

LE PAREBRISE, UN CONCENTRÉ D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES



Suite à un bris de glace, un automobiliste a décidé d'acheter un pare-brise présentant les dernières avancées en matière technologique.

Un garagiste lui propose un pare-brise dont les propriétés vont être étudiées dans ce sujet:

- Partie A : Propriétés thermiques (6,5 points)
- Partie B : Propriétés aérodynamiques (8 points)
- Partie C : Propriétés autonettoyantes (5,5 points)

Le sujet comporte trois parties A, B et C qui sont indépendantes entre elles. Vous respecterez la numérotation des questions et vous rendrez le document réponse DR (page 11) avec votre copie.

Partie A : Propriétés thermiques (6,5 points)

L'automobiliste a lu sur internet que « le verre peut être teinté ou bien réfléchissant (athermique) afin de réduire l'échauffement dû au rayonnement solaire dans l'habitacle de la voiture ». Il découvre également des documents présentant les propriétés lumineuses de pare-brises athermiques. Les documents (A1), (A2) et (A3) sont présentés en annexe à la suite des questions.

A.1 Visibilité

A.1.1 Donner les deux longueurs d'onde λ_{\min} et λ_{\max} (en micromètres) limitant le domaine visible.

Le domaine du visible est compris entre $\lambda_{\min} = 0,40 \mu\text{m}$ et $\lambda_{\max} = 0,80 \mu\text{m}$ (on peut vérifier sa réponse sur le document A1)

A.1.2 Convertir ces deux longueurs d'onde en nanomètres.

$\lambda_{\min} = 400 \text{ nm}$ et $\lambda_{\max} = 800 \text{ nm}$

A.1.3 Sur la fiche technique (A1) sont repérés trois domaines. Attribuer à chaque domaine un qualificatif à choisir parmi : infrarouge, ultraviolet et visible.

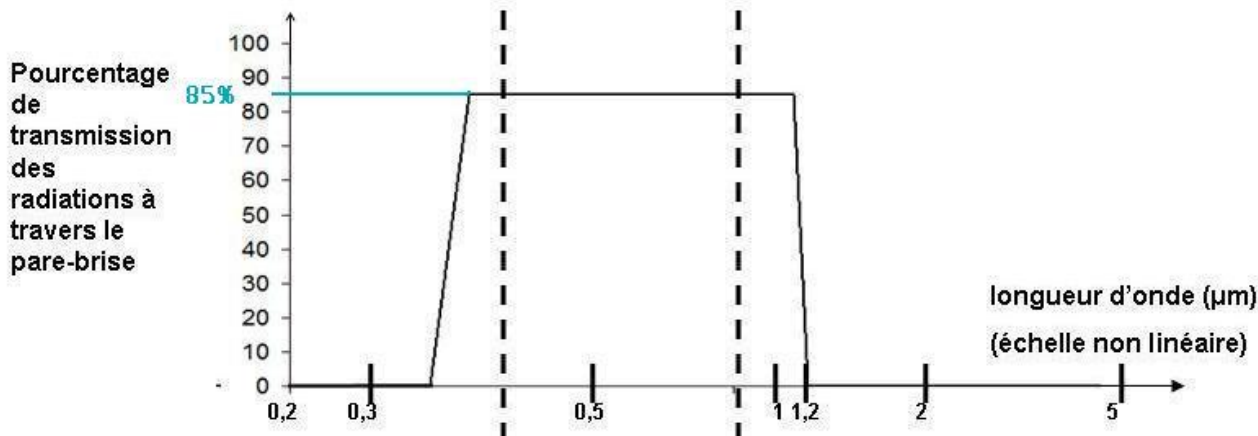
Domaine 1 : ultraviolet (longueurs d'ondes inférieures à celles du visible)

Domaine 2 : visible (cf. question A.1.1)

Domaine 3 : infrarouge (longueur d'ondes supérieures à celles du visible)

A.1.4 À la lecture du document (A1), quel est le pourcentage de transmission du pare-brise pour la lumière visible ?

À l'aide du document A1, on peut trouver que le pourcentage de transmission du pare-brise pour la lumière visible est de 85% :



A.1.5 Ce pare-brise est-il conforme à la réglementation européenne ? Justifier.

La réglementation européenne impose un pourcentage de transmission supérieur à 75% (document A1). On vient de voir que c'est le cas, le pare-brise est donc conforme.

A.2 Caractère athermique

À la lecture du document (A1), répondre aux questions suivantes :

A.2.1 Les ondes comprises entre 0,8 µm et 1,2 µm sont-elles transmises par le pare-brise ?

Oui, d'après le document A1, on peut voir que les ondes comprises entre 0,8 et 1,2 µm sont transmises à 85%

A.2.2 Les ondes comprises entre 1,2 µm et 5 µm sont-elles transmises par le pare-brise ?

Non, d'après le document A1, les ondes comprises entre 1,2 et 5 µm ne sont pas transmises.

A.2.3 En vous aidant du document (A2), préciser pourquoi le pare-brise n'est pas totalement athermique.

D'après le document A2, le pare-brise doit être « réfléchissant le rayonnement infrarouge ». Or on peut voir dans le document A1 que le rayonnement IR compris entre 0,8 et 1,2 µm n'est pas totalement réfléchi par le pare-brise. Celui-ci n'est donc pas totalement athermique.

A.3 Verres électrochromes

A.3.1 À partir du principe des verres électrochromes présenté dans le document (A3), donner la formule brute de la molécule colorée qui est responsable de la teinte du pare-brise.

Dans le document A3, il est indiqué que l'espèce colorée est la forme H_2WO_3 .

A.3.2 Le document (A3) donne une demi-équation électronique se déroulant à une électrode.

Donner le couple oxydant / réducteur qui intervient dans cette réaction.

Le couple correspondant à l'équation donnée dans le document A3 est le couple WO_3 / H_2WO_3

A.3.3 Est-ce une oxydation ou une réduction ? Justifier la réponse.

Il s'agit d'une réaction où l'on passe de l'oxydant au réducteur, c'est donc une réduction.

A.3.4 La luminosité extérieure diminuant, le conducteur actionne un bouton pour que le pare-brise redevienne transparent. Quelle modification doit-on apporter au circuit schématisé sur le document (A3), pour réaliser cette modification du pare-brise ?

Il faut inverser le sens de branchement du générateur.

A.3.5 En utilisant le document (A3), en quelle unité est donnée l'énergie électrique nécessaire pour faire apparaître la teinte sur tout le pare-brise ? Justifier que cette unité correspond à une énergie.

Dans le document A3, l'énergie est donnée en W.h

L'énergie étant égale au produit de la puissance de l'appareil (en watt par exemple) par la durée de son utilisation (en heure), le W.h est donc bien une unité d'énergie.

A.3.6 Convertir cette valeur dans le système international.

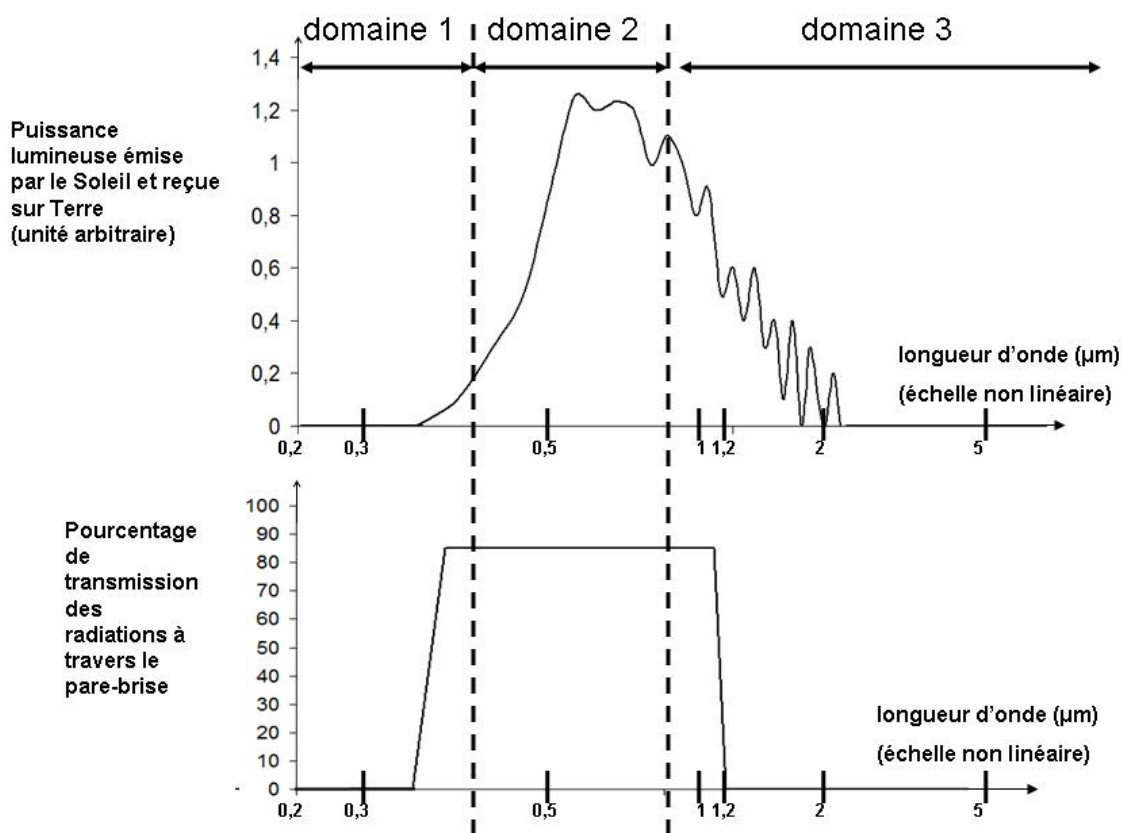
On nous indique que $E = 0,174 \text{ W.h}$.

L'unité du système international s'obtient en multipliant la puissance en watt par la durée en seconde. (Il s'agit du W.s qui correspond au Joule J)

$$E = 0,174 \text{ W.h} = 0,174 \text{ W} \times 1\text{h} = 0,174 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 626,4 \text{ J}$$

ANNEXE A – Propriétés athermiques

Norme européenne : la transmission lumineuse des pare-brises doit être supérieure à 75%



A1- Fiche technique

Les véhicules d'aujourd'hui ont des pare-brises « athermiques » : cet aspect nouveau est produit par les couches transmettant le rayonnement visible mais réfléchissant le rayonnement infrarouge. La transmission des infrarouges a été fortement réduite.

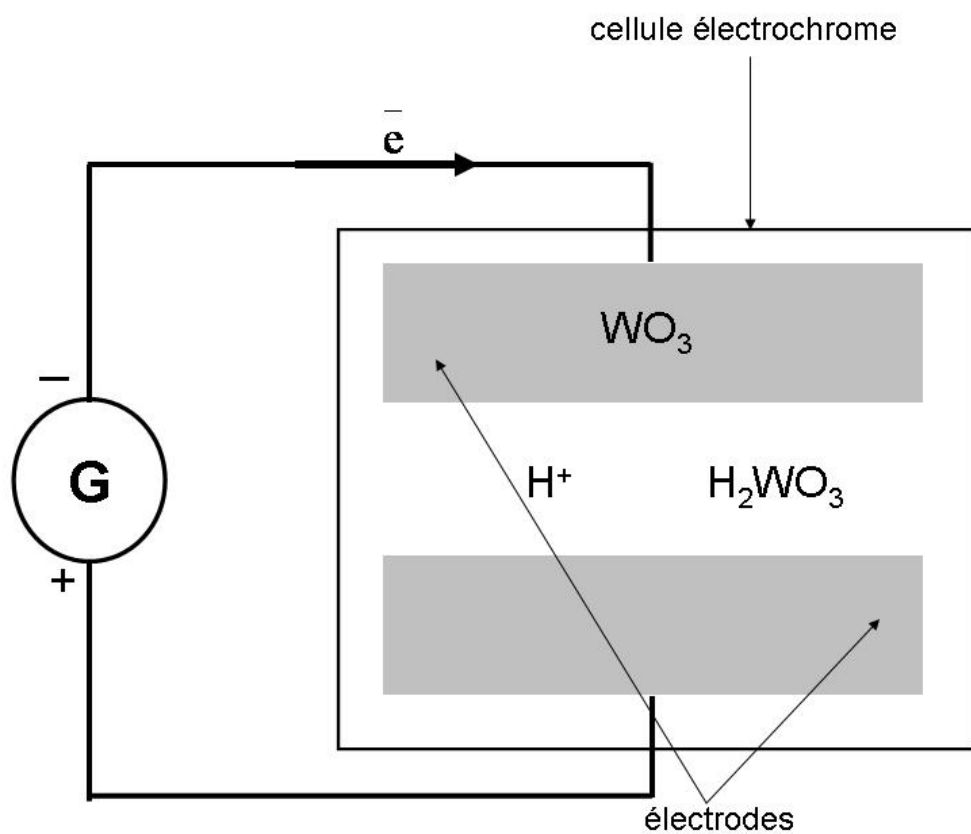
Avec un tel verre, les passagers sont protégés des rayons du soleil et donc d'une chaleur excessive dans l'habitacle.

Ainsi, l'utilisation de vitrages athermiques permet de diminuer l'énergie nécessaire pour la climatisation et par conséquent la consommation de carburant dans le véhicule.

A2- Article de presse scientifique

Le summum de la technologie est de faire varier le niveau de transparence du verre en fonction de la luminosité. On emploie des verres présentant des cellules électrochromes contenant du trioxyde de tungstène WO_3 . Soumise à une tension électrique, la cellule se teinte : le trioxyde de tungstène WO_3 (composé transparent) se transforme en H_2WO_3 (composé coloré), selon la demi-équation électronique : $WO_3 + 2H^+ + 2e^- = H_2WO_3$

Le schéma équivalent à ce principe est le suivant :



Une faible énergie est nécessaire pour faire apparaître la teinte sur tout le pare-brise.

Elle vaut 0,174 W.h.

A3- Principe et schéma des verres électrochromes

Partie B : Propriétés aérodynamiques (8 points)

La trainée, appelée aussi force de résistance aérodynamique, est une force qui s'oppose à l'avancement d'un véhicule dans l'air. Il est donc dans l'intérêt des constructeurs de diminuer la trainée, à l'origine d'une augmentation de la consommation en carburant.

La partie avant d'un véhicule particulier représente en général près de 11% de cette trainée. En modifiant notamment l'inclinaison et la forme du pare-brise, on peut diminuer cette trainée. Les documents (B1), (B2) et (B3), utiles à la réflexion, sont présentés dans l'annexe B à la suite des questions.

B.1 Force de trainée

B.1.1 Compléter le tableau du document réponse DR1 page 11, à rendre avec la copie.

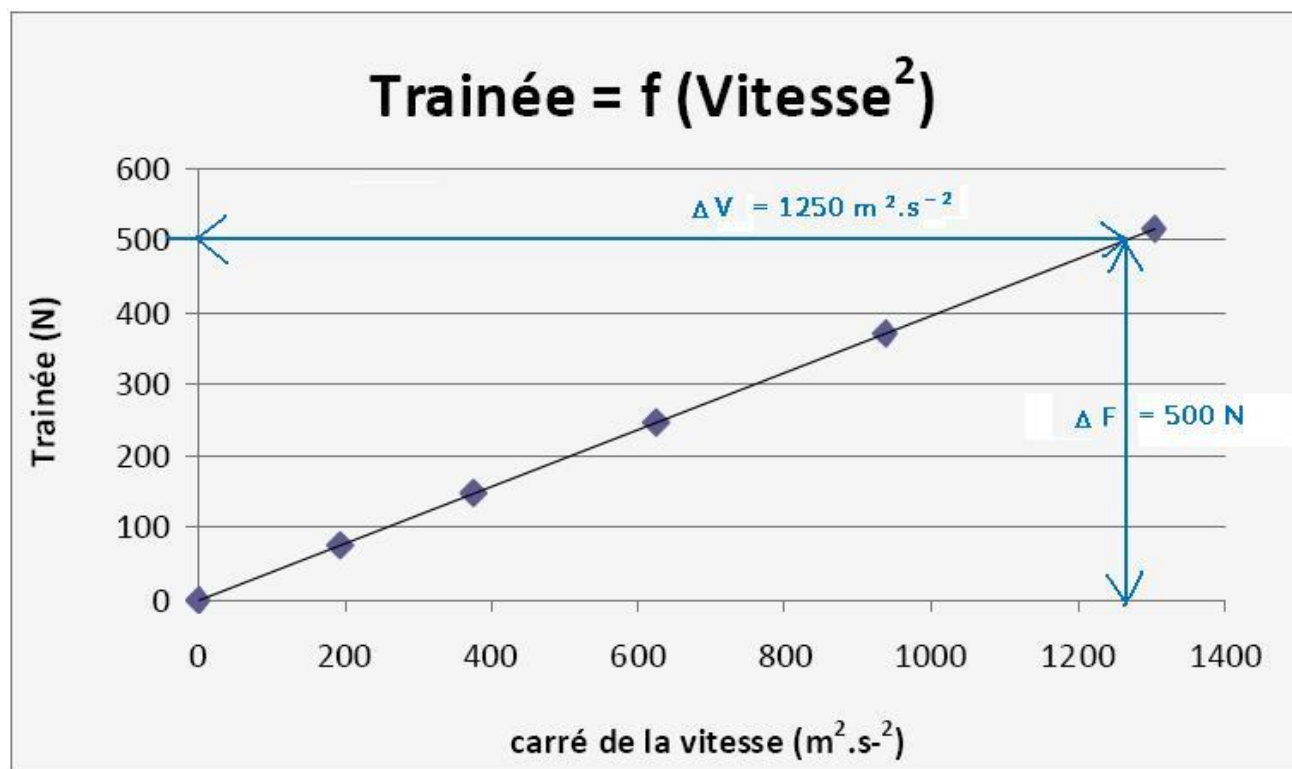
Force de trainée F (N)	76,7	149,3	248,0	371,5	517,0
Vitesse V (km.h ⁻¹)	50,0	69,8	90,0	110	130
Vitesse V (m.s ⁻¹)	13,9	19,4	25,0	30,6	36,1

Il faut multiplier la vitesse en m.s⁻¹ par 3,6 pour obtenir la vitesse en km.h⁻¹.

B.1.2 À partir du document (B1), justifier sans calcul que la relation entre la force de trainée F et la vitesse V peut s'écrire $F = k \times V^2$, où k est une constante.

La courbe donnée dans le document B1, représentant la trainée en fonction du carré de la vitesse, est une droite passant par l'origine. Il y a donc proportionnalité entre les deux grandeurs représentées sur le graphique, on a donc bien $F = k \times V^2$.

B.1.3 Déterminer graphiquement le coefficient directeur (ou pente) k de la droite. Indiquer son unité.



$$k = \frac{\Delta F}{\Delta V^2} = \frac{500}{1250} = 0,4 \text{ Nm}^{-2} \text{ s}^2$$

B.2 Détermination du coefficient de trainée C_x .

Expression de la force de trainée $F = 0,5 \times \rho \times S \times C_x \times V^2$

Données : masse volumique de l'air $\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$

surface frontale de la voiture $S = 1,74 \text{ m}^2$

coefficient de trainée C_x sans unité

vitesse V en m.s^{-1}

B.2.1 En utilisant le résultat de la question B.1.3, déterminer la valeur du coefficient de trainée C_x .

D'après l'encadré ci-dessus, on a : $F = 0,5 \times \rho \times S \times C_x \times V^2$

Donc comme on a vu que $F = k \times V^2$, on peut en déduire que $k = 0,5 \times \rho \times S \times C_x$

$$\text{Donc on a } C_x = \frac{k}{0,5 \times \rho \times S} = \frac{0,4}{0,5 \times 1,2 \times 1,74} = 0,38$$

B.2.2 Au vu du document (B2), de quoi dépend C_x et donc la force de trainée ?

Sur le document B2, on peut remarquer que le C_x dépend de la forme de l'objet.

Données : moyenne $C_{x \text{ moy}} = \frac{\sum C_{x \text{ mesuré}}}{\text{nombre de mesures}}$

$$\text{Incertitude absolue : } \Delta C_x = \frac{q \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{\text{nombre de mesures}}}$$

$q = 2$, pour un taux de confiance de 95%

B.2.3 On réalise la mesure du coefficient C_x plusieurs fois. Les premiers résultats de ces mesures sont donnés dans le document (B3). Calculer la valeur moyenne de ces premiers résultats $C_{x \text{ moy}}$.

$$C_{x \text{ moy}} = \frac{0,383 + 0,382 + 0,378 + 0,375 + 0,382}{5} = 0,380$$

B.2.4 On effectue en tout cent mesures du coefficient C_x .

On trouve une valeur moyenne de $C_{x \text{ moy}} = 0,380$ avec un écart-type $\sigma_{n-1} = 1,5 \times 10^{-2}$.

Donner la valeur de C_x avec l'incertitude absolue correspondant à un taux de confiance de 95%. Pour ce taux de confiance, le coefficient q vaut 2.

$$\Delta C_x = \frac{q \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{\text{nombre de mesures}}} = \frac{2 \times 1,5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{100}} = 3 \cdot 10^{-3}$$

Donc $C_x = (0,380 \pm 0,003)$

B.3 Consommation en diesel

La voiture à moteur diesel consommant du gazole roule à 130 km.h^{-1} . Elle est soumise à la force de trainée $F = 517 \text{ N}$.

Données : vitesse $V = 130 \text{ km.h}^{-1}$
force de trainée $F = 517 \text{ N}$

distance parcourue $d = 100$ km
 pouvoir calorifique du gazole $PC_{\text{gazole}} = 36 \text{ MJ.L}^{-1}$
 rendement global $r = 25 \%$
 masse de la voiture $m = 1,0 \times 10^3$ kg

Formule : énergie cinétique : $E_c = \frac{1}{2} m V^2$

B.3.1 Une voiture roule sur une route horizontale et rectiligne sur une distance $d = 100$ km, à la vitesse constante $V = 130 \text{ km.h}^{-1}$. Montrer que le travail de la force de trainée correspondante vaut, en valeur absolue, $W = 51,7$ MJ.

$W = F \times d = 517 \times 100.10^3 = 5,17.10^7 \text{ J}$ ce qui correspond bien à 51,7 MJ

B.3.2 Le pouvoir calorifique du gazole est de $PC_{\text{gazole}} = 36 \text{ MJ.L}^{-1}$, le rendement global (moteur + transmission) vaut $r = 25\%$.

Montrer que le volume de gazole consommé sur la distance $d = 100$ km (à la vitesse de 130 km.h^{-1}) uniquement pour vaincre la résistance aérodynamique est de $V_{\text{gazole}} = 5,7$ L.

On vient de voir que le travail W de la force de trainée vaut 51,7 MJ.

D'après la donnée du pouvoir calorifique, 1L de de gazole peut fournir 36 MJ. Mais seul 25% sert réellement à entrainer la voiture. Donc en fait, 1L de gazole fournit réellement $36 \times 0,25 = 9,0$ MJ utiles.

Donc :

9,0 MJ	1 L
51,7 MJ	$V_{\text{gazole}} = \frac{1 \times 51,7}{9,0} = 5,7 \text{ L}$

B.3.3 Calculer l'énergie cinétique E_c de la voiture à cette vitesse.

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} \times 1,0.10^3 \times \left(\frac{130\,000}{3\,600} \right)^2 = 6,52.10^5 \text{ J}$$

B.3.4 Le gazole brûle dans le dioxygène de l'air.

B.3.4.1 Le constituant majoritaire du gazole est un hydrocarbure (HC) qui a pour formule brute $C_{21}H_{44}$. Écrire l'équation de sa combustion complète.

La combustion est complète, cela signifie qu'ils ne se forment que du dioxyde de carbone et de l'eau :



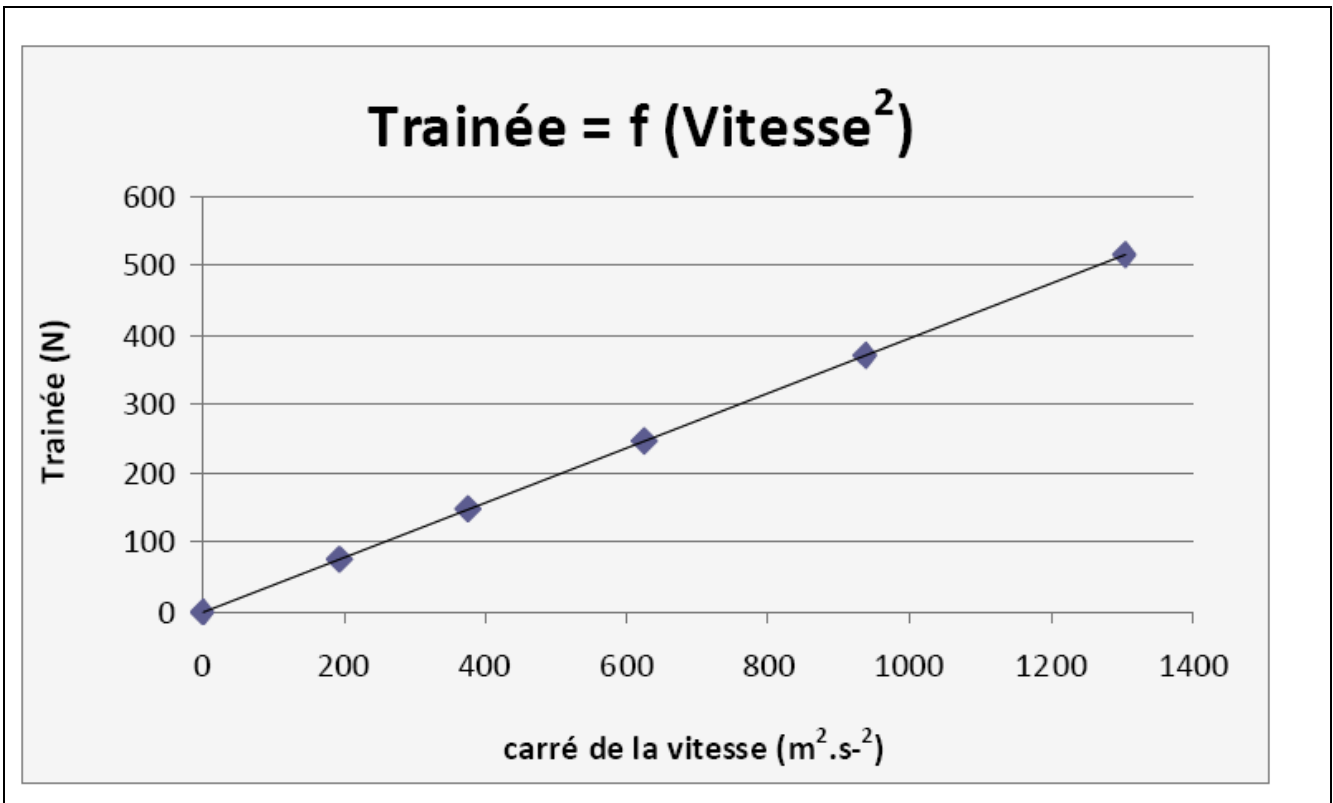
Données : masse molaire de l'hydrocarbure $M_{\text{HC}} = 296 \text{ g.mol}^{-1}$
 $V_{\text{gazole}} = 5,7$ L contient une masse d'hydrocarbure $m_{\text{HC}} = 5130\text{g}$

B.3.4.2 Calculer la quantité de matière de CO_2 produite pour une masse d'hydrocarbure consommée de $m_{\text{HC}} = 5\,130$ g.

D'après l'équation ci-dessus, $\frac{n(CO_2)}{21} = n(C_{21}H_{44})$

$$\text{Donc } n(\text{CO}_2) = 21 \times n(\text{C}_{21}\text{H}_{44}) = 21 \times \frac{m_{\text{HC}}}{M_{\text{HC}}} = 21 \times \frac{5130}{296} = 364 \text{ mol}$$

ANNEXE B – Propriétés aérodynamiques



B1- Graphique Trainée F en fonction de V²

Forme		Coefficient de trainée
Sphère →		0.47
Demi-sphère →		0.42
Cube →		1.05
Corps profilé →		0.04
Semi-corps profilé →		0.09

Mesures des coefficients de trainée

B2- Exemples de coefficients de trainée C_x

► Correction de l'épreuve de Physique-Chimie du Bac STL B – non redoublants – polynésie 2013

	Expérience	1	2	3	4	5	
	C_x	0,383	0,382	0,378	0,375	0,382	
B3- Mesures du coefficient de trainée C_x							

Partie C : Propriétés autonettoyantes (5,5 points)

À terme, le conducteur ne sera plus obligé d'actionner les essuie-glaces pour nettoyer son pare-brise. Sur le vitrage, un revêtement de dioxyde de titane TiO_2 permet aux molécules polluantes et aux salissures de réagir avec le dioxygène de l'air pour former essentiellement du dioxyde de carbone et de l'eau.

Le benzène, présent dans l'habitacle de la voiture, provient des gaz d'échappement des voitures. Il a des effets nocifs sur la santé. Parmi les composés organiques volatils, le benzène est le seul polluant soumis à des valeurs réglementaires.

Les documents (C1), (C2) et (C3), utiles à la réflexion, sont présentés en annexe après les questions.

C.1. Nettoyage de pare-brises classiques

C.1.1 En utilisant le document (C1), donner la signification de deux pictogrammes de danger au choix liés à l'utilisation du benzène.



Inflammable



Nuit gravement à la santé (substance C.M.R.)



Altère la santé

C.1.2 Proposer des produits capables de nettoyer les traces de benzène sur un parebrise classique en utilisant la fiche de sécurité du benzène (C1). Expliciter la réponse.

Il s'agit de tous les solvants dans lesquels le benzène est soluble (éthanol, chloroforme, acétone).

C.1.3 En utilisant le document (C2), quel est le produit le mieux adapté pour nettoyer les traces de benzène avec une sécurité optimale ? Argumenter la réponse.

Parmi les 3 solvants restant, l'éthanol étant celui comportant le moins de risque pour la santé, il est préférable de le choisir.

C.2 Photocatalyse

Du benzène est également présent sous forme gazeuse. Pour l'éliminer, on utilise la technique de photocatalyse.

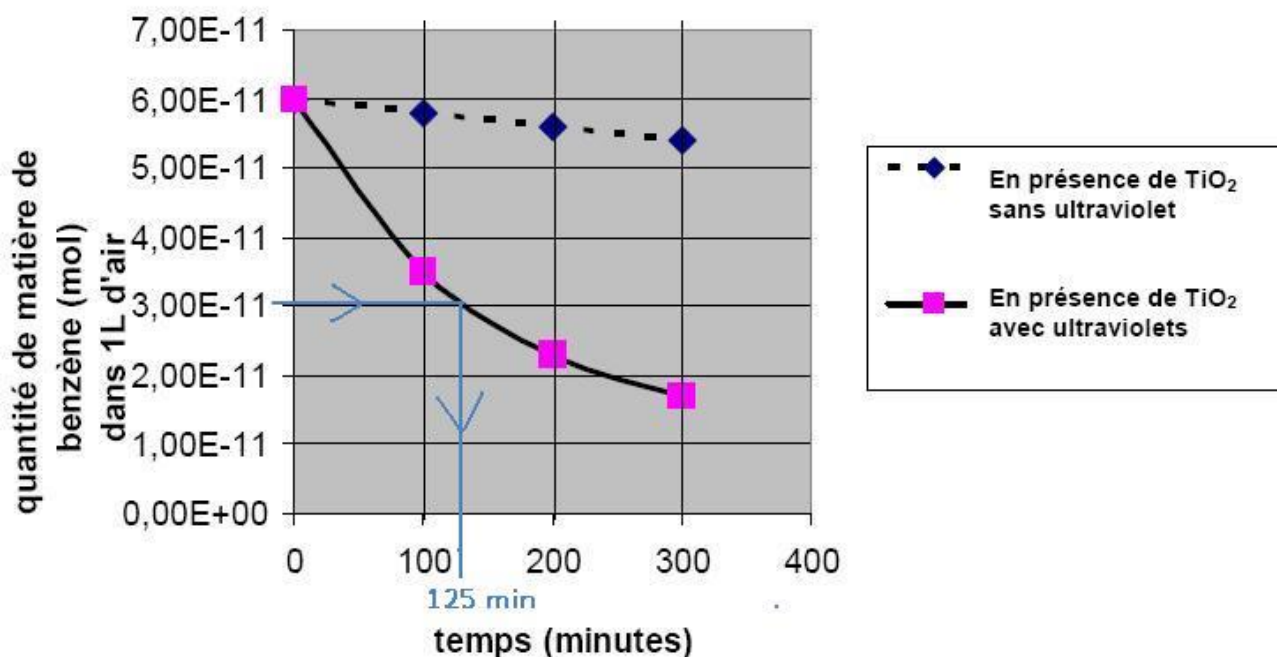
C.2.1 Pourquoi existe-t-il du benzène sous forme gazeuse ?

Le benzène est un produit de la combustion du gazole. Sa température d'ébullition étant de 80 °C, d'après les données, il sort donc du pot d'échappement sous forme gazeuse (les températures à l'intérieur du moteur étant bien supérieures à 80 °C).

C.2.2 En utilisant les deux courbes du document (C3), dire pourquoi on utilise des ultraviolets pour éliminer le benzène.

D'après le document C3, on peut voir que la dégradation du benzène est bien plus rapide en présence d'ultraviolets.

C.2.3 À l'aide du document (C3), évaluer le temps au bout duquel la moitié des molécules de benzène sont détruites sous l'action des rayons ultraviolets.



Il faut 125 minutes pour dégrader la moitié des molécules de benzène sous l'action des ultraviolets.

Donnée : $M_{\text{benzène}} = 78,0 \text{ g.mol}^{-1}$

C.2.4 La concentration maximale admise en benzène dans l'air vaut $2,0 \cdot 10^{-3} \mu\text{g.L}^{-1}$ d'air.

Par rapport aux mesures présentées dans le document (C3), peut-on dire si cette concentration a été atteinte ?

D'après le document C3 (à la date $t = 0 \text{ min}$) on a atteint la proportion de $6,0 \cdot 10^{-11} \text{ mol.L}^{-1}$.

C'est-à-dire $6,0 \cdot 10^{-11} \times 78 = 4,68 \cdot 10^{-9} \text{ g.L}^{-1}$.

Soit $4,68 \mu\text{g.m}^{-3}$.

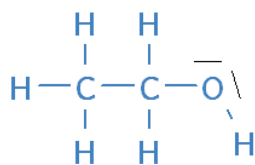
Le seuil maximal a donc bien été dépassé.

C.2.5 L'éthanol, qui fait partie de la famille des alcools, a été proposé dans les produits de nettoyage (C2). Choisir sa formule brute parmi celles proposées ci-dessous :






Puisqu'il fait partie de la famille des alcools, il contient un groupe hydroxyle : $-\text{OH}$, donc au moins un atome d'oxygène. Sa formule est donc $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

C.2.6 Donner sa formule de Lewis sachant que le carbone établit quatre liaisons, l'hydrogène une liaison, l'azote trois liaisons, le chlore une liaison et l'oxygène deux liaisons.








ANNEXE C – Propriétés autonettoyantes

Substance	N° CAS	Pictogramme(s) et mention d'avertissement	Mention(s) de danger et mention additionnelle de danger
Benzène	71-43-2	DANGER   	H225, H350, H340 H372, H304, H319 H315

Propriétés physiques et chimiques

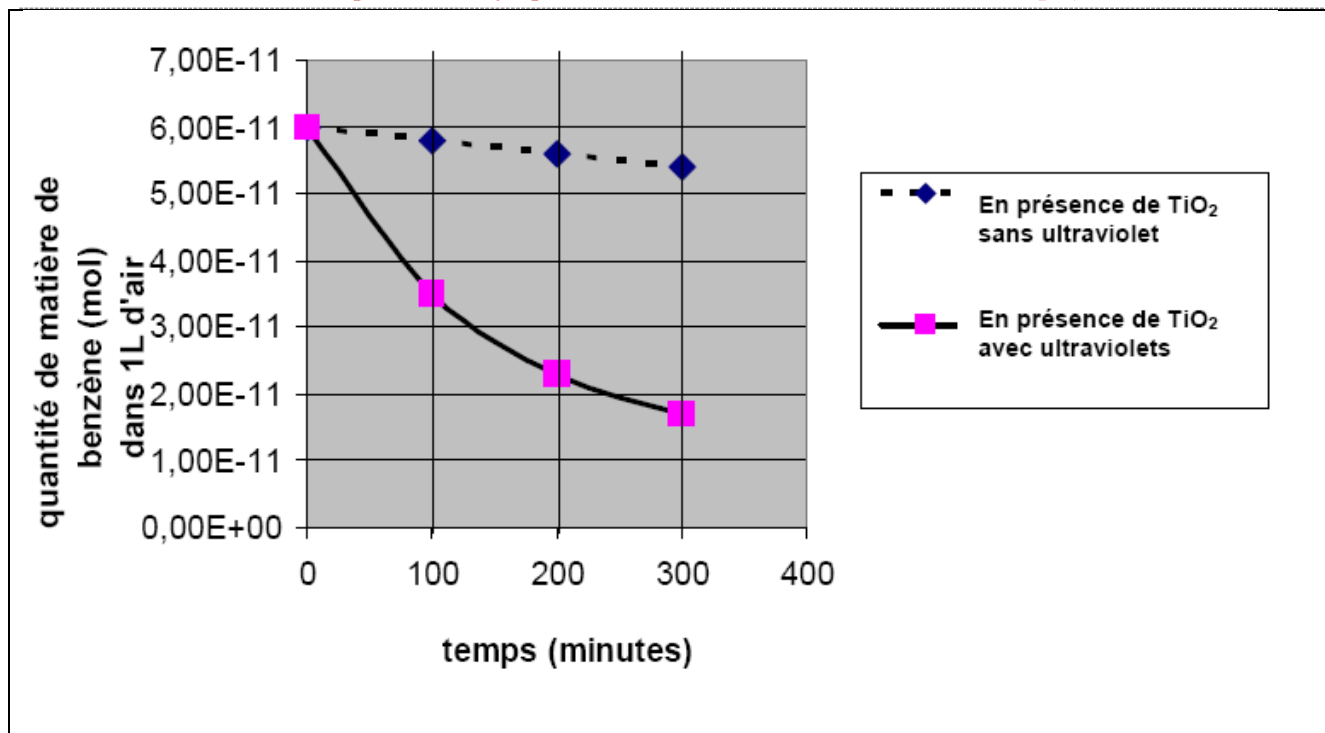
Etat physique et apparence à 20°C	Liquide clair
Couleur	Clair et incolore
Point d'ébullition	80°C
Masse molaire	78 g.mol ⁻¹
Densité à 15°C	0,88
Tension de vapeur	75 mmHg à 20°C
Volatilité	Volatil
Solubilité	Soluble dans l'éthanol, le chloroforme et l'acétone Insoluble dans l'eau

C1- Fiche de Données-Sécurité du benzène C₆H₆

Produit de nettoyage	Caractéristiques	Sécurité
Eau	Solvant	
Ethanol	Solvant	
Acétone	Solvant	 
chloroforme	solvant	 

C2- Produits de nettoyage

Test de décomposition du benzène par photocatalyse



C3- Résultat des tests de décomposition du benzène par photocatalyse

Force de trainée F (N)	76,7	149,3	248,0	371,5	517,0
Vitesse V (km.h⁻¹)					130
Vitesse V (m.s⁻¹)	13,9	19,4	25,0	30,6	36,1

DR1- Relation entre la force de trainée et la vitesse d'une voiture diesel