

Brian BERNARD[†], DER de physique, ENS Paris-Saclay

Niveau : 1ère ST2S ; Élément imposé : Mettre en oeuvre un protocole pour déterminer l'énergie libérée par la combustion d'un aliment.

Ce cours placé à un niveau ST2S se situe typiquement juste après un premier cours concernant les bilans d'énergie sur l'être humain. On y estime alors l'énergie chimique fournie pour le métabolisme de base grâce à la formule de Harris et Benedict. Cette énergie étant transformée, on y présenterait alors les différents modes de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement, évaporation) au programme avec lesquels le corps humain évacue son surplus d'énergie. Durant le cours qui vient, il s'agit alors d'établir tout d'abord que les réactions chimiques peuvent être à la source de transferts thermiques, afin donc de modéliser l'action du métabolisme sur les nutriments sous la forme d'une réaction chimique [de combustion]. Enfin, après démonstration expérimentale de l'énergie chimique portée par un nutriment, il s'agira de présenter les réactions chimiques microscopiques portant cette énergie chimique.

Table des matières

1	Objectifs pédagogiques de la LC	1
2	Objectifs et messages forts de la LC (aspect disciplinaire)	1
3	Introduction pédagogique	2
4	Introduction de leçon	2
5	Proposition de plan	2
5.1	Réaction chimique et transfert thermique	2
5.2	Les aliments, réactifs chimiques du métabolisme	2
5.3	Approche microscopique de l'énergie chimique des aliments.	3
6	Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon	3
7	Expériences illustratives et exploitation pédagogique	3
8	Subtilités de la leçon, remarques des correcteurs et points disciplinaires essentiels	3
9	Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon	4
10	Bibliographie pour construire la leçon	4
11	Critique des choix pédagogiques de la leçon	4

1 Objectifs pédagogiques de la LC

- ▷ Mettre en évidence le lien entre réaction chimique et un possible transfert thermique
- ▷ Modéliser la réaction d'un aliment (combustible) dans un métabolisme sous la forme d'une réaction de combustion

2 Objectifs et messages forts de la LC (aspect disciplinaire)

- ▷ Les réactions chimiques dégagent une énergie de transfert thermique, qui est l'une des formes sous lesquelles est dégagée l'énergie contenue dans les aliments.
- ▷ On peut modéliser l'assimilation des nutriments sous la forme d'une réaction d'oxydo-réduction exothermique, dite une combustion.
- ▷ Au travers d'un premier montage simple, on illustre comment il est possible de mesurer un transfert thermique (montage de calorimétrie simpliste)

- ▷ Une expérience simpliste permet de remonter à un bon ordre de grandeur de la valeur énergétique d'un aliment
- ▷ Relier quantitativement l'énergie macroscopique dégagée par une combustion à l'énergie microscopique dégagée par brisure de liaisons chimiques

3 Introduction pédagogique

Aujourd'hui on va tâcher de relier comment les aliments, en tant que réactifs chimiques du corps humain, expliquent l'énergie qu'est capable de dégager un être humain. Ce cours placé à un niveau ST2S se situe typiquement juste après un premier cours concernant les bilans d'énergie sur l'être humain. On y estime alors l'énergie chimique fournie pour le métabolisme de base grâce à la formule de Harris et Benedict. Cette énergie étant transformée, on y présenterait alors les différents modes de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement, évaporation) au programme avec lesquels le corps humain évacue son surplus d'énergie. Pour le cours qui vient, nous devons nous appuyer sur les notions de redox vues dans le thème 1 (antiseptiques etc.) et les notions de chimie organique vues dans le thème 2 du programme. Grâce à ces notions, nous allons expliciter [les objectifs pédagogiques]. Difficultés anticipées : confusion entre les 4 unités pour une même grandeur (J, kJ, cal, kcal), ajustement d'équations redox, notion de bilan d'énergie)

4 Introduction de leçon

On a vu la dernière fois que l'humain doit recevoir de l'énergie pour son métabolisme de base, et qu'il dissipait son énergie, entre autre sous forme thermique. On s'en doute par conservation de toute grandeur (Lavoisier), l'énergie que peut fournir un être humain vient de ce qu'il consomme et donc des aliments qu'il ingère. Essayons dans un premier temps de relier réaction chimique et transfert d'énergie thermique

5 Proposition de plan

5.1 Réaction chimique et transfert thermique

► Mise en évidence expérimentale

expérience : base forte + acide fort concentrés, courbe de température au cours du temps vidéoprojetée : augmentation de température, on note la réaction, on constate le phénomène. Essayons une réaction de dissolution de KNO_3 , on observe une diminution de température. Moins évident, on écrit la réaction et constate l'observation expérimentale de même. Définitions de réactions exo et endothermiques.

► Bilan thermique sur un muscle

Écriture du bilan d'énergie grossier sur un muscle : reçoit de l'énergie chimique, dégage de l'énergie thermique et une énergie mécanique. Comment quantifier ces énergies ?

► Unités

(slide) présentation de la Joule par définition via l'énergie cinétique, puis de la calorie par définition thermodynamique, schéma des conversions entre les 4 unités. Sens de ces unités pour quantifier l'énergie mécanique et thermique respectivement

Transition didactique : C'est très bien tout ça, mais maintenant ce serait bien de faire écho aux bilans énergétiques qu'on avait vu au cours d'avant. Armés de nos super unités, on doit pouvoir quantifier l'énergie chimique contenue dans les aliments qu'on ingère. Pour ça il va nous falloir un modèle de réaction chimique pour simplifier ce qui se passe dans le corps humain.

5.2 Les aliments, réactifs chimiques du métabolisme

► Modélisation : la combustion

On lance l'expérience, en expliquant que l'on veut mesurer l'élévation de température de l'eau de la canette. Cela sera donc directement une énergie en calories. Si (hypothèse) toute l'énergie chimique de la

noix se transfère bien sous forme de transfert thermique à l'eau, on aura alors mesuré la valeur énergétique de l'aliment brûlant!



Combustion : définition, cas du glucose, puis de l'acide oléique. Uniquement des combustions complètes

► Mesure expérimentale

L'expérience donne un ΔT pour une masse d'eau pesée en live, on en déduit donc par proportionnalité l'énergie thermique reçue par l'eau, sachant la masse de la noix brûlée, on en déduit l'énergie massique de la noix, incertitude statistique avec les 3-4 valeurs en préparation. [On obtient typiquement 40 à 50 % de la valeur tabulée] Calcul de Zscore possible pour montrer qu'il exclut que cette mesure soit juste.

Transition didactique : On a relié avec un modèle simple l'énergie macroscopique dégagée par un aliment, peut-on expliquer ceci à l'aide des molécules? Quid de l'écart entre les valeurs tabulées des énergie de combustion molaires du glucose et de l'acide oléique?

5.3 Approche microscopique de l'énergie chimique des aliments

► Hydrolyse du lactose

Cas sur une réaction réelle de l'énergie dégagée, en J/mol, lien avec les kJ/100g du II.

► Métabolisation aérobie et anaérobie du glucose

comptage en adénosines triphosphates (vues au thème2), cas aérobie, à VO_2 donnée en mol/s pour un organisme donnée, estimation de la puissance d'un athlète, lien avec les odg du II.

6 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

Cette leçon ouvre naturellement sur les cycles de métabolisation microscopiques qui font une suite et des ouvertures naturelles à cette leçon (cycle de Krebs, stockage énergétique en triglycérides, impact des saturations...)

7 Expériences illustratives et exploitation pédagogique

- ▷ Expériences introductives endo et exothermiques
- ▷ Expérience à la canette de soda, illustrée
- ▷ Possibilité d'utiliser la bombe calorifique, à condition de pouvoir l'expliquer de manière acceptable à des élèves de première.

8 Subtilités de la leçon, remarques des correcteurs et points disciplinaires essentiels

Telle quelle, je n'ai pas eu le temps d'aborder correctement le III. et ai préféré conclure proprement sur le II. en ouvrant vers les perspectives microscopiques

- ▷ Il faut vraiment essayer d'aborder le III pour ne pas en faire une leçon de thermo macro. Donner une bonne place au microscopique rassure certains jury attachés à la chimie orga. On peut envisager de prendre en pré-requis le I.3) et passer rapidement sur le I.1)
- ▷ Se préparer en amont des oraux sur le III. qui sort des programmes usuels et qui requiert une formation à part.
- ▷ La réaction est-elle complète? Que reste-t-il de la noix?
- ▷ Ferez-vous faire la réaction à des élèves?
- ▷ Dans l'état de notre formation actuelle, cette leçon est compliquée, de l'aveu du correcteur. Trouver le temps de mettre en exergue le lien micro-macro semble nécessaire et il faut qu'on se forme autant que possible sur la biochimie.

9 Exercices de base et applications intéressantes pour la leçon

- ▷ Puissance dégagée par un athlète sachant sa VO_2 (convertie en mol/s pour des élèves de 1ère ST2S) et supposant un unique combustible
- ▷ ordres de grandeur d'énergie dégagée par les combustions de diverses espèces. Prévision de l'énergie dégagée en fonction du degré d'oxydation initial des carbones
- ▷ Beaucoup d'applications que j'ignore encore... à vos commentaires et apports! :)

10 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ Livre de 1ère ST2S Hachette, Physique-chimie, programmes 2021-2022 nouveaux programmes

11 Critique des choix pédagogiques de la leçon

Tailler dans le I.1) et I.3) en utilisant des pré-requis, speeder un peu plus, ne pas traîner durant l'introduction pédagogique et peut-être que tout cela se passe bien en 40 minutes. La leçon, au travers de ses expériences, peut clairement être plutôt divertissante, et illustrative, il faut juste essayer de pouvoir en tirer la substance microscopique dans le temps imparti avec les outils du programme de Première ST2S.

- DE RETOUR DE LA CASSE-