

Préparation aux Olympiades de la Chimie
Lycée André Argouges
Année 2005-2006

Thème : CHIMIE et HABITAT

LE CIMENT ET LE BETON

Déjà il y a près de 2000 ans les Romains utilisaient du béton pour construire le Colysée et le dôme du Panthéon à Rome. Pour cela ils développèrent un ciment particulier constitué de chaux mélangée à du sable et de la cendre volcanique.

Informations

I. Le béton :

Le béton est le produit le plus consommé dans le monde après l'eau potable. Il dénote l'état de développement d'un pays. Le manque de soin apporté à sa réalisation en fait le symbole d'un environnement dégradé de grisaille urbaine. Or le béton moderne n'est pas seulement gris mais blanc, noir ou coloré, de textures variées. Il est façonné à volonté, ne s'oxyde pas, demande peu d'entretien. Il est fiable, peu sensible au feu et peu coûteux.

Matériaux du XX^{ème} siècle, il n'est pas une invention humaine. Les roches que sont les poudingues et les brèches sont des bétons naturels formés de galets arrondis liés par un ciment naturel.

Les Phéniciens en avaient repris le principe en associant de la chaux (hydroxyde de Calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$) et du sable.

Le véritable béton composé de ciment, de sable et de granulats, de chaux et de briques concassées ou de cendres volcaniques (riches en silice $\{\text{SiO}_2\}$ et en alumine $\{\text{Al}_2\text{O}_3\}$) est une invention des Romains. La durabilité et la résistance mécanique des monuments élaborés par les Romains restèrent longtemps inégalées mais les matières premières étaient insuffisantes pour que le béton soit communément utilisé.

Son emploi ne se développe qu'au début du XIX^{ème} siècle avec la découverte du ciment.

II. Le Ciment :

Le ciment est le constituant de base des bétons et mortiers. Ce liant hydraulique (il fait prise par hydratation) artificiel permet de coller entre eux les grains de sable et les granulats.

Louis Vicat, jeune ingénieur des ponts et chaussées de 22 ans après avoir étudié les phénomènes d'hydraulicité du mélange « chaux, cendre volcanique » (liant déjà utilisé par les Romains) est le premier à déterminer de manière précise, en 1817, les proportions de calcaire et de silice nécessaires à l'obtention du mélange qui après cuisson et broyage donnent naissance au ciment artificiel.

En affinant la composition du ciment mise au point par Vicat, l'écossais Joseph Aspdin réussit à breveter en 1824 un ciment à prise plus lente, il lui donna le nom de Portland.

Le ciment est fabriqué, en cuisant un mélange contenant environ 80% de calcaire et 20% d'argile, auquel on ajoute des correcteurs : oxyde de fer III, bauxite et sable à 1450 °C environ. A la sortie du four, le ciment contient essentiellement de la chaux CaO et de la silice SiO_2 , ainsi que de l'alumine Al_2O_3 et un peu d'oxyde de fer III (oxyde ferrique) Fe_2O_3 .

III. Travail à réaliser :

- Mesure du pH du ciment hydraté
- Réaction du ciment avec l'aluminium
- Dosage des ions calcium par complexométrie.
- Dosage des ions fer III par spectrophotométrie.

1) Mesure du pH du ciment hydraté

- Préparer une **solution saturée S₁** de ciment : pour cela dissoudre 3 spatules de ciment dans 50 mL environ d'eau distillée et laisser reposer. (**Vous conserverez cette solution**)
- Mesurer le pH de la solution surnageante à l'aide d'un papier pH
- La valeur du pH est due à la présence d'hydroxyde de calcium : écrire sa formule.

Applications :

- Ce pH fortement basique protège l'acier utilisé dans le béton armé et donc le protège de la corrosion.
- Cette propriété basique du ciment le rend sensible aux attaques acides ; elle est mise à profit pour éliminer par dissolution dans l'acide chlorhydrique, l'excès de ciment restant après la réalisation d'un ouvrage.

2) Réaction du ciment avec l'aluminium

Le pH élevé du ciment peut-être exploité pour réaliser des bétons cellulaires beaucoup plus légers que les bétons usuels.

- Mettre une spatule de poudre d'aluminium dans un tube à essais.
- Ajouter environ 3 mL de la solution saturée précédente S₁.
- Chauffer et observer le dégagement gazeux. Lorsqu'il est abondant, mettre en évidence le dihydrogène formé à l'aide d'une allumette enflammée.
- Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre l'aluminium, les ions hydroxydes et l'eau sachant qu'il se forme aussi des ions tétrahydroxoaluminate III

3) Préparation de la solution de ciment

Une solution S de ciment a été préparée ainsi :

- Dans un erlen on a dissous 1,0 g de ciment dans de l'acide chlorhydrique à 10%.
- La solution obtenue a été filtrée, le résidu solide blanc est la silice.
- La solution filtrée a été transvasée dans une fiole de 1 L.
- Les eaux de rinçage ont été récupérées dans la fiole.
- On a ajusté au trait de jauge avec de l'eau distillée.

4) Dosage complexométrique des ions calcium

Expérience :

- Effectuer une prise d'essai de 20,0 mL de solution S avec une pipette jaugée.
- Transvaser dans un erlen de 300 mL et ajouter 200 mL d'eau distillée.
- Ajouter 1 goutte d'hélianthine.
- Agiter et verser goutte à goutte une solution d'ammoniac jusqu'au virage au jaune (pH = 4,4)
- Ajouter 4 à 5 mL de triéthanolamine (qui masque les autres cations présents).
- Remplir la burette avec la solution d'EDTA.
- Verser à la burette environ 5 mL d'EDTA.
- Ajouter 8 mL de solution d'hydroxyde de sodium à 2 mol.L⁻¹ et vérifier que le pH est voisin de 13.
- Ajouter une pointe de spatule de réactif de Patton et Reeder trituré (c'est-à-dire mélangé à du sel pour éviter de trop en mettre).

- Doser par la solution d'EDTA jusqu'au virage au bleu clair.
- Noter le volume trouvé.

Calcul de la concentration en calcium de la solution S :

- Ecrire l'équation - bilan de la réaction de dosage (l'EDTA sera noté Y^{4-} et les ions calcium forment avec l'EDTA l'ion complexe CaY^{2-}).
- Calculer la concentration molaire des ions calcium de la solution S.
- En déduire le pourcentage en masse de calcium dans le ciment étudié.

5) Dosage des ions fer III de la solution S par spectrophotométrie :

Vous disposez de la solution S' qui a été préalablement préparée :

Dans un erlen de 50 mL on a introduit :

- 10,0 mL de solution S
- 2 mL d'acide chlorhydrique au _ à l'éprouvette
- 4 mL de chlorhydrate d'hydroxylamine
- On a chauffé au bain marie pendant 20 minutes
- On a ajouté 20 mL (éprouvette) d'éthanoate de sodium et 4 mL de solution d'orthophénantroline
- On a laissé agir 10 minutes.
- On a transvasé quantitativement dans une fiole de 50,0 ml et complété au trait de jauge avec de l'eau distillée.
- **Calculer le coefficient de dilution de cette solution S'.**

Mesure de l'absorbance de la solution S'

- Fixer la longueur d'onde à 510 nm.
- Faire le zéro avec la solution déjà prête O.
- Mesurer l'absorbance.
- A l'aide de la courbe d'étalonnage déterminer la concentration en fer III de la solution S'.

Calcul de la concentration en fer III de la solution S

- calculer la concentration en fer III de la solution S.
- en déduire le pourcentage massique en fer du ciment étudié.

Liste du matériel TP Ciment

Par poste :

- 1 spatule
- 3 béchers 100 mL
- papier pH (on doit pouvoir lire un pH > 13)
- baguette de verre
- 1 tube à essais + bouchon
- Allumettes
- Eprouvette 10 mL
- Burette 25 mL
- Pipette jaugée 20 mL + propipette
- Erlen 250 mL
- Bain Marie
- 2 cuves spectro
- pipette compte gouttes.
- ammoniacque compte gouttes
- hélianthine
- Patton et Reeder

Pour le groupe :

- ciment, poudre aluminium
- EDTA 0,1 mol/L (50 mL/groupe minimum)
- NaOH 2 mol/L
- Solution S (cf protocole) 50 mL/grp
- Solution S' (cf protocole)
- Solution S' sans mettre de solution S