

# Des bétons antiques aux géopolymères

La création d'entreprise ne réside pas seulement dans la mise à disposition des compétences ou de produits donnés à l'instant approprié. Elle implique, le plus souvent, des natures particulières de personnages car la route, semée d'embûches, rend toujours le cheminement difficile. Si elles se rejoignent sur un certain nombre de qualités, comme la volonté ou l'esprit de finalité, ces personnes offrent une grande diversité par leur caractère ou les situations rencontrées. Il nous a été donné de rencontrer le professeur Joseph Davidovits, et d'avoir à connaître l'itinéraire qui l'a conduit du chimiste des hauts polymères organiques à celui de chimiste des polymères minéraux. Le parcours ne manque pas d'originalité.

En 1970 a lieu l'horrible incendie du dancing «Cinq/Sept», qui est la preuve cruellement administrée, que les matériaux de décoration de type polyester représentent un danger invraisemblable. A l'époque, Joseph Davidovits a en charge un laboratoire de recherches textiles à Saint-Quentin. Dans son activité, il a déjà été confronté à plusieurs reprises au danger d'inflammabilité lié au port des blouses et des bas Nylon, responsable de plusieurs accidents graves en entreprise. Devant cette situation, il est devenu impératif d'installer sur le marché des matériaux ininflammables. Dans l'industrie chimique tout le monde savait que cela était possible grâce à l'introduction de phosphines dans la chaîne. Or, les phosphines constituent des produits toxiques qu'il n'est pas concevable d'utiliser, sachant que leur emploi reviendrait à remplacer un mal par un autre. Dans les incendies, ce n'est pas la flamme qui est la plus dangereuse, mais bien plutôt le dégagement de fumées toxiques. Joseph Davidovits décide de se lancer activement dans cette réflexion et crée sa propre société en 1972.



## DOCTE LANGAGE OBLIGÉ

Tout le problème est de parvenir à réaliser des matières plastiques qui ne brûlent pas et qui ne fassent donc pas appel à des produits carbonés. La solution est d'utiliser des éléments minéraux, telle la silice. Mais il faut surmonter une difficulté, celle d'effectuer l'opération de transformation à basse température.

C'est ainsi, explique Joseph Davidovits, que l'on a découvert qu'il existait des réactions minérales tout à fait similaires à certaines réactions de chimie organique. Cette constatation a conduit aux premières applications qui reposaient sur la transformation des argiles à basse température et qui ont notamment abouti à une réalisation intéressante. Il s'agissait de panneaux particules ininflammables. Leur utilisation aurait sans doute pu éviter le désastre de l'incendie du CES Edouard-Pailleron à Paris. La société Saint-Gobain, vivement intéressée par ce produit, avait d'ailleurs programmé une ligne complète de fabrication de prototypes. Un marché important existait. Mais le choc pétrolier, issu des événements de 1973 remet tout en question. La crise arrête net le développement du produit, au point que Joseph Davidovits doit licencier son personnel. Et il se retrouve seul. Il s'agit de repenser l'affaire en analysant les erreurs commises. L'idée s'impose de «changer de système» et de s'orienter vers des applications

### ◆ Se passer de l'art du feu

*L'objectif initial des recherches entreprises par le Pr Joseph Davidovits sur des matériaux du type «géopolymère» était de proposer une alternative aux polymères quant à la facilité de mise en oeuvre. En effet, le succès des matières plastiques est grandement redevable, dans leur élaboration, au peu d'exigence du niveau de température. Point n'est besoin de passer par la phase ignée des très hautes températures qui caractérise aussi bien la métallurgie que la fabrication des céramiques, des températures de moins de la centaine de degrés Celsius étant suffisantes. En substituant des éléments minéraux, tels des silico-aluminates de sodium ou de potassium, aux composés organiques, le géopolymère se présente au plan de la mise en oeuvre comme un polymère minéral. De cette origine, il possède naturellement une résistance au feu exceptionnelle qui permet des applications dans la protection contre l'incendie: cloisons, portes coupe-feu et, tout récemment, comme structure de la fameuse «boîte noire» embarquée dans les avions. Si dans son élaboration le géopolymère n'a pas besoin du feu, parfois le feu peut le rendre indispensable !*

### ◆ Applications futures

*Les résines géopolymères n'en sont qu'à l'aube de leur application, en particulier dans le domaine de la haute technologie. Il y a bien des moules pour former des composants aéronautiques en alliages de titane et d'aluminium qui sont réalisées en géopolymères, ou encore, des louches de coulée qui sont en contact permanent avec l'aluminium fondu sans se dégrader. Mais la percée indus-*

pointues. Dans ce domaine, les géopolymères ont un rôle à jouer. En effet, ces résines minérales, qui sont des **silico-aluminates**, ont la propriété d'être des liants, capables de supporter une température de 1000 à 2000°C. Ce point étant acquis, il reste à trouver les débouchés particuliers. «Dans mon esprit, fait remarquer Joseph Davidovits, je pensais montrer à la communauté technologique l'intérêt de développer une nouvelle branche de la chimie minérale. Mais curieusement, ce ne sont pas les applications potentielles qui ont retenu l'attention, mais bien le retour, pour le moins trivial, au travail de l'argile, même s'il s'agissait, en l'occurrence, d'une retransformation intelligente.» Un mur d'incompréhension s'est aussitôt élevé. L'emprise de la haute technologie sur les esprits est telle qu'elle élimine de la réflexion tout ce qui peut s'apparenter à un processus involutif. L'argile n'intéresse plus. Le fait d'en refaire n'entre pas dans une démarche, dite noble. Sa promotion ne pouvait, dans ce cas, donner accès à la crédibilité. D'où l'amère considération de notre interlocuteur constatant que les doctes de Molière continuent de sévir dans la société moderne et qu'il faut donc ne pas manquer de leur aménager le docte langage qui leur convient. «J'ai donc banni de mon vocabulaire, poursuit-

▲ **Silico-aluminate**: synonyme de polysialate.

▲ **Polysialate**: grande chaîne moléculaire composée de silicium, d'oxygène et d'alumine. Il forme l'un des principaux composants de l'argile.

▲ **Polymère minéral**: le polymère est une très longue chaîne d'atomes qui se répète. Il est composé ici principalement soit de silicium soit de phosphore.

▲ **Polymère organique**: longue chaîne d'atomes composée de carbone, d'azote, d'oxygène et d'hydrogène. On l'appelle aussi chaîne carbonée, principale composant des êtres vivants, des plantes, pétrole, matières plastiques...

▲ **Composites à matrice géopolymère**: les matériaux composites sont composés d'un tissu en fibre de verre, de carbone, de graphite, etc. et le liant qui sert à durcir ce «tissu» est appelé une matrice. Ici, le géopolymère sert de matrice à un matériau composite.

▲ **Thermoplastique**: Matériau qui se déforme par la chaleur pour lui donner une forme particulière (fer, acier à 800°C, PVC à 180°C, Nylon à 250°C, le verre à 800°C, le polystyrène à 90°C...)

il, le terme argile trop enfermé dans la connotation de tuile. J'ai alors parlé de **polysialates**. Et j'ai fait des conférences.»

La première de ces interventions a lieu à Stockholm en 1976. Elle traite de la «stabilité thermique des **polymères minéraux** (par opposition aux **polymères organiques**)». Mais c'est en 1979, à Los Angeles, qu'il est réellement fait référence aux géopolymères. S'agissant d'applications dans les textiles renforcés, Joseph Davidovits introduit, en effet, la notion nouvelle d'une matrice géopolymère, en mettant en évidence la stabilité thermique des fibres textiles.

Pour intéressants qu'ils apparaissent, les travaux sont alors loin d'être achevés. Il n'était pas encore possible de réaliser des **composites à matrice géopolymère**. Néanmoins et c'est là

que se manifeste la nécessité pour l'innovateur de faire connaître ses réalisations- cette propriété de stabilité thermique des géopolymères intéresse. Et elle intéresse en particulier Dassault, ce qui oriente alors la recherche de l'équipe de Joseph Davidovits vers le secteur aéronautique.

Dans un premier temps (1980), cette propriété de stabilité thermique est utilisée dans la transformation des **thermoplastiques**. L'extension est alors opérée en vue de réaliser le formage des aluminiums super-plastiques pour

lesquels la gamme des températures est comprise entre 500 et 550°C. Actuellement, les essais concernent des outils travaillant entre 900 et 950°C et constitués en alliages de titane. Ces essais apparaissent prometteurs.

Ces produits «géopolymères», à vocation aéronautique sont aujourd'hui non seulement techniquement, mais encore économiquement

trielle n'est pas encore parvenue au niveau que mérite cette famille de produits.

La principale difficulté, pour ce type de matériau nouveau, consiste à vaincre l'habitude des concepteurs. On connaît l'anecdote qui a propulsé la fonte à graphite sphéroïdal : la chute accidentelle d'une grande hauteur d'un chargement de tuyaux réalisés avec cette nuance de fonte. Contrairement à toute attente, les tuyaux se plièrent sans se rompre comme s'ils étaient en acier. L'image traditionnelle d'une fragilité associée à la fonte était gommée, et s'ouvrait alors un développement fabuleux pour des pièces de sécurité en fonte à graphite sphéroïdal.

#### ◆ Les mortiers

Les mortiers sont réalisés avec de la chaux ou du ciment servant de liant à des agrégats. La chaux est obtenue par la calcination de pierres calcaires, le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  se décomposant en chaux  $\text{CaO}$  et en dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ . Cette chaux porte le nom de chaux aérienne, car le durcissement -la prise- ne peut se faire qu'avec le dioxyde de carbone contenu dans l'air; un mortier réalisé avec cette chaux ne résistera pas à l'épreuve du temps, car ses propriétés mécaniques sont médiocres. Lorsque en plus du calcaire, les pierres contiennent une proportion de silico-aluminate, ou bien qu'une quantité d'argile est ajoutée synthétiquement, après calcination, le produit obtenu durcira en dehors de la présence de l'air, sous l'eau par exemple. Dans ce cas, la chaux est dite «hydraulique» et ses propriétés mécaniques sont plus élevées. Si la proportion de silico-aluminate devient notable avec, en plus, la présence d'autres éléments comme des oxydes d'aluminium, de fer, de manganèse,



Mortier romain (Trèves, Allemagne). Constitué de chaux blanche et de briques pilées (testa en latin) rouge. La «testa» fournit les éléments permettant une réaction géopolymérique pour la consolidation du mortier.

performants. Ils commencent, depuis quelque temps, à prendre des parts du marché européen. Mais il a fallu dix ans, constate Joseph Davidovits, avant qu'ils ne soient véritablement adaptés au besoin des industriels. «Un fait est certain, poursuit-il, nous avons à l'époque une avance réelle sur le plan technique. Mais il ne nous a pas été donné d'en profiter.» Et Joseph Davidovits de constater que c'est le sort trop souvent réservé aux produits français qui ne bénéficient pas de la confiance conférée, de facto, au fabricant américain. L'industriel français, pour imposer son produit, doit préalablement l'amener au stade opérationnel, c'est-à-dire prendre en charge, sans compensations commerciales, une somme d'efforts et un volume d'investissements qui représentent de grands risques pour lui. Le problème se complique lorsqu'il apparaît que dans le domaine de la haute technologie -et pas seulement dans ce domaine-

tout commence sur le marché américain, marché sur lequel il est difficile de pénétrer. En fait, constate notre interlocuteur, c'est sur le territoire américain que débute la promotion commerciale du produit européen. C'est bien ce qui s'est passé, dit-il, pour notre matériau. Tout a véritablement démarré à Los Angeles, en 1990, à l'occasion d'une conférence, suivie l'année suivante d'une autre présentation, lors d'un symposium à San Diego. Désormais, et c'est bien fâcheux, tout se passe comme si la voie obligée était celle des Etats-Unis. C'est par le biais des communications qui y sont présentées que les ingénieurs français et européens sont tenus informés des tendances, des évolutions, des nouveaux produits.

Chaque année, ils consacrent une partie de leur emploi du temps à des déplacements outre-Atlantique -souvent en Floride et en Californie- aux fins de participer à des conférences ou à des colloques dans leur domaine. C'est là une vue indirecte, fort subtile des Américains sur le développement des travaux des Européens.

### SAVOIR MESURER SON AVANCE

Tout chef d'entreprise, disposant d'un matériau à haute valeur ajoutée, prétendument appelé à un grand avenir, ne peut cependant attendre qu'il soit un jour couronné par le succès. Il faut trouver d'autres chevaux de bataille, surtout lorsqu'un produit est spécifiquement ciblé comme l'était ce matériau géopolymère orienté vers l'industrie aéronautique. Il s'agissait, par conséquent, explique Joseph Davidovits, d'étudier les différentes possibilités de ces polymères minéraux. La différence avec les polymères organiques (PVC, polycrylates...) réside, rappelons-le, dans l'absence d'une chaîne carbonée. Cela permet, sur le

▲ **Cristallisation:** le sucre cristallisé est en fait une poudre grossière tandis que le caramel forme un bloc homogène beaucoup plus difficile à casser qu'un morceau de sucre. La cristallisation d'un matériau le rend fragile car il devient granuleux.

plan industriel, de passer par une chimie de synthèse qui met en oeuvre les silico-aluminates de sodium ou de potassium. L'opération de **cristallisation** est ainsi évitée. Il est possible, à partir de là, d'obtenir de la résine mais également un liant et un ciment.

Les ciments sont précisément l'option choisie par Joseph

*etc., on obtient un ciment. Les propriétés mécaniques suivront ainsi une sorte de loi des mélanges, en fonction de la nature et de la proportion des différents éléments.*

*Les pouzzolanes, produits naturels d'origine volcanique, sont principalement composées d'oxydes d'aluminium, de fer et de silicium et présentent naturellement des propriétés hydrauliques, ce qui explique la pérennité des monuments que les Romains construisirent avec du mortier contenant des pouzzolanes du Vésuve!*

*Ces propriétés se retrouvent en calcinant de l'argile ou avec les cendres volantes recueillies dans les centrales thermiques fonctionnant au charbon.*

#### ◆ Si...

*Au jeu des suppositions, l'alternative vraisemblable au déroulement réel de l'histoire donne parfois des résultats surprenants, surtout en partant d'événements apparemment anodins.*

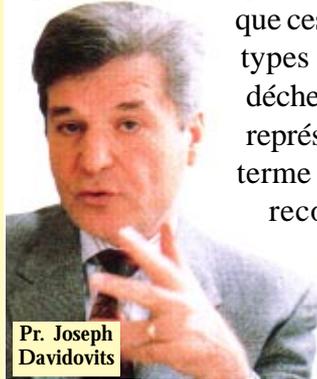
*Ainsi, supposons que l'abbaye de Cluny ait été construite en moellons ou en briques liés au mortier plutôt qu'en pierres appareillées; elle n'aurait sans doute pas été démantelée après la Révolution de 1789, ces matériaux de peu de valeur ne suscitant pas la même convoitise que la pierre de taille. Depuis le déclin de la Grèce antique, il a été vérifié que toute construction monolithique, que se soit des colonnes en marbre ou des blocs équarris est une carrière potentielle!*

*Mais pour bâtir un édifice conséquent avec des moellons, il aurait fallu disposer d'un liant plus résistant que la chaux aérienne de l'époque et les mortiers de qualité dont disposaient les Romains depuis pourtant plus de mille ans étaient inconnus en Bourgogne. Et pourtant en l'an 532, l'Eglise Sainte-Sophie de Constantinople fut bâtie selon cette technique, comme la cathédrale de Irèvas le fut également.*

*C'est en essayant de retrouver*

Davidovits. Et, comme l'innovateur recherche toujours l'innovation, il s'est donc agi, pour lui, d'innover. Les recherches, dès 1988, se sont orientées vers de nouvelles gammes de ciments. Deux axes ont été retenus, à savoir les «nouveaux ciments» et le «stockage des déchets toxiques et radioactifs».

Commençons par le stockage de ces déchets toxiques et radioactifs. Il faut auparavant noter que Joseph Davidovits et son équipe ont développé aux Etats-Unis un type de ciment aux caractéristiques tout à fait particulières. Ce ciment, notamment utilisé par l'US Air Force, permet de construire en très peu de temps une piste d'aviation puisqu'un Boeing peut y atterrir quatre heures après qu'elle ait été réalisée. Il est apparu que ces caractéristiques pouvaient déboucher sur d'autres types d'utilisation et notamment sur le stockage des déchets toxiques et radioactifs. Un tel ciment peut même représenter un matériau idéal pour le confinement à long terme de tous les métaux lourds, puisqu'il revient à reconstituer une roche naturelle, constate Joseph



Pr. Joseph Davidovits

Davidovits, est qu'une nouvelle fois le produit était trop en avance sur le besoin ressenti. « En 1987, deux pays, uniquement, s'intéressaient à ce type de problème : le Canada et la Suède. Ce n'est donc pas aux Etats-unis où je me trouvais, poursuit-il, que j'ai pu réaliser les essais mais au Canada. Encore m'a-t-il fallu âprement négocier, afin d'effectuer ces essais, grâce auxquels apporter la preuve que la technique mise en oeuvre permettait de piéger effectivement les matériaux toxiques tel le mercure. J'ai pu finalement disposer d'un laboratoire à Toronto et trouver un interlocuteur à Ottawa ». Ce ne sont pas les résultats des essais qui ont été considérés, mais le prix à consentir. Et, le prix du matériau s'étant avéré trop cher, ce type de stockage n'a pas été retenu. Il faut dire qu'en 1987, l'environnement n'était pas au centre des préoccupations. Les «Verts» n'étaient pas alors électoralement courtisés par les partis politiques en place.

En fait, poursuit Joseph Davidovits, c'est là le grand pari de l'innovateur. Il faut savoir innover en prenant une avance, qui retienne l'intérêt de l'utilisateur sans pour autant qu'elle soit trop importante. Sinon, elle fait fonction de frein. L'intérêt suscité est annulé par l'absence de référence, Il en résulte une inquiétude. Le produit sera-t-il fiable? Ne va-t-il pas nécessiter de modifier mon comportement d'utilisateur ? Ne vaut-il pas mieux attendre qu'un produit concurrent apparaisse qui profitera des imperfections du premier? À ces questions s'ajoutent des données imprévisibles de nature économique aussi bien que sociologique (telle cette brutale percée politique des Verts).

Avec les nouveaux ciments géopolymères, Joseph Davidovits dispose cette fois d'un matériau tout à fait adapté au marché, Il faut

▲ **Calciner du carbonate de calcium:** il s'agit en fait de brûler du calcaire. Cela donne de la chaux. Si on ajoute de l'eau à la chaux on obtient la base de tous les mortiers depuis 10000 ans.

rappeler, à cet égard, que la fabrication du ciment traditionnel (type Portland) implique de **calciner du carbonate de calcium**. Il en résulte l'apparition d'oxyde de calcium assorti d'un dégagement de gaz carbonique. A faible quantité,

cela ne constitue pas un problème majeur. Il en est différemment lorsque ce dégagement prend une dimension planétaire. Et c'est bien ce qui se

*des liants du niveau de ceux employés dans les prestigieux édifices de la Rome Antique, qu'Aspdin inventa le ciment Portland en calcinant des argiles de la région de Leeds pendant que Vicat essayait les argiles grenobloises, mais plus de cent ans après la quasi destruction de Cluny III !*

#### ◆ Le pont de Souillac

*Après sa sortie de l'École polytechnique, Louis-Joseph Vicat, en poste à Périgueux comme ingénieur des Ponts et Chaussées, fut chargé de lancer un pont sur la Dordogne, à Souillac. Le peu de connaissances dont on disposait sur les mortiers en 1811, incita Vicat à entreprendre des recherches sur les liants aptes à la construction des ponts; la partie immergée de ces ouvrages nécessitant impérativement un liant à prise hydraulique. En 1818, il publia un premier ouvrage «Recherches expérimentales sur la chaux de construction, les bétons et les mortiers».*

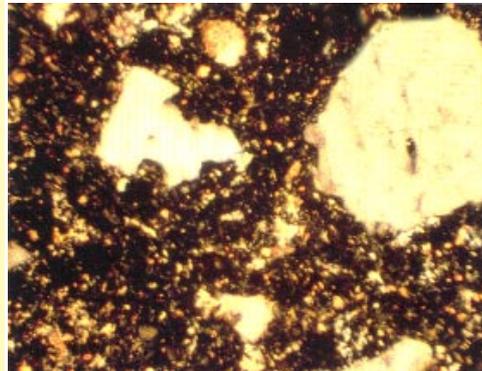
*En 1828, un second ouvrage «Résumé des connaissances actuelles sur les mortiers et les ciments calcaires», allait constituer la référence du savoir, d'autant qu'en Angleterre, quatre ans auparavant, Joseph Aspdin venait d'inventer le ciment de Portland, en calcinant un mélange artificiel d'argile et de craie.*

#### ◆ Le chaînon manquant

*Les chaux aériennes ne résistent pas à l'épreuve du temps. La majorité des constructions qui dans le passé ont employé ce liant ont disparu depuis longtemps. Comment expliquer alors que certains édifices résistent encore et que le mortier est comparable en résistance à nos liants hydrauliques actuels? Vraisemblablement, les constructions vouées à la pérennité étaient traitées avec un savoir-faire spécifique dont ne bénéficient pas les bâtisses plus communes. En fait, la longévité de ce mortier*

passé actuellement, eu égard à l'explosion actuelle des besoins mondiaux en ciment et en béton.

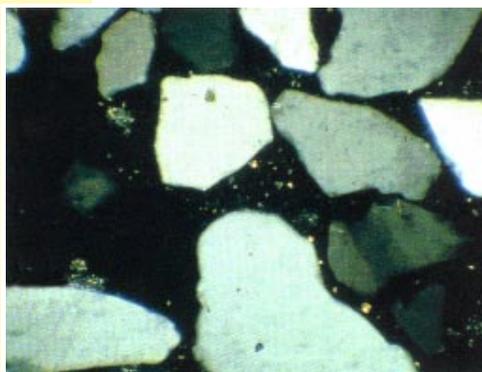
Le premier acte de l'industrialisation d'un pays, de l'élévation du niveau de vie de sa population, se traduit par une active croissance de l'utilisation du béton pour la construction d'infrastructures. L'exemple de la Chine est significatif puisque sa production, qui se situait, en 1976, à quarante millions de tonnes atteints aujourd'hui



*Structure granuleuse du ciment Portland enrobant du sable, d'où sa faiblesse car tout n'est pas lié et compact.*

deux cent cinquante millions de tonnes. Des pays comme l'Inde, la Corée du Sud figurent parmi les tout premiers producteurs mondiaux de même, à un degré moindre, de Taïwan et de la Thaïlande. L'émission de gaz carbonique, liée à l'activité cimentière, est devenue par conséquent une source de préoccupation, puisque participant de façon importante au phénomène d'effet de serre. Si l'on se réfère aux statistiques de développement, le

niveau de production mondiale, estimé à 1,8 milliard de tonnes en l'an 2000, passerait, en 2015, à 3,5 milliards de tonnes, ce qui situerait la part de pollution -toutes activités humaines confondues- à 18%. On comprend dès lors, explique Joseph Davidovits, l'intérêt de ces nouveaux ciments à base de géopolymères qui réduiraient dans une proportion de quelque 90%, l'émission de gaz carbonique liée à l'activité cimentière. Une telle perspective rendrait pratiquement illimitée la production des ciments et béton dans le tiers-monde. Elle éviterait, également, les limitations drastiques que prévoient la Communauté européenne et le Département d'Etat.



*Structure lisse et homogène du ciment Géopolymère enrobant du sable. Il est ainsi plus résistant*

## D É R A N G E A N T E S HYPOTHESES

Toute cette réflexion sur les ciments, tient à préciser notre interlocuteur, est partie en fait d'une interrogation sur la nature des mortiers utilisés par les Egyptiens et les Romains. Le mystère de la résistance des mortiers n'est toujours pas élucidé. C'est, en définitive, le mystère des ajouts qu'il faudrait parvenir à percer.

Quels sont donc les ingrédients qui, alliés à la chaux, ont pu conférer au matériau une telle solidité? L'interprétation habituelle est de dire qu'il s'agit d'un mortier à la chaux et de qualifier comme étant de «l'inerte» (sans réaction chimique) tout ce qui n'est pas de la chaux. Notre interprétation précise Joseph Davidovits, est radicalement inverse. Elle consiste à dire que ce sont les charges réactives qui se sont combinées à la chaux et que c'est toute la chaux qui n'est pas entrée dans cette combinaison chimique qui est devenue «inerte». Un fait est à prendre en considération, c'est que la nature des mortiers varie selon le site archéologique, autrement dit selon son

*antique est essentiellement due à des ajouts de constituants, tels des aluminates, la chaux aérienne ne remplissant pas la fonction de liant dans ce cas.*

*Cette recette de mortier a certainement été perdue après l'époque romaine car, par la suite, pendant de nombreux siècles, l'usage de la maçonnerie liée au mortier fut abandonné. Il faudra attendre le XIXe siècle pour qu'à la suite des travaux de Vicat, publiés en 1828, la connaissance des mortiers progressa et expliqua l'accroissement des caractéristiques mécaniques, grâce à la réaction d'hydratation.*

*Ce qui permettra plus tard les développements fabuleux qui conduiront du béton armé au béton précontraint.*

#### ◆ **Ciment romain**

*Les ciments antiques, par exemple le ciment romain, permettent de donner une première idée de la durée de vie des ciments géopolymères.*

*Cette information est importante, car elle permet de simuler la longévité des systèmes de stockage des déchets dangereux.*

#### ◆ **Projet Geocistem**

*La Communauté Européenne, dans le cadre de la procédure Brite-Euram, a décidé de soutenir le programme européen de recherche industrielle, dont l'objectif est de mettre au point la technologie et les équipements qui vont permettre la fabrication des ciments géopolymères à l'échelle industrielle, à un coût très proche de celui des ciments traditionnels. Joseph Davidovits est la coordinateur de ce projet appelé Geocistem (Cost Effective GEOPolymeric Cements for Innocuous Stabilisation of Toxic Elements).*

environnement géologique. Un mortier sera de bonne qualité si les matériaux viennent d'un site géologique soigneusement sélectionné.

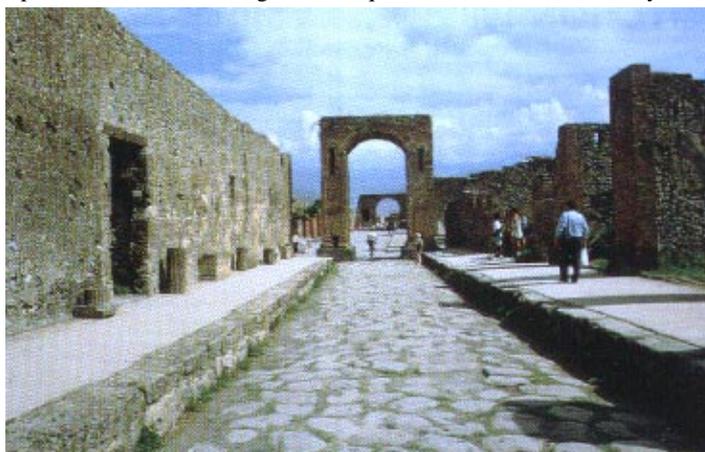
En 1979, lors d'un congrès d'égyptologues, Joseph Davidovits a avancé l'hypothèse que les pyramides avaient été construites avec de la pierre coulée, comme le béton, et non pas édifiées par un apport successif de pierres taillées. Tout revenait à dire qu'il s'agissait d'un béton de calcaire, aggloméré sur place. Une telle hypothèse remettait quantité de faits acquis en question, jusqu'à l'estimation des cent mille esclaves impliqués dans cette gigantesque réalisation.

Mais en poursuivant ses recherches, et après analyses chimiques des matériaux, il en conclut que le ciment romain et les pierres des grandes pyramides sont issues d'une réaction géopolymérique, autrement dit de géosynthèse. Et grâce à cette référence historique, il parvint à démontrer que le géopolymère a des propriétés de dureté et de longévité exceptionnelles comme une roche naturelle.

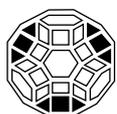
Certes, Joseph Davidovits est un esprit dérangeant. Il se sert, en effet, de l'archéologie comme banque de données, pour étayer le bien-fondé de sa découverte et marque ainsi l'originalité de sa démarche d'industriel et de scientifique.

Mais cette logique n'est pas synonyme de facilité, car elle nécessite un examen critique de toutes les informations qui, à l'échelle de plusieurs millénaires, ont été altérées. Il est aisé d'imaginer la variété et le nombre des phénomènes d'ordre naturel qui ont eu tout le temps pour agir sur les mortiers antiques. D'où le risque d'induire des interprétations erronées en masquant la cause au bénéfice des effets. L'autre source d'erreurs possible provient d'écrits anciens qui ont été diversement interprétés au fil des siècles et qui achèvent la confusion en servant à leur tour de base bibliographique. Tout cela fait appel à une science du décryptage, à une intuition de la logique du passé, mais aussi à une formidable capacité de création.

adapté d'Arts et Métiers magazine, Jacqueline Delatte et Gérard Facy, 09/93.



*Une rue de la cité romaine Pompei*



GEOPOLYMERE

#### ▲ **Qu'est-ce que la géosynthèse?**

La géosynthèse est l'art de fabriquer à une température inférieure à 100°C de la roche de manière artificielle pour en obtenir toutes les qualités (dureté, longévité, stabilité, etc.). Le Géopolymère et les mortiers, ciments, liants à réaction géopolymériques sont des matériaux géosynthétiques. Ce terme a été inventé pour définir d'une manière large tout ce qui est en rapport avec la chimie des géopolymères.