

ENSEIGNANT

ENQUÊTE 3 : ÉNERGIE ET COMBUSTION

ÉTUDE DE CAS EN SCIENCE ET INGÉNIERIE

LES SCIENTIFIQUES SE DEMANDENT POURQUOI.
LES INGÉNIEURS SE DEMANDENT COMMENT.



TRANCHE D'ÂGE
Collège



CATÉGORIE
Criminalistique du feu



DURÉE
2 à 4 cours

Fil conducteur : pour enquêter sur un incendie, il est nécessaire de connaître les principes du déclenchement du feu et de la combustion. Pour résoudre une enquête, il faut savoir comment établir un rapport, preuves et raisonnement à l'appui.

ENQUÊTE 3 : ÉNERGIE ET COMBUSTION

Remarque : L'enquête s'appuie sur une vidéo d'un incendie et des données connexes ; possibilité de brûler de petits matériaux en laboratoire.

LES ENQUÊTEURS POST-INCENDIE DOIVENT COMPRENDRE :

- La vitesse de propagation de la chaleur pour différents matériaux domestiques courants.

Lorsque les enquêteurs post-incendie maîtrisent les propriétés d'inflammation et de combustion de différents combustibles, ils sont plus à même de comprendre un incendie et d'établir un rapport précis en s'appuyant sur leurs connaissances des types de preuves et des caractéristiques des combustibles.

Exploration : Qu'est-ce que la vitesse de propagation de la chaleur et comment est-elle mesurée ?

Notre enquête s'articule autour de la PROBLÉMATIQUE suivante :

- Le matériau a-t-il un effet sur l'énergie thermique dégagée lors de la combustion ?

Connaissances et compétences essentielles

À l'issue de cette séquence, les élèves comprendront les principes suivants :

- Analyser et interpréter des données relatives aux propriétés des substances, avant et après l'interaction de ces dernières, afin de déterminer si une réaction chimique a eu lieu. (MS-PS1-2)
- Il est possible de suivre le transfert d'énergie lorsque celle-ci circule dans un système naturel ou créé. (MS-PS3-3)
- Le terme « chaleur », tel qu'il est utilisé dans le langage courant, désigne à la fois l'énergie thermique (mouvement d'atomes ou de molécules au sein d'une substance) et le transfert de l'énergie thermique d'un objet vers un autre. En science, la chaleur est seulement utilisée dans ce deuxième sens ; elle désigne l'énergie transférée en raison de la différence de température entre deux objets. (Annexe à MS-PS1-4)

À l'issue de cette séquence, les élèves seront en mesure de :

- Construire, utiliser et présenter des arguments oraux et écrits étayés par des preuves empiriques et des raisonnements scientifiques pour valider ou réfuter une explication ou un modèle concernant un phénomène. (MS-PS3-5)

ÉVALUATION : Comment se concrétisent ces connaissances ?

- Les élèves sont capables d'établir un rapport en s'appuyant sur les preuves recueillies pendant la phase d'observation et sur un raisonnement fondé sur leurs connaissances de la vitesse de propagation de la chaleur pour différents matériaux.
- En utilisant leurs connaissances, ils peuvent déterminer pourquoi les pompiers et les enquêteurs post-incendie ont tout intérêt à comprendre l'impact de la vitesse de propagation de la chaleur pour différents matériaux.

RÉSUMÉ DU LABORATOIRE

Les élèves regardent la vidéo interactive des experts en incendie du laboratoire de recherche d'UL pour formuler des remarques sur le déroulement de l'incendie et son comportement ainsi que sur la fumée émanant des différents combustibles. La vidéo montre ensuite comment fabriquer un calorimètre pour mesurer la chaleur dégagée par des meubles domestiques courants. Si votre salle de classe dispose de l'équipement et du système d'aération appropriés, vous pouvez suivre les instructions fournies pour construire un calorimètre pour l'enquête en classe.

Veillez prendre toutes les mesures de sécurité recommandées pour les laboratoires des établissements secondaires. Si vous ne disposez pas de l'équipement ou du système de ventilation appropriés pour les expériences sur le feu, montrez aux élèves la vidéo afin qu'ils découvrent les concepts, établissent des prédictions et observent les résultats.

EXAMINER LE PROBLÈME : CONTEXTE

Au cours des enquêtes précédentes, nous avons appris que ce ne sont pas les solides, mais les gaz qui brûlent. Au contact de la chaleur, un solide dégage des gaz combustibles qui sont inflammables. C'est ce qu'on appelle la **pyrolyse**.

Nous avons également appris que les matériaux synthétiques brûlent bien plus rapidement que les matériaux organiques. Les matériaux s'enflamment et brûlent à des vitesses différentes en fonction de leur masse et de leur densité. La facilité d'un matériau, comme le bois, à s'enflammer (ou la quantité d'énergie requise pour qu'il s'enflamme) peut varier selon sa taille ou sa forme. C'est là qu'intervient le **rapport surface/masse**.

Nous allons maintenant étudier la chaleur dégagée lors de la combustion de différents combustibles. Nous mesurerons la chaleur libérée par des matériaux domestiques et des aliments en examinant et en calculant la **chaleur de combustion**.

CHALEUR LIBÉRÉE ET CHALEUR DE COMBUS

Quelle différence y a-t-il entre la température et la chaleur ? Voici les définitions données par la National Fire Protection Association (NFPA) :

- o **Température** : degré de chaleur sensible d'un corps, mesuré par un thermomètre ou un instrument similaire.
- o **Chaleur** : type d'énergie caractérisé par la vibration de molécules et capable de donner lieu et de participer à des réactions chimiques et à des changements d'état.

La **chaleur de combustion** désigne l'énergie libérée par un combustible en feu. Il s'agit de la principale différence entre la chaleur et la température. Par exemple, la flamme d'une bougie peut avoir la même température que les flammes d'une table en feu, mais celles-ci dégageront une quantité d'énergie plus importante. Les flammes de différentes tailles peuvent avoir la même température, mais libérer une quantité d'énergie différente. La quantité d'énergie libérée dépend non seulement de l'énergie potentielle du matériau, mais aussi de l'oxygène consommé pendant la combustion.

Lorsque l'on mange, notre corps brûle des calories (c'est-à-dire l'énergie potentielle stockée dans la nourriture). On respire de l'oxygène, puis on oxyde et digère les aliments consommés. Nos activités physiques et la transpiration que nous produisons lorsque nous avons chaud activent la production de chaleur nécessaire pour brûler les calories consommées. Certains aliments fournissent plus d'énergie que d'autres.

Le feu est un processus d'oxygénation rapide qui dégage une certaine quantité de chaleur. Le calorimètre est un outil simple permettant de mesurer la chaleur dégagée lorsque des objets brûlent (par exemple, des aliments ou des articles qu'on retrouve fréquemment dans les habitations et les bâtiments).

Pour déterminer la chaleur de combustion d'un matériau combustible, un simple calorimètre suffit. Un calorimètre mesure l'énergie libérée au cours d'une réaction chimique (le feu) ou d'un changement de phase (d'un aliment ou d'un objet domestique, par exemple).

Nous allons brûler plusieurs objets sous une canette d'eau. La variation de température de l'eau donne une mesure approximative de la chaleur de combustion, c'est-à-dire de la chaleur générée et transférée de la canette à l'eau au cours de la combustion. Nous allons consigner la variation de température de l'eau.

Le matériau en feu constitue le combustible. Le combustible libère de l'énergie à mesure qu'il brûle sous la canette. L'énergie émanant des gaz chauds est transférée par un phénomène de convection à la canette, puis à l'eau. Nous pouvons d'ailleurs mesurer la variation de température de l'eau. Lorsque la flamme entre en contact avec la canette, la chaleur se transmet par conduction. Lorsque l'énergie de la lumière se transmet des flammes à la canette, on dit que la chaleur se transmet par radiation.

La plupart des habitations contiennent les éléments qui ont été brûlés au cours de cette enquête, comme du bois et de la nourriture. Les enquêteurs post-incendie doivent maîtriser les propriétés de combustion de différents objets domestiques courants. Ainsi, dès qu'ils arrivent sur les lieux d'un incendie et pénètrent dans une pièce entièrement calcinée, ils peuvent examiner les débris, repérer les éléments qui ont brûlé, comprendre comment le feu s'est propagé et interpréter les marques laissées par l'incendie. Lors de la recherche d'indices, les enquêteurs doivent déterminer comment les combustibles ont réagi au cours de l'incendie, savoir s'ils avaient des propriétés isolantes ou conductrices de chaleur, et mobiliser ces connaissances pour trouver le combustible qui a brûlé.

La vitesse d'inflammation indique avec quelle facilité et rapidité un objet peut prendre feu. Comprendre la vitesse d'inflammation et de combustion des articles domestiques les plus courants contribue à renforcer la sécurité. Les matériaux peuvent afficher une vitesse d'inflammation et de combustion différente selon qu'il s'agit d'objets organiques ou synthétiques. Les meubles en bois constituent une source combustible différente des meubles en mousse plastique ou en tissu synthétique.

CALORIMÉTRIE

Une calorie est une unité d'énergie. Une calorie correspond à la quantité d'énergie par unité de masse qui est requise pour élever la température d'un gramme d'eau de 1 degré Celsius. Lorsqu'on regarde les étiquettes des aliments, une calorie alimentaire équivaut à une kilocalorie, soit 1 000 calories.

La chaleur spécifique est une mesure de la capacité calorifique d'un matériau par unité de masse. La capacité calorifique indique la quantité de chaleur qu'un matériau peut absorber (stocker) par gramme (ou kilogramme ou livre) avant que la température ne varie.

- La chaleur spécifique est égale à la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un kilogramme de 1 Kelvin.

En termes de calories, la chaleur spécifique de l'eau est égale à 1 calorie par gramme par degré Celsius.

En termes de joules, la chaleur spécifique de l'eau est égale à 4,179 joules par gramme par degré Celsius.

Pour cette enquête, installez un calorimètre simple dans votre salle de classe si elle dispose d'une bonne ventilation et de surfaces ignifuges.

Veillez prendre toutes les mesures de sécurité recommandées pour les laboratoires des établissements secondaires. Si votre salle de classe ne dispose pas de l'équipement ou du système de ventilation appropriés pour les expériences sur le feu, servez-vous de la vidéo Xplorlabs fournie pour l'Enquête 3. La vidéo permet aux élèves de découvrir les différents concepts, d'établir des prédictions et d'observer les résultats.

Partie A : EXPLORATION

Le matériau dont est fait le combustible a-t-il un effet sur la quantité d'énergie libérée lors de la combustion ?

MATÉRIEL

(un ensemble par groupe d'élèves ou pour la présentation par l'enseignant)

- Vidéo de l'Enquête 3
- Cahier Xplorlabs destiné aux élèves
- Récipient ou canette de boisson gazeuse
- Cylindre gradué (pour mesurer l'eau)
- Eau (50 ml)
- Petit thermomètre numérique
- Support pour récipients ou canettes
- Trombone ou épingle droite
- Bouchon en liège
- Assortiment de vrais combustibles provenant de l'intérieur d'une maison
 - o Bois*
 - o Isolation en mousse*
 - o Tapis*
 - o Plaque de plâtre
 - o Morceaux de rembourrage de tapis
 - o Panneau de bois
 - o Tuyau de plomberie en plastique
 - o Tissu d'ameublement
- OU assortiment d'aliments
 - o Apéritifs au fromage*
 - o Guimauve*
 - o Chips*
 - o Miettes de hot dog
 - o Morceaux de saucisse

* Matériaux utilisés dans la vidéo Xplorlabs de l'Enquête 3

Attention : Les matériaux domestiques, même de petite taille, peuvent dégager de la fumée.

PROCÉDURE :

Préparez les matériaux en les pesant un par un, puis notez leur masse initiale dans le **tableau 1**.

Demandez aux élèves d'essayer de prédire l'énergie stockée par chaque objet : l'objet affichera-t-il une chaleur de combustion plus élevée ou plus faible que les autres ? Pourquoi ?

** Conseil aux enseignants : Regardez la vidéo avant de réaliser l'expérience afin de savoir comment mettre en place le calorimètre.*

1. Versez 50 ml d'eau dans un récipient ou une canette de boisson gazeuse. (Dans le tableau, la masse de l'eau doit être indiquée en grammes. Pour rappel, 1 ml = 1 g. Le millilitre (ml) est une unité de mesure du volume ; le gramme (g) est une unité de mesure de la masse.)
 2. À partir d'un trombone, créez un support pour les échantillons à tester.
 3. Notez dans le tableau le nom de l'échantillon 1 (objet brûlé) ainsi que sa masse en grammes.
 4. Installez l'échantillon 1 sur le trombone en vous assurant de la stabilité de l'ensemble. Placez l'objet au centre d'un couvercle en métal ou sur une surface non inflammable pour éviter tout danger en cas de renversement.
 5. Installez la canette ou le récipient dans un support, puis placez la base de la canette à 2,5 cm de l'échantillon 1.
 6. Prenez la température initiale de l'eau contenue dans la canette et notez-la dans le **tableau 1**.
 7. Vérifiez l'absence de tout objet inflammable autour de l'expérience et veillez à retrousser vos manches et à attacher vos cheveux.
 8. Utilisez le briquet à longue tige pour enflammer l'échantillon 1.
 9. Observez la réaction de la flamme, la fumée et la vitesse de combustion.
- Notez vos observations dans le tableau 1.

Note pour les enseignants : Ces trois échantillons brûlent de façon très différente. L'observation de ces échantillons permet de comprendre les grands principes de cette séquence sans avoir à utiliser les formules de calcul.

10. Une fois que l'échantillon a complètement brûlé, relevez la température maximale de l'eau en degrés Celsius et notez-la dans le tableau 1. Faites très attention ! Les éléments peuvent être très chauds !
11. Pesez l'objet en tenant compte du poids du trombone.
12. Pour calculer la chaleur de combustion de l'échantillon 1, commencez par calculer la chaleur absorbée par l'eau. Puis, à partir du résultat obtenu, utilisez la formule figurant au tableau 1.

Chaleur absorbée par l'eau (chaleur libérée en calories) = masse de l'eau (g) X chaleur spécifique de l'eau (cal/g °C) X écart de température (°C).

Tableau 1. Chaleur absorbée par l'eau (ou chaleur libérée)

Objet brûlé (numéro de l'échantillon)	Masse initiale de l'objet (g)	Masse de l'eau (g)	Température initiale de l'eau (°C)	Température maximale de l'eau (°C)	Hausse de la température (°C)	Chaleur absorbée par l'eau (cal) = chaleur dégagée (cal) <small>Chaleur dégagée (cal) = masse de l'eau (g) * masse de l'eau dans la canette * écart de température (°C)</small>	Observations concernant l'échantillon pendant la combustion
Exemple : guimauve	1 g	50 g	28 °C	37,2 °C	9,2 °C	460 cal	
1							
2							
3							

13. Pour calculer la chaleur de combustion, remplissez le tableau 2. Indiquez les valeurs suivantes :

La chaleur absorbée par l'eau (d'après le tableau 1), la masse initiale de l'objet avant la combustion, la masse de l'objet après la combustion et la perte de masse (différence entre la masse initiale et la masse après la combustion).

Calculez la chaleur de combustion à l'aide de la formule suivante : chaleur de combustion = chaleur absorbée par l'eau (chaleur dégagée) (cal) / masse consommée (g).

Tableau 2 : Chaleur de combustion

Objet brûlé (numéro de l'échantillon)	Chaleur absorbée par l'eau (cal) = chaleur dégagée (cal) D'après le tableau 1	Masse initiale de l'échantillon (g)	Masse de l'échantillon après la combustion (g)	Perte de masse de l'échantillon (g) = masse consommée	Chaleur de combustion (cal/g) Chaleur de combustion = chaleur dégagée (cal)/masse consommée (g)
Exemple : guimauve	460 cal	6,85 g	6 g	0,85 g	541 cal/g
1					
2					
3					

* Laissez la température redescendre au niveau ambiant ou initial avant de procéder à l'expérience suivante. Il est inutile de revenir exactement à la même température étant donné qu'on s'intéresse ici à la température relative.

- À l'aide d'une paire de pinces de laboratoire, videz l'eau de la canette dans l'évier, puis versez de nouveau 50 ml d'eau OU utilisez une nouvelle canette contenant 50 ml d'eau fraîche.
- Répétez la procédure avec les échantillons 2 à 5.

RÔLES DANS CHAQUE GROUPE (2 à 4 élèves)



PROCÉDURE – ENSEIGNANT

INTRODUCTION

MARCHE À SUIVRE

Posez aux élèves les questions suivantes : quel élément affiche une chaleur de combustion plus élevée : un apéritif au fromage ou un morceau de guimauve ? Un morceau de bois ou un morceau de tapis ?

Quel matériau s'enflamme plus vite/plus facilement ?
(Les réponses ne sont pas forcément évidentes.)

MARCHE À SUIVRE

Les élèves répondent en formulant une ou plusieurs hypothèses et en s'appuyant sur leur raisonnement

- A. Aliment
- B. Tapis

EXPLORATION

MARCHE À SUIVRE

Pour commencer, préparez environ 2 grammes de chaque matériau, dont vous noterez la masse initiale exacte.

** S'ils utilisent le cahier Xplorlabs, les élèves devront indiquer les objets domestiques et les aliments choisis pour cette expérience dans leur liste de matériel.*

1. Demandez aux élèves d'essayer de prédire l'énergie stockée par chaque objet : l'objet affichera-t-il une chaleur de combustion plus élevée ou plus faible que les autres ? Pourquoi ?

2. Suivez la procédure pour les objets 1 à 3.

* Laissez la température redescendre au niveau ambiant ou initial avant de procéder à l'expérience suivante. Il est inutile de revenir exactement à la même température étant donné qu'on s'intéresse ici à la température relative.

MARCHE À SUIVRE

1. Les élèves notent la masse initiale de l'objet avant la combustion.
2. Ils essaient de prédire le comportement de chaque matériau à tester : quel matériau brûlera plus longtemps ? Lequel affichera une chaleur de combustion plus élevée (quantité d'énergie plus importante) ? Pourquoi ?
3. Pendant l'inflammation et la combustion des matériaux, les élèves formulent des observations sur la vitesse d'inflammation, la forme des flammes, la modification physique des matériaux, etc.
4. Ils calculent la chaleur absorbée par l'eau (Tableau 1 : Chaleur absorbée par l'eau), puis la chaleur de combustion (Tableau 2 : Chaleur de combustion) (voir la procédure).

EXPLICATION

MARCHE À SUIVRE

Demandez aux élèves de présenter leurs conclusions et animez la discussion.

MARCHE À SUIVRE

Les élèves présentent leurs conclusions :

Rapport – L'objet X contient plus d'énergie que l'objet Y pour la combustion

Preuves – Quelles sont les preuves qui étayent le rapport ? Les calculs de la chaleur de combustion viennent-ils corroborer les observations visuelles ?

Raisonnement – Explications fournies par l'élève, par exemple pour montrer pourquoi les preuves viennent étayer ou contredire l'hypothèse.

PROCÉDURE – ENSEIGNANT

ÉVALUATION

MARCHE À SUIVRE

Pourquoi ces connaissances sont-elles utiles aux pompiers ?

Pourquoi ces connaissances sont-elles utiles aux ingénieurs en protection incendie ?

Pourquoi ces connaissances sont-elles utiles aux enquêteurs post-incendie ?

MARCHE À SUIVRE

Réfléchissez – Mettez-vous par groupe de deux – Échangez vos idées : à votre avis, comment ces connaissances s'appliquent-elles à la lutte contre les incendies et aux enquêtes post-incendie ?

ÉVALUATION

MARCHE À SUIVRE

À l'aide de la rubrique « Rapports, preuves et raisonnement », évaluez la qualité et l'exactitude des réponses et commentez les travaux des élèves.

MARCHE À SUIVRE

Question : Quels types de combustibles présentent une chaleur de combustion plus élevée ?

D'après les mesures réalisées lors de cette enquête, que peut-on affirmer concernant l'énergie libérée par différents matériaux en feu ?

Quelles sont les preuves dont nous disposons ?

Pourquoi les enquêteurs post-incendie doivent-ils connaître ces phénomènes ?

** Si le temps le permet, les élèves utilisent la rubrique « Rapport, preuves et raisonnement » pour s'auto-évaluer individuellement ou s'évaluer mutuellement en binôme.*

POUR ALLER PLUS LOIN

SUPPLÉMENT

En suivant la procédure ci-dessus, incluez d'autres objets domestiques courants, comme les carreaux de céramique, les briques, les plaques de plâtre, les tapis synthétiques, les étoffes de laine ou d'autres articles ou matériaux fréquents dans les habitations.