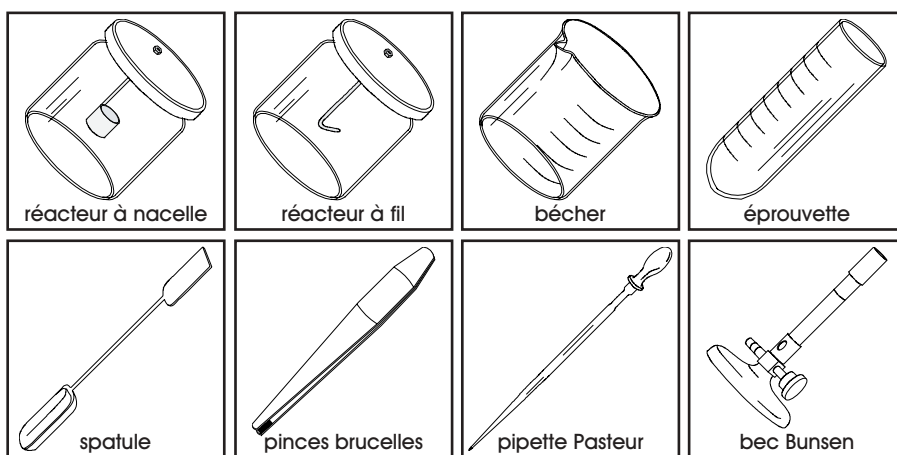


BUTS

Mettre en évidence les réactions des oxydes avec l'eau et le caractère acide ou basique des composés produits.







MATERIEL

1 réacteur avec nacelle inox, 1 réacteur avec fil d'acier, 3 béchers de 100 mL, 2 éprouvettes, 1 baguette de verre, 1 spatule, 1 paire de pinces brucelles, pipettes Pasteur, 1 plaque de PVC, 1 bec Bunsen, allumettes.



REACTIFS

Soufre (S), magnésium en ruban (Mg), oxyde de calcium (CaO), acide chlorhydrique (HCl 0.1 M), hydroxyde de sodium (NaOH 0.1 M), bleu de bromothymol ($C_{27}H_{27}O_5SBr_2Na$ 0.04 %), charbon de bois (C), cendre de bois fine, oxygène (O_2).

<p>S</p> <p>étatsolide</p> <p>MM32.06 g/mol</p>  <p>CH 5 récup S</p>	<p>Mg</p> <p>étatsolide</p> <p>MM24.31 g/mol</p>  <p>CH 4 récup S</p>	<p>CaO</p> <p>étatsolide</p> <p>MM56.08 g/mol</p>  <p>CH 4 récup S</p>	<p>HCl</p> <p>étatsolution 0.1 M</p> <p>MM36.46 g/mol</p>  <p>CH 5</p>
<p>NaOH</p> <p>étatsolution 0.1 M</p> <p>MM40.00 g/mol</p>  <p>CH 4</p>	<p>$C_{27}H_{27}O_5SBr_2Na$</p> <p>étatsolution 0.04 %</p> <p>MM646.37 g/mol</p> <p>CH F</p>	<p>O_2</p> <p>étatgaz</p> <p>MM32.00 g/mol</p>  <p>CH F</p>	

RECOMMANDATIONS

Procéder prudemment aux manipulations impliquant le bec Bunsen. **Porter des lunettes de sécurité.**

Manipuler avec précaution le magnésium; la combustion du magnésium produit une lumière particulièrement intense. **Porter des lunettes de sécurité et ne pas fixer la flamme du regard lors de la réaction.**

Manipuler avec précaution l'oxyde de calcium et la solution d'hydroxyde de sodium. **Ne pas ingérer ou mettre en contact avec la peau ou les yeux.**

MANIPULATIONS ET DISCUSSION

COLORATIONS DE L'INDICATEUR ACIDE-BASE

1. Dans une première éprouvette (éprouvette A), introduire de l'eau du robinet sur une hauteur de 5 cm environ.

Ajouter 4-5 gouttes de bleu de bromothymol (indicateur acide-base), agiter pour homogénéiser et noter la coloration obtenue.

2. Dans une seconde éprouvette (éprouvette B), introduire de l'eau distillée sur une hauteur de 5 cm environ.

Ajouter 4-5 gouttes de solution de bleu de bromothymol, agiter pour homogénéiser et noter la coloration obtenue.

3. Ajouter 5 gouttes d'acide chlorhydrique dans l'éprouvette A (eau du robinet) et 5 gouttes d'hydroxyde de sodium dans l'éprouvette B (eau distillée). Agiter pour homogénéiser et noter les colorations obtenues.

? 1. Indiquer si l'eau du robinet et l'eau distillée sont acides ou basiques, puis expliquer les changements de coloration observés.

REACTIONS DU Mg, DU CaO ET DE LA CENDRE DE BOIS AVEC L'EAU

4. Introduire environ 50 mL d'eau distillée dans 3 béchers propres.

Ajouter 4-5 gouttes de bleu de bromothymol dans chaque bécher et remuer avec une baguette de verre pour homogénéiser.

5. Allumer un bec Bunsen à feu doux. Placer un des béchers à proximité du bec Bunsen.

Saisir un ruban de magnésium au moyen d'une paire de pinces brucelles métalliques.



En portant impérativement une paire de lunettes et sans fixer la flamme du regard, introduire l'extrémité de ce ruban de magnésium dans la flamme, en le maintenant fermement au moyen des pinces brucelles. La réaction est particulièrement rapide et accompagnée d'une forte émission de lumière.

Dès que la réaction s'amorce, prendre soin d'effectuer la combustion au-dessus du bécher, puis y introduire le produit formé.

Remuer avec la baguette de verre pour homogénéiser et noter le changement de couleur de la solution.

? 2. Indiquer si la substance récupérée dans le bécher a un caractère acide ou basique.

Dans la flamme, le magnésium réagit avec l'oxygène; le produit de cette réaction réagit ensuite avec l'eau: Proposer la séquence des réactions chimiques qui caractérisent ces transformations.

6. Introduire dans le deuxième bécher une pointe de spatule d'oxyde de calcium (chaux vive). Remuer pour homogénéiser et noter les observations.

? 3. Indiquer si la substance produite par la réaction de l'oxyde de calcium avec l'eau a un caractère acide ou basique.

Proposer la réaction chimique qui caractérise cette transformation.

7. Introduire dans le troisième bécher une pointe de spatule de cendres de bois. Remuer pour homogénéiser et noter les observations.

? 4. Les cendres issues de la combustion du bois contiennent, entre autres, des oxydes de sodium et de potassium (K_2O , Na_2O): Pourquoi la cendre de bois a-t-elle un caractère basique lorsqu'elle réagit avec l'eau?

Proposer la réaction chimique qui caractérise chacune de ces transformations.

COMBUSTION DU CHARBON DE BOIS

8 (point a sur la figure).

Dévisser le couvercle du réacteur muni du fil d'acier à extrémité recourbée.

Fixer sur cette extrémité un fragment de charbon de bois percé. Ne pas revisser le couvercle.

Allumer le bec Bunsen et le régler en position veilleuse.

9 (point b sur la figure).

Introduire le réacteur sans son couvercle dans un évier rempli d'eau puis le positionner tête en bas.

Avec un assistant introduire lentement de l'oxygène pur dans le réacteur, jusqu'aux 4/5 de son volume.

Le réacteur étant toujours sous l'eau, glisser une plaque de PVC sous celui-ci pour le boucher en emprisonnant l'oxygène.

Retirer le tout de l'eau en gardant fermement la plaque sur le réacteur.

Egoutter l'ensemble et le placer tête en haut à proximité du bec Bunsen.

Le réacteur doit contenir de l'eau sur une hauteur de 2-3 cm **au maximum**.

10 (point c sur la figure).

En faisant **prestement** glisser la plaque de PVC de côté de manière à créer un petit orifice, introduire **rapidement** 4-5 gouttes de bleu de bromothymol dans le réacteur au moyen d'une pipette Pasteur.

Refermer **à toute vitesse** le réacteur avec la plaque de PVC.

11 (point d sur la figure).

Sans tarder, régler la flamme du bec Bunsen en position maximum.



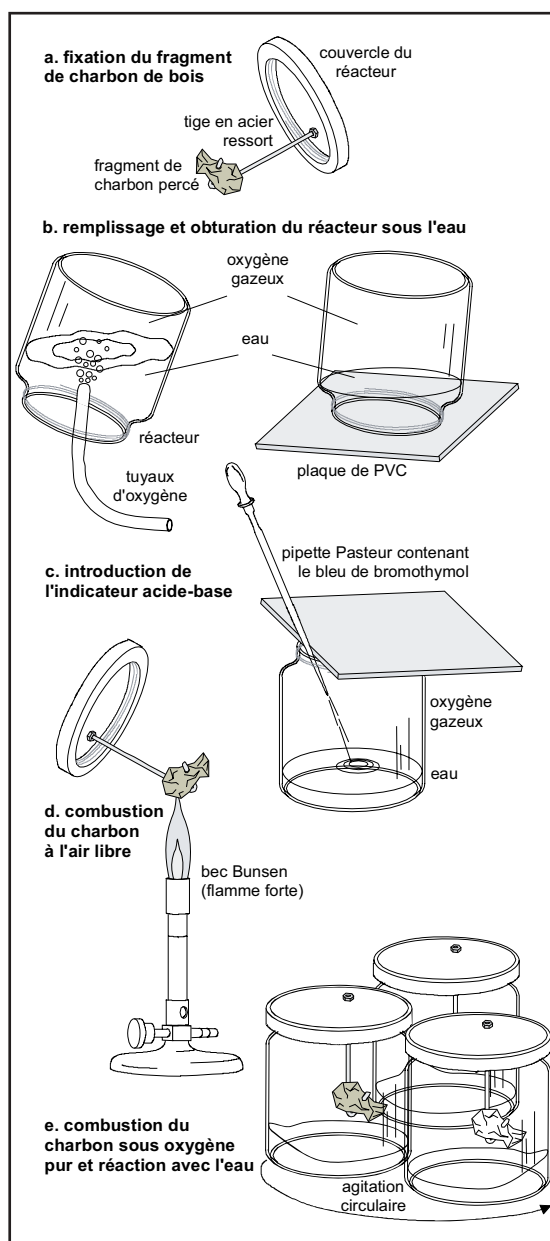
En portant des lunettes de sécurité, tenir le couvercle incliné et placer le fragment de charbon dans la partie supérieure de la flamme, jusqu'à ce qu'il entre en incandescence.

Introduire le fragment dans le réacteur, en remplaçant **rapidement** la plaque de PVC par le couvercle; visser le couvercle.

12 (point e sur la figure).



En portant des lunettes de sécurité, maintenir le réacteur verticalement et l'animer d'un mouvement circulaire lent et régulier. **Le fragment de charbon**



de bois ne doit pas entrer en contact avec la solution.

Tout en continuant à remuer le réacteur de la sorte, observer les crépitements provoqués par la réaction du charbon de bois avec l'oxygène, ainsi que le changement de coloration de la solution.

Noter les observations à l'issue de la combustion.

- ? 5. Proposer la réaction de combustion du charbon de bois et expliquer pourquoi cette réaction est plus spectaculaire dans le réacteur que sur la flamme.

Expliquer le changement de coloration de la solution lors de la dernière étape et proposer la réaction chimique entre le produit de la combustion et l'eau.

COMBUSTION DU SOUFRE

13. Dévisser le couvercle du second réacteur, muni d'une nacelle en inox. Introduire dans cette nacelle une petite pointe de spatule de soufre en poudre. Ne pas revisser le couvercle sur le réacteur.

Allumer le bec Bunsen et le régler en position veilleuse.

14. Répéter toutes les opérations des étapes 9 à 12.

Pour chauffer et enflammer le soufre sur le bec Bunsen réglé avec une flamme forte (étape 11 de la page précédente), il est nécessaire de patienter jusqu'à ce qu'un peu de fumée brunâtre s'échappe de la nacelle.

Noter les observations à l'issue de la combustion.

- ? 6. Proposer la réaction de combustion du soufre et expliquer pourquoi cette réaction est plus spectaculaire dans le réacteur que sur la flamme.

Expliquer le changement de coloration de la solution lors de la dernière étape et proposer la réaction chimique entre le produit de la combustion et l'eau.

- ? 7. Indiquer si la solution change de couleur plus rapidement dans le cas du charbon de bois que dans le cas du soufre.

Proposer une explication pour rendre compte de cette observation.

- ? 8. Quel usage nos arrière-grand-mères faisaient-elle des propriétés de la cendre de bois dans l'eau?

- ? 9. Pour quelles applications la chaux vive (oxyde de calcium CaO) est-elle utilisée?

- ? 10. Expliquer le lien qui existe entre les pluies acides polluantes présentes dans l'environnement et cette expérience?

RECUPERATION ET NETTOYAGE

Récupérer les pipettes Pasteur utilisées dans la poubelle pour verre usagé. Vider toutes les solutions dans l'évier, sous courant d'eau.

S'assurer que le fragment de charbon de bois est éteint et le récupérer dans le récipient de déchets **S** (substances solides).

Laver la verrerie utilisée à l'eau, puis la rincer à l'eau déminéralisée.

PREPARATION

Expérience pour un groupe de 2 étudiants.

1. Soufre:

Utiliser tel quel le soufre en poudre.

2. Magnésium en ruban:

Utiliser tel quel le magnésium propre et non oxydé.

3. Oxyde de calcium:

Broyer finement le CaO avant utilisation.

4. Solution d'acide chlorhydrique 0.1 M:

Ajuster 13 mL de HCl concentré (25 %) à 1000 mL avec de l'eau déminéralisée (suffisant pour environ 50 groupes).

5. Solution d'hydroxyde de sodium 0.1 M:

Pour 1000 mL de solution (suffisant pour environ 50 groupes), peser 4 g de NaOH, dissoudre dans de l'eau déminéralisée et compléter à 1000 mL avec de l'eau déminéralisée.

6. Solution de bleu de bromothymol 0.04 %:

Pour 100 mL de solution (suffisant pour environ 20-30 groupes), peser environ 0.4 g $C_{27}H_{27}O_5SBr_2Na$, dissoudre dans de l'eau déminéralisée et compléter à 100 mL avec de l'eau déminéralisée.

La solution finale doit être **verte**. Si elle est jaune (pH < 5.5), ajouter une faible quantité de NaOH très dilué; si elle est bleue (pH > 8), ajouter une faible quantité de HCl très dilué.

7. Charbon de bois:

Utiliser des fragments de 2-3 cm; pratiquer un trou de 2 mm de diamètre dans les fragments de manière à les fixer sur le fil d'acier ressort du réacteur.

8. Cendre de bois fine:

Utiliser de la cendre issue de la combustion du charbon de bois ou du bois.

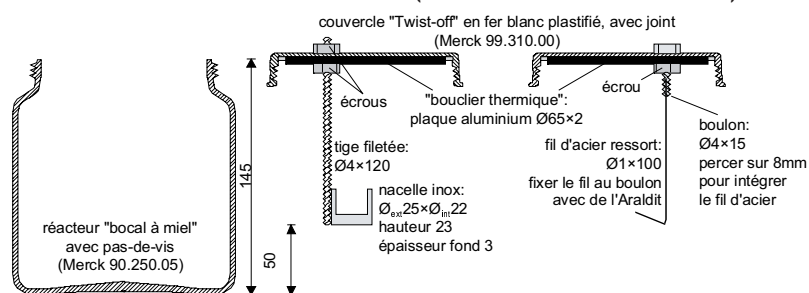
9. Oxygène:

La qualité de l'oxygène n'est pas déterminante (Carbagaz). Si possible, munir le détendeur d'un tuyau souple de 1 m terminé par un tube de verre en U.

10. Matériel nécessaire pour un groupe de 2 étudiants:

1 réacteur muni d'une nacelle inox (voir le schéma ci-dessous)

1 réacteur muni d'un fil d'acier ressort (voir le schéma ci-dessous)



3 béchers de 100 mL

2 éprouvettes avec support-éprouvettes

1 baguette de verre

1 spatule

1 paire de pinces brucelles métalliques

5-6 pipettes Pasteur avec tétine

1 plaque de PVC (120×120×5)

1 bec Bunsen, allumettes

11. Durée de l'expérience:

Environ 60 min de manipulations.

DISCUSSION

- ? 1. Indiquer si l'eau du robinet et l'eau distillée sont acides ou basiques, puis expliquer les changements de coloration observés.

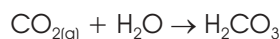
En présence d'eau du robinet, l'indicateur acide base se colore en bleu, comme en présence d'hydroxyde de sodium. L'eau du robinet est donc basique.

En présence d'eau distillée, l'indicateur acide base se colore en jaune, comme en présence d'acide chlorhydrique. L'eau distillée est donc acide.

Le caractère basique de l'eau du robinet est gouverné par les ions dissous (alcalinité de l'eau), principalement les cations Ca^{2+} , Mg^{2+} et les anions HCO_3^- , CO_3^{2-} .

L'eau distillée ne contient pas ces ions, qui ne sont pas entraînés lors du processus de purification par distillation. Le caractère acide de l'eau distillée est cependant gouverné par la dissolution du dioxyde de carbone $\text{CO}_{2(g)}$ atmosphérique.

Dans l'eau, le dioxyde de carbone produit de l'acide carbonique, qui acidifie le milieu par perte d'un proton, selon les réactions:



- ? 2. Indiquer si la substance récupérée dans le bécher a un caractère acide ou basique.

Dans la flamme, le magnésium réagit avec l'oxygène; le produit de cette réaction réagit ensuite avec l'eau: Proposer la séquence des réactions chimiques qui caractérisent ces transformations.

La solution se colore en bleu. Par conséquent, la substance récupérée a un caractère basique.

La réaction du magnésium avec l'oxygène de l'air, dans la flamme du bec Bunsen, conduit à la formation d'oxyde de magnésium solide et blanc. Cette combustion est une réaction d'oxydation-réduction. Mg^0 est oxydé en Mg^{2+} , tandis que l'oxygène O_2 est réduit en O^{2-} , selon:



L'oxyde de magnésium réagit avec l'eau pour former de l'hydroxyde de magnésium, selon:



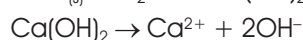
Formellement, l'hydroxyde de magnésium est sous forme dissociée dans l'eau; c'est l'excès d'ions OH^- qui confère un caractère basique à l'eau:



- ? 3. Indiquer si la substance produite par la réaction de l'oxyde de calcium avec l'eau a un caractère acide ou basique.

Proposer la réaction chimique qui caractérise cette transformation.

La réaction de l'oxyde de calcium avec l'eau est similaire à celle de l'oxyde de magnésium avec l'eau; la substance produite (hydroxyde de calcium) basifie la solution selon:



Le comportement des deux oxydes est semblable, puisque les éléments Ca et Mg occupent la même colonne du tableau périodique (alcalino-terreux). Expérimentalement, on peut constater qu'il est possible de généraliser le comportement de ces deux oxydes: les oxydes des éléments alcalino-terreux ont un comportement basique en solution aqueuse.

- ? 4. Les cendres issues de la combustion du bois contiennent, entre autres, des oxydes de sodium et de potassium (K_2O , Na_2O): Pourquoi la cendre de bois a-t-elle un caractère basique lorsqu'elle réagit avec l'eau? Proposer la réaction chimique qui caractérise chacune de ces transformations.

La cendre de bois colore la solution en bleu et possède donc un caractère basique. Ce comportement est gouverné par les oxydes (et carbonates) de sodium et de potassium.

Comme pour les éléments alcalino-terreux (2ème colonne du tableau périodique), les oxydes des éléments alcalins (1ère colonne) ont un caractère basique en solution aqueuse:

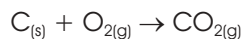


- ? 5. Proposer la réaction de combustion du charbon de bois et expliquer pourquoi cette réaction est plus spectaculaire dans le réacteur que sur la flamme.

Expliquer le changement de coloration de la solution lors de la dernière étape et proposer la réaction chimique entre le produit de la combustion et l'eau.

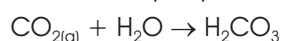
La solution se colore en jaune lorsque le produit de combustion du charbon de bois se dissout dans l'eau. Ce produit de combustion possède donc des propriétés acides.

La combustion du carbone constituant le charbon de bois avec l'oxygène de l'air est une réaction d'oxydation-réduction. C^0 est oxydé en C^{4+} , tandis que l'oxygène O_2 est réduit en O^{2-} , selon:



La réaction est beaucoup plus spectaculaire dans le réacteur rempli d'oxygène pur que dans la flamme du bec Bunsen, car l'air ne contient que 20 % d'oxygène. A ce titre, si le bec Bunsen était alimenté par de l'oxygène pur plutôt que par de l'air, la flamme serait beaucoup plus chaude et plus lumineuse.

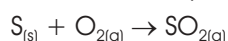
Dans l'eau, le dioxyde de carbone produit de l'acide carbonique, qui acidifie le milieu par perte d'un proton, selon les réactions:



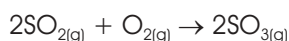
- ? 6. Proposer la réaction de combustion du soufre et expliquer pourquoi cette réaction est plus spectaculaire dans le réacteur que sur la flamme. Expliquer le changement de coloration de la solution lors de la dernière étape et proposer la réaction chimique entre le produit de la combustion et l'eau.

La solution se colore en jaune lorsque le produit de combustion du soufre se dissout dans l'eau. Ce produit de combustion possède donc des propriétés acides.

Par analogie à la réaction en présence de carbone, la combustion du soufre avec l'oxygène de l'air est une réaction d'oxydation-réduction. S^0 est oxydé en S^{4+} , tandis que l'oxygène O_2 est réduit en O^{2-} , selon:

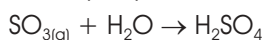


Le dioxyde de soufre réagit encore par oxydation-réduction avec l'oxygène, pour produire du trioxyde de soufre (S^{4+} oxydé en S^{6+}), selon:



Comme précédemment, la réaction est plus spectaculaire dans l'oxygène pur que dans la flamme du bec Bunsen.

Dans l'eau, le trioxyde de soufre produit de l'acide sulfurique, qui acidifie le milieu par perte de ses protons, selon les réactions:



? 7. Indiquer si la solution change de couleur plus rapidement dans le cas du charbon de bois que dans le cas du soufre.

Proposer une explication pour rendre compte de cette observation.

Etant donné que la solution change de couleur plus rapidement lors de la combustion du le soufre, on peut conclure que l'acide sulfurique H_2SO_4 est un acide plus puissant que l'acide carbonique H_2CO_3 .

En effet, les 2 protons de l'acide sulfurique sont considérés comme forts (bien que le second proton soit libéré plus difficilement que le premier).

Inversément, l'acide carbonique est un acide faible, qui ne libère aisément que son premier proton.

? 8. Quel usage nos arrière-grand-mères faisaient-elle des propriétés de la cendre de bois dans l'eau?

Les détergents et produits de lessive ont en commun leur caractère basique.

Avant l'avènement des produits modernes de lessive, la cendre de bois était utilisée au battoir; les oxydes et carbonates d'éléments alcalins et alcalino-terreux présents dans la cendre contribuaient à éliminer les saletés et les corps gras du linge sale en basifiant l'eau.

Le terme "potasse" provient de l'anglais "pot ash", qui désigne les cendres de foyer. La potasse est le nom trivial donné au carbonate de potassium que l'on retrouve justement dans ces cendres. Cependant, le terme "potasse" peut prêter à confusion, puisqu'il désigne aussi l'hydroxyde de potassium (KOH, potasse caustique), ainsi que certains engrais riches en chlorure de potassium (KCl, potasse d'Alsace).

Les oxydes d'alcalins et d'alcalino-terreux (1^{ère} et 2^{ème} colonnes du tableau périodique) ont un comportement basique. La racine du terme "alcalin" provient justement de l'arabe "al qali", qui signifie "basique". Le symbole chimique de l'élément potassium est K, par référence à son nom latin "kalium" et arabe "qali".

? 9. Pour quelles applications la chaux vive (oxyde de calcium CaO) est-elle utilisée?

A l'échelle mondiale, la chaux vive intervient principalement dans la production de ciment et de béton. Le ciment de type Portland est obtenu par mélange et broyage à température ambiante de clinker et de sulfate de calcium hémihydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ou $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; plâtre de Paris).

Le clinker, quant à lui, est une mixture contenant de l'oxyde de calcium (CaO chaux vive), du dioxyde de silicium (SiO_2 silice, sable), de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3 alumine), ainsi que de l'oxyde de fer (Fe_2O_3).

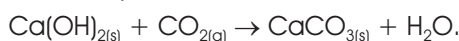
La mixture constituant le clinker est produite lors de la réaction de calcination à haute température (850-1450 °C) de carbonate de calcium (CaCO_3 calcaire), de marne (roche calco-argileuse) et d'argile.

Le béton, finalement, est un mélange de sables et graviers, de ciment et

d'eau.

L'oxyde de calcium est appelé chaux vive car il réagit rapidement dans l'eau, pour former l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$, également appelé chaux éteinte. Selon la proportion d'hydroxyde de calcium dans l'eau, on parlera de mortier (beaucoup de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, peu d'eau), de lait de chaux (suspension de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans l'eau), ou d'eau de chaux (solution limpide contenant Ca^{2+} et OH^-).

La prise du mortier a lieu lorsque le dioxyde de carbone atmosphérique se dissout dans le mortier; l'hydroxyde de calcium réagit avec le dioxyde de carbone pour former le carbonate de calcium solide (calcaire), selon:



Le plâtre de Paris ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ou $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), lorsqu'il est mélangé à de l'eau, piège des molécules d'eau et forme du sulfate de calcium dihydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; gypse) qui gonfle. Cette propriété est exploitée pour reproduire des objets par moulage, puisque le $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ s'introduira dans les interstices de l'objet. Lorsque l'eau en excès s'évapore, le gypse se solidifie. Il est possible d'obtenir du plâtre de Paris à partir de gypse en éliminant l'eau par chauffage à 150 °C.

? 10. Expliquer le lien qui existe entre les pluies acides polluantes présentes dans l'environnement et cette expérience?

La combustion du charbon de bois et du soufre interviennent dans les processus de pollution atmosphérique et d'acidification des pluies. Le dioxyde de carbone est, avec l'eau, le principal produit de la combustion des combustibles fossiles solides (charbon, anthracite, coke), liquides (mazout, kérosène, essence) ou gazeux (gaz naturel).

Cependant, des oxydes de soufre sont également produits en quantités non négligeables en raison de la présence de soufre élémentaire dans les combustibles.

Ces oxydes gazeux (CO_2 , SO_2 , SO_3) sont introduits dans l'atmosphère et se combinent avec l'eau constituant les nuages, pour former l'acide carbonique ($\text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) et l'acide sulfurique ($\text{SO}_{3(g)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$). Il en résulte une acidification de l'eau atmosphérique, qui est à l'origine des pluies acides.

Etant donné que l'acide sulfurique est un acide fort, contrairement à l'acide carbonique, il est primordial de développer des procédés industriels capables d'extraire au mieux les impuretés soufrées des combustibles fossiles.