

Un hamburger a-t-il plus d'énergie qu'une Formule 1 ?

Autour du concept énergie

par **Dominique DUCOURANT**
Collège Joffre - 34000 Montpellier
domi.ducourant@orange.fr

Béatrice SALVIAT
Fondation *La main à la pâte* - 75006 Paris
beatrice.salviat@fondation-lamap.org

et **Philippe TOURON**
Collège Saint-Érembert - 78100 Saint-Germain en Laye
philippe.touron@ac-versailles.fr

L'ÉNERGIE est l'objet de questionnements pédagogiques et didactiques, pour lesquels *Le Bup* est un terrain de partage privilégié. Une question spontanée d'élève est à l'origine de cet article, dans lequel une étonnante comparaison entre « hamburger de restauration rapide » et « automobile de course » est discutée. Quelques réponses et pistes de réflexion sont proposées pour aider l'élève à sortir de sa légitime perplexité.

INTRODUCTION

L'énergie est un concept qui transcende les disciplines⁽¹⁾. Le mot énergie en lui-même pose question. En fonction des contextes où il est employé : dans le langage courant, en sciences et même au sein des disciplines scientifiques, il revêt une grande polysémie. L'idée est de montrer que l'énergie est à la fois « une » et « multiple », comme le suggère le titre du livre « Une énergie, des énergies » [1] ; il s'agit aussi d'aider les élèves à différencier les grandeurs physiques en lien avec l'énergie, pour donner du sens et éviter les confusions.

1. UNE QUESTION D'ÉLÈVE

1.1. Situation de départ

Un élève, pendant le cours de technologie en classe de troisième, a interpellé son professeur pour lui faire part de son étonnement concernant deux informations repé-

(1) Voir à ce sujet le numéro thématique de la revue *Recherches en didactiques des sciences et technologie*, qui s'intitule « énergies » coordonné par Christian Buty et Ludovic Morge. RDST, n° 10/2014, ainsi que l'ouvrage : *L'Énergie à découvert* de Rémy Mosseri, Catherine Jeandel, CNRS édition 2013.

rées sur un site Internet dédié à l'énergie [2] où il était écrit :

- ◆ énergie chimique contenue dans un hamburger phare d'une célèbre enseigne de restauration rapide⁽²⁾ : 495 kcal soit environ 2 MJ ;
- ◆ énergie cinétique d'un véhicule de 1 000 kg roulant à 180 km/h : 1 250 000 joules.

Question de l'élève

Comment se peut-il qu'un hamburger ait plus d'énergie qu'une Formule 1 roulant à 180 km/h ?



Figure 1

Remarque : Le terme «Formule 1» a été émis spontanément et repris ensuite tel quel lors des échanges en classe. Or, la Fédération internationale de l'automobile (FIA) fixe à 702 kg la masse minimale d'une Formule 1, pilote inclus et hors carburant [3]. Malgré la différence de masse, les auteurs maintiennent le terme «Formule 1» dans ce qui suit.

1.2. Analyse de la situation

L'élève a pris soin de comparer deux grandeurs dans la même unité, ce qui est correct en soi ; son étonnement peut se comprendre, car intuitivement il aurait inversé les valeurs pour l'énergie.

Pourquoi l'élève est-il choqué ?

Dans ses représentations initiales, «le hamburger est plus petit, plus léger et immobile à l'inverse de la Formule 1».

La voiture a « moins d'énergie » et pourtant il est évident pour lui qu'elle est « plus puissante ».

Quelle différence y a-t-il entre l'énergie et la puissance ?

1.2.1. Comparaison des puissances

Supposons que l'assimilation du hamburger par l'organisme humain (digestion,

(2) Concernant le hamburger, l'enseigne de restauration en question ne nous a autorisés, ni à citer, ni à reproduire son produit dans cet article !

transport par le sang puis oxydation complète par respiration dans les cellules) dure quatre heures, tandis que l'automobile atteint sa vitesse de 180 km/h en quatre secondes (rappelons que sur route la vitesse limite autorisée est de seulement 130 km/h).

Il est intéressant de comparer les puissances. L'unité de puissance, le watt (W), correspond à la dissipation d'une énergie d'un joule (J) en une seconde (s).

- ◆ Puissance du hamburger : $\frac{2\,000\,000\text{ J}}{4 \times 3\,600\text{ s}} \approx 140\text{ W}$, soit l'équivalent de la puissance électrique absorbée par un ordinateur en veille.
- ◆ Puissance de la Formule 1 : $\frac{1\,250\,000\text{ J}}{4\text{ s}} \approx 312\,500\text{ W}$; il ne s'agit pas de la puissance du moteur qui est bien supérieure.

La Formule 1 est bien plus puissante que le hamburger !

Point d'achoppement pour l'élève

Les difficultés rencontrées par l'élève par rapport aux données contre-intuitives sur les valeurs de l'énergie, celle du hamburger et celle de la Formule 1, se situent à deux niveaux :

- ◆ *Au niveau du lien avec la vie courante* : les valeurs des énergies stockées par ces deux systèmes apparaissent contre-intuitives pour l'élève, car dans la vie courante, ce ne sont que les débits d'énergie qui sont observables, à savoir les transferts d'énergie. Les effets instantanés d'une Formule 1 lancée à cette vitesse sont bien plus importants car visibles (ou manifestes) que les effets observables de la digestion d'un hamburger sur un certain temps, sauf en cas de gastroentérite, et encore, le transfert d'énergie est alors à la fois inefficace et désagréable.
- ◆ *Au niveau des grandeurs physiques* : la confusion implicite entre puissance et énergie est à l'origine de l'étonnement de l'élève. La confusion entre deux grandeurs liées (il en va de même pour la confusion entre masse et volume) est récurrente chez les élèves et c'est pourtant la compréhension du lien entre les grandeurs qui permet à la fois de les différencier et de les affirmer comme telles.

Autres exemples de confusions entre puissance et énergie

- ◆ On entend dire parfois que le TNT a plus d'énergie que le pétrole, à masse égale. Qu'en est-il ? En réalité un kilogramme de TNT contient dix fois moins d'énergie qu'un kilogramme de pétrole, c'est la confusion entre énergie et puissance qui est sous-jacente ; en effet, le TNT est plus puissant que le pétrole, mais renferme beaucoup moins d'énergie. Il la délivre rapidement, car il explose au contact de l'air. Par contre, le pétrole brûle lentement au contact de l'air [4].
- ◆ Considérons la même charge de poudre contenue dans une cartouche à balle pour fusil de chasse et supposons qu'elle se trouve confinée dans la douille de la cartouche ou étalée sur quelques centimètres à l'air libre. Dans le premier cas, la combustion

est instantanée après percussion dans le fusil ; dans le second cas, elle dure plusieurs secondes après qu'on l'ait amorcée à l'aide d'une allumette enflammée. Dans les deux cas, l'énergie de combustion reste la même (même masse de poudre), mais les deux puissances de combustion sont bien différentes ; la première permet de propulser environ 30 g de plomb à 380 m/s alors que la seconde permet seulement de produire un « pschiiittt » inoffensif.

Remarque : Ne pas chercher à reproduire ces expériences au laboratoire et interdire formellement aux élèves de s'y risquer chez eux.

Le facteur temps intervient dans le calcul de la puissance ; on peut dire que la puissance traduit la rapidité avec laquelle l'énergie est transférée. C'est donc un débit d'énergie.

1.2.2. Comparaison des énergies par unité de masse de l'objet

Pour prolonger la réflexion, proposons une autre comparaison entre les énergies massiques du hamburger et de la Formule 1 : s'il existe un facteur 2 approximativement entre l'énergie chimique du hamburger et l'énergie cinétique de la Formule 1, il est possible d'avoir un facteur bien plus grand en prenant en compte la masse de chaque objet. En supposant que le hamburger ait une masse de 200 g :

- ◆ énergie par gramme de matière pour le hamburger :

$$\frac{2\,000\,000}{200} = 10\,000 \text{ J/g} ;$$

- ◆ énergie par gramme de matière pour la Formule 1 :

$$\frac{1\,250\,000}{10^6} = 1,25 \text{ J/g}.$$

Remarque : Avec une Formule 1 de 702 kg (FIA), cette énergie par gramme de matière aurait été de : 1,75 J/g.

Cette comparaison est nettement en faveur du hamburger au détriment de la Formule 1.

On peut résumer cela dans le tableau 1.

Énergie	Objet	
	Hamburger	Formule 1
Forme	Chimique	Cinétique
Nature	« concentrée »	« peu concentrée »

Tableau 1

Remarque : La comparaison des concentrations en énergie de formes différentes ne s'arrête pas au maniement d'un concept comme celui du « convertisseur d'énergie » ; elle peut même induire des choix déterminants. Par exemple, l'énergie nucléaire stockée dans l'uranium est 10 000 à 16 000 fois plus concentrée que l'énergie chimique

disponible dans le pétrole. C'est pour partie de cette comparaison très concrète des concentrations de deux formes d'énergie différentes qu'a découlé la politique d'indépendance énergétique française à partir des années 1970 [13].

1.2.3. Comparaison des énergies des deux systèmes

Après une comparaison de puissances, qui montre à l'élève ce qui a pu l'influencer et après une comparaison d'énergies massiques qui lui montre que, suivant la grandeur comparée, on pourrait encore amplifier l'écart au profit du hamburger, tentons une vraie comparaison des deux puissances, comparaison ayant pour but de convaincre l'élève que le calcul initial est correct.

Pour visualiser cette comparaison, on peut utiliser par la pensée une «balance à énergie», à savoir deux convertisseurs qui transformeraient intégralement les deux énergies considérées en une même forme permettant une comparaison directe :

- ◆ On peut tout d'abord imaginer que la voiture en mouvement active un alternateur qui alimenterait une bouilloire électrique. En effet si on chauffe 10 litres d'eau dans cette bouilloire en récupérant l'énergie cinétique de la Formule 1, la température des 10 litres d'eau s'élèverait de 20 °C à 50 °C.
- ◆ De même, un réchaud bien conçu, à foyer fermé, assurant une combustion complète et contrôlée du hamburger permettrait, quant à lui, l'élévation de température de 10 litres d'eau dans une bouilloire thermique de 20 °C à 68 °C.

Ces différences d'élévation de la température pour les 10 litres d'eau confirment alors que l'énergie chimique du hamburger est effectivement plus grande que l'énergie cinétique de la Formule 1.

1.3. Premier bilan

Certes, la Formule 1 est bien plus puissante que le hamburger !

Au contraire, si l'on raisonne en énergie massique, l'énergie chimique par gramme de matière pour le hamburger est bien supérieure à l'énergie cinétique par gramme de matière de la Formule 1 roulant à la vitesse constante de 180 km/h.

En revanche, une comparaison directe des énergies, réelle ou par la pensée, pourra toujours confirmer les données calculées par l'élève. C'est toute «la force» du concept d'énergie, que d'autoriser la comparaison entre deux énergies même si elles sont de formes différentes.

La confusion entre puissance et énergie, relève en fait d'une autre confusion sous-jacente : la non-distinction entre les deux notions que sont le stockage et le transfert d'énergie. Le stockage fait référence à une énergie stockée, c'est-à-dire potentiellement utilisable, tandis que le transfert d'énergie implique la prise en compte de la grandeur

« temps » pour traduire un débit d'énergie, la rapidité avec laquelle l'énergie est transférée, et qui est observable. D'ailleurs, le transfert d'énergie s'apprécie d'autant plus que la puissance associée est grande ; on peut, par exemple, classer les voitures en comparant les puissances de leurs moteurs.

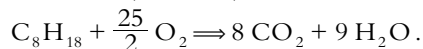
2. POUR ALLER PLUS LOIN : AUTRE COMPARAISON DE DEUX « MACHINES THERMIQUES » : ORGANISME HUMAIN ET MOTEUR DE LA FORMULE 1

2.1. Deux combustions

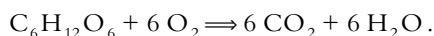
Intéressons-nous maintenant de plus près à la chaîne de conversion énergétique.

Considérons que l'organisme humain et le moteur de la Formule 1 sont des « machines thermiques ». Tous les deux sont des convertisseurs d'énergie chimique (carburant pour le véhicule, aliment pour l'homme) pouvant être stockée puis transformée en énergie mécanique et chaleur. Une combustion rapide se produit dans le moteur tandis qu'une « combustion lente », catalysée par des enzymes, s'effectue dans le corps humain (c'est la respiration). Les deux phénomènes, respiration et combustion, ont été mis en relation pour la première fois par le chimiste Antoine Laurent de Lavoisier dès 1780 ; ils aboutissent à l'émission de CO_2 et H_2O :

- ◆ Pour la combustion du carburant (isooctane) :



- ◆ Pour la respiration, équation simplifiée (glucose) :



2.2. Conversion d'énergie

Dans la question de l'élève, l'énergie chimique du hamburger se situe en entrée, tandis que l'énergie mécanique (qui ne se confond pas avec l'énergie cinétique) de la Formule 1 se situe en sortie. Afin que la comparaison soit plus parlante, on pourrait décider de se situer au niveau de l'entrée des machines thermiques et poser les questions :

- ◆ *En combien de temps le moteur va-t-il épuiser l'équivalent énergétique du hamburger ?*

Lors du grand prix d'Australie de la saison 2013, le moteur V8 Renault brûla en moyenne 2,5 L par tour de circuit de 5,303 km parcouru à une vitesse de 210 km/h [5]. Chaque tour de circuit fut donc accompli en un temps moyen de 91 s. Sachant que 1 kg de carburant renferme une énergie de 44 MJ [6], et que la densité du carburant est environ de 0,8 alors 1 litre renferme une énergie de $44 \times 0,8 = 35$ MJ donc un tour de circuit nécessite : $2,5 \times 35 = 87,6$ MJ.

Énergie chimique convertie	Temps correspondant
87,6 MJ	en 91 secondes
0,96 \approx 1 MJ	en 1 seconde

Tableau 2 - Énergie convertie par la Formule 1 en 91 s puis en 1 s.

L'énergie convertie par le moteur de la Formule 1 en une seconde représente presque la moitié de l'énergie chimique du hamburger. Il faudra donc un peu plus de deux secondes pour que le moteur de la Formule 1 convertisse l'équivalent énergétique du hamburger.

Un être humain quant à lui, pour le fonctionnement de son corps, s'il effectue une activité physique modérée, n'a besoin par jour que de 8 000 kJ environ ou 8 MJ, soit l'équivalent énergétique de moins d'un quart de litre d'essence.

- ◆ *Peut-on trouver l'énergie chimique qui correspond à la digestion de 100 g de hamburger et l'énergie chimique qui correspond à la combustion de 100 g de carburant ?*

	Masse indiquée	Masse de 100 g
Énergie chimique libérée par un hamburger digéré	2 MJ pour une masse de 200 g	1 MJ
Énergie chimique libérée par le carburant brûlé	44 MJ pour une masse de 1 kg de carburant	4,4 MJ

Tableau 3 - Récapitulatif des énergies chimiques récupérées pour 100 g d'aliment et de carburant.

Pour une même masse de carburant et d'aliment, l'énergie est plus concentrée dans le carburant que dans le hamburger, et non le contraire, et ce, plus de quatre fois !

- ◆ *Comment l'expliquer ?*

On considère l'énergie libérée par la combustion des différentes familles d'aliments (cf. tableau 4).

	Protides	Glucides	Lipides	Éthanol
Énergie libérée par combustion totale en $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$	17	17	38	29

Tableau 4

Un hamburger a une masse de 200 g environ, alors que la somme des masses des constituants actifs, protides, glucides, lipides n'atteint que 92 g (voir sa fiche signalétique figure 2, page ci-après). Il contient en outre de l'eau qui n'apporte aucune énergie chimique potentielle pour la combustion ici étudiée. L'essence, quant à elle,

ne contient presque pas d'eau, mais est constituée de substances chimiques plus énergétiques que les glucides ou les protides et autant que les lipides. Dans ce qui suit, on considère que la part « active » du hamburger de 200 g correspond à une masse de 92 g (proche de 100 g, l'autre moitié étant de l'eau).



Un hamburger
495 kcal, environ $2 \cdot 10^6$ J
Protides : 27 g
Glucides : 40 g
Lipides : 25 g



Un litre de carburant
Environ $35 \cdot 10^6$ J
Mélange d'hydrocarbures + additifs



<http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/514gasoline.html>

Figure 2 - Fiche signalétique de l'aliment et du carburant.

2.3. Deuxième bilan

Le carburant renferme quatre fois plus d'énergie chimique que le hamburger, à masse égale. La FIA autorise 100 kg de carburant pour couvrir la totalité d'une course automobile. À supposer que le moteur de la Formule 1 soit capable de « tourner » au hamburger, il faudrait en « enfourner » dans son réservoir plus de 400 kg, ce qui correspond à un nombre de deux mille hamburger (la masse de 1 kg de carburant est égale à la masse de cinq hamburger).

Le pétrole doit son succès au fait qu'il représente le meilleur compromis actuellement disponible entre deux contraintes : la facilité de transport et la forte concentration en énergie. Inversement, même si l'on a songé à produire des aliments à base de pétrole, l'homme doit bien se garder de l'ingérer tel quel, faute de risquer à coup sûr de passer de vie à trépas [7]...

Après avoir comparé les deux « machines thermiques » en termes d'énergie « d'entrée », que peut-on dire de l'énergie utile qu'elles sont capables de restituer ?

2.4. L'homme pourrait-il surpasser la Formule 1 ?

D'après Jean-Marc Jancovici [8], un randonneur de 80 kg chargé d'un sac de 10 kg qui accomplit un parcours montagneux dont le dénivelé est de 2000 m aura délivré avec ses jambes 0,5 kWh d'énergie mécanique (plus précisément 490,5 Wh). Si le randonneur renouvelle cette sortie un jour sur deux pendant un an, alors il aura délivré au total une énergie estimée à 89 kWh (inférieure à 100 kWh).

Toujours d'après Jean-Marc Jancovici [8], un travailleur qui creuse un décaissé à la force de ses bras pour en remonter neuf tonnes de terre sur un mètre de hauteur délivre une énergie mécanique de 0,025 kWh. De même si ce travailleur renouvelle cette tâche un jour sur deux, il aura délivré au bout de l'année 4,5 kWh. Dans les deux cas, on ne tient compte que de la variation d'énergie potentielle.

Ce qui permet d'estimer que l'énergie mécanique pouvant être délivrée par un travailleur manuel, homme ou femme, pendant une année varie entre quelques dizaines de kilowatts-heures et une centaine de kilowatts-heures.

Au Moyen Âge sont conçues quelques machines permettant de tirer un meilleur parti de l'énergie mécanique « humaine » ou « animale » selon les circonstances (cf. figure 3).

La ration alimentaire journalière nécessaire à un travailleur de force est estimée à 3000 kcal [11] soit l'équivalent de six hamburger ou 12 MJ (contre



La cage à écureuil du château de Guédelon (Yonne).

Grue permettant de lever les charges ; une ou deux personnes se placent dans la cage et marchent pour la faire tourner provoquant l'enroulement d'une corde qui tire la charge [9].



Un tir de couillard au château des Baux-de-Provence (Bouches-du-Rhône). Machine de jet permettant d'envoyer des boulets de pierre (masse non précisée) de 35 à 180 m à la cadence de dix tirs à l'heure [10].

Figure 3

8 MJ pour un travailleur « normal ») ou encore 3,33 kWh avec laquelle il peut fournir 0,5 kWh, et encore avec ses jambes... On peut donc estimer le rendement de ce travailleur à $0,5 / 3,33$ soit 15 %.

Le travailleur de force ingère sa ration journalière entre 7 heures et 19 heures (douze heures) donc à raison de $\frac{12 \text{ MJ}}{12 \times 3600 \text{ s}} = 0,278 \text{ kJ/s} = 278 \text{ J/s}$ soit une puissance consommée de 278 W ; l'équivalent d'un bon éclairage. La puissance mécanique développée par le travailleur de force « vue par son employeur » donc par tranche de sept heures journalières est de $\frac{0,5 \text{ kWh}}{7 \text{ h}} = 0,07 \text{ kW}$ soit 70 W.

Le moteur de la Formule 1 consomme environ 1 MJ soit une masse de 100 g de hamburger par seconde soit une puissance consommée de 1 MJ/s ou 1 MW. Le moteur de Formule 1 construit par Renault [12] développe une puissance de 750 ch (chevaux-vapeur) soit 551,55 kW ou encore 551 550 J/s.

On pourrait donc estimer le rendement du moteur à $\frac{551\,550}{1\,000\,000} = 0,551$ soit environ 55 % ; ce rendement est exagéré, car obtenu en maintenant le moteur à son régime optimum tout au long de la course.

Remarques : Même si on considère la valeur de 35 % pour le rendement d'un moteur à essence, il est à noter que ce rendement est déjà plus élevé que le rendement du système musculaire humain (qui fonctionne à plus basse température que le moteur), et pourtant on ressent déjà l'impression d'avoir chaud, voire très chaud pendant une course à pied, d'où le tableau comparatif (cf. tableau 5).

Machine thermique	Travailleur de force Alimentation sur 12 heures Travail pendant 7 heures	Moteur de Formule 1 Pendant la course (durée d'environ 2 heures)
Puissance chimique consommée	278 W	1 MW
En masse de hamburger/s	27 mg	100 g
En volume de carburant/s	0,01 mL	27,5 mL
Puissance mécanique restituée	70 W	551 550 W
Rendement	15 %	55 % (maximum)

Tableau 5

2.5. Troisième bilan

La cause est entendue ; l'être humain fut-il un travailleur de force stakhanoviste nourri à grand renfort de hamburger, ne peut rivaliser avec le moteur alimenté en carburant (pétrole) puisque :

◆ l'être humain ingère lentement des aliments beaucoup moins efficaces en termes

d'énergie et de puissance que le carburant du moteur de la Formule 1 ;

- ◆ le moteur de la Formule 1 délivre instantanément toute son énergie dès lors qu'il est pourvu en carburant ;
- ◆ le rendement de l'être humain est environ trois fois plus faible que celui du moteur de Formule 1.

Sauf à trouver une « potion magique » ou à imaginer des transformations importantes voire des mutations profondes des organismes humains et animaux, il apparaît irréaliste d'envisager un retour à la prédominance de l'activité manuelle humaine ou de l'activité animale sur celle des machines fonctionnant, entre autres, aux énergies fossiles, ou alors... ce serait contraint et forcé. Grâce au pétrole, nous bénéficions de « travailleurs de force » à bon marché ; 1 litre d'essence contient 10 kWh d'énergie (à peu près), soit l'équivalent de l'énergie fournie par vingt travailleurs de force pendant une journée complète de travail.

3. PISTES POUR DES ENSEIGNEMENTS PRATIQUES INTERDISCIPLINAIRES (EPI)

Les EPI impliquent la réalisation par les élèves d'une production bien définie, avec un objectif précis et une réalisation concrète (cf. réunion nationale du PNF organisée par l'Inspection générale de l'Éducation nationale (IGEN) et la DGESCO (Direction générale de l'enseignement scolaire) le 29 mars 2016 à Paris).

Il est possible de partir de questions telles que celles-ci :

- ◆ *Comment fabrique-t-on un hamburger ?*

Une enquête consistera à rechercher comment sont obtenus tous les constituants du hamburger (viande, matière grasse, pain, salade...).

- ◆ *Mais en réalité, combien d'énergie a-t-il fallu dépenser pour le fabriquer ?*

Il faut environ dix fois plus d'énergie (soit environ $2 \cdot 10^7$ J) pour produire l'équivalent énergétique alimentaire d'un hamburger (environ $2 \cdot 10^6$ J). Cela soulève l'un des graves problèmes de notre agriculture et de notre élevage, qui sont actuellement totalement dépendants des ressources d'énergie fossile. Quand on mange un hamburger, cela revient à consommer $2,2 \cdot 10^7$ J au total !

D'autres EPI offriront l'occasion de mener avec les élèves des projets multiples, notamment liés à la santé et au développement durable. Ils pourront porter par exemple sur :

- Les besoins énergétiques du corps humain et la diététique (alimentation équilibrée avec lipides, protéides et glucides, étude de la respiration, de l'effort sportif, du dopage...) [14].
- L'impact sur l'environnement de l'utilisation des produits pétroliers fossiles pour les transports et aussi pour l'agriculture (dans les pays développés, alors qu'un homme ne

mange quotidiennement que l'équivalent d'un quart de litre d'essence, le coût journalier pour la production de nourriture est d'environ 3 litres de pétrole par habitant et par jour) [15].

- La fabrication de véhicules économes sur un plan énergétique avec défis possibles [16-18].
- L'élaboration historique du concept scientifique d'énergie [17].
- Comment expliquer la grande variété des unités des deux grandeurs, puissance et énergie ?

CONCLUSION

La question posée par cet élève a permis de lever un apparent paradoxe et d'approcher la notion de conversion d'énergie, sous l'angle de trois regards croisés en Sciences et Technologies. Une bonne occasion d'échanger entre collègues et de mieux travailler ensemble au bénéfice des élèves !

Si on calcule l'énergie par unité de masse indépendamment de la forme d'énergie, alors celle du hamburger est plus « concentrée » que celle de la Formule 1. Si par contre, on calcule l'énergie chimique pour une même masse de hamburger et de carburant, alors c'est le contraire.

L'utilisation du pétrole a profondément bouleversé notre rapport à l'énergie. Sommes-nous seulement conscients de l'opulence énergétique dont nous bénéficions, et ce, dans tous les aspects de notre vie quotidienne ; de combien de « travailleurs de force » dispose une seule personne pour satisfaire ses besoins courants comme s'éclairer, se chauffer, se déplacer... Nous sommes tous des « nababs énergétiques » [8] sans le savoir...

REMERCIEMENTS

Merci à Marie-Thérèse Lehoucq d'avoir animé un atelier lors de la journée nationale collège du 19 mars 2016 à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), autour de cette problématique de l'énergie, atelier qui a été une source d'inspiration de cet article. Merci aussi à Sophie Robert et Jacques Vince pour leurs remarques pertinentes.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] B. Salviat, B. Proust et K. Allegraud, *Une énergie, des énergies*, Belin, 2015.
- [2] Énergie Planète.fr : <http://www.energieplanete.fr/ordre-de-grandeur-energie.html>
- [3] Site de la Formule 1 : <http://www.formula1.com/content/fom-website/en/championship/inside-f1/rules-regs/Scrutinee->

ring_and_weighing.html

- [4] E. Klein, conférence « De quoi l'énergie est-elle le nom ? » :
<http://www-centre-saclay.cea.fr/fr/De-quoi-l-energie-est-elle-le-nom-Conference-Cyclope-du-18-12-2012-par-Etienne-Klein-directeur-de-recherche-au-CEA>
- [5] Nextgen-Auto.com : <http://motorsport.nextgen-auto.com/renault,57537.html>
- [6] Wikipedia Carburant : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Carburant>
- [7] Sciences pour tous :
<https://sciencespourtous.univ-lyon1.fr/la-viande-du-futur-sera-t-elle-faite-en-laboratoire/>
- [8] J.-M. Jancovici, Conférence « L'Homme et l'énergie, des amants terribles » à l'École des Mines : <http://www.enpc.fr/node/17232>
- [9] Château de Guédelon :
<http://www.benevoleguedelon.com/article-une-cage-a-ecureuil-de-competition-a-guedelon-72792417.html>
- [10] Château des Baux-de-Provence :
<http://www.chateau-baux-provence.com/fr/decouverte-lieu/machines-siege/baliste>
- [11] Médecine et santé :
http://www.cmb-sante.fr/_upload/ressources/06espace_pratique/062prevention_pratique/cmb_article_ration_equilibrealimentaire_20111130.pdf
- [12] Statistiques Renault : <http://www.renaultsport.com/A-propos-du-RS27.html>
- [13] Programme nucléaire français :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_du_programme_nucl%C3%A9aire_civil_de_la_France

Ressources bibliographiques pour le professeur dans le livre « Une énergie, des énergies » [1]

- [14] Les besoins énergétiques du corps humain ♦ On mange trop ♦ Énergétique du sport ♦ Bioénergétique ♦ Les nanomachines du vivant.
- [15] Énergie et climat ♦ Vous avez dit renouvelable ?
- [16] Transports, allégeons les structures ♦ Les moteurs à explosion.
- [17] Élaboration d'un concept scientifique ♦ Aperçu de thermodynamique ♦ D'origine chimique ♦ Des liaisons peu dangereuses.
- [18] Voir Eurêkart organisé par Michelin ou autres actions nationales, comme par exemple Course en cours : <http://www.course-en-cours.com/fr/>

Ressources complémentaires pour le professeur

- ♦ C. Pasca, L. Bretos et J. Morcellet, *DocSciences Junior - L'énergie, de nouveaux horizons*, CNDP, 2015.

- ◆ R. Mosseri et C. Jeandel, *L'énergie à découvert*, CNRS Éditions, 2013.
- ◆ Pégase : http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=1&id_theme=66
- ◆ Le site encyclopédie de l'énergie : <http://encyclopedie-energie.org/> avec un article très intéressant directement en lien avec le sujet : <http://encyclopedie-energie.org/articles/conversion-de-l%E2%80%99%C3%A9nergie-chimique-des-plantes-en-%C3%A9nergie-musculaire>
- ◆ M. Soutif, *Naissance et diffusion de la physique*, EDP Sciences, 2^e édition, juin 2014 : <http://laboutique.edpsciences.fr/produit/9782759811908>



Dominique DUCOURANT

Professeur de physique-chimie
Collège Joffre
Montpellier (Hérault)



Béatrice SALVIAT

Professeur de Sciences de la vie et de la Terre
Fondation *La main à la pâte*
Paris



Philippe TOURON

Professeur de technologie
Collège Saint-Érembert
Saint-Germain-en-Laye (Yvelines)