

Exercice 1 : Biocarburant

1.1 Introduction

Document 1

Les systèmes utilisant la combustion pour produire de l'énergie contribuent pour une part importante à la dégradation de la qualité de l'air. La préservation de l'environnement conduit les législateurs à imposer des normes de plus en plus restrictives pour les principaux polluants identifiés. Pour répondre aux normes automobiles et en particulier en ce qui concerne les émissions de particules de suie la solution actuelle basée sur le post-traitement est coûteuse. Il est préférable pour les constructeurs automobiles de réduire à la source la formation des particules de suie. Cette réduction nécessite une connaissance détaillée des mécanismes de formation et d'oxydation des particules de suie afin de modéliser avec précision ces phénomènes. Dans une situation idéale le post-traitement pourrait être économisé. Il convient de noter que la limitation en masse et en taille des particules doit s'inscrire dans une démarche de réduction globale des émissions. Il est donc nécessaire de réduire les émissions de particules sans augmenter les concentrations d'oxydes d'azote NO_x (et autres espèces polluantes également réglementées). En effet, la formation des suies dans les moteurs Diesel peut modifier les performances du moteur et affecter la formation des polluants.

Source : *Caroline Marchal, Modélisation de la formation et de l'oxydation des suies dans un moteur automobile, thèse de doctorat, 2008*

1.2 Fabrication du biodiesel

Document 2

Le biodiesel est une alternative au carburant pour moteur diesel classique, utilisant du gazole. Le biodiesel peut être utilisé seul dans les moteurs (B100^a) ou mélangé avec du gazole (B20, B5, B2, ...). Ce biocarburant est obtenu à partir d'huile végétale ou animale (y compris huiles de cuisson usagées) transformée par un procédé chimique appelé transestérification faisant réagir cette huile avec un alcool.

Source : *Wikipédia*

^a. Le B100 est un carburant comprenant 100 % de biodiesel, le B20 comprend 20 % de biodiesel et 80 % de gazole.

Document 3

L'huile végétale n'est pas directement utilisée comme carburant du fait de sa viscosité trop élevée par rapport au gazole et à son faible indice de cétane.

Source : *Alan C. Hansen, Combustion and Emissions characteristics of biodiesel fuel, Université de l'Illinois, 2008*

Document 4

L'indice de cétane évalue la capacité d'un carburant à s'enflammer sur une échelle de 0 à 100. Il est particulièrement important pour les moteurs diesel où le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer.

Source : *Wikipédia*

1. Le méthanol et l'éthanol sont deux alcools couramment utilisés pour la réaction de transestérification.
 - (a) Donnez la formule topologique du méthanol et de l'éthanol.
 - (b) Précisez la classe de ces deux alcools.
2. Le cétane est un hydrocarbure dont le nom officiel est hexadécane.
 - (a) A quelle famille de molécule appartient l'hexadécane ?
 - (b) Donnez sa formule brute sachant que le préfixe *hexadéc* signifie 16.
3. D'après le graphique de la figure 1, quelles doivent être les caractéristiques d'un biocarburant pour qu'il ait un haut indice de cétane ?

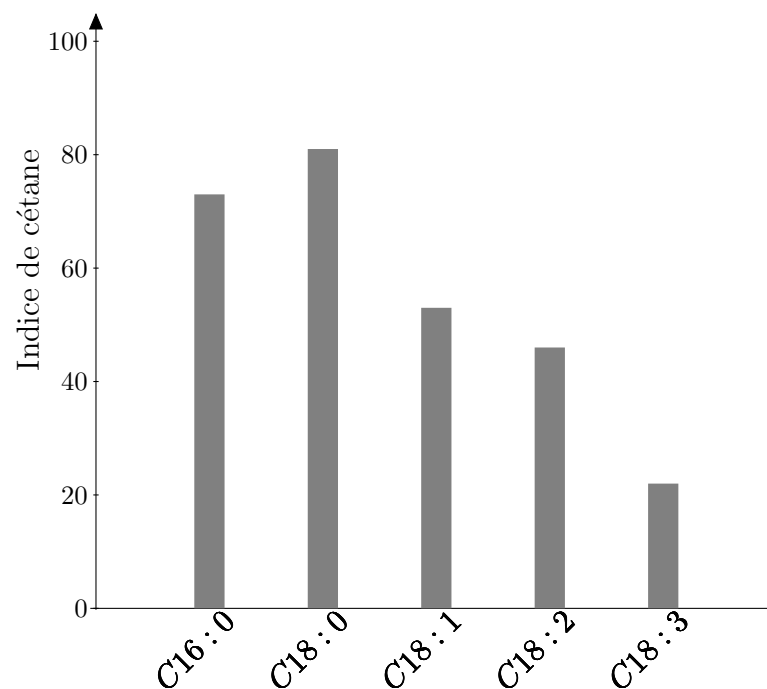


FIGURE 1 – Indice de cétane de différents biocarburants. $C_n : m$, où n et m sont des entiers, désigne un hydrocarbure avec une chaîne à n atomes de carbone et m liaisons doubles.

1.3 Combustion

1.3.1 Combustion du gazole

4. En considérant que le gazole est uniquement constitué de molécules de formule chimique $C_{16}H_{34}$ et que la combustion complète de gazole produit du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau, donnez l'équation de la combustion du gazole.

1.3.2 Combustion du biocarburant

On souhaite mesurer le pouvoir calorifique d'un ester méthylique d'huile de soja composant le biodiesel obtenu à partir d'huile de soja. Le pouvoir calorifique d'un combustible est l'énergie dégagée par unité de masse de combustible brûlé.

Pour cela, on place dans une coupelle une masse $m = 1,0 \text{ g}$ d'ester méthylique d'huile de soja. Au-dessus de la coupelle, on dispose un bécher contenant une masse $m_{\text{eau}} = 130,0 \text{ g}$ d'eau liquide à la température $\theta_{\text{eau}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. On fait brûler la totalité de l'ester et on mesure la température d'équilibre à la fin de la combustion $\theta_f = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Quelle est l'expression de l'énergie ΔE dégagée lors de la combustion ?
On supposera que le bécher ne contribue pas aux échanges thermiques.
6. Quelle est l'expression du pouvoir calorifique PC de l'ester méthylique d'huile de soja ?
7. Déduisez-en la valeur du pouvoir calorifique de l'ester méthylique d'huile de soja en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et comparez-la au pouvoir calorifique du gazole de valeur $42,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1.4 Rejets polluants

Suivant le type de polluant étudié (particules de suie, oxyde d'azote, monoxyde de carbone, ...) la technique expérimentale utilisée pour mesurer la quantité de polluants dans les produits de combustion diffère. Dans la suite, nous allons nous intéresser à deux méthodes permettant de remonter à la quantité de particules de suie.

1.4.1 Mesure par extinction

Document 5

Les diagnostics optiques de mesure par extinction laser s'appuient sur l'atténuation d'un rayon de lumière par le milieu absorbant et/ou dispersif, comme les aérosols. La transmittance du nuage peut être reliée à une densité optique en utilisant la forme de la loi de Beer-Lambert.

Source : *Caroline Marchal, Modélisation de la formation et de l'oxydation des suies dans un moteur automobile, thèse de doctorat, 2008*

8. Donnez la relation traduisant la loi de Beer-Lambert en précisant le nom des grandeurs avec leurs unités.

1.4.2 Mesure par incandescence induite par laser

Document 6

L'incandescence induite par laser est basée sur l'effet radiatif des corps noirs. Les particules sont excitées par un pulse laser intense et sont chauffées à des températures qui atteignent 4000K. L'émission radiative issue des particules de suie est proportionnelle à la fraction volumique de suie.

Source : *Caroline Marchal, Modélisation de la formation et de l'oxydation des suies dans un moteur automobile, thèse de doctorat, 2008*

9. Quelle est la particularité des corps noirs ?
10. Quelle est le nom de la loi qui traduit cette particularité ?

1.4.3 Comparaison gazole-biocarburant

Un trajet de 100 km en voiture à moteur diesel nécessite une énergie de 35,7 MJ.

11. Quelle est la masse de gazole nécessaire pour effectuer le trajet ?
12. Même question pour de l'ester méthylique d'huile de soja ?
13. Comparez les masses de particules de suie produites au cours du trajet ainsi que d'oxyde d'azote pour chacun des carburants.
14. Concluez quant à l'intérêt du biodiesel en tant que carburant.

Carburant	Particules de suie ($g \cdot MJ^{-1}$)	NO_x ($g \cdot MJ^{-1}$)
G	$4,1 \times 10^{-2}$	1,72
B100	$2,6 \times 10^{-2}$	1,87

TABLEAU 1 – Emission de quelques polluants pour du gazole (G) et du biodiesel (B100).