts de technologie en provenance des pays qui ont réussi à maîtriser les problèmes de construction par l'utilisation optimale de ressources locales.

Il est incontestable que l'industrie cimentière est une industrie capitale dans les pays en voie de développement car elle fabrique un produit adapté à de nombreux usages et d'un emploi particulièrement rustique. Cependant, si le ciment est indispensable pour certaines structures, de nombreuses constructions ont pu être édifiées sans ciment et avec des matériaux plus simples. Le bloc de béton à base de ciment est le composant pour la construction le plus répandu, mais des technologies appropriées ont pu être mises au point dans différents pays pour la fabrication de murs en argile, en terre, en plâtre et en pierre taillée.

La production de ciment n'a pas la même souplesse que les méthodes de production de ces matériaux « traditionnels ». En effet, les économies d'échelle liées à la production de ciment ne permettent pas de descendre au-dessous d'une capacité de 120 000 tonnes de clinker par an, à moins de disposer d'une matière première particulière et de charbon à basse teneur en matières volatiles ; dans ce cas, on peut envisager l'utilisation de fours droits pour repousser la limite précédente jusqu'à 10 000 tonnes par an. Tous les autres matériaux de construction peuvent, de l'avis des experts, être fabriqués dans des unités de très faible capacité aussi bien que dans des unités de grande taille. Il semble admis que, dans les pays en voie de développement disposant d'une main-d'œuvre abondante, les unités de production simplifiée peuvent produire les mêmes matériaux à des prix inférieurs à ceux obtenus dans les unités mécanisées et automatisées.

La production de chaux grasse et de chaux hydraulique pour la fabrication de mortiers, de blocs ou de ciments pouzzolaniques semble constituer une alternative intéressante à la production de ciment. Les unités de production peuvent être miniaturisées et adaptées aux besoins des milieux ruraux.

L'argile semble un matériau susceptible d'utilisations très diverses. L'ar-

gile est souvent armée de fibres et séchée au soleil pour constituer d'excellents éléments de murs pour l'habitat rural. Elle peut aussi être cuite dans des fours de campagne ; dans ce cas, on obtient des briques dont les caractéristiques mécaniques permettent l'édification d'immeubles de plusieurs niveaux.

Il apparaît cependant que les résultats de ces opérations dépendent très largement du savoir-faire de ceux qui les effectuent. Si le ciment est un matériau très rustique et d'utilisation facile, c'est uniquement parce que les problèmes d'homogénéisation, de contrôle de la cuisson et du broyage ont été résolus par les hommes de l'art de la cimenterie dans d'excellentes conditions de fiabilité. Si l'on utilise des matériaux locaux sans traitement ou avec un traitement très sommaire, on se prive de cette accumulation de compétence et la variabilité naturelle des matériaux doit alors être compensée par l'habileté et l'expérience de l'utilisateur. Ces qualités ne peuvent s'acquérir sans un effort de formation à de multiples niveaux : experts formateurs sur le terrain, équipes de démonstration et assistance-contrôle. Cet effort de formation mobilisera des effectifs importants. Son coût ne sera pas négligeable, mais on pense qu'il contribuera à créer un courant profond et durable dans les populations de pays qui estiment que le développement industriel passe d'abord par celui des hommes et qui mettent catégoriquement en doute le chemin inverse.

2. - L'expérience acquise par les pays en voie de développement dans la fabrication de liants

Cette expérience s'étend à de nombreux secteurs et résulte d'opérations menées dans des pays très différents. La description suivante en donne un résumé point par point :

2.1. - Le développement de la chaux

La chaux a une importance considérable dans les pays qui ne disposent ni de ciment portland, ni de liants pouzzolaniques. Elle peut être produite, suivant les conditions, de

manière plus économique que le ciment et dans des installations rustiques de petite dimension et avec des investissements très réduits.

Il existe des fours de campagne qui permettent d'assurer de très faibles productions. Ces fours peuvent être mobiles et sont en général discontinus. Ils peuvent être mis à feu en fonction de la demande.

Les fours droits artisanaux sont destinés à des productions plus importantes. Ils peuvent être exploités de manière continue ou discontinue et alimentés en combustible solide, liquide ou gazeux.

Un four droit semi-industriel a été mis au point au Burundi. Il utilise les matériaux locaux, fonctionne sans électricité et peut, par conséquent, être édifié partout où il existe un besoin de chaux. Sa capacité est de cinq tonnes par jour.

Un prototype plus sophistiqué a été construit en Indonésie avec l'assistance de l'ONUDI. La conception de ce four repose sur les possibilités de l'industrie locale, son prix est par conséquent particulièrement bas. La technologie de ce four s'appuie sur un contrôle précis du tirage et la gazéification du combustible liquide directement dans le four. La capacité de production est de dix tonnes par jour, mais peut être poussée à trente tonnes par jour.

Les fours droits plus importants (cinquante tonnes par jour) sont équipés d'une installation de gazéification séparée pouvant traiter indifféremment tous les combustibles, y compris les déchets agricoles.

Les modèles de fours droits utilisés dans les pays développés ont une capacité de production entre cent et deux cents tonnes par jour. Ils exigent des investissements importants.

Les productions très élevées ne peuvent être assurées que par des fours rotatifs, surtout si l'on souhaite un produit très régulier qui est nécessaire pour la fabrication de briques silico-calcaires ou de béton léger autoclavé.

2.2. - Le ciment portland

La tendance actuelle, dans l'industrie cimentière, est de construire des unités de plus en plus importantes. Les capacités de production courantes sont de l'ordre de 3 000 tonnes par jour et on envisage de construire des fours d'une capacité de l'ordre de 10 000 tonnes par jour. De telles

unités mobilisent des capitaux importants qui, souvent, ne sont pas à la portée des pays en voie de développement. Leur production centralisée est difficile à répartir sur un territoire étendu.

Ces pays souhaitent s'équiper d'installations plus réduites et faisant appel à des technologies plus simples, mais modernisées qui permettent de produire du ciment portland d'excellente qualité avec une capacité de l'ordre de 150 tonnes par jour. Il est à noter que la consommation thermique de ces installations n'est pas plus élevée que celle des unités importantes fonctionnant en voie sèche.

Des mini-cimenteries encore plus petites, avec des capacités de 25 tonnes par jour, ont été construites et ont apporté la preuve qu'elles étaient capables de produire un clinker d'une qualité analogue à celle d'un clinker produit dans une grande installation moderne. Ces mini-cimenteries exigent cependant une surveillance très précise de la cuisson et sont très sensibles aux fluctuations des matières premières. Leur utilisation se justifie pleinement dans les régions difficiles d'accès et où il ne serait pas économique de faire venir le ciment d'une cimenterie plus importante mais éloignée. Ces cimenteries font largement appel à la main-d'œuvre locale et jouent un rôle important dans la décentralisation des activités industrielles.

Les stations de broyage constituent également une solution intéressante pour approvisionner des marchés de faible importance. Il est en effet plus facile et plus économique de transporter et de stocker le clinker que le ciment.

La fabrication de liants à maçonner ou de ciments pouzzolaniques en incorporant une proportion élevée de filler calcaire ou de pouzzolane au ciment à l'occasion du broyage a permis d'accroître considérablement la production de ciment à partir d'une production donnée de clinker. Les pouzzolanes utilisables sont les tuffs, la pierre ponce, les cendres volantes ou l'argile calcinée. Les ciments obtenus ne sont pas inférieurs aux ciments portlands. Ils s'en distinguent par un durcissement moins rapide, mais ils peuvent présenter une résistance à long terme plus élevée et une meilleure résistance aux eaux agressives, aussi sont-ils recommandés pour les travaux à la mer.

2.3. - Les liants chaux-pouzzolane

L'on sait depuis longtemps qu'un mélange de chaux et de pouzzolane constitue un excellent liant hydraulique qui, dans certains cas, peut remplacer le ciment portland. Ce liant est plus économique et, dans de nombreux pays, on a envisagé sa fabrication pour des utilisations pour lesquelles le ciment portland serait trop onéreux.

Les pouzzolanes naturelles que l'on peut utiliser sont des tuffs, les trass, les cendres volcaniques, les diatomites, la gaize, le tripoli, etc. La technologie correspondante est simple puisqu'il faut sécher le matériau et ensuite le broyer simultanément avec la chaux éteinte. La dimension d'une telle unité de production peut indifféremment être très importante ou très réduite.

Les pouzzolanes artificielles sont obtenues par grillage de l'argile. Ce grillage est effectué en chauffant des briques dans un simple fourneau, des agglomérés dans un four droit, des granules dans un four rotatif ou une poudre dans un four à suspension. Les deux derniers procédés sont ceux qui permettent le meilleur contrôle de la température. Parmi les argiles présentant une activité pouzzolanique élevée figure le kaolin. Cette activité peut encore être améliorée par une trempe énergique à la sortie du four. Une nouvelle technologie est en cours d'étude dans le domaine des liants chaux-pouzzolanes. Elle consiste à chauffer un mélange de chaux grasse et de pouzzolane à une température de 800 °C. Il semble qu'il se produise une réaction entre la chaux et la pouzzolane qui améliore considérablement sa réactivité. La pouzzolane ainsi activée est ensuite normalement broyée avec le reste de chaux qui ne lui a pas été apporté à la cuisson. La chaux semble agir comme un catalyseur en accélérant les réactions d'hydratation, puisqu'un ciment pouzzolanique courant présente une résistance comprise entre 10 et 15 MPa, tandis que ce nouveau procédé permet, avec des matériaux identiques, d'atteindre 25 à 30 MPa.

2.4. - Le plâtre

Le plâtre est un matériau de construction de plus en plus utilisé dans les pays en voie de développement. Il est produit à partir du gypse dans trois types de fours : le fourneau de campagne, le four discontinu et le four rotatif.

Le fourneau de campagne utilisé de manière artisanale est analogue à celui qui sert à calciner la chaux. Sa dimension peut être adaptée aux besoins même les plus modestes. Le four discontinu est en général approprié à des productions de l'ordre de 200 à 1 000 kg par cycle. Le four rotatif est utilisé pour les productions plus importantes de l'ordre de 50 tonnes par jour ou plus.

L'utilisation principale du plâtre, qui peut être produit à moindres frais que les liants hydrauliques, est le revêtement intérieur des logements. Il peut également être transformé en panneaux ou en plaques et, dans certains cas, en blocs de construction. Cette dernière utilisation est toutefois limitée par la grande sensibilité du plâtre à l'humidité, mais il faut constater que cette sensibilité ne semble pas constituer un inconvénient majeur sous certains climats.

2.5. - L'utilisation des résidus

L'utilisation de résidus dans les pays en voie de développement pour la fabrication de matériaux de construction commence à se généraliser. Elle est cependant freinée par la variabilité de ces résidus et aussi par leur coût de transport. Il est souvent nécessaire de faire venir ces produits de centres industriels éloignés.

Il existe cependant de nombreuses possibilités qui commencent à être exploitées sur une grande échelle :

- l'agglomération de fines minérales et de copeaux de bois,
- l'incorporation de sciure à certains bétons,
- l'utilisation de balle de riz comme combustible dans les chaudières,
- l'utilisation de balle de riz comme combustible et matière première dans les fours à ciment,
- l'utilisation des cendres de balle de riz pour la fabrication de matériaux de construction,
- l'utilisation des cendres de balle de riz comme matériau abrasif pour la préparation des surfaces.

L'utilisation des cendres en général fait l'objet de nombreux développements. Les cendres de balle de riz, mais aussi celles provenant de l'incinération des peaux de bananes ou de la bagasse, peuvent être mélangées à de la chaux, de préférence dans un broyeur, pour la fabrication de liants pouzzolaniques d'excellentes qualités.

3. - L'expérience acquise par les pays en voie de développement dans la fabrication des composants

3.1. - Les murs

Le matériau le plus courant pour la construction de murs d'une maison est la pierre naturelle. Les ressources en roche corallienne ou en laves volcaniques doivent être inventoriées car elles constituent une matière première de choix par leur facilité de façonnage. Le basalte ou le granit sont en revanche plus difficiles à utiliser, mais des travaux de développement de machines à tailler ces matériaux sont en cours. Les schistes sont particulièrement indiqués pour la confection de bardages recouvrant des murs sensibles à l'humidité.

Lorsque les pierres naturelles font défaut, la boue ou l'argile peuvent permettre de façonner des briques. Celles-ci peuvent être stabilisées avec du ciment, de la chaux ou de l'asphalte ; on obtient ainsi des matériaux qui se sont révélés satisfaisants et qui, dans beaucoup de cas, présentent une durabilité très suffisante. Certains matériaux réactifs, comme les latérites ou les pouzzolanes, peuvent acquérir des propriétés mécaniques relativement élevées lorsqu'ils sont stabilisés à la chaux ou au ciment. Cette stabilisation peut être complétée par un étuvage qui permet d'accroître encore les caractéristiques du matériau jusqu'à obtenir des performances analogues à celles des parpaings.

La cuisson de l'argile est connue depuis l'antiquité. Son inconvénient est d'exiger des investissements importants à l'échelle industrielle. Elle confère cependant aux briques une stabilité et une résistance de tout premier ordre. Le façonnage des briques peut être effectué manuellement ou à la machine par extrusion. Une attention toute particulière doit être accordée à l'homogénéisation et au broyage de l'argile avant son utilisation. Ce broyage est souvent effectué à l'aide d'une meule actionnée par un animal.

Les fours utilisés pour la cuisson sont très divers, ils vont du simple

empilement de matériaux autour d'un foyer jusqu'au four à tunnel. Bien entendu, les propriétés finales du matériau dépendent étroitement du contrôle de la cuisson.

Lorsque l'on ne dispose ni de pierre, ni de boue, ni d'argile, il faut avoir recours au sable pour la fabrication de matériaux. Il est possible d'agglomérer du sable avec de la chaux en façonnant des briques sous une pression élevée et en les autoclavant, c'est-à-dire en les plaçant dans de la vapeur d'eau à pression très élevée. Les matériaux silico-calcaires ainsi obtenus présentent des résistances très élevées et des cotes très précises, ce qui facilite leur utilisation. Les investissements correspondants sont cependant très élevés.

Si l'on incorpore au matériau précédent un grand nombre de bulles, l'on obtient un produit alvéolaire léger et isolant. L'incorporation de bulles est obtenue par mélange d'un produit gazogène, en général l'aluminium en poudre, avec les matières premières. Ce béton léger autoclavé permet de fabriquer des composants armés pour les planchers, aussi bien que des éléments pour les murs ou les toits.

Il est également possible d'obtenir un béton tout à la fois léger, isolant thermiquement et résistant en incorporant des bulles à un mélange de sable et de ciment. Il est inutile d'autoclaver ce matériau. Il en résulte une fabrication d'autant plus économique que la densité est faible, c'est-à-dire que la quantité de matériaux nobles utilisée au mètre cube est réduite.

3.2. - Les toitures

Les matériaux de couverture les plus simples sont l'argile ou les matériaux schisteux en général, ainsi que le chaume. Mais le matériau le plus utilisé est la tuile en argile qui peut être produite de manière artisanale par un façonnage manuel.

L'amiante-ciment permet de réaliser des couvertures adaptées à des conditions d'utilisation très variées. La production d'amiante-ciment n'est économique qu'en unités de grande capacité et immobilise par conséquent des capitaux importants. De nombreuses recherches sont effectuées pour remplacer les fibres d'amiante par des fibres de sisal ou

de cocotier. Les problèmes de durabilité ne sont pas encore résolus. On espère néanmoins diminuer de moitié le coût des couvertures tout en réduisant la dimension des unités de production.

Un aggloméré de bois et de ciment pour les couvertures est entré depuis de nombreuses années déjà dans l'utilisation courante. Ce matériau doit être protégé par un enduit mais il est à la fois résistant, thermiquement isolant et économique. Il est obtenu à partir de bois traité au chlorure de calcium.

Les conclusions et les expériences reportées ici ne constituent pas à proprement parler une évaluation technique des différents matériaux ou procédés qui sont passés en revue. Une telle évaluation ne peut être séparée des différents contextes auxquels ces technologies doivent s'adapter. Ces conclusions cherchent au contraire à traduire les besoins d'un certain nombre de pays en voie de développement tels qu'ils se sont exprimés par la voix de leurs représentants et même concrétisés par des réalisations originales et souvent exemplaires. Il est certain que la satisfaction de ces besoins nécessitera de nombreux travaux de recherche scientifique, ainsi qu'un effort considérable de formation. Il s'agit là de missions prioritaires pour un laboratoire de recherche technique qui, comme le C.E.R.I.L.H., se donne pour objectif de contribuer au rayonnement des techniques françaises à l'étranger.

**Exportation :
jouer la carte
du tiers monde**