

Thème : L'énergie

Chapitre : L'énergie chimique

Objectifs :

- Identifier le système chimique
- Identifier un effet thermique associé à la transformation chimique d'un système.
- Associer à une transformation chimique exothermique (endothermique) une diminution (augmentation) de l'énergie du système.
- Identifier, dans une réaction de combustion, le combustible et le comburant.
- Identifier l'apport d'énergie nécessaire pour initier une combustion et interpréter l'auto-entretien de celle-ci.
- Comparer les pouvoirs calorifiques de différents combustibles.
- Mettre en œuvre une expérience pour déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible.
- Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection associés.

Sommaire

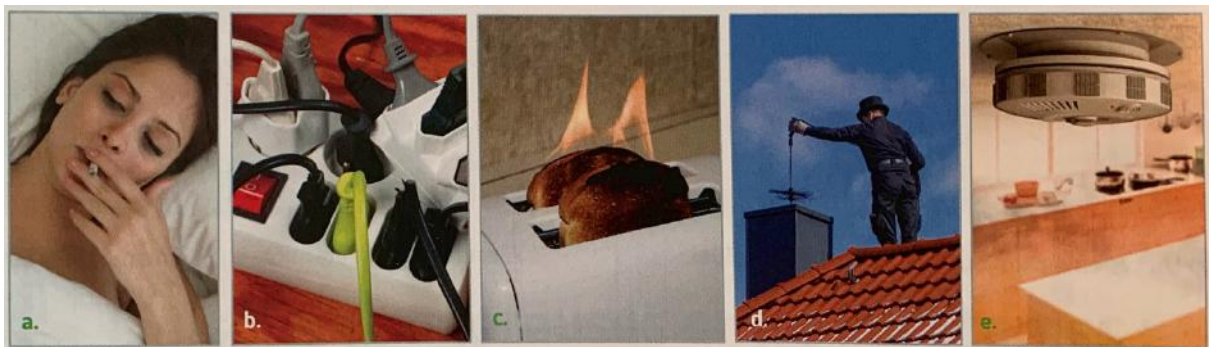
1. Introduction	2	du quotidien	5
2. Cours	3	4. Activité 2 : Les dangers liés aux combustions	6
2.1 La combustion, une transformation chimique	3	5. Activité 3 : Qu'est ce qu'une chaîne énergétique ?	7
2.2 Différentes formes d'énergies . . .	3	6. Activité 4 : Transformations chimiques	9
2.3 Pouvoir calorifique	3	7. Exercices	11
2.4 Dangers liés aux combustions . . .	4		
2.5 Mesures de prévention et de détection	4		
3. Activité 1 : La combustion et l'énergie			

1. Introduction

Comment éviter un incendie domestique ?

En France, un incendie domestique survient toutes les 2 minutes. Plusieurs centaines de personnes y trouvent la mort chaque année. C'est la nuit qu'ont lieu 70% des incendies meurtriers, la fumée surprenant les gens dans leur sommeil.

1. Lors d'un incendie, risque-t-on plutôt de mourir par brûlures ou bien par inhalation des gaz et des fumées ?
2. **Décrire** les actions que suggèrent les images a, b et c de la figure ci-dessous. Dans chaque cas, pourquoi pourraient-elles déclencher un incendie ?
3. Que fait la personne sur le toit ? Quel est l'objet suspendu au plafond ? À quoi sert-il ?
4. Vous êtes responsable de la sécurité d'un ensemble d'immeubles d'habitation. Vous devez rédiger un texte de recommandations, afin d'aider les gens à se prémunir des risques d'incendies domestiques. Que conseillez-vous aux habitants de faire et de ne pas faire ?



Chaud devant !

1. Selon vous, quelles sont les images de la figure ci-dessous qui suggèrent un dégagement de chaleur ?
2. Selon vous, quelles sont les images qui suggèrent une transformation d'origine chimique ?
3. **En déduire** les images qui suggèrent des situations où de l'énergie chimique est transformée en énergie thermique. **Justifier** en rédigeant une phrase qui décrit cette transformation.



2. Cours

2.1 La combustion, une transformation chimique

- Un **système chimique** est l'ensemble des espèces chimiques présentes dans un espace donné. On décrit l'état de ce système en précisant la nature et les quantités des espèces présentes, l'état physique (solide, liquide ou gazeux) ainsi que la température T ou la pression P du système.
- La **combustion** est une transformation chimique produisant de la chaleur.
- Un **combustible** est une matière capable de brûler en présence de dioxygène en produisant une quantité de chaleur utilisable.
- Un **comburant** est une espèce chimique qui a pour propriété de permettre la combustion d'un combustible ; c'est un composé généralement riche en élément oxygène
- Une combustion n'a lieu que si sont réunis : un combustible (bois, essence, méthane, fer, etc.), un comburant (généralement le dioxygène) et de l'énergie (sous forme de chaleur généralement).
- Pour initier une combustion il est nécessaire d'**apporter une énergie** suffisante pour démarrer la réaction, c'est l'**énergie d'activation**, noté E_a .
- La combustion **s'auto-entretient** : une fois initiée, l'énergie libérée apporte l'énergie nécessaire pour prolonger la réaction.



FIGURE 1 – Le triangle du feu.

2.2 Différentes formes d'énergies

- Les transformations chimiques d'un système entraînent généralement un **transfert d'énergie**.
- Si, au cours d'une transformation chimique, le système chimique fournit de l'énergie au milieu extérieur sous forme de chaleur, l'énergie du système chimique diminue : la transformation est qualifiée **d'exothermique**.
- Si, au cours d'une transformation chimique, le système chimique absorbe de l'énergie, sous forme de chaleur, du milieu extérieur, son énergie augmente : la transformation est qualifiée **d'endothermique**.

2.3 Pouvoir calorifique

Le **pouvoir calorifique** d'un combustible est égal à la quantité d'énergie dégagée sous forme de chaleur par la combustion complète, sous pression atmosphérique normale, d'une mole ou d'un kilogramme de ce combustible. Il s'exprime respectivement en joule par mole ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$) ou joule par kilogramme ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) ou, dans la vie courante, en $\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$.

	Charbon	Méthane	Propane	Essence	Diesel	Éthanol	Bois sec	Bois humide
PC ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	33,3	50,1	45,8	42,5	43,0	28,8	14,0	8,0

TABLE 1 – Tableau comparatif des PC par type de combustibles.

2.4 Dangers liés aux combustions

Il y a en France un **incendie domestique** toutes les 2 minutes, soit 250 000 sinistres par an.

- En 2015, ces incendies ont causé environ 10 000 blessures et 800 décès. Dans 80% des cas, la mort est due à l'inhalation de fumées.
- 100 personnes meurent également chaque année d'une **intoxication au monoxyde de carbone** (CO), qui est un gaz toxique, inodore, incolore et sans saveur.
Ce gaz apparaît lorsque la combustion est **incomplète**, c'est-à-dire lorsque la quantité de comburant est insuffisante.
- Dans certaines proportions particulières entre combustibles et comburants, a lieu une **explosion** : une réaction de combustion très rapide, très brutale et très destructrice.

2.5 Mesures de prévention et de détection

Les combustions sont une source d'énergie indispensables, mais présentent des dangers aux conséquences qui peuvent être dramatiques.

Pour éviter cela, il existe des mesures simples de prévention, de détection et de protection.

Le tableau ci-dessous rassemble quelques-unes des principales mesures qui peuvent et doivent être mises en œuvre :

	Prévention	Détection et protection
Incendie	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien des installations de chauffage et des cheminées • Bien éteindre les cigarettes ou bougies après usage • Ne pas laisser une poêle sur le feu sans surveillance • Ne pas jouer avec le feu 	Détecteur de fumée Extincteur
Asphyxie	<ul style="list-style-type: none"> • Appareil de chauffage conforme aux normes • Bonne ventilation des pièces 	Détecteur de fumée Détecteur de monoxyde de carbone
Intoxication	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien des appareils à combustion • Nettoyer les entrées d'air • Entretien des conduits d'évacuation des fumées 	Détecteur de monoxyde de carbone
Explosion	<ul style="list-style-type: none"> • Révisions des installations utilisant le gaz • Dégager les conduits d'aération et de ventilation 	Détecteur avertisseur de gaz

3. Activité 1 : La combustion et l'énergie du quotidien

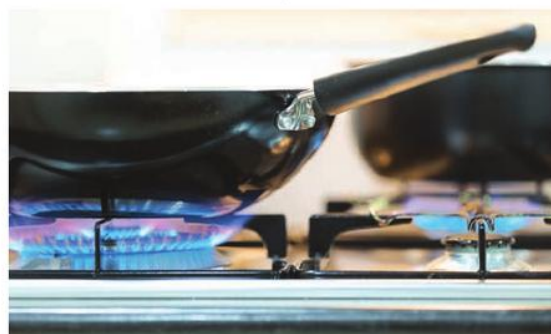
Objectif :

- Identifier un effet thermique associé à la transformation chimique d'un système.
- Identifier dans une réaction de combustion le combustible, le comburant.
- Comparer les pouvoirs calorifiques de différents combustibles.

La production d'énergie quotidienne fait très souvent appel à une réaction de combustion : par exemple celle de l'essence ou du diesel dans le moteur d'une voiture pour se déplacer, ou celle du gaz ou du bois dans la chaudière d'une habitation pour se chauffer, ou encore du charbon pour générer de l'électricité dans des centrales thermiques.



▲ Moteur à combustion interne
Il est conçu pour transformer une énergie thermique en énergie mécanique. Cette énergie mécanique peut être transformée en électricité pour l'habitat grâce aux groupes électrogènes.



▲ Habitat et combustion
Dans l'habitat, l'énergie produite par la combustion est utilisée pour chauffer l'eau, le logis, les aliments...

La combustion est une réaction qui génère de l'énergie thermique, c'est-à-dire de la chaleur par la combinaison de deux corps : le **combustible** et le **comburant** qui est le plus souvent le dioxygène de l'air. Pour qu'une combustion puisse commencer, il faut un apport d'**énergie** afin d'initier la réaction de combustion.

Ces trois éléments doivent être réunis pour que la combustion ait lieu. Ils sont représentés sous la forme d'un triangle : le **triangle du feu**, dont la représentation (ci-contre) permet de comprendre l'origine des combustions.



FIGURE 1 – Qu'est ce qu'une combustion ?

L'énergie thermique que peut générer une combustion dépend du combustible utilisé.

Le **pouvoir calorifique** d'un combustible (ou PC) est l'énergie que peut fournir la combustion complète d'un kilogramme de ce combustible : il s'exprime en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

FIGURE 2 – Notion de pouvoir calorifique.

On distingue le **pouvoir calorifique inférieur** (PCI), qui est l'énergie utilisable lorsque la combustion produit du dioxyde carbone et de l'eau sous forme de vapeur, du **pouvoir calorifique supérieur** (PCS), qui est l'énergie utilisable lorsqu'on récupère l'énergie thermique des fumées et de la vapeur d'eau produite, comme dans les chaudières à condensation par exemple.

	Charbon	Méthane	Propane	Essence	Diesel	Éthanol	Bois sec	Bois humide
PCI ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	33,3	50,1	45,8	42,5	43,0	28,8	14,0	8,0
PCS ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	34,1	55,5	48,9	46,7	45,9	29,7	19,0	10,0

FIGURE 3 – PCI et PCS

1. Citer les combustibles utilisés dans un moteur à combustion interne et dans l'habitat.
2. Quel est, dans la majeure partie des cas, le comburant nécessaire à une combustion ?
3. Quels sont les produits d'une réaction de combustion ?
4. Quel est le combustible qui présente le meilleur rapport énergie dégagée/masse pour chauffer un logement ?

4. Activité 2 : Les dangers liés aux combustions






Objectif :

- Citer les dangers liés aux combustions et les moyens de prévention et de protection associés.

Un incendie se déclare lorsque les trois éléments du triangle du feu (combustible, comburant et apport initial d'énergie) sont réunis.

Pour pouvoir **éteindre un incendie**, il faut en identifier l'origine et le type de combustible impliqué.

À chaque **classe de feu** correspond un moyen pour éteindre l'incendie. Supprimer un des éléments du triangle du feu revient à ôter toute possibilité au feu de démarrer ou de perdurer.

Classe A Feux de matériaux solides	Classe B Feux de liquides ou de solides liquéfiables	Classe C Feux de gaz	Classe D Feux impliquant des métaux	Classe F Feux liés aux auxiliaires de cuisson sur les appareils de cuissons
				
Bois, papier, carton, charbon, textiles naturels, végétaux...	Éther, alcool, solvant, matière plastique, tissus synthétiques...	Gaz de ville, butane, propane...	Aluminium, sodium, lithium...	Huiles et graisses d'origines végétale et animale...

▲ Les cinq classes de feu

FIGURE 1 – L'incendie.

Lorsqu'une combustion est **incomplète**, c'est-à-dire lorsque l'air est appauvri en dioxygène, du **monoxyde de carbone** se forme. C'est un gaz incolore, inodore et sans saveur et très toxique.

Plus sa concentration dans l'air est élevée et plus le décès peut survenir rapidement. Ainsi, si sa concentration est de 0,1% dans l'air, la mort intervient au bout d'une heure, mais cette durée tombe à 15 min pour une concentration de 1%.



FIGURE 2 – L'intoxication au monoxyde de carbone.



L'explosion se définit par une réaction de combustion très rapide et très brutale entraînant une forte élévation de la température et/ou de la pression.

De nombreuses substances (gaz, mais aussi farine, sucre, sciure de bois...) sont susceptibles de provoquer des explosions. Il ne peut y avoir une explosion qu'après formation d'une

atmosphère explosive. Celle-ci résulte d'un mélange d'air et de substances combustibles dans des proportions telles qu'une petite source de chaleur ou une simple étincelle produise une explosion.



FIGURE 3 – L'explosion.

1. Citer les dangers liés aux combustions.
2. Quelles techniques peut-on envisager pour éteindre un incendie ?
3. Quelles sont les causes d'une apparition du monoxyde de carbone ? Pourquoi ce gaz est-il si dangereux et comment s'en protéger ?
4. Si dans la cuisine votre poêle ou votre friteuse prend feu comment réagir ?
5. Est-il judicieux d'appeler les pompiers de l'intérieur d'un appartement dans lequel on sent le gaz ?

5. Activité 3 : Qu'est ce qu'une chaîne énergétique ?

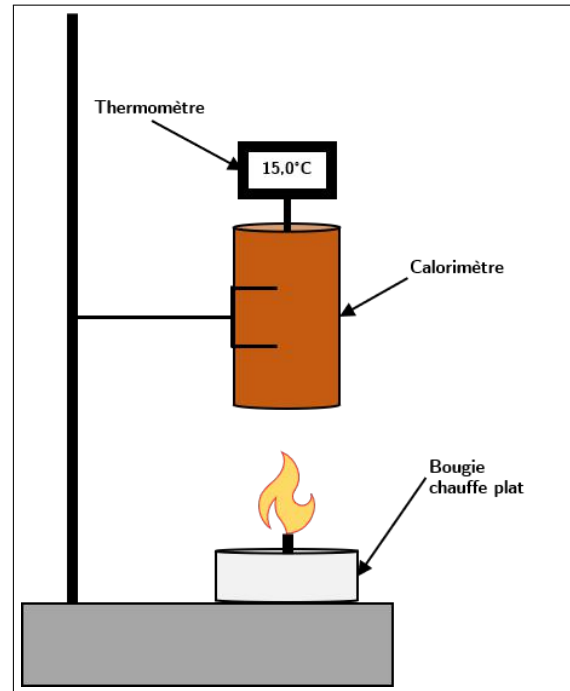
Objectif :

- Identifier le système chimique.
- Mettre en œuvre une expérience pour déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible.

On veut déterminer la valeur du pouvoir calorifique de la paraffine, élément principal constituant les bougies.

Protocole expérimental

- Réaliser le montage ci-contre.
- Mesurer la masse, m_i de la bougie avant l'expérience.
- Verser environ 50 mL d'eau dans le « calorimètre » puis déterminer par pesée la masse exacte m_{eau} d'eau introduite.
- Noter la température initiale de l'eau θ_i .
- Chauffer l'eau du calorimètre avec la bougie et attendre que la température de l'eau atteigne les 60°C.
- Éteindre la bougie, attendre qu'elle refroidisse et la peser.
- Relever sa masse m_f .



Notations

On note :

- Q_1 l'énergie reçue par l'eau froide telle que :

$$Q_1 = m_{eau} \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_i) \quad (1)$$

- Q_2 l'énergie libérée par la combustion de la paraffine.
- Q l'énergie reçue par le calorimètre telle que :

$$Q = m_c \times c_{calorimetre} \times (\theta_f - \theta_i) \quad (2)$$

On suppose que l'ensemble « bougie+calorimètre » est un système isolé donc :

$$Q_1 + Q_2 + Q = 0 \quad (3)$$

Données :

- $c_{eau} = 4,18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- $c_{calorimetre} = 904 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- PC de la paraffine : 46 MJ.kg^{-1} ;
- Paraffine : $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$;
- Masse molaire (g.mol^{-1}) : C : 12 ; H : 1

1. **Calculer** la quantité de matière n de paraffine brûlée. La quantité de matière s'exprime par la relation :

$$n = \frac{m}{M} \quad (4)$$

avec n en mol, m en g et M en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. **Calculer** l'énergie Q_2 libérée par la combustion de la paraffine.

3. Le pouvoir calorifique (PC) d'un combustible correspond à l'énergie libérée par unité de masse de ce combustible. Il est mesuré en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$. **Évaluer** le PC du combustible étudié.

4. **Comparer** la valeur obtenue avec le PC de la paraffine donnée dans l'énoncé.

5. **Justifier** la différence entre la valeur théorique et celle calculée à la question 3.

6. Activité 4 : Transformations chimiques

Objectif :

- Identifier le système chimique
- Identifier un effet thermique associé à la transformation chimique d'un système.
- Associer à une transformation chimique exothermique (endothermique) une diminution (augmentation) de l'énergie du système.

Lorsque les toilettes sont bouchées, on y déverse des pastilles ou des cristaux de soude et on laisse agir. Sur l'emballage de la soude en cristaux ou en pastilles, on trouve toujours la mention : « Toujours verser la soude dans l'eau. Ne jamais verser d'eau sur les cristaux de soude ». Savez-vous pourquoi ? Savez-vous à quel très grave danger vous seriez exposé en ne respectant pas cette précaution ?

Une dissolution est une transformation chimique en trois phases : la dissociation, la solvatation et la dispersion du soluté (l'espèce solide introduite) dans le solvant (la phase liquide, ici l'eau).

Les deux premières étapes consomment de l'énergie alors que la troisième étape en dégage. Le bilan énergétique global de ces trois étapes permettra de savoir si la température finale de la solution obtenue augmentera, diminuera, ou sera inchangée.

Matériel disponible

- | | |
|--|--|
| — Hydroxyde de sodium (NaOH ou soude) en pastilles | — 3 béchers de 100 mL, 1 éprouvette graduée de 50 mL |
| — Chlorure d'ammonium (NH_4Cl) en poudre | — Agitateur en verre |
| — Chlorure de sodium (NaCl) en poudre | — Thermomètre |
| — Balance de précision 10^{-1}g | — Pissette d'eau distillée |
| — 3 coupelles en plastique et spatules | — Lunettes et gants de protection |

1. **Rédiger** un protocole expérimental permettant de déterminer si la dissolution de chacun des trois solides dégage ou non de l'énergie.
2. Après validation du professeur, **réaliser** votre protocole et **présenter** vos résultats sous forme de tableau. **Faire** un schéma du dispositif expérimental.
3. **Conclure**.
4. Quelle(s) dissolution(s) est (sont) exothermique(s) ? Endothermique(s) ? Athermique(s) ?
5. Que se passerait-il si vous faisiez l'erreur de mettre l'eau dans la soude au lieu de mettre la soude dans l'eau ?

Une fiche d'explication pour préparer une solution par dissolution est disponible sur la prochaine page.

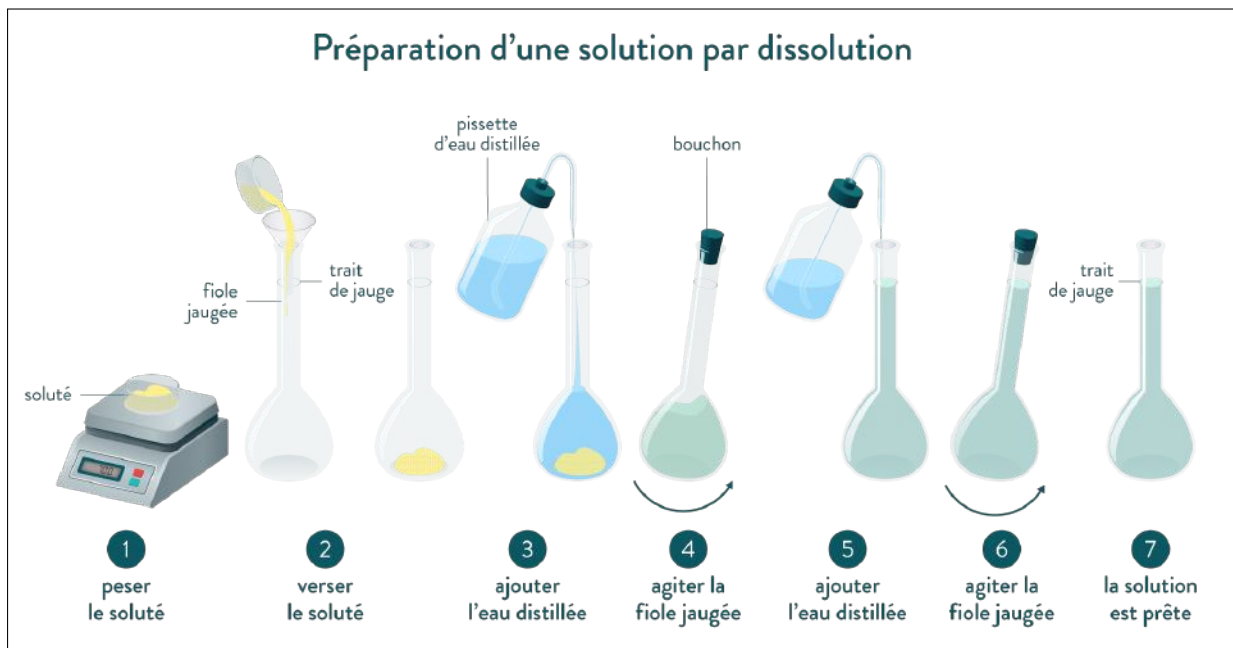


FIGURE 1 – Comment préparer une solution par dissolution ?

7. Exercices

Exercice 1

Dans les situations décrites ci-dessous, **identifier** les combustibles et les comburants, puis citer au moins une possibilité d'apport d'énergie nécessaire pour initier la combustion :

- Une maison d'habitation est soufflée par une explosion de gaz.
- Monsieur Durant utilise son barbecue à charbon pour faire des grillades.
- Mme Durant cuisine sur son piano au gaz naturel.
- Les feux de forêt du « Camp Fire » qui a ravagé la Californie ont, semble-t-il, été déclenchés par la foudre.
- Vous allumez les bougies en paraffine de votre gâteau d'anniversaire avec un briquet.

Exercice 2

Calculer l'énergie libérée par la combustion de :

- une bouteille de 13 kg de butane
- un cube de 5 kg de propane
- une bouteille d'un litre d'éthanol de 1,0 L de densité 0,789.

Données : PC (MJ.kg⁻¹) : Méthane : 50,0 ; Propane : 46,3 ; Éthanol : 26,8.

Exercice 3

L'essence est constituée d'un mélange d'hydrocarbure de formule brute C₈H₁₈. La combustion a lieu dans le cylindre du moteur lorsque la bougie produit une étincelle. Le *PC* de l'essence est de 42,4 MJ.kg⁻¹ et sa densité est de $d = 0,750$.

1. **Préciser** le comburant et le combustible.
2. La réaction de combustion de l'essence est exothermique. **Expliquer** pourquoi.
3. La consommation de la DS7 est de 5,9 L pour 100 km en cycle mixte (cycle urbain et route). **Déterminer** la masse d'essence consommée lors de ce trajet de 100 km.
4. **Calculer** l'énergie fournie par la combustion de l'essence sur un parcours de 200 km.
5. De quelle nature est l'apport d'énergie nécessaire pour initier la combustion ?

Exercice 4

Une voiture roulant avec de l'éthanol C₂H₆O a une surconsommation de 20% par rapport à une voiture à essence qui consomme en moyenne 7,0 L aux 100 km.

1. Quel est le volume V d'éthanol consommé pour parcourir 100 km ?
2. **Calculer** la masse m correspondante.
3. **Calculer** l'énergie fournie par la combustion de cette quantité d'alcool.
4. **Comparer** cette énergie à celle dégagée par la combustion des 7,0 litres d'essence.

Données : masse volumique de l'éthanol $\rho = 789 \text{ kg.m}^{-3}$; masse volumique de l'essence $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$; PC de l'éthanol : 26,8 MJ.kg⁻¹; PC de l'essence : 42,7 MJ.kg⁻¹.

Exercice 5

Pour aller dans l'espace, il faut « s'arracher » à l'attraction terrestre. À son décollage, Ariane 5 pousse 20 fois plus qu'un avion de ligne. Cette énergie est produite par les moteurs des fusées : la combustion délivre de l'énergie thermique. Les gaz de combustion sont expulsés à des vitesses considérables. En vertu du principe d'action/réaction, cette expulsion propulse le moteur.

Combustibles	Dihydrogène	Essence SP95
PC (MJ.kg ⁻¹)	120	42,7

Le dihydrogène très léger concentre énormément d'énergie pour une masse donnée : 1 kg de dihydrogène fournit trois fois plus d'énergie qu'un kilogramme d'essence. C'est le carburant idéal pour propulser un lanceur spatial pour lequel chaque kilogramme embarqué compte.

FIGURE 1 – PC de deux combustibles.

Dans l'étage principal cryotechnique d'Ariane 5, la combustion du dihydrogène produit une énorme quantité de vapeur d'eau qui est détendue à très grande vitesse à travers la tuyère du moteur Vulcain.

Le dihydrogène brûle au contact du dioxygène, mais ce dernier est absent de l'espace. C'est pourquoi, Ariane 5 emporte dans son immense réservoir central 162 tonnes de dioxygène liquide à -183°C et 28 tonnes de dihydrogène liquide à -253°C . Les réservoirs spécifiques qui les contiennent font 5,5 tonnes et les parois ne font que 4 mm d'épaisseur.



FIGURE 2 – La propulsion cryogénique.

1. **Justifier** la réponse : 1 kg de dihydrogène fournit trois fois plus d'énergie qu'un kilogramme d'essence.
2. Quelle espèce chimique est le carburant ? le comburant ?
3. Quelle quantité d'énergie est susceptible de libérer la quantité de dihydrogène embarquée dans la fusée ?

Exercice 6

Une boîte de soda en aluminium, de masse $m = 11,2$ g, contient $m_{eau} = 110$ g d'eau. Cet ensemble est chauffé pendant une durée $t = 60,0$ s avec un bec bunsen branché au gaz de ville contenant du méthane. Le débit volumique du bec bunsen est $D_v = 4,38 \times 10^{-3}$ L.s⁻¹. L'élévation de la température est de $18,2^{\circ}\text{C}$.

1. **Montrer** que le volume de méthane ayant brûlé est de $V = 0,263$ L.
2. **Calculer** la quantité d'énergie Q_1 reçue par l'eau grâce à l'expression $Q_1 = m_{eau} \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_i)$.
3. **Calculer** la quantité d'énergie Q_2 reçue par la boîte grâce à l'expression $Q_2 = m \times c_{boite} \times (\theta_f - \theta_i)$.
4. **En déduire** la quantité d'énergie Q libérée par la combustion en considérant que la totalité de l'énergie libérée par la combustion du méthane est utilisée pour chauffer les deux corps.
5. **En déduire** la valeur du PC déterminée expérimentalement, en MJ.kg⁻¹.
6. Le PC théorique du méthane est de 50 MJ.kg⁻¹. **Comparer** ces deux valeurs.
7. Quelles sont les sources d'incertitude possibles ?

Données : capacité thermique de la boîte : $c_{boite} = 904$ J.kg⁻¹.K⁻¹ ; capacité thermique de l'eau : $c_{eau} = 4,18 \times 10^3$ J.kg⁻¹.K⁻¹ ; masse volumique du méthane : $0,656$ kg.m⁻³.

Exercice 7

Le chauffage au fioul d'une maison consomme 1000 L de fioul par an. Pour réaliser des économies, on envisage le chauffage à bois.

Les graphiques suivant donnent le PC et le taux d'humidité d'un combustible.

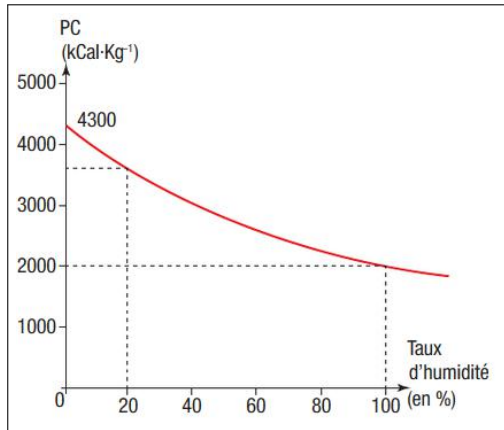


FIGURE 3 – PC du bois en fonction du taux d'humidité.

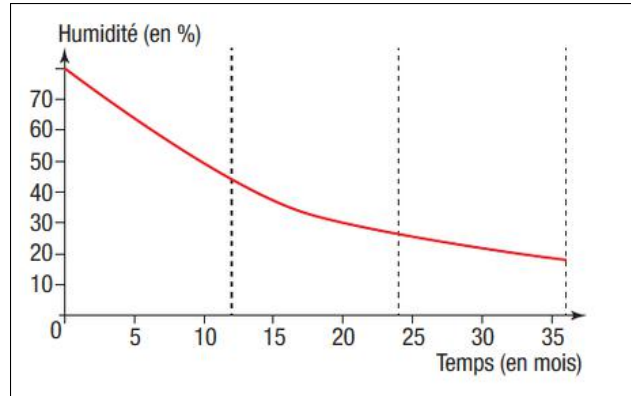


FIGURE 4 – Évolution du taux d'humidité du bois de chêne en fonction du temps.

1. Quelle masse représentent les 1000 L de fioul ?
2. Calculer l'énergie (en joule) libérée par la combustion complète des 1 000 L de fioul.
3. On dispose de 5 stères de bois de chêne sec (3 ans de séchage). Cette quantité est-elle suffisante pour remplacer totalement le chauffage au fioul ?
4. Reprendre la question précédente en considérant un bois de chêne frais.

Données : PC du fioul : $12,8 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$; Densité du fioul : 0,85 ; Masse d'un stère de chêne sec : 530 kg ; Masse d'un stère de chêne frais : 770 kg ; $1 \text{ kWh}=3,6 \text{ MJ}$; $1 \text{ kCal}=4184 \text{ J}$.