

# La revalorisation des matériaux pauvres

Du ciment, pour nous autres occidentaux, c'est, sans que nous ayons à le préciser chaque fois, du ciment Portland. Ce ciment artificiel est le produit exclusif d'une industrie hautement spécialisée, il s'élabore dans des usines peu nombreuses mais puissantes et modernes, à peu près uniformément réparties par rapport aux places d'utilisation. Ses caractéristiques sont normalisées, sa qualité est à peu près régulière. C'est donc un ciment d'emploi facile, qui donne très rarement lieu à des mécomptes pour peu qu'on observe quelques règles d'utilisations générales, d'ailleurs valables pour tous les liants hydrauliques, à savoir: employer un ballast bien gradué, gâcher avec un minimum d'eau, vibrer enfin éviter la dessiccation du béton en œuvre avant prise complète. Des liants plus anciens que le ciment Portland, naguère utilisés pour tous les usages de la construction traditionnelle, ont aujourd'hui pratiquement disparu des chantiers en tant que matériaux de gros-œuvre; tel est le cas de la chaux hydraulique, de la chaux blanche qu'on n'emploie plus qu'en enduits et badigeons, des ciments naturels dont l'usage est limité aux étanchements et aux scellements, du plâtre qui n'est plus aujourd'hui qu'un matériau de finition. Or, ce ciment Portland qui, au cours des trente dernières années, s'est assuré la quasi-exclusivité du marché de la construction, n'est pas exempt d'inconvénients, tant s'en faut: c'est un liant cher, pour pays riches. Sa fabrication exige 250 kg de charbon par tonne de produit fini en moyenne, alors qu'il n'en faut que 100 par tonne de chaux hydraulique et 60 par tonne de plâtre. De plus, il ne peut être produit dans des conditions d'économie et de régularité acceptables que dans des usines puissantes dont la création exige des investissements considérables et dont la conduite requiert la collaboration de spécialistes. De ce fait, ce ciment s'exclut des emplois extensifs dans tous les pays industriellement peu développés, qui ne possèdent ni les moyens financiers ni les spécialistes pour installer des usines productrices en nombre suffisant, ni assez de combustible pour alimenter ces usines.

C'est un ciment délicat, dont les mortiers et bétons sont rapidement altérés soit par les eaux pures, soit par l'eau de mer. En milieu humide, il ne souffre pas le contact de produits sulfurés car les sulfoaluminates de chaux qui se forment prennent naissance avec augmentation de volume et disloquent le béton à leur voisinage. De ce fait, il est peu indiqué pour les travaux à la mer ou en eaux saumâtres et, d'une façon générale, partout où les constituants de base des mortiers et bétons, c'est-à-dire l'eau, le sable et les roches, présentent des titres importants de sel ou de sulfates.

Mais, dira-t-on, ce ciment Portland nous convient fort bien en général, nous possédons suffisamment d'usines — nous pouvons d'ailleurs en créer d'autres suivant nos besoins — le combustible abonde, et, pour ce qui est des pays sous-développés, c'est là un problème qui nous est, sinon étranger, du moins fort lointain.

Regardons donc les choses d'un peu plus près, regardons aussi un peu plus loin que l'avenir immédiat, un peu plus loin que nos étroites frontières: Pouvons-nous créer d'autres usines et adapter en tout temps la production aux besoins? Non.

Si nous connaissons périodiquement une disette de ciment Portland, il n'en résulte pas automatiquement la création de nouvelles usines. En effet, les besoins varient avec le niveau de l'activité dans la construction, ils peuvent descendre rapidement à un minimum en période de crise. Par contre, les investissements nécessaires à la création d'une usine sont, eux, définitifs, ils doivent être rentés et l'usine ne peut être exposée à fermer six mois par an.

Avons-nous trop de combustible? Non. Nos besoins en énergie croissent sans cesse, cette énergie qui est la substance même de notre civilisation. Or, nos sources d'énergie sont limitées; il est probable que, sur ce plan, nous vivons actuellement au-dessus de nos moyens et que, dans un avenir plus ou moins proche, nous devons compter non pas tant sur des sources nouvelles d'énergie, telle l'énergie atomique, que sur des méthodes plus rationnelles et plus économiques d'utilisation des

combustibles traditionnels dont nous faisons aujourd'hui un gaspillage inconsidéré.

Dans le cadre d'une réforme inévitable de notre économie énergétique, il est à prévoir qu'un effort devra être fait pour tirer parti de matériaux de construction moins coûteux en combustible et restreindre l'usage des liants de luxe, du type ciment Portland, aux emplois où ils sont indispensables. Enfin, les ressources en matériaux de construction des pays sous-développés nous sont-elles indifférentes? Non, pour deux raisons:

D'abord parce que c'est précisément dans ces pays-là que nous avons le plus de chances de trouver nous-mêmes de nouvelles ressources minérales: charbon, pétrole, métaux; nos propres réserves sont connues et nous savons déjà que seules elles ne pourront pas alimenter indéfiniment nos industries. Or, la mise en valeur de ces richesses lointaines exige la construction d'installations diverses et la concentration de populations en des lieux où il n'y a aujourd'hui que le désert, c'est-à-dire du sable et de l'argile, généreusement mêlés de sel et de gypse dans le cas le plus général. C'est par exemple le cas du Sahara français où l'on découvre des richesses naturelles immenses et où il faudra bientôt créer de toutes pièces des usines, des cités d'habitation et des ouvrages de génie civil.

Ensuite, parce que, pour assurer la stabilité et la paix dans des régions d'où ils tirent une partie toujours plus importante des matières premières essentielles à leur économie, les pays fortement industrialisés sont amenés, aujourd'hui déjà et demain plus encore, à aider les pays sous-développés à s'équiper d'un minimum d'ouvrages de génie civil et de génie rural: pistes, canaux, puits, et à construire des habitations pour fixer les populations nomades et améliorer les conditions de vie souvent misérables des sédentaires.

La réalisation de tels projets est évidemment subordonnée à la possibilité de trouver sur place les matériaux de construction nécessaires, en particulier des liants hydrauliques. Or, il ne peut être question d'acheminer depuis des usines lointaines jusqu'au cœur du désert du ciment Portland qui, d'ailleurs, serait impropre à l'usage, ni de créer sur place des cimenteries classiques. Il a donc fallu envisager de tirer parti des matériaux présents sur place en limitant l'intervention de matériaux importés au rôle d'adjuvants à faible pourcentage, et de créer dans le pays même de petites unités capables de produire des liants adaptés aux besoins locaux, chaux et plâtre par exemple. Les besoins de la construction dans les pays déshérités ont ainsi posé un problème, celui de la revalorisation des matériaux pauvres. L'étude de ce problème a été confiée à des organismes de recherche spécialisés, et des solutions ont été trouvées dont on s'est aperçu que, non seulement elles convenaient dans le cas particulier où on s'était placé, mais encore qu'elles pouvaient se généraliser avec profit aux pays fortement industrialisés.

Parmi ces solutions, nous ne citerons que celles qui sont déjà passées sur le plan de l'exploitation industrielle. D'autres, plus nombreuses, sont encore à l'étude.

## Le ciment de laitier

Dans la série des liants de remplacement du Portland, le ciment de laitier se révèle comme un liant de premier choix, tant par la qualité des produits qu'il permet d'obtenir que par l'universalité de ses usages. On peut en effet l'employer pur ou associé au ciment Portland en proportions variant de 30 à 50 % ou l'employer comme agent d'amélioration de matériaux pauvres, le gypse ou l'argile par exemple.

Le ciment de laitier n'est pas un inconnu en Europe; il a fait, au cours des 50 dernières années, des apparitions plus ou moins brèves sur le marché, en particulier en période de guerre. Loin de s'affirmer comme un liant de qualité, il s'est acquis la fâcheuse réputation d'un ersatz médiocre. Or, les recherches récentes qui ont été entreprises à son sujet ont conduit à des méthodes de fabrication qui font du

ciment de laitier un liant d'une qualité exceptionnelle, donnant en bétons des résistances mécaniques au moins égales à celles des bétons de Portland et des résistances chimiques bien supérieures.

On sait que, lors du traitement du minéral dans le haut-fourneau, la gangue pierreuse entre en fusion et s'écoule à côté de la fonte. Ce sous-produit, c'est le laitier.

Afin d'éviter la prise en masse de ce laitier et de faciliter son évacuation, on dirige sa coulée dans des bassins d'eau froide où il se solidifie en se dispersant en granules. Si la composition du lit de fusion est convenable, c'est-à-dire si les pourcentages de silice, d'alumine et de chaux contenus dans la gangue du minéral sont en proportions favorables, le laitier possède des propriétés hydrauliques. Les granules trempés lors de la coulée peuvent alors être repris, séchés et moulus pour être transformés en ciment. A condition de régler le chargement du haut-fourneau non pas seulement en fonction de la fabrication de la fonte mais également en vue d'assurer une production de laitier de composition régulière et bien délimitée, on peut donc transformer un sous-produit sans valeur marchande en un matériau de grande valeur. Cette transformation n'était pas gratuite jusqu'ici puisqu'il fallait sécher le laitier au sortir de son bain, donc dépenser une quantité supplémentaire de combustible. Un procédé récemment mis au point permet d'économiser cette dépense: il consiste à diriger sur le jet de laitier en fusion une quantité d'eau strictement mesurée, suffisante à le tremper et à le transformer en granules, mais telle qu'à la fin de l'opération toute l'eau aura été évaporée par la chaleur apportée par la coulée. On obtient ainsi gratuitement un produit sec. Par ailleurs, la mouture du laitier doit être faite à une finesse extrême; les techniques de mouture actuelles permettent de résoudre ce problème sans difficulté. Enfin, des adjonctions en faibles quantités de sels minéraux assurent l'alcalinité du milieu nécessaire à la prise et la réactivité du ciment.

Actuellement, plusieurs usines françaises productrices de fonte se sont équipées pour la fabrication du ciment de laitier et mettent régulièrement sur le marché un liant de qualité exceptionnelle dont la majeure partie est absorbée par les territoires d'outre-mer. Il est probable que cette évolution s'amplifiera dans les années qui viennent et que le ciment de laitier s'assurera une part importante du marché métropolitain à côté du Portland qu'il pourra remplacer ou compléter dans de nombreux usages.

Dans les pays pauvres et peu industrialisés, il présente d'ailleurs un intérêt supplémentaire. En effet, sa fabrication ne nécessite pas l'installation d'usines destinées à sa production exclusive: un petit cubilot convenablement alimenté peut, à côté du métal dont il traite le minéral, fournir un laitier hydraulique. Or, dans le cas le plus général, il est souvent possible de trouver sur place un gisement métallifère dont le traitement, associé à la production de laitier, permettra de rendre rentable une double fabrication, métal d'un côté, ciment de l'autre, alors que la fabrication isolée de l'un ou l'autre de ces produits ne se serait pas justifiée du point de vue économique.

## La chaux

Sous la forme de chaux hydraulique, elle a été durant de longues années le constituant essentiel des mortiers employés pour le jointage des maçonneries et l'on peut aujourd'hui encore se persuader de ses qualités lorsqu'on examine d'anciens ouvrages lors de leur démolition: les mortiers de chaux, qui ont souvent été placés dans des conditions très dures, se révèlent intacts et présentent une dureté comparable à celle des meilleurs bétons de ciment. Mais sa fabrication est délicate, les opérations de triage, d'extinction et de blutage, qui sont essentielles pour la qualité du produit, sont coûteuses en main-d'œuvre. Et surtout la généralisation du béton armé et le rythme de construction accéléré qu'exigent les chantiers modernes ont fait disparaître

ce liant au profit du ciment Portland. Or, la réapparition du ciment de laitier sous une forme évoluée vient donner un regain d'actualité à la chaux hydraulique, tout au moins dans les pays qui ne peuvent s'équiper de cimenteries classiques. Il se trouve, en effet, qu'une addition modérée de laitier fin à une chaux hydraulique médiocre suffit à relever ses caractéristiques de façon considérable. Ainsi, un mortier normal  $1/3$ , confectionné avec une chaux hydraulique ordinaire, et présentant à 28 jours une résistance à la compression de 50 kg/cm<sup>2</sup> au maximum, donne environ 200 kg/cm<sup>2</sup> au même âge s'il a été additionné de 20 % de laitier fin. Parallèlement, l'adhérence aux aciers, mauvaise avec la chaux non traitée, est, elle aussi, considérablement améliorée. De tels mélanges constituent donc pour les ouvrages courants de génie civil et de génie rural un matériau de base tout à fait convenable, et il est significatif que l'administration française équipe actuellement les territoires du Sud algérien de fours à chaux mobiles destinés à produire sur le lieu de construction des ouvrages projetés dans les régions arides de la chaux qui sera élaborée à partir de calcaire pris sur place et améliorée par addition de laitier importé.

Si la chaux hydraulique ainsi traitée fournit un matériau de gros-œuvre de qualité, la chaux blanche légère, hydrate de calcium pur, permet d'obtenir dans des conditions analogues d'économie un matériau de luxe pour l'habillage du gros-œuvre.

Dans la construction traditionnelle, on utilise la chaux blanche en enduits et badigeons et on compte sur sa carbonatation naturelle pour qu'elle acquière ses qualités de résistance et d'imperméabilité. Dans le cadre des recherches concernant la revalorisation des matériaux pauvres, un procédé a été mis au point qui permet maintenant d'opérer une carbonatation accélérée en atmosphère conditionnée. On obtient alors à partir de mortiers de chaux blanche, en quelques heures de traitement, des pierres reconstituées dont la résistance à la compression atteint aisément 500 kg/cm<sup>2</sup>, d'une très grande dureté et susceptibles de prendre un beau poli, en un mot un matériau idéal de remplacement des marbres. Bien entendu, cette transformation ne peut se faire qu'en atelier, mais les moyens employés sont simples et parfaitement adaptés aux techniques habituelles de la construction ou plutôt de la préfabrication; le gaz carbonique qui est à la base du traitement peut se produire partout et à moindres frais. Voilà donc trouvé, à partir de ressources locales, le complément des matériaux de gros-œuvre déjà cités, pour les revêtements de sols et de parois.

## Les argiles, les gypses

Bien que ces matériaux ne soient pratiquement jamais utilisés sous nos latitudes autrement que cuits et transformés en brique pour l'argile, en plâtre pour le gypse, leur mention entre naturellement dans le cadre de cet exposé. Ils constituent, en effet, la presque totalité des matériaux pierreux disponibles dans les pays arides d'Afrique du Nord et de l'Orient, sous forme de gypse pur, d'argiles gypseuses et de sables siliceux et gypseux. Considérés comme les matériaux les plus pauvres, les plus difficilement utilisables, mais présents partout et inépuisables, l'intérêt de leur revalorisation est évident. Les premiers résultats obtenus à la suite de recherches qui n'en sont qu'à leur début sont spectaculaires. C'est ainsi qu'un mélange naturel contenant 50 % de sable et 50 % de gypse, additionné de 5 % de laitier fin conditionné, grossièrement moulu, modérément humecté, pilonné et conservé à sec donne une résistance à la compression d'environ 200 kg/cm<sup>2</sup> à 28 jours. Avec 10 % de laitier, cette résistance atteint presque 350 kg/cm<sup>2</sup> au même âge. C'est donc un matériau idéal pour la construction de pistes dans les pays arides, pistes dont l'établissement conditionne pratiquement tout le développement ultérieur des zones désertiques. De la même façon, des terres argileuses pouvant contenir, outre l'argile, du calcaire et de la silice peuvent être transformées en matériaux tout à fait utilisables pour la construction d'habitations.

Voici, à titre d'exemple, les résultats obtenus à partir d'argiles à tufs contenant en outre environ 5 % de gypse, 2 % de chaux, 2 % de sel, grossièrement émiettés avec addition de 15 % d'eau. Les résistances à la compression à 28 jours sont, en moyenne, les suivantes:

avec	3 %	de laitier fin	30 kg/cm <sup>2</sup>
	6 %	»	60 kg/cm <sup>2</sup>
	9 %	»	85 kg/cm <sup>2</sup>
	12 %	»	100 kg/cm <sup>2</sup>

Les matériaux obtenus sont de plus stables, imperméables et insolubles à l'eau.

## Le plâtre

Avec le plâtre, nous retrouvons un matériau de construction familier, très abondant, très utilisé, bon marché, mais connu pour donner des produits peu résistants, fragiles, perméables et solubles, cette perméabilité s'aggravant du fait que l'objet gorgé d'eau perd à peu près la totalité des faibles résistances qu'il présentait à l'état sec. C'est pourquoi l'emploi du plâtre, bien que très général, a conservé chez nous un caractère presque totalement artisanal et est resté limité aux finitions, sous forme d'enduits, de carreaux appliqués, de moulures.

Or, des recherches toutes récentes qui passent actuellement au stade de la réalisation industrielle ont montré qu'à partir du plâtre le plus commun, employé pur et sans addition d'autres liants, on peut obtenir, moyennant un traitement très simple, des produits présentant des qualités tout à fait inattendues, soit par exemple à l'âge de 7 jours 450 kg/cm<sup>2</sup> à la compression, 80 kg/cm<sup>2</sup> à la traction, une imperméabilité et une inaltérabilité presque complètes. De telles caractéristiques sont celles de très bons bétons de ciment Portland et encore sont-elles loin des maxima qu'on peut obtenir si le but poursuivi le nécessite, maxima qui se situent aux environs de 700 kg/cm<sup>2</sup> à la compression et 160 kg/cm<sup>2</sup> à la traction. On peut d'ailleurs remarquer que ces caractéristiques ne sont pas, à proprement parler, surprenantes puisqu'elles sont voisines de celles de certains gypses naturels et qu'il suffit, en principe, de recréer à l'atelier les conditions naturelles qui ont présidé à la formation de ces roches pour obtenir à partir du plâtre des produits équivalents. Si l'on songe au fait qu'on trouve de la pierre à plâtre pratiquement partout, que trois murs de maçonnerie suffisent déjà à constituer un four à plâtre, qu'on peut utiliser pour la cuisson des combustibles médioles et en petite quantité, en un mot que le plâtre est le type même du liant économique, on comprend que les caractéristiques des produits obtenus à l'aide des techniques mentionnées plus haut éveillent un intérêt tout particulier dans le monde de la construction et laissent envisager des solutions nouvelles et complètes à des problèmes qui n'avaient pu jusqu'ici recevoir de réponse entièrement satisfaisante, problème des cloisons, doublages et enduits intérieurs des habitations, parois et plafonds, par exemple.

## Et pour conclure...

Cet exposé sommaire et incomplet des progrès réalisés en quelques années dans la revalorisation de matériaux dédaignés n'a d'autre prétention que d'indiquer les tendances qui se dessinent vers la mise en valeur de richesses immenses mais d'un abord ingrat.

Bien plus que dans de nouvelles audaces du béton armé, bien plus que dans l'utilisation de luxueuses matières synthétiques, c'est dans une patiente exploration et une mise en valeur méthodique de matériaux que la Providence a mis à la portée de tous, que doit se placer l'espoir d'une amélioration de l'habitat et, finalement, des conditions de vie des hommes.

Georges Berthier, ing. SIA