

**[WWW.ARTECH-GE.CH](http://WWW.ARTECH-GE.CH)**

Le mot du Président

L'actualité technique et scientifique

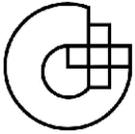
Le béton ...

Sorties et activités pour cette année

Liste des membres

Composition du comité 2009

Web, Books & Co ...



## Mot du Président

Chers membres,

Par ces quelques lignes, je tiens à vous rappeler que par l'intermédiaire de ce bulletin, notre association aimerait maintenir le défi suivant :

### *Etre le trait d'union entre les membres de l'association.*

Ce bulletin continuera à vous informer de l'évolution et de la vie de notre association, en permettant à chacun d'exposer ses idées ou ses opinions et peut-être ainsi créer un dialogue ouvert entre professionnels.

Il continuera également à véhiculer l'âme de notre association jusqu'à chez vous, alors faites lui bon accueil.

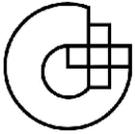
Je remercie également le comité actuel pour son travail. En effet, si cela semble « normal » d'être informé régulièrement des activités de votre association, cela ne serait pas possible sans la disponibilité des membres du comité.

- Notre site Internet est tenu à jour par Denis. Merci !
- Le journal que vous tenez entre vos mains, on le doit à Christophe et Marc. Merci !
- Nos PV sont écrits par Olivier. Merci !
- Et à Philippe, il apparait de plus en plus comme le « dinosaure » du comité.

Quant à vous, chers membres, c'est grâce à vous que je continue à m'occuper de votre association. Je vous remercie pour votre soutien.

N'hésitez pas à faire un tour sur notre site Internet, vous y trouverez des news intéressantes.

Avec toute mon amitié et à très bientôt  
Didier Moullet  
Président ARTech-Ge



## Le béton : dix milliards de tonnes par an ...

**Le béton peut être considéré comme un produit chimique composite. Employé dans l'habitat et nombre d'infrastructures, ce matériau participe largement au développement urbain rapide. Pour répondre aux constantes demandes des utilisateurs, la chimie et le génie des procédés contribuent à l'amélioration de ses caractéristiques finales et à la diminution de ses contraintes de fabrication et d'utilisation.**

Le béton est un matériau synthétique constitué d'agrégats (sable, cailloux) réunis entre eux au moyen d'un liant. Il est moins connu que les sciences et techniques chimiques qui ont eu, ont, et auront sans doute un rôle essentiel pour expliquer ses propriétés et pour les faire évoluer.

Notre vie quotidienne bénéficie d'ouvrages en béton aux fonctions variées : habitat individuel et collectif ; production, stockage et distribution de biens y compris l'énergie ; transport (routes, ponts, tunnels, parkings, chemins de fer, canaux, ports) ; soins médicaux ; enseignement, formation et recherche ; loisirs, sports ; administration publique.

Ces ouvrages font largement appel au béton, compte tenu des propriétés qu'il offre : plasticité initiale permettant de construire des ouvrages de formes adaptées aux besoins ; résistances mécaniques élevées ; isolation thermique, phonique, tenue au feu ; imperméabilité à l'eau ; durabilité.

Une caractéristique remarquable du béton est la flexibilité – non seulement technique, mais aussi économique – avec laquelle il est capable de remplir ces fonctions d'usage. En d'autres termes, le béton offre des rapports performances/coûts adaptables aux besoins.

### HISTORIQUE

À l'époque romaine, la vie quotidienne bénéficiait déjà d'ouvrages en béton dont la pérennité n'est plus à prouver ; c'est ainsi qu'en France, dans le département du Gard, à Sommières, la RN 110 utilise un pont romain qui a environ deux mille ans ! Le béton romain était fabriqué avec de la *chaux éteinte*  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  mélangée à un *pulvérulent siliceux*  $[\text{SiO}_2]$  (cendres volcaniques issues d'un volcan ...) et de l'eau. Suite

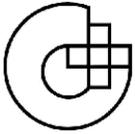
aux invasions barbares des III<sup>e</sup> et IV<sup>e</sup> siècles et à la désagrégation de l'Empire romain, ce savoir-faire fut ensuite perdu pendant de nombreuses générations.

L'utilisation de houille début XIX<sup>e</sup> permit de porter à 1450 °C un mélange spécifique de calcaire et d'argile (alumino-silicate) que l'on trouvait en particulier à **Portland** (Angleterre) et d'obtenir un *silicate tricalcique*  $[(\text{CaO})_3\text{SiO}_2]$ , le principal constituant du *ciment Portland*. Son emploi est plus souple que celui du ciment romain et c'est avec lui que sont fabriqués actuellement la majorité des bétons, d'autant plus que la résistance à la flexion peut-être améliorée par des armatures en acier. Le succès du béton doit aussi beaucoup à d'autres produits issus des sciences et techniques chimiques : les *adjuvants*, des réactifs chimiques qui à faible dose améliorent sensiblement les caractéristiques du béton.

### ENJEUX ÉCONOMIQUES ET PRINCIPAUX FACTEURS

Les utilisations du béton rappelées précédemment concernent les collectivités, les entreprises comme les particuliers. Au total, environ 10 milliards de tonnes de béton fabriquées à partir de 2 milliards de tonnes de ciment Portland sont utilisées dans le monde par des entreprises internationales telles que **Holcim, Cemex, Lafarge, Itali, Ciment-Italia**. Un béton peut contenir jusqu'à 30% de ciment.

En 2006, en France, 43 millions de m<sup>3</sup> de béton prêt à l'emploi ont été utilisés, ainsi que 2 millions de tonnes de fer à béton pour les ouvrages d'art (env. 100kg / m<sup>3</sup>) et 100'000 tonnes d'adjuvants (env. 0.2kg / m<sup>3</sup>).



## « COMMENT ÇA MARCHE ? »

### Concepts

Il est coûteux au point de vue main d'œuvre de « monter » un mur avec des pierres qui doivent être préalablement choisies, préparées, voire taillées. Il est moins coûteux et plus rapide de couler un béton obtenu en mélangeant agrégats, ciment et eau en une pâte plastique restant déformable un certain temps. Cette propriété de plasticité permet de mettre en place cette pâte dans des moules où elle durcit progressivement et devient une roche synthétique proche des « *poudingues* » que l'on trouve dans la nature.

Les agrégats peuvent être :

- des « *cailloux* », lorsqu'ils ont des dimensions de l'ordre du cm ;
- des *sables*, lorsqu'ils ont des dimensions de l'ordre du mm ;
- des « *fillers* », appelés plus communément fines, lorsqu'ils ont des dimensions de l'ordre du micron.

La fabrication d'un béton implique la maîtrise de réactions physico-chimiques qui ont lieu à l'échelle microscopique et macroscopique, c'est-à-dire à l'échelle de l'ouvrage.

### Mécanismes et réactifs physico-chimiques

Deux types de liants sont principalement utilisés : le ciment romain, obtenu avec une chaux, et le ciment Portland.

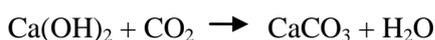
#### La chaux :

La chaux dite « *vive* » est obtenue en chauffant un calcaire à une température de l'ordre de 900 °C. La réaction peut-être représentée par l'équation :



40 kcal (fortement endothermique)

La chaux durcit au contact du gaz carbonique contenu dans l'air, d'où son nom de « *chaux aérienne* ». Il y a reformation du carbonate de calcium à l'origine de la chaux :



Ce liant présente un certain nombre d'inconvénients :

- il n'est pas facile d'hydrater complètement les particules de chaux vive CaO en Ca(OH)<sub>2</sub>, contrairement à ce que l'on pourrait croire. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, dans l'ouvrage monolithique, la chaux vive s'hydrate à retardement en hydroxyde de calcium [CaO + H<sub>2</sub>O → Ca(OH)<sub>2</sub>] et augmente de volume, en causant une pression importante qui provoque des fissurations dans le béton ;
- la vitesse de durcissement sous l'influence du gaz carbonique de l'air est lente, particulièrement si la masse de béton est épaisse.

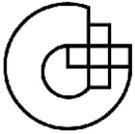
Ainsi qu'évoqué précédemment, les Romains, en ajoutant à de la chaux éteinte des cendres volantes siliceuses provenant de volcans, fabriquèrent un liant minéral hydraulique, capable de faire prise à l'abri de l'air et même sous l'eau. On peut représenter la réaction par l'équation :



Il y a formation de *tobermorite* que l'on trouve d'ailleurs aussi dans la nature, indice de stabilité.

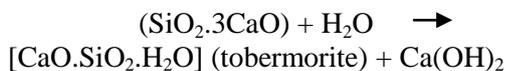
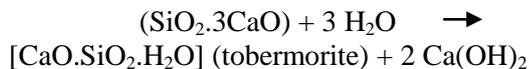
La réaction est lente à des températures de l'ordre de 20°C ; elle est par contre sensiblement plus rapide avec des températures de l'ordre de 30°C que l'on trouve sur le bassin méditerranéen une partie de l'année. Un avantage considérable de ce liant est sa pérennité. Sur tout le territoire de l'ancien Empire romain, on trouve des ouvrages (ponts, aqueducs, réservoirs, égouts ...) dans un état de conservation remarquable, y compris lorsqu'ils étaient en contact avec de l'eau, qu'elle soit non minéralisée, « minérale », salée, chaude, usée ...

Au XX<sup>e</sup> siècle, la production d'énergie thermique au moyen de charbon très finement broyé, et non plus en morceaux, a eu pour résultat de rendre disponibles des quantités considérables de cendres volantes, plus de 500 millions de T/an dans le monde. Ce sont de très fines particules ayant une composition similaires à celle d'une cendre volante de volcan. Le handicap du béton romain (faible vitesse de prise), obtenu en mélangeant des cendres volantes avec de la chaux, devient un avantage en technique routière : il permet de « reprendre » pendant quelques jours une chaussée mise en place sans endommager les propriétés du béton.

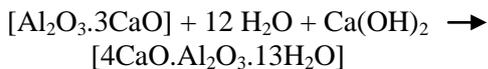


### Le ciment Portland :

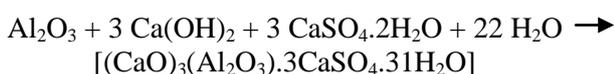
Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, plus particulièrement en Angleterre, on trouvait du charbon de qualité, capable de fournir des températures beaucoup plus élevées que celles rencontrées auparavant avec du bois. En chauffant ainsi un mélange de calcaire et d'argile (silice, alumine, oxyde de fer), on obtient, à environ 1'450°C, des blocs de « *clinker* » (pierre artificielle) très différent du produit pulvérulent (la chaux) obtenu en calcinant le calcaire. La production de 1kg de clinker nécessite environ 800 kcal et s'accompagne d'un rejet dans l'atmosphère d'environ 0.5 kg de CO<sub>2</sub>. Il se forme du silicate tricalcique (CaO)<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub> et, dans une plus faible proportion, du silicate bicalcique (CaO)<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>, un aluminoferrite tétracalcique (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4CaO), un aluminat tricalcique Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(CaO)<sub>3</sub>. En concassant, puis en broyant finement ce clinker, on dispose d'une colle capable de faire prise, à l'abri de l'air et même sous l'eau. Effectivement, au contact de l'eau, ces composés donnent naissance à des molécules hydratées selon les réactions suivantes :



La chaux provenant de l'hydratation des silicates de calcium permet d'hydrater l'aluminat tricalcique en aluminat tétracalcique. On peut représenter la réaction par l'équation :



Ce liant initial avait un gros inconvénient : la vitesse de prise était difficilement reproductible car trop sensible aux conditions de travail (température, agitation...). Elle était soit lente, soit quasi immédiate, et il était alors difficile de mettre en place le béton qui était particulièrement durci. On trouva qu'en ajoutant environ 4% de gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), la vitesse de prise se régulait. On explique cette réaction par la formation d'un sulfo-aluminat de calcium (*ettringite*) autour des particules de clinker, ce qui tempère la vitesse de la réaction. A cette dose, le gypse est consommé en 15-18 heures. On peut représenter la réaction par l'équation suivante :



On trouve d'ailleurs de l'*ettringite* dans la nature, indice de sa faible solubilité.

### Topologies des réactions d'hydratation du ciment Portland et du ciment romain :

Les réactions d'hydratation de ces deux ciments sont notablement différentes.

Une particule de ciment Portland contient tous les éléments nécessaires pour produire des silicates hydratés, comme il a été vu précédemment. Les phénomènes d'hydratation se déroulent avec formation de pré-hydrates constituant une couche protectrice plus ou moins stable. Sa durée de vie est très variable : presque nulle par exemple en présence de chlorure de calcium, qui joue le rôle d'accélérateur, et longue avec les phosphates, borates, certaines matières organiques... qui jouent le rôle de retardateur.

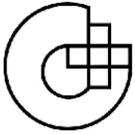
Il en résulte une période dite « *dormante* » où apparemment rien ne se passe, mais qui permet la mise en place des mortiers et bétons.

La destruction de cette couche dormante peut provenir :

- **d'une modification lente de sa texture** (par polycondensation de la silice dans le cas de silicates tricalciques + molécules d'eau) ;
- **d'une modification de son équilibre chimique** avec la solution qui, elle, a évolué. C'est le cas de l'*ettringite* quand il n'y a plus de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (sulfates) en solution par suite de la formation de celle-ci. Dans les deux cas, la particule n'est plus enrobée par sa « *couche protectrice* » et sa réaction avec les molécules d'eau peut reprendre.

Avec le ciment romain, et en présence de molécules d'eau, les réactions ont lieu entre des particules de nature chimique différente (silice, chaux) ; une particule seule ne peut pas donner le silicate de calcium hydraté. La silice ne contient pas de chaux, la chaux hydratée ne contient pas de silice ! En conséquence, au point de vue génie des procédés, un mélange très soigné est nécessaire et, toutes conditions égales par ailleurs, pendant une période plus longue qu'avec le ciment Portland. Il n'y a pas de « *période dormante* », mais les réactions sont si lentes que tout se passe lors des premières heures comme s'il n'y avait pas de réactions chimiques et, de ce fait, on a le temps de bien mettre en place le béton.

Par ailleurs, la relative simplicité du mélange initial et des réactions chimiques dont il est le siège évite la chaîne complexe d'interactions que l'on peut observer



avec le ciment Portland. Cela pourrait être l'origine de la bonne pérennité du ciment romain.

Ces observations topologiques pourraient expliquer la raison du succès du ciment Portland face au ciment romain, qui est sa vitesse de prise plus élevée et sa plus faible sensibilité au froid.

#### Les agrégats :

Le ciment Portland est essentiellement mélangé à des granulats, pour des raisons économiques, mais aussi pour des raisons techniques puisque les retraits et expansions, qui ont lieu pendant le durcissement du ciment seul, prohiberaient son utilisation à l'état pur pour de nombreux usages.

Le ciment Portland est généralement gris. Pour les applications où il est apparent, on peut lui préférer du ciment blanc, obtenu en réduisant le  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  présent dans le clinker par du méthane, et dont le prix est sensiblement plus élevé que celui du Portland. La réaction partielle peut se représenter par l'équation suivante simplifiée :



L'hydratation du ciment Portland conduit à la formation, pendant des années, de chaux libre dont la solubilité n'est pas négligeable (1.85g/L). Lorsqu'un béton est au contact d'eau renouvelée (pluie par exemple), la chaux se dissout et un certain affaiblissement du béton se produit, ce qui le distingue du béton romain qui, toutes conditions égales par ailleurs, ne relâche pas de chaux libre.

Cette caractéristique du ciment Portland représente par contre un avantage lorsque le béton est armé de barres et/ou de fibres d'acier. En effet, l'acier a tendance à « rouiller », à se corroder, en quadruplant de volume au contact de l'oxygène, de l'humidité et du gaz carbonique de l'air. Cette tendance est combattue pendant des années par la chaux libre libérée lors de l'hydratation du ciment Portland, à conditions que l'épaisseur et la compacité du béton soient telles que le gaz carbonique de l'air ait des difficultés à pénétrer le béton et à neutraliser la chaux. Mais à la longue, l'armature en acier peut finir par être corrodée et perdre ainsi ses qualités mécaniques. La chaux libérée par l'hydratation du ciment Portland peut être en partie fixée en *tobermorite* par l'addition des cendres volantes de charbon, ce qui a pour résultat d'améliorer les performances mécaniques du béton.

Au point de vue propriétés physiques, les agrégats (granulats) doivent résister à l'écrasement et à l'usure par frottement lors de la confection du béton par mélange. Ils doivent présenter par ailleurs une faible porosité.

Pour ces raisons, les granulats proviennent dans la mesure du possible de roches dures compactes et saines, siliceuses, gréseuses, calcaires. Ces roches ne doivent pas contenir de calcaires tendres, de feldspath, de schistes, d'argile source d'alumine, de sulfate de fer (pyrite), de gypse... qui, à retardement, peuvent former dans un milieu solidifié des composés expansifs du type *ettringite*. Ces derniers, rappelons-le, créent des pressions considérables dans la structure durcie. Les agrégats ne doivent pas contenir des substances telles que matières organiques, phosphates, borates... susceptibles de perturber (retarder...) la formation des silicates et des aluminates.

#### L'eau :

L'eau a un rôle chimique essentiel, en étant le réactif qui permet de transformer des chaux, des silices, des silicates, des aluminates et des aluminates pulvérulents anhydres en silicates et aluminates hydratés, principaux constituants du liant romain et du liant Portland. Il y a également de manière générale de l'eau adsorbée en surface des particules.

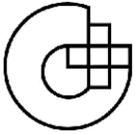
Dans un mélange malléable de liant et d'agrégats, l'eau libre en excès par rapport à l'eau chimiquement liée a aussi un rôle mécanique important en permettant la formation d'une pâte fluide, capable de remplir le moule où elle durcira.

L'eau ne doit pas contenir de substances susceptibles de perturber l'hydratation des silicates et des aluminates anhydres ; la solidification/stabilisation de résidus dangereux au moyen de liants hydrauliques a constitué un véritable défi à ces règles.

#### Aspects granulométriques

Ils concernent les dimensions et les formes des granulats utilisés pour confectionner du béton. Plus les granulats seront rapprochés, et plus faible sera la quantité de liant nécessaire à remplir les vides et à provoquer l'adhésion des granulats.

Ces objectifs doivent être compatibles avec la nécessité de disposer d'un béton facile à homogénéiser par mélange, à transporter sans ségrégation appréciable et à mettre en place.



### Porosité d'un béton et influence sur ces performances

Pour des raisons mécaniques, une quantité d'eau en excédent par rapport à celle qui a servi à transformer des silicates, aluminates anhydres en silicates, aluminates hydratés, doit être utilisée pour fabriquer du béton. Cette eau excédentaire s'évapore au cours de la phase de durcissement, créant un réseau de vides au cœur du béton : les *pores capillaires*.

### Béton imprégné de polymères :

Des essais menés sur du béton soulignent l'importance cruciale de la porosité sur les propriétés physico-chimiques du béton durci. Après séchage à 105°C, ce dernier a été mis sous vide dans une enceinte dans laquelle on a injecté un monomère additionné d'un catalyseur de polymérisation et un agent réticulant. Le mélange pénètre dans ces conditions au cœur du béton ; la polymérisation étant effectuée dans une étuve.

La résistance à la compression du béton imprégné par rapport au béton non-imprégné pouvait être augmentée de 300% environ ! En montrant que la porosité du béton était un paramètre essentiel – ce qui n'était pas le cas il y a trente ans – ces résultats ont contribué à inciter les bétonniers à s'intéresser davantage aux sciences et techniques chimiques. Ces derniers ne cherchèrent plus à diminuer la porosité du béton *a posteriori* et à un coût relativement élevé, mais en utilisant un moindre pourcentage d'eau. Le résultat a été obtenu en ajoutant au mélange initial quelques pour mille d'un adjuvant plastifiant fluidifiant.

### Apport des adjuvants fluidifiant plastifiants :

Leur rôle est d'augmenter la fluidité d'un béton, toutes conditions égales par ailleurs, ce qui permet de diminuer la proportion d'eau à usage mécanique dans le mélange.

Des *lignosulfonates* d'ammonium, de calcium et de sodium – sous-produits de la fabrication de la pâte à papier – sont les adjuvants dont on a la plus longue expérience. Ils agissent comme des dispersants de nature électrocinétique. Etant adsorbés par les particules des agrégats, les lignosulfonates qui sont anioniques apportent une charge négative sur ces particules, amenant des interactions répulsives qui sont à l'origine de la diminution de la viscosité du système. Plus récemment, on a utilisé des *éthers polycarboxyliques modifiés* qui jouent le même rôle.

### Autres types d'adjuvants :

D'autres types de molécules sont capables de modifier sensiblement les propriétés d'un béton frais et/ou durci, comme par exemple :

- *des accélérateurs de prise*, tel le chlorure de calcium qui permet d'obtenir des résistances mécaniques élevées à court terme (intéressant par temps froid) ;
- *des tensio-actifs entraîneurs d'air*, permettant la création de pores fermés qui améliorent la protection contre les cycles gel/dégel ;
- *des agents moussants* pour préparer des bétons légers, présentant un coefficient d'isolation thermique amélioré ;
- *des retardateurs de prise*, utilisés dans le bétonnage par temps chauds, pour le transport du béton sur longues distances.

C'est un domaine où la chimie a (et peut) beaucoup apporté.

### Les particules fines :

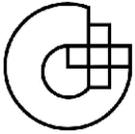
Nous avons vu précédemment qu'il était possible de réduire la porosité d'un béton en diminuant la quantité d'eau « mécanique ». Cela peut également se faire en introduisant dans la formulation des particules fines (de silice, de calcaire ...) qui viennent occuper les interstices laissés vacants par les grosses particules.

Pendant longtemps, on ne disposait guère que de tamis qui ne fournissaient pas d'informations granulométriques précises sur les particules les plus fines. Le choix de la bonne granulométrie peut être facilité par les informations fournies par un granulomètre à laser.

### Méthodologies et contrôles

Le béton décrit précédemment ne peut être utilisé pour construire un ouvrage (pont, tunnel, barrage...) que dans la mesure où il permet d'obtenir un matériau aux propriétés physico-chimiques prévues. En d'autres termes, il est essentiel pour l'utilisateur du béton que le produit livré soit bien conforme à celui du modèle qu'il a utilisé dans le calcul de l'ouvrage, ce qui implique de nombreux contrôles portant sur :

- *les matières premières* : ciment, eau, agrégats (composition, phases minéralogiques...), espèces chimiques nuisibles (retardateurs de



prise : phosphates, borates...), adjuvants, dosage, armatures (barres, fibres...);

- **les modalités du mélange de ces constituants** : types de malaxeur, conditions de malaxage (temps, vitesse de rotation);
- **le béton frais** : caractéristiques physico-chimiques, teneur en ciment et en eau, composition granulométrique, propriétés rhéologiques en vue de sa mise en place, vitesse de durcissement;
- **la mise en place du béton** : techniques de vibration, de vibro-compactage ou d'auto-placement;
- **le béton durci** : un béton de ciment Portland obtient généralement 70% de ses performances au bout de 28 jours, ce qui nécessite des essais mécaniques (résistance à la compression, à la flexion, dureté...), des essais hydrauliques (perméabilité à l'eau sous pression...), et des essais physico-chimiques (lixiviation, comportement vis-à-vis de l'eau).

Enfin, pour contrôler l'ouvrage en béton, diverses méthodes sont utilisées :

- **vérification** avec les documents élaborés lors de la conception de l'ouvrage pour s'assurer par exemple qu'il y a suffisamment d'armatures et qu'elles sont agencées convenablement;
- **auscultation dynamique** par la propagation d'ondes sonores : la vitesse du son est reliée au module d'élasticité et à la résistance mécanique;
- **analyse physico-chimique** du béton en prélevant des échantillons par carottage.

Le nombre de défauts du béton est relativement faible : c'est une indication de la maturité qu'a acquise l'industrie du BTP dans la conception, la fabrication et la mise en place d'ouvrages en béton. Ces résultats considérables n'auraient pas pu être atteints sans la maîtrise d'un ensemble de procédures de contrôle commençant par les matières premières et finissant par l'ouvrage.

## SITUATION ACTUELLE ET TENDANCES

L'urbanisation se développe et de nouveaux pays s'industrialisent davantage. La demande d'ouvrages de tous genres en béton devrait donc rester soutenue, y compris pour les bétons à hautes performances (**BHP**),

à très hautes performances (**BTHP**) et à ultra hautes performances (**BUHP**)

Type de béton	Résistance à la compression (Mpa)
traditionnel	20 - 50
BHP	50 - 80
BTHP	80 - 100
BUHP	< 120

### *Comparaison de la résistance à la compression*

Le recours à ces bétons de qualités particulièrement élevée permet de moindres dépenses en quantité de béton, donc de fondations, et raccourcit les délais de construction. Des résistances mécaniques plus élevées permettent la construction d'ouvrages de plus grande hauteur et/ou de plus grande portée.

Ces bétons à hautes performances sont obtenus en utilisant des agrégats sélectionnés pour leurs propriétés mécaniques, en utilisant des adjuvants qui permettent d'abaisser la teneur en *eau mécanique* tout en facilitant la mise en œuvre, et en soignant les conditions de mélange.

Les entreprises de BTP sont demandeurs de bétons encore moins sensibles aux conditions météorologiques (température), nécessitant encore moins de précautions de transport, en particulier en hauteur, et permettant une cadence plus élevée de rotation des coffrages et des moules.

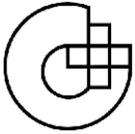
Le recours à des granulats de béton recyclé devrait se développer, compte tenu des programmes de démolition en cours dans les pays industrialisés et des préoccupations de protection de l'environnement. Des souhaits ont été exprimés pour du béton sans ciment Portland.

Il existe également d'autres types de béton, comme le béton au ciment au laitier de haut fourneau ou le béton au ciment alumineux.

### *Le béton au ciment au laitier de haut fourneau*

Le « *laitier de haut fourneau* » est un coproduit de l'industrie sidérurgique provenant de la fusion des composants minéraux contenus dans le minerai de fer de la fabrication de la fonte dans le haut fourneau.

Le refroidissement rapide du laitier fondu, par trempage, le transforme en matériau vitreux, amorphe, qui, une fois broyé finement, présente des propriétés



hydrauliques après avoir subi une activation convenable par un agent basique (alcalin ou/et sulfate).

La composition chimique du laitier de haut fourneau est riche en oxyde de calcium (CaO) et de silicium (SiO<sub>2</sub>) et, en plus faibles proportions, en oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et de magnésium (MgO) ; il contient aussi de faibles quantités d'autres composants. L'hydratation du laitier vitrifié produit essentiellement des silicates de calcium hydratés (CaO.SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O) et, en plus faible quantité, des aluminates de calcium hydratés (4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.13H<sub>2</sub>O) et des silico-aluminates de calcium hydratés (2CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O) s'il subit une activation alcaline, et de l'ettringite (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3CaSO<sub>4</sub>.32H<sub>2</sub>O) s'il subit une activation sulfatique ou sulfatocalcique.

Quel que soit l'activant, la progression de l'hydratation, surtout aux jeunes âges, est plus lente que celle du ciment Portland soumis aux mêmes conditions (quantités d'eau, température) et au moins deux fois moins exothermique. De même, la réduction de la porosité est plus faible, ainsi que les résistances mécaniques atteintes jusqu'à 28 jours. En contrepartie, la progression de l'hydratation du laitier est continue sur plusieurs années, donnant des performances intéressantes à long terme.

Le ciment au laitier de haut fourneau est un mélange de laitier vitrifié, contenant du clinker Portland et des sulfates de calcium qui jouent le rôle d'activant de l'hydraulicité du laitier. Suivant la quantité plus ou moins importante du laitier introduit dans le ciment, ses propriétés s'approchent de celles du laitier activé décrites précédemment ou de celles du ciment Portland.

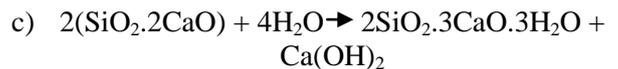
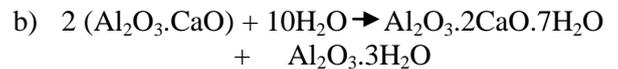
Ce béton est recommandé pour la réalisation des ouvrages exposés en milieu agressifs (eaux pures, eaux acides chargées en ions chlorures ou en ions sulfates). En effet, d'une part les silicates de calcium hydratés produits par le laitier forment une microstructure plus fine que celle des silicates de calcium hydratés produits par le ciment Portland, plus dense et qui résiste donc mieux aux agressions ; d'autre part, la chaux formée par le ciment au laitier est en quantité négligeable par rapport à celle produite par le ciment Portland, ce qui rend le ciment au laitier moins sensible à la lixiviation.

L'utilisation du ciment au laitier est depuis plusieurs dizaines d'années généralisée dans la construction des fondations de bâtiments, d'ouvrages d'art et de routes (massifs de fondation, pieux, parois moulées, radiers, sous-couches), dans les constructions en milieu marin (quais, ouvrages portuaires) et dans les constructions

exposées à des milieux agressifs (installations de traitement des eaux usées, égouts, réservoirs), avec un retour d'expérience favorable.

### Le béton au ciment alumineux

On peut aussi fabriquer des bétons avec du ciment alumineux obtenu par fusion de *calcaire de bauxite*, d'où son nom courant de « *fondus* ». Ce ciment renferme principalement 70-80% d'aluminate monocalcique Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.CaO et du silicate bicalcique SiO<sub>2</sub>.2CaO. Les réactions de prise peuvent être représentées par les équations suivantes :



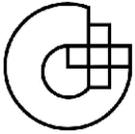
Cette chaux (c) se combine avec l'alumine hydratée produite (b).

Ce type de béton bénéficie des propriétés spécifiques à ce type de liant par rapport au ciment Portland : une prise plus rapide et à une température plus basse et une meilleure tenue vis-à-vis de certains agents chimiques, du fait de l'absence de chaux libre.

Certains ouvrages en béton ont pour vocation d'être soumis à des températures élevées. Or, l'hydroxyde de calcium formé par l'hydratation du ciment Portland commence à perdre de l'eau de constitution vers 400°C. Il est donc nécessaire de faire appel à un autre de liant dont l'hydratation se fait sans dégagement de chaux : le ciment alumineux répond aussi à ce besoin.

Les granulats doivent être adaptés à ces conditions d'emploi : la brique concassée entre 350-380°C, et de la *chamotte argile* (terre cuite ayant des propriétés réfractaires compte tenu de sa composition et de son mode de cuisson) fortement cuite entre 800-1200°C ... Lorsque le béton a pour vocation de supporter des températures atteignant 1800°C, on utilise des ciments contenant encore d'avantage d'alumine (70%) que précédemment et des granulats encore davantage réfractaires : corindon (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), zircon (ZrO<sub>2</sub>).

Ces bétons ont un rôle important, par exemple, dans la production d'énergie électrique.



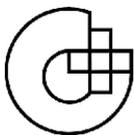
## **CONCLUSION**

Le béton a été l'objet d'efforts interdisciplinaires commençant dans les carrières d'agrégats et se poursuivant dans sa fabrication, son transport et sa mise en place pour constituer un ouvrage. Ces efforts ont été effectués à plusieurs échelles : microscopique, macroscopique et macrométrique.

Les sciences et techniques chimiques ont déjà beaucoup apporté (et continueront à le faire...) dans l'évolution du béton rendue nécessaire par les exigences croissantes de la société civile.

( Source : Web, L'Actualité Chimique)

C.B.



## Sorties et activités

Bonjour à toutes et à tous, ci-dessous, le programme des festivités jusqu'en juillet prochain.  
Alors, à vos agendas !!!

*La prochaine sortie aura lieu à :*

### **La ferme de Colovrex (bisons), le jeudi 11 juin 2009, à 18h**

Le programme est le suivant : Visiter la ferme ainsi que l'élevage des bisons + repas sur place.

A savoir : L'heure de rendez-vous pour cette visite est fixée à **18h sur place**.

La durée totale pour la visite et le repas est d'environ 4h.

Ce repas n'est pas offert par l'association, chaque participant, tout comme les membres du comité, paieront leur part.

Si vous souhaitez vous inscrire à cette visite, voyez au bas de cette page.

**Le délai d'inscription est fixé au mardi 2 juin 2009.**

*La seconde sortie de l'année aura lieu au :*

### **Signal de Bougy, le samedi 4 juillet 2009, dès 11h30**

Le programme est le suivant : Pique-nique, grillades, ...

Pour cette sortie, **le délai d'inscription est fixé au mercredi 24 juin 2009.**

Le nombre de place étant illimité (presque !), n'hésitez pas à venir en famille !!!

**Pour les inscriptions**, laissez-moi impérativement vos noms, prénoms, n° de téléphone, adresse e-mail (si vous en avez une !), afin que je puisse vous confirmer personnellement la validité de votre (vos) inscription(s) :

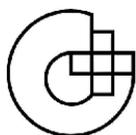
Vous pouvez me joindre par : **e-mail** : [marc.berchten@firmenich.com](mailto:marc.berchten@firmenich.com)

**téléphone** : 022.780.78.15 (journée)

079.729.79.38 (soirée)

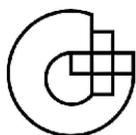
Amicalement

Marc Berchten



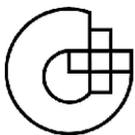
## Liste des membres

ANDREETA Pierre	Plan-les-Ouates	Electronique
BACHMANN Jean-Jacques	Grandson	Electronique
BAEZA Alexandre	Aïre	Electronique
BARRAS Pierre Léon	Carouge	Génie Civil
BASSO Roberto	Meyrin	Génie Chimique
BATTAGLIERO Christophe	Valleiry (F)	Génie Chimique
BERCHTEN Marc	Thoiry (F)	Génie Chimique
BONIELLO Rémo	Vinzel	Informatique
BOUNAB Deif	Prilly	Génie Civil
BUCLIN Marc	Evires (F)	Electronique
CARBONE Denis	Croix-de-Rozon	
CARNEIRO SOARES Paulo	Genève	Génie Civil
CARETTI Robert	Gaillard (F)	Mécanique
DECAILLET Alain	Genève	Electronique
DESCHENAUX Jean-Paul	Carouge	Génie Civil
DESIMONE Laurent	Epalinges	Informatique
DI LUCA Serge	St Genis-Pouilly (F)	Electronique
DIVOUX Jean-Noël	La Chaux-de-Fonds	Electronique
DUMONT Laurent	Monthey	Mécanique
ESSELBORN Philippe	Mies	Génie Chimique
FERRIERO Giuseppe	Prangins	Electronique
FRATERNALE Olivier	Vernier	Mécanique
FREIHOLZ Alain	Le Lignon	Informatique
GIROUD Jean-Louis	Vandoeuvres	Mécanique
GUIDI Marco	Perly	Mécanique
IMBRUGLIA Piero	Genève	Génie Chimique
JANUSZEWSKI Yves	Bernex	Mécanique
LANZILLOTTA Agostino	Corsier/Vevey	Génie Civil
LEGRAND Christian	Châtillon-sur-Cluses (F)	Electronique
MONNET Raphaël	Bex	Génie Civil
MOULLET Didier	Aire-la-Ville	Electronique
NINO Francisco Javier	Genève	
QUADRI Vincent	Versoix	Mécanique
NUSBAUMER Jean-Marc	Carouge	Génie-Civil
PASCHE Michel	Chexbres	Electronique
PIACENZA Alain	Saint-Cergue	Génie Civil
PONCE Jorge	Nyon	Electronique
PRADERVAND Alain	Saint-Jean de Gonville	Mécanique
ROESSLI Pierre-Alain	Madrid (E)	Informatique
SCHWOB Hans	Bassins	Mécanique
SEGATORI Jean-François	Denens	Mécanique
SIEGFRIED Catherine	Yvoire (F)	Génie Chimique
VANNAZ Thierry	Châtel-St-Denis	Génie Civil
VON WARTENSLEBEN Aurélie	Grand-Saconnex	Génie Chimique
VUAGNAT Olivier	Carouge	Génie Civil
ZEHNDER Jacques	Bellevue	
ZILTENER Joseph	Dielsdorf	Mécanique



## Composition du comité 2009

<b>Président</b>	<b>Didier MOULLET</b> 3 rue du Pont-Neuf 1227 Carouge	Tél. privé : 022 343 82 86 Tél. prof. : 022 388 86 96 Natel : 079 442 10 47 Fax : 022 343 82 88 E-mail : didier@artech-ge.ch
<b>Attaché relation ASET</b>	<b>Philippe ESSELBORN</b> 10 route de Suisse 1295 Mies	Tél. privé : 079 518 95 07 Tél. prof. : 022 363 46 51 E-mail : philippe@artech-ge.ch
<b>Trésorier</b>	<b>Serge DI LUCA</b> 11 rue de Pouilly F-01630 St Genis-Pouilly	Tél. privé : +33 450 20 33 60 Tél. prof. : 022 767 56 40 Natel : 076 487 40 00 E-mail : serge@artech-ge.ch
<b>Secrétaire</b>	<b>Olivier FRATERNALE</b> 18 ch. de la Greube 1214 Vernier	Tél. privé : 022 341 51 42 Natel : 079 797 87 06
<b>Rédacteur bulletin / Archiviste</b>	<b>Christophe BATTAGLIERO</b> Les Erables Bât. D F-74520 Valleiry	Tél privé : : +33 450 04 39 27 Tél prof. : 022 780 21 95 E-mail : christophe@artech-ge.ch
<b>Rédacteur bulletin</b>	<b>Marc BERCHTEN</b> 51 rue Clos des Tilleuls F-01710 Thoiry	Natel : 079 729 79 38 Tél prof. : 022 780 78 15 E-mail : marc@artech-ge.ch
<b>Webmaster's</b>	<b>Denis CARBONE</b> 26 ch. d'Archamps 1257 Croix-de-Rozon	



## WEB, BOOKS & Co ...

### Books :

**Le facteur temps ne sonne jamais deux fois (Etienne Klein) ; Flammarion, 2007, 267p.**

La notion de temps et ses problèmes de définition, variable selon les points de vue du philosophe, du physicien et de tout un chacun : tel est l'objet de ce livre, qui croise les différents regards. L'auteur qui n'en est pas à son premier coup d'essai sur le sujet, a l'avantage d'être lui-même physicien et philosophe. De manière très accessible, il traite des questions comme la nature du temps, ainsi que ses liens avec les concepts de causalité, de mouvement ou de changement.

### Web :

[www.ifp.fr/actualites/dossiers/les-biocarburants](http://www.ifp.fr/actualites/dossiers/les-biocarburants)

Difficile de se faire une idée sur les biocarburants si l'on ne connaît pas les différentes filières, leurs rendements, les modes de transformation et les innovations attendues. L'institut français du pétrole (IFP) fait le point sur ce sujet en vogue dans un dossier clair et bien illustré.

[www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosrob/accueil/index.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosrob/accueil/index.html)

Passionnés de robot, rendez-vous sur le site de CNRS consacré à ces machines aussi variées dans leurs formes que dans leurs fonctions. Véhicules intelligents, robots médicaux, robots marcheurs et autres micro-robots n'auront plus de secrets pour vous.

#### **Impressum**

Editeur :	comité ARTech
Rédaction :	Christophe Battagliero Marc Berchten Didier Moullet
Mise en pages :	Ch. Battagliero
Correspondance :	ARTech Case postale 15 1283 La Plaine
e-mail :	contact@artech-ge.ch
Le bulletin de l'ARTech paraît 2X par an	
Tirage :	50 exemplaires

