

CONCOURS « FAITES DE LA SCIENCE » 2010

Projet du Collège Stéphane MALLARME de SENS

Bravo aux élèves du collège MALLARMÉ de SENS qui ont remporté le 1^{er} prix du concours régional « FAITES DE LA SCIENCE »

LES SECRETS DE LA BOUGIE

PRESENTATION GENERALE

Objectifs :

- Initier les élèves à la démarche scientifique en s'appuyant sur des expériences simples, faciles à reproduire à la maison.
- Susciter au maximum leur imagination et leur curiosité pour comprendre des phénomènes du quotidien et donner le goût aux études scientifiques.

Cadre du projet :

- Un petit groupe d'une dizaine d'élèves volontaires provenant de plusieurs niveaux différents: cinquième, quatrième et troisième.
- Deux heures d'atelier par semaine, le lundi, en dehors du temps scolaire.

Thème choisi : Les bougies

- Mieux comprendre les réactions de combustion, en milieu ouvert et fermé.
- Etude de phénomènes étonnants exploitant l'énergie libérée par la combustion des bougies : influence sur d'autres grandeurs physiques (température, pression, volume, etc.)

Support du projet :

Réalisation d'un petit film vidéo destiné à illustrer les différentes étapes de la démarche scientifique. Mise en scène des expériences, réflexion sur les dialogues et les commentaires. Initiation à la prise de vues, choix des plans et découpages des scènes.

Valorisation du projet :

Mise en place d'un partenariat avec l'Université de Bourgogne

Réalisation d'un DVD pour permettre une exploitation du projet en classe, éventuellement dans d'autres établissements et pour une diffusion la plus large possible.

Présentation du projet aux écoles primaires du secteur de recrutement du collège.

Participation à des concours et manifestations scientifiques locales.



CONTENU DU PROJET

PARTIE 1 : Combustion d'une bougie en milieu fermé

Situation déclenchante :

Un élève propose un défi à ses camarades, il plonge 2g d'or au fond d'un récipient rempli d'un liquide « toxique » jaune fluorescent. Ils doivent réussir à récupérer cet or avec les doigts, sans toucher le liquide et en utilisant seulement le matériel mis à disposition : des bougies d'anniversaire, une boîte d'allumettes, un bouchon de liège et un bocal en verre.



Il s'agit en fait de l'expérience très connue qui consiste à retourner un bocal sur des bougies flottant à la surface de l'eau.

Après avoir réussi à récupérer les 2g d'or, les élèves se demandent pourquoi le liquide monte dans le bocal.

Plusieurs hypothèses sont avancées et le groupe recherche des expériences pertinentes pour les valider ou non.



Etude théorique préalable : La combustion des bougies

La réaction de combustion est étudiée au collège dans le programme de chimie de quatrième :

Une bougie est constituée essentiellement d'un mélange d'acide stéarique et de paraffine.

Lors de la réaction de combustion, ce mélange réagit avec le dioxygène de l'air et produit de la vapeur d'eau ainsi que du dioxyde de carbone (si on reste dans le cadre d'une combustion complète).

Cette combustion libère de l'énergie sous forme lumineuse et thermique.

Les hypothèses :

Dans un premier temps, les élèves ont travaillé seuls. Après un bilan collectif, leur travail a été orienté grâce à de petites questions concernant le déroulement de l'expérience.

- A quel moment précis le liquide monte dans le bocal ?

Le liquide monte après que les bougies se soient éteintes

- Que remarque-t-on de particulier tout au début de l'expérience, juste au moment où le bocal est retourné sur l'eau ?

Des bulles se forment dans l'eau tout autour du bocal donc du gaz s'échappe de l'intérieur.

- Que remarque-t-on de particulier sur les parois du bocal à la fin de l'expérience ?

De la buée se forme en quantité importante, le bocal se remplit aussi un peu de fumée en fin de combustion.

Hypothèses retenues par le groupe

Hypothèse 1 - Les bougies consomment le dioxygène du bocal, il y a moins de gaz et donc l'eau monte dans le bocal

Hypothèse 2 - C'est une variation de pression dans le bocal suite à la chaleur produite par les bougies qui explique la montée de l'eau

Hypothèse 3 - La vapeur d'eau produite par la combustion se liquéfie ensuite, elle fait donc varier la pression dans le bocal.

Recherche d'expériences :

Cette partie a été la plus délicate pour les élèves. Les expériences ont été élaborées collectivement en essayant de prendre en compte les idées de chacun. Cela s'est déroulé de manière assez interactive, les élèves ont été guidés parfois par de petites remarques simples :

« Il faut chercher à faire varier des paramètres dans notre expérience, si possible isolément, pour voir s'ils ont une influence. »

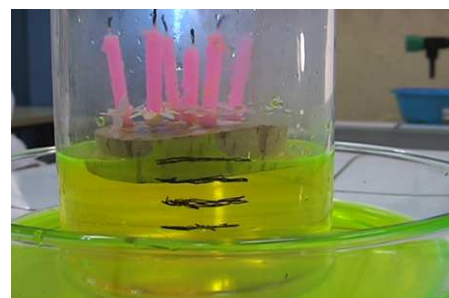
« Si nous n'arrivons pas à montrer que la consommation de dioxygène joue un rôle, essayons alors de prouver qu'elle n'en a pas. »

Expérience 1 : On utilise exactement le même matériel mais on fait varier le nombre de bougies.



Observations : Plus le nombre de bougies est élevé, plus le liquide monte haut dans le bocal. La précision de notre expérience n'a pas été suffisante pour le déterminer mais on pourrait presque percevoir un lien de proportionnalité.

Conclusion : Les bougies s'éteignent lorsqu'il n'y a plus de dioxygène dans le bocal, la quantité de dioxygène consommé ne dépend donc pas du nombre de bougies. Pourquoi alors observer une telle différence de hauteur ? Cette expérience semble donc invalider la première hypothèse



Expérience 2 : On place le bocal au-dessus des bougies enflammées et on le plonge ensuite dans l'eau (mais cette fois sans les bougies à l'intérieur).



Observations : L'eau monte dans le bocal à une hauteur importante, même en l'absence des bougies ?

Interprétation : Les bougies étant toujours placées à l'extérieur du bocal, elles n'ont pas pu consommer le dioxygène qu'il contenait. Cette expérience invalide également la première hypothèse

Expérience 3 : On place une bougie dans un bouchon et on l'enferme dans un flacon en verre étanche.

Observation : Le bouchon est expulsé assez violemment du bocal après quelques instants

Pourquoi le bouchon n'est pas aspiré comme l'eau dans le bocal ?



Interprétation : La pression augmente dans le bocal, c'est à cause de la bougie qui chauffe les gaz enfermés à l'intérieur. Pourtant le dioxygène est bien consommé par la combustion !

Remarque : suite à ces observations, un complément théorique a été apporté aux élèves concernant la variation de pression d'un gaz en fonction de la température

Problème soulevé : Alors comment expliquer la montée de l'eau dans le bocal lors de la première expérience ? La pression devrait diminuer et non augmenter !

Cette augmentation de pression permet d'expliquer l'apparition des bulles autour du bocal au début de l'expérience. Le gaz s'échappe car la pression est plus forte à l'intérieur par rapport à l'extérieur.

De plus, il a été remarqué que l'eau monte essentiellement lorsque les bougies s'éteignent.

En l'absence de flamme la température chute de nouveau, donc la pression diminue. Comme du gaz s'est échappé, elle reste plus petite qu'au départ et l'eau monte.



Cette expérience semble donc valider l'hypothèse 2

Question complémentaire : La vapeur d'eau joue-t-elle aussi un rôle ?

Remarque : Jusque là, la vapeur d'eau produite par la combustion s'est toujours retrouvée dans le bocal. La variation de pression liée à la température n'a donc jamais été isolée de la variation de pression possible liée à la liquéfaction de l'eau. Cette liquéfaction se déroulerait elle aussi lors de l'extinction des bougies après la chute de température.

Comment savoir si l'un joue un rôle prédominant par rapport à l'autre ?

Expérience 4 : La canette de boisson

On chauffe par le fond une canette de boisson d'abord complètement sèche jusqu'à une température voisine de 100 °C. Ensuite on la retourne sur une cuve remplie d'eau.

Observations : La canette s'écrase d'une manière assez violente.

On refait la même expérience mais cette fois avec un peu d'eau au fond de la canette.

Observations : La canette s'écrase sur elle-même de manière beaucoup plus violente en comparaison avec la première expérience. La diminution de volume est beaucoup plus sensible.

Conclusion : Dans cette expérience, il semble clair que la présence de vapeur d'eau dans le récipient joue un rôle important dans la variation de pression.



CONCLUSION

Notre démarche expérimentale reste évidemment très qualitative, mais grâce aux interprétations des phénomènes observés, il est possible de trouver des arguments qui permettent de valider une hypothèse plus qu'une autre.

Nous avons fait apparaître que l'hypothèse de la consommation du dioxygène dans le bocal est soit fautive soit négligeable par rapport aux autres facteurs.

En effet, si le dioxygène est consommé, il ne faut pas oublier que du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau sont produits par la combustion.

Nos expériences montrent également que deux paramètres peuvent intervenir dans la variation de pression dans le bocal, à l'origine de la montée de l'eau : la température et la liquéfaction de la vapeur d'eau. Il semblerait que la dernière hypothèse soit la plus déterminante d'après l'expérience 4 mais comment expliquer alors la variation importante de hauteur atteinte par l'eau en fonction du nombre de bougies ?

La quantité de vapeur d'eau est liée à la quantité de dioxygène consommée par la combustion et non au nombre de bougies.

Il semblerait donc que l'influence de la température ou de la liquéfaction de la vapeur d'eau soit plus ou moins déterminante en fonction du volume du bocal.

La vapeur d'eau devrait jouer un rôle plus déterminant lorsque le volume du bocal est petit.

PARTIE 2 : Le mystère de la bougie tournante

Situation déclenchante : observation d'une « bougie tournante »

Un tube de cuivre forme une boucle au dessus d'une bougie. La bougie est posée sur un disque de liège et l'ensemble flotte sur l'eau.

Les extrémités du tube traversent le liège et forment deux coudes sous l'eau, ils sont dirigés dans des sens opposés. Le tube est rempli d'eau puis on allume la bougie.

Observations : Au bout d'un certain temps, la bougie se met à tourner sur l'eau, le phénomène continue jusqu'à l'extinction de la bougie.

Comment un petit tube métallique, contenant de l'eau et chauffé par une simple bougie, peut mettre en mouvement un objet ?

Voici quelques questions soulevées au cours de nos échanges :

- Que devient l'eau dans le tube ?
- De l'eau sort-elle des extrémités du tube ?
- Pourquoi voit-on apparaître des petites ondulations à la surface de l'eau ?
- Pourquoi les extrémités des tubes, sous l'eau, sont dirigées dans deux sens opposés ?

Expérience 1 :

Pour observer plus précisément ce qui se passe, nous avons décidé de réaliser une expérience dans un tube en verre. Une partie a été coudée sous un chalumeau, elle est ensuite remplie d'eau puis placée au dessus d'une bougie. Enfin, pour mieux distinguer le liquide dans le tube, nous avons choisi d'ajouter un peu de colorant.

Observations : On voit très bien apparaître une bulle de vapeur d'eau juste au dessus de la flamme de la bougie. Mais cette bulle ne fait pas que grandir, elle se rétracte ensuite pour de nouveau revenir à l'état liquide. Puis la bulle de vapeur se reforme de nouveau et un cycle recommence.

Interprétation : Dans le cas de la bougie tournante, les vibrations dans l'eau provenaient d'un mouvement répétitif lié à la formation de bulles de vapeurs d'eau dans le tube de cuivre.

Deuxième problème : Comment la formation répétée de bulles dans le tube peut-elle produire le mouvement de la bougie ?

Hypothèse 1 : Lorsque la bulle se forme, elle pousse une partie de l'eau à l'extérieur du tube

Hypothèse 2 : Ce sont les vibrations dans l'eau qui sont à l'origine du mouvement.

Expérience 2

On inverse l'orientation des tubes qui plongent dans l'eau

Observations : La bougie tourne également mais le sens de rotation est inversé

Conclusion :

Cette expérience montre que l'hypothèse d'une éjection de matière par les tubes immergés est cohérente, puisqu'il est possible d'inverser le sens de rotation. En revanche, les vibrations engendrées par le dispositif n'ont pas été supprimées, la deuxième hypothèse ne peut donc pas être écartée.

Expérience 3

Le groupe décide alors de diriger les extrémités des tubes (partie immergée) vers le bas. Ainsi on ne supprime pas les vibrations générées par le dispositif mais dans ce cas, l'éjection de matière ne peut plus être à l'origine du mouvement.

Observation : La bougie tournante ne tourne plus

Conclusion : Cette expérience semble donc écarter la théorie des vibrations du dispositif comme explication au mouvement de la bougie.

Question complémentaire : La quantité d'eau introduite au départ étant relativement faible, comment expliquer la durée assez longue du fonctionnement de la bougie tournante ?

Expérience 4

Le groupe décide de fabriquer un prototype de bougie tournante, entièrement constitué de verre, pour mieux distinguer les phénomènes. Cette fois encore, l'eau introduite dans le dispositif est colorée en bleu.

Observations :

Une petite quantité de liquide coloré sort des tubes au début de l'expérience, lorsque la première bulle de vapeur se forme. Ensuite, plus aucune sortie de colorant n'est observée.

Lorsque la bougie est éteinte, l'eau colorée se retrouve aspirée au centre du dispositif, dans le tube principal. L'eau contenue dans les deux tubes latéraux, quant à elle, est incolore.

Interprétation :

Cette expérience montre que l'eau qui est introduite dans le système au départ ne quitte pas ou peu le dispositif. A chaque extrémité du tube, une petite quantité d'eau doit sortir puis entrer de nouveau dans le tube, formant ainsi un mouvement de va et vient répétitif.

Question complémentaire : Si l'eau qui sort du dispositif y revient ensuite, comment expliquer alors cette résultante des forces qui fait tourner la bougie toujours dans le même sens ?

Hypothèse retenue par le groupe :

Le mouvement de l'eau qui sort des tubes doit être différent du mouvement de l'eau qui entre.

Nous sommes actuellement à la recherche d'une expérience qui permettrait de mettre en évidence cette différence. Nous avons déjà filmé en très gros plan la sortie des tubes pour permettre une observation au ralenti du phénomène. Cependant, il semble que la présence de particules en suspension dans l'eau soit nécessaire pour rendre la vidéo plus facilement exploitable.
Des tentatives sont en cours.

Développement du projet

Nous envisageons en fin d'année de construire des petits bateaux « pop pop ». Ces jouets anciens utilisent un mode de propulsion qui ressemble à celui de la bougie tournante. Le tube en cuivre est remplacé par un petit « moteur » plus performant : la bougie ne chauffe plus uniquement un tube mais une membrane métallique fine remplie d'eau. C'est en se contractant puis en se dilatant qu'elle produit ce bruit « pop pop » caractéristique.

Le but de cette partie est de proposer aux élèves des activités pratiques amusantes qui exploitent toute la démarche expérimentale menée dans ce projet.

Vincent DEVAUX
Enseignant en sciences physiques
Collège MALLARME
18 rue des trois croissants
89100 SENS