

Dossier thématique

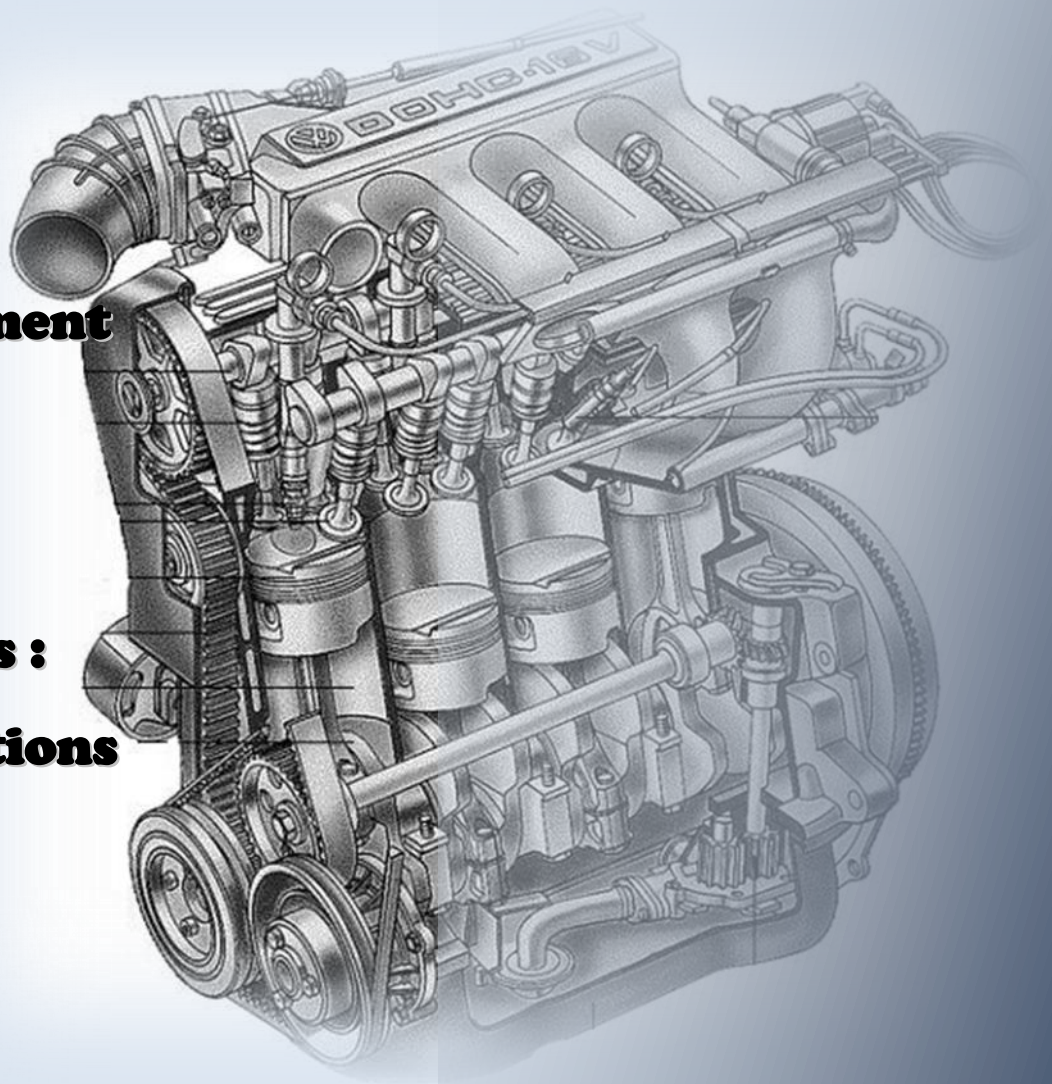
Les moteurs à explosion

Historique

Modes de Fonctionnement

Applications :

- **Les fonctions**
- **La mole**



Auteur :

Stéphane CHOPIN

DOSSIER THÉMATIQUE

Sommaire n° 4

Quatrième dossier thématique consacré aux moteurs à combustion interne. Au mot "explosion", La science préfère le mot "combustion" bien plus proche de la réalité, mais le langage courant a ses approximations qui posent parfois des difficultés aux professeurs !

Le sujet est vaste, et le dossier propose 2 activités, une en mathématiques et une en sciences, dualité oblige !

Il est bien entendu possible d'élargir ce thème, si vous avez des critiques constructives, des activités à proposer, n'hésitez pas.

Stephane.chopin@ac-amiens.fr

Historique *p 3*

Les modes de fonctionnement. *p 5*

2^{nde} BAC PRO *p 7*

Les fonctions usuelles

La chimie *p 18*

Introduction au cours sur la mole

Pour prolonger *p 21*

Les moteurs à explosion

Historique

C'est en 1860 que la première ébauche d'un moteur à explosion a été créée. Ce moteur inédit fabriqué par Etienne Lenoir est, dans un premier temps, alimenté au gaz d'éclairage. Quelques temps plus tard il invente un carburateur permettant de remplacer le gaz par du pétrole. Souhaitant expérimenter au plus vite son moteur, il l'installe sur une voiture rudimentaire qui parcourt pour la première fois le parcours Paris, Joinville-le-Pont. Malheureusement, Lenoir, faute de moyens matériels et financiers, se voit dans l'obligation d'abandonner ses recherches.

Le premier « vrai » moteur à quatre temps fut mis au point par deux ingénieurs allemands, Daimler (1872) et Benz (1882) qui, chacun de leur côté, cherchent à vendre leur brevet en France. En 1889, Panhard et Levassor installent le premier moteur à quatre temps (celui de Daimler) sur une voiture à quatre places.

A partir de cette date la recherche et l'évolution de l'automobile va progresser de manière fulgurante dans tous les pays.

C'est à cette date aussi que commencent les déboires de la voiture : à cette époque la voiture demeure un objet de luxe réservé aux plus fortunés, de plus les routes sans revêtement ni signalisation s'avéraient très difficiles à pratiquer, le démarrage du moteur quand à lui était une épreuve fastidieuse et

les intempéries comme la poussière demeuraient redoutées puisque les voitures n'étaient pas protégées.

Mais toutes ces difficultés ne rebutèrent pas les passionnés désireux de faire découvrir « la voiture sans chevaux » comme on la surnommait à l'époque, au plus grand nombre. Pour cela ils organisèrent des courses telles que la Paris-Rouen qui fut, pour la première fois organisée en 1894. Toutes ces courses eurent pour conséquence d'anéantir le moteur à vapeur et de mettre en valeur la souplesse et l'endurance du moteur à explosion mais également elles démontrèrent, grâce à la Peugeot pilotée par André Michelin que la voiture gagne beaucoup à « rouler sur l'air ».

(<http://alex.carpent.free.fr/Histoire.htm>)

1859

Etienne Lenoir (1822-1900), ingénieur-conseil auprès de la société Gauthier et Cie de Paris, construit un moteur à combustion interne.

On prétend qu'il est le premier à construire un véhicule propulsé par un moteur à combustion interne. Il est donc le précurseur de l'automobile moderne.

Plus tard, Lenoir l'adapte pour fonctionner avec un combustible liquide - comme l'essence de térébenthine - et il le monte sur une voiture.

C'est un moteur 2 temps, 1.5 ch, nécessitant un volant d'inertie très lourd, à consommation considérable pour une vitesse obtenue très faible.

Ce véhicule devait rouler environ trois heures pour parcourir la distance de 10 km, qui séparait Paris de Joinville-le-Pont.

1861

Mémoire déposé par Eugène-Alphonse BEAU DE ROCHAS en vue de l'obtention d'un brevet le 16.1.1862, additif du 10.6.1862 (Sans réalisation pratique)

Cycle Beau de Rochas :

- .1 - Aspiration pendant une course entière du piston.
- 2- Compression pendant la course suivante.
- 3- Inflammation au point mort haut et détente pendant la troisième course.
- 4- Refoulement des gaz brûlés hors du cylindre au quatrième et dernier demi-tour

1876

OTTO construit le premier moteur fiable à quatre temps (à gaz) : Le 9.5.1876 : régime de rotation 180 tr/mn, rendement 0.11 puis 0.20 (brevet DRP 532).

1899

Moteur enfermé sous le siège ou sous un capot, refroidissement par eau unanimement adopté.

1903

1ères voitures de série à moteur V8 de Clément ADER.

1912

1er moteur 4 cylindres à plat de Ferdinand PORSCHE, destiné à l'aviation

1924

1ères ébauches de moteurs rotatifs de Félix WANKEL dans son atelier d'Heidelberg.

1937

49 prototypes CITROEN TPV (très petite voiture, future 2 CV) produits de 1936 à 1948

(présentation au salon de Paris). :.

- VOLKSWAGEN Coccinelle : 4 places, moteur arrière flat 4, 1500 cm³, refroidi par air.

1957

- GENERAL MOTORS Firebird 3 à turbine, équipée d'un anti-bloqueur (ABS).
- Moteur DKM (Dreh Kolben Motor) NSU-WANKEL : moteur à piston tournant, chambre tournant en même temps que le piston ; rotor extérieur soumis à des contraintes mécaniques et thermiques telles qu'il se déformait aux régimes élevés atteints ; peu pratique à implanter sur un véhicule routier

1959

Présentation du moteur NSU-WANKEL (10.1959).

1961

Acquisition de la licence WANKEL par MAZDA

1970

1ère apparition de la CHEVRON B 16 MAZDA (moteur Wankel) aux 24h du Mans.

1991

Victoire de la MAZDA 787 B (moteur Wankel) aux 24 h du Mans

(<http://philippe.boursin.perso.sfr.fr/histmote.htm>).

Le fonctionnement

Moteur quatre temps à allumage commandé

Le cycle de fonctionnement se décompose en quatre temps ou phases. Le mouvement du piston est initié par la combustion (augmentation rapide du volume des gaz) d'un mélange de carburant et d'air (comburant) qui a lieu durant le temps moteur. C'est le seul temps produisant de l'énergie ; les trois autres temps en consomment mais le rendent possible.

Le piston se déplace pendant le démarrage grâce à une source d'énergie externe (souvent un démarreur ou lanceur : un moteur électrique est couplé temporairement au vilebrequin) jusqu'à ce qu'au moins un temps moteur produise une force capable d'assurer les trois autres temps avant le prochain temps moteur. Le moteur fonctionne dès lors seul et produit un couple sur son arbre de sortie.

Voici une description des cycles successifs d'un moteur à quatre temps :

1) **admission** d'un mélange air et de carburant vaporisé : ouverture de la soupape d'admission et descente du piston, ce dernier aspire ainsi ce mélange dans le cylindre à une pression de $-0,1$ à $-0,3$ bar ;

2) **compression** du mélange : fermeture de la soupape d'admission, puis remontée du piston qui comprime le mélange jusqu'à 30 bars et 400 à 500 °C dans la chambre de combustion ;

3) **combustion** : moment auquel le piston atteint son point culminant et auquel la compression est au maximum ; la bougie d'allumage, connectée à un générateur d'électricité haute tension, produit une étincelle ; la combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur ; les gaz chauds à une pression de 40 à 60 bars repoussent le piston, initiant le mouvement

4) **échappement** : ouverture de la soupape d'échappement et remontée du piston qui chasse les gaz brûlés détendus dans le collecteur d'échappement, laissant la place à une nouvelle charge de mélange air/carburant.

1. Un nouveau cycle commence en 1.

Moteur Diesel quatre temps

Comme le moteur thermique à allumage commandé, le moteur Diesel est constitué de pistons coulissants dans des cylindres, fermés par une culasse reliant les cylindres aux collecteurs d'admission et d'échappement, culasse équipée de soupapes commandées par un ou plusieurs arbres à cames.

Le fonctionnement repose sur l'auto-inflammation du gazole, fioul lourd ou encore huile végétale brute dans de l'air comprimé à plus de $1:20$ du volume du cylindre (environ 20 bar), dont la température est portée à quelque 600 °C. Sitôt le carburant injecté (pulvérisé) dans l'air comprimé, celui-ci s'enflamme presque instantanément, sans qu'il ne soit nécessaire de recourir à un allumage commandé par bougie. Sur les anciens diesel la pression d'injection est de 150 à 200 bars, dans les diesels modernes à injection directe type HDI la pression d'injection est de 1200 bars ce favorise une combustion plus complète moins polluante).

Le cycle Diesel à quatre temps comporte :

1. **admission** d'air par l'ouverture de la soupape d'admission et la descente du piston ;
2. **compression** de l'air par remontée du piston, la soupape d'admission étant fermée ;
3. **injection - combustion - détente** : peu avant le point mort haut, on introduit, par un injecteur haute pression le carburant pour former un mélange instable avec l'oxygène de l'air comprimé. La combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur, les gaz chauds en expansion rapide repoussent le piston, libérant une partie de leur énergie. Celle-ci peut être mesurée par la courbe de puissance moteur ;
4. **échappement** des gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement, poussés par la remontée du piston.

Les seules bougies présentes sur un moteur diesel sont les bougies de "préchauffage" qui, comme leur nom l'indique, préchauffent les chambres de combustion (ou les préchambres suivant le type de diesel) afin d'obtenir, lorsque le moteur est froid, une température suffisante pour l'auto-inflammation du carburant.

(http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_%C3%A0_explosion)

Exemples d'activités

Les activités présentées dans les pages suivantes sont :

Les fonctions usuelles, niveau 2nde BAC pro.

Cette activité prend comme point de départ le moteur d'un véhicule, le modèle étudié est une Ford Ka, j'ai choisi cette voiture car nous en avons acheté une !

Bien évidemment, tout autre modèle peut convenir.

Certains puristes des programmes pourront objecter que la fonction cube n'est pas au programme de la 2nde BAC PRO, mais il aurait été dommage de ne pas profiter du volume des cylindres pour aborder cette fonction.

Introduction à la notion de mole.

J'ai remarqué la publicité pour la Passat dans un magazine (Marianne du 12 septembre 2009), l'expression :

4,5 L/100 km = 119 g de CO₂ m'a interpellé, d'où une recherche avec les élèves.

Cette activité a été testée avec des élèves de BEP électronique.

Il faut une classe de bon niveau et studieuse pour suivre le déroulement de la démonstration.

Activité n°1 : Etude de la cylindrée d'un moteur : Que de fonctions !

Nous allons étudier la cylindrée de la Ford Ka



Spécification technique des moteurs de la Ford Ka

Informations générales	1,2 L Duratec	1,3 L Duratorq
Code moteur	169A4000	169A1000
Cycle	OTTO	DIESEL
Nombre et disposition des cylindres	4 en ligne	4 en ligne
Alésage de piston et course en mm	70,8 x 78,86	69,6 x 82
Cylindrée totale en cm ³	1242	1248
Rapport de compression	11,1 : 1	17,6 : 1
Puissance maximale (EEC) kW	51	55
HP	69	75
Rapport correspondant rpm	5500	4000
Couple maximum (ECC) Nm	102	145
Kgm	10,4	14,8
Rapport correspondant rpm	3000	1500
carburant	Sans plomb 95	Diesel

Nous allons plus particulièrement étudier le moteur 1,2L duratec

Qu'est que la cylindrée ?

Calcul de volume

Le moteur classique d'une voiture comporte 4 cylindres. Il peut exister des moteurs comportant jusqu'à 12 cylindres (les moteurs V12).

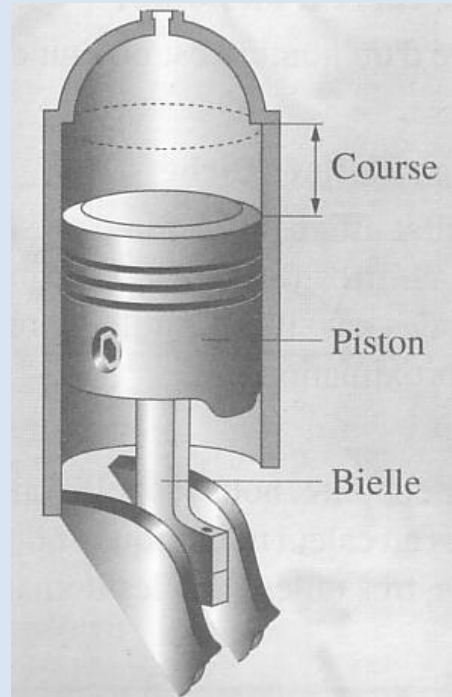
La Cylindrée est le volume engendré par la course du piston dans le cylindre.

Dans le cas de plusieurs cylindres, la cylindrée du moteur est la somme de toutes les cylindrées.

Le volume d'un cylindre est donné par la formule :

Application :

Donner une définition du mot **alésage** :



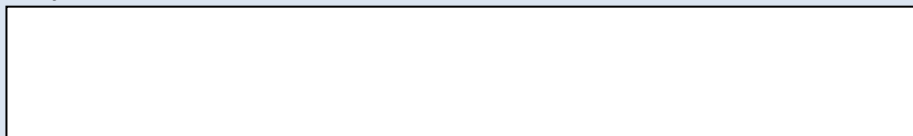
Donner une définition du mot **course (pour un piston)**

Reprendre les données techniques de la Ford Ka et **retrouvez la cylindrée totale** du moteur essence grâce à l'alésage et à la course du piston.

Modification de la course du piston

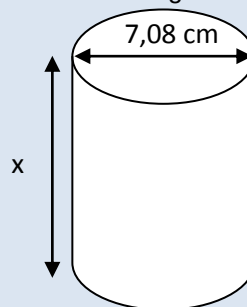
Les fonctions affines et linéaires

Les ingénieurs de Ford ont étudié différentes longueurs de course, en gardant le même alésage. Donner l'expression, en cm^2 , de la **cylindrée d'un moteur** composé de 4 cylindres schématisés ci contre.



Soit la fonction f de la variable x définie sur l'intervalle $[0 ; 13[$ par :

$$f(x) = 157,48 x$$

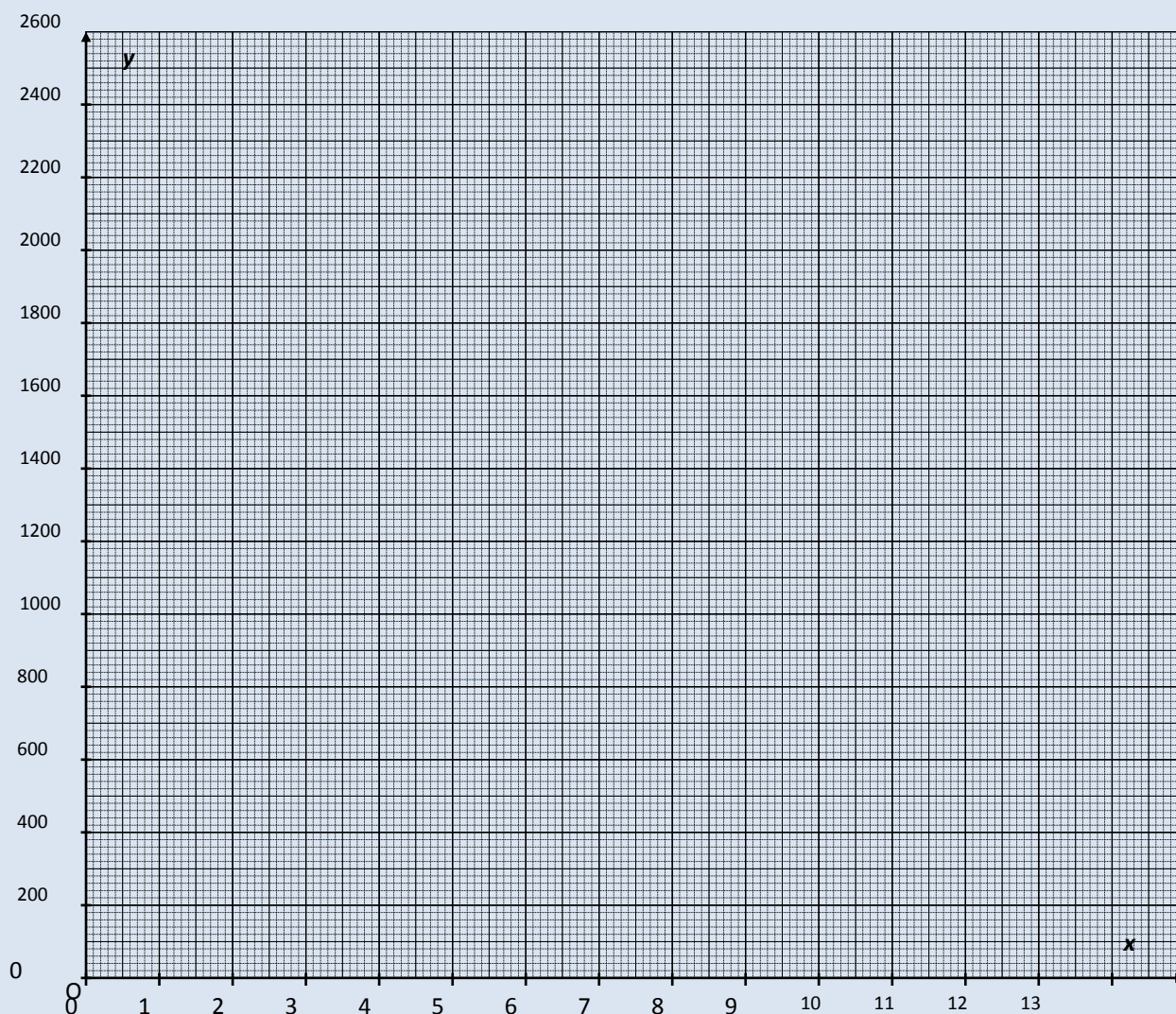


Compléter le tableau de valeurs suivant :

x	0	1	2	3	4	5	6
f(x)							

x	7	8	9	10	11	12	13
f(x)							

Représenter graphiquement la fonction f dans le repère ci dessous

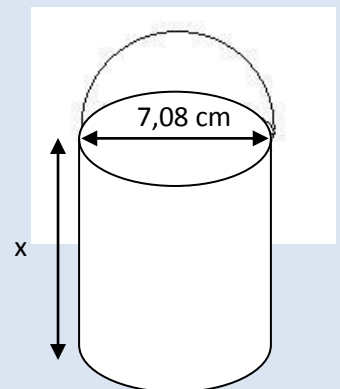


Que remarquez-vous ?

Une deuxième étude prévoit un autre profil pour la chambre de combustion,

Les ingénieurs ajoutent au dessus du cylindre précédent un volume supplémentaire de forme demi sphérique.

Calculer, en cm³, le volume ajouté à la cylindrée totale du moteur
grâce aux 4 demi-sphères supplémentaires



Soit la fonction g de la variable x définie sur l'intervalle $[0 ; 11[$ par :

$$g(x) = 157,48 x + 743,29$$

Compléter le tableau de valeurs suivant :

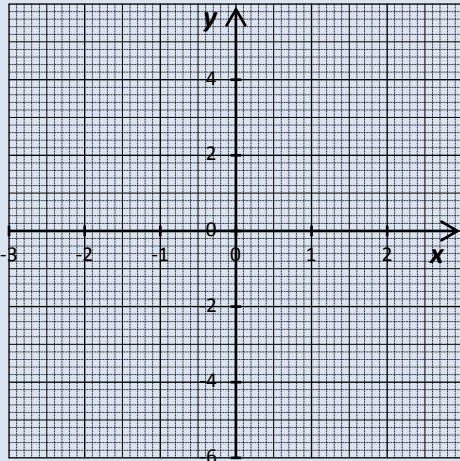
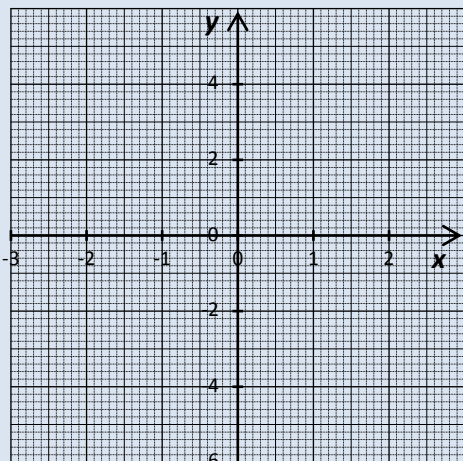
x	0	1	2	3	4	5
g(x)						

x	6	7	8	9	10	11
g(x)						

Représenter graphiquement la fonction g dans le repère précédent.

Que remarquez-vous ?

Récapitulatif

Fonction linéaire	Fonction affine																												
<u>Expression générale :</u>	<u>Expression générale :</u>																												
<u>Représentation graphique :</u>	<u>Représentation graphique :</u>																												
<u>Exemple :</u> y = 2x	<u>Exemple :</u> y = 2x + 2																												
<u>Tableau de valeurs :</u>	<u>Tableau de valeurs :</u>																												
<table><tr><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	x							y							<table><tr><td>x</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>y</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	x							y						
x																													
y																													
x																													
y																													
<u>Représentation graphique :</u> 	<u>Représentation graphique :</u> 																												

Modification de l'alésage

Les fonctions carrées

Une autre piste technique pour modifier la cylindrée d'un moteur est de changer l'alésage (le diamètre) des cylindres du moteur.

Donner l'expression, en cm², de la cylindrée d'un moteur comportant 4 cylindres schématisés ci contre

Soit la fonction f de la variable x définie sur l'intervalle $[0 ; 13[$ par :

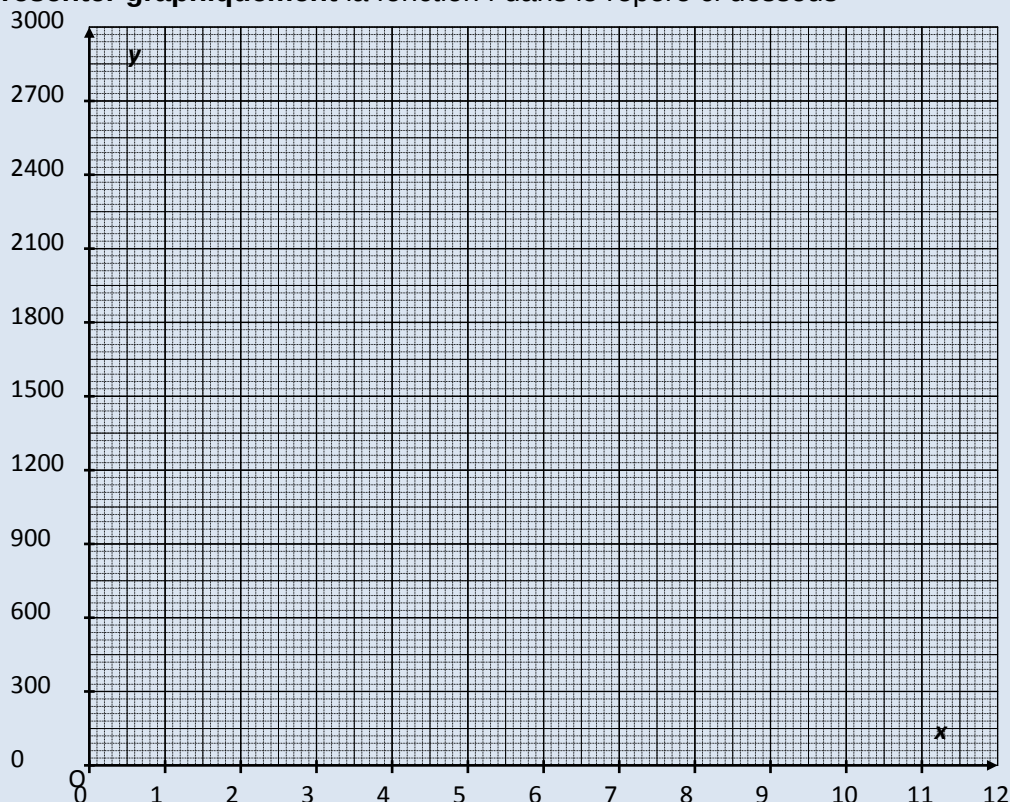
$$f(x) = 24,77 x^2$$

Compléter le tableau de valeurs suivant :

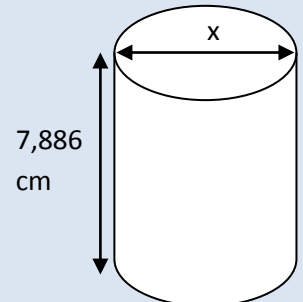
x	0	1	2	3	4	5
f(x)						

x	6	7	8	9	10	11
f(x)						

Représenter graphiquement la fonction f dans le repère ci dessous



Remarques



Etude de la fonction carrée

Définition

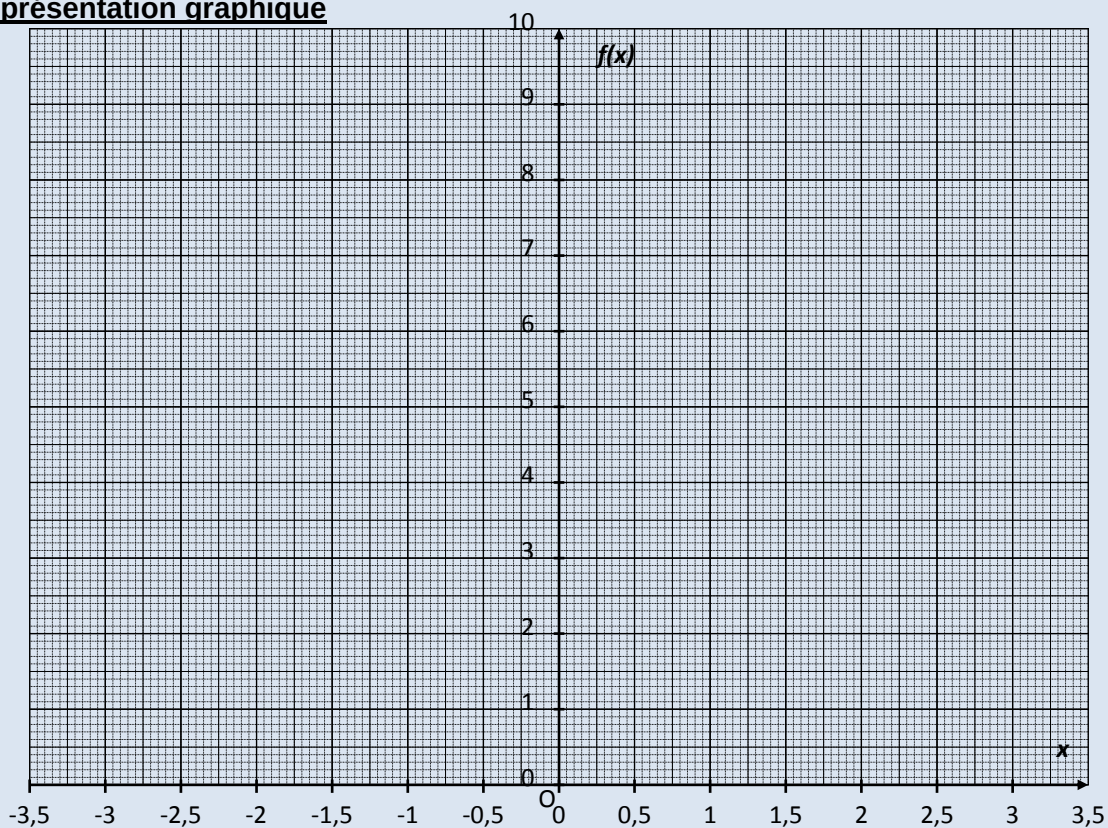
Tableau de valeurs:

Compléter le tableau suivant :

x	-3	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2	3
f(x)									

Que remarque-t-on ?

Représentation graphique



Que remarque-t-on ?

Compléter le tableau de variations de cette fonction :

x	
f(x)	

Etude de 2 fonctions carrées

Soit f et g deux fonctions définies sur $\mathbb{R}$ par $f(x) = 2x^2$ et $g(x) = -2x^2$

Nous allons étudier ces deux fonctions en parallèles et chercher à connaître leurs différentes propriétés.

$$f(x) = 2x^2$$

$$g(x) = -2x^2$$

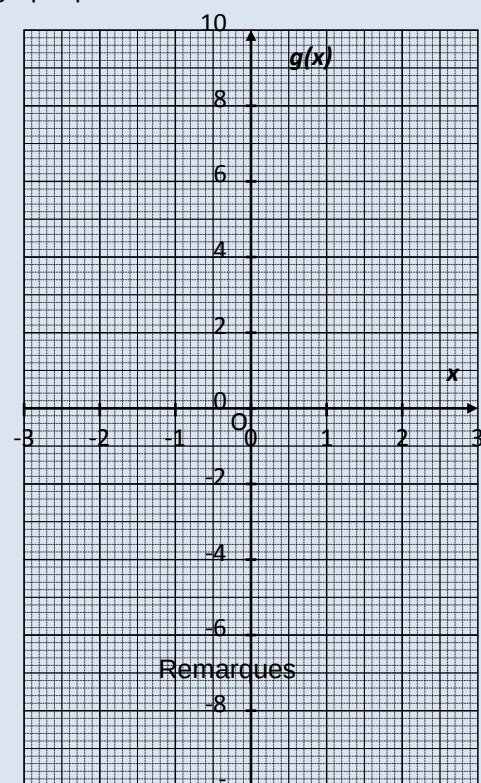
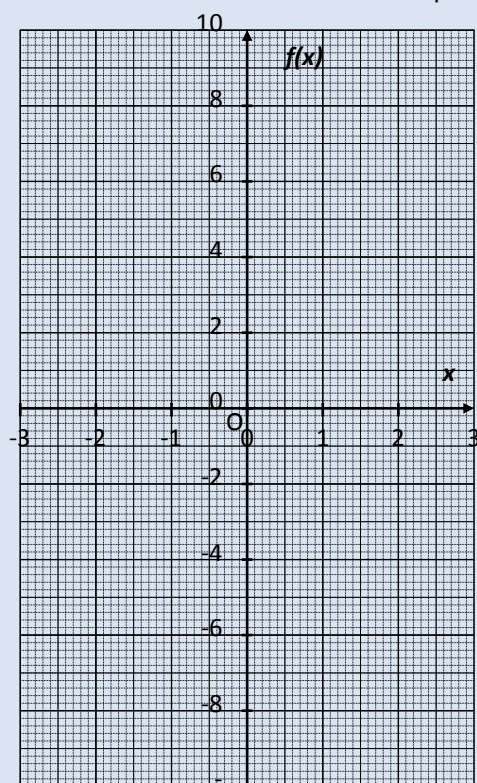
Tableaux de valeurs

x	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2
$f(x)$							

x	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2
$g(x)$							

Remarques

Représentations graphiques



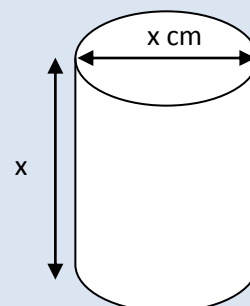
Conclusion

Modification de l'alésage et de la course

Les fonctions cubes

Pour des raisons techniques le constructeur désire que la hauteur du cylindre soit identique au rayon.

Donner l'expression, en cm², de la **cylindrée d'un moteur** composé
De 4 cylindres schématisés ci contre



Soit la fonction f de la variable x définie sur l'intervalle $[0 ; 9[$ par :

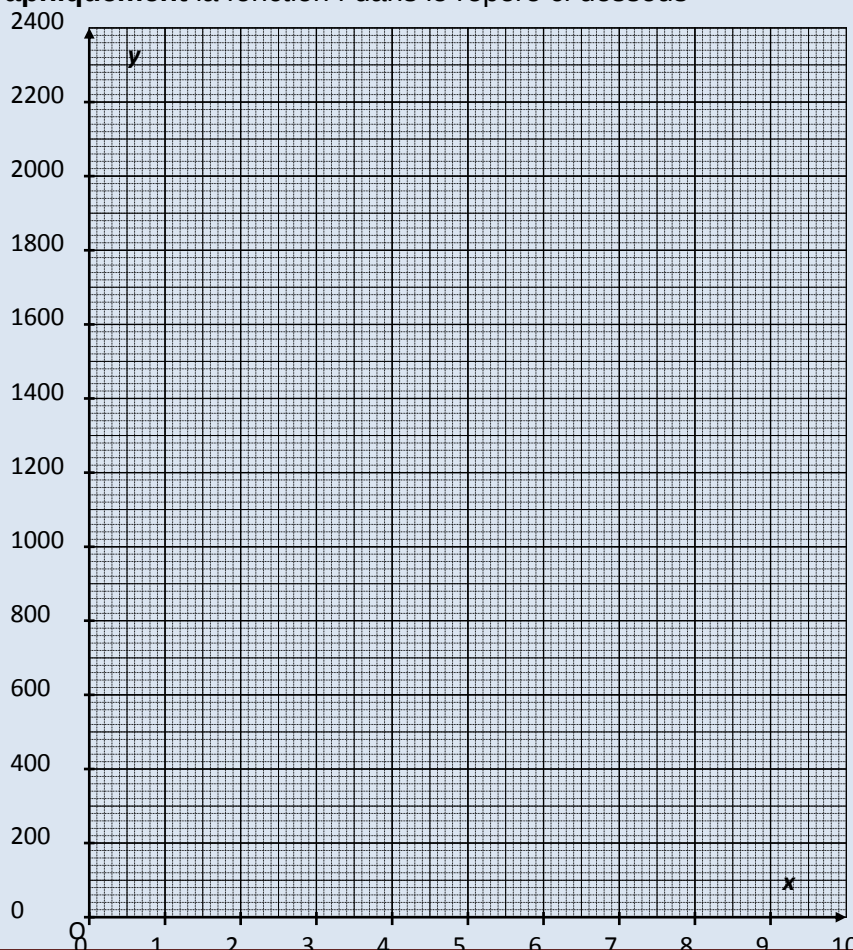
$$f(x) = 3,14 x^3$$

Compléter le tableau de valeurs suivant :

x	0	1	2	3	4
f(x)					

x	5	6	7	8	9
f(x)					

Représenter graphiquement la fonction f dans le repère ci dessous



La fonction cube $f(x) = x^3$

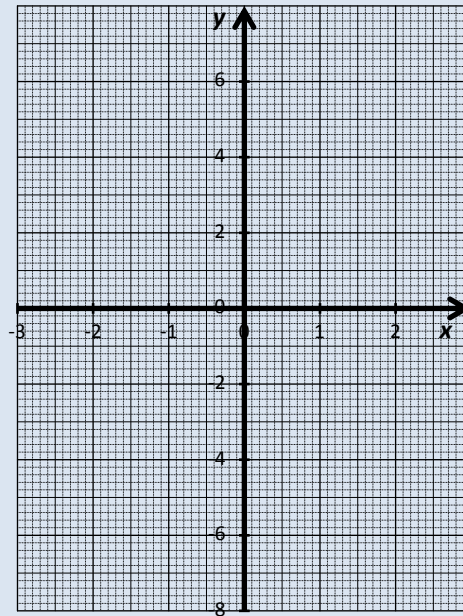
Définition

1) **Compléter** le tableau de valeurs suivant

.x	-2	-1.5	-1	-0.7	-0.5	0	0.5	0.7	1	1.5	2
.f(x)											

2) Que remarquez-vous ?

Représentation graphique



3) Que remarquez vous ?

4) **Compléter** le tableau de variations de cette fonction :

x	
f(x)	

Etude de 2 fonctions cubes

Soit f et g deux fonctions définies tel que $f(x) = 0,5 x^3$ et $g(x) = -0,5 x^3$

Nous allons étudier ces deux fonctions en parallèles et chercher à connaître leurs différentes propriétés.

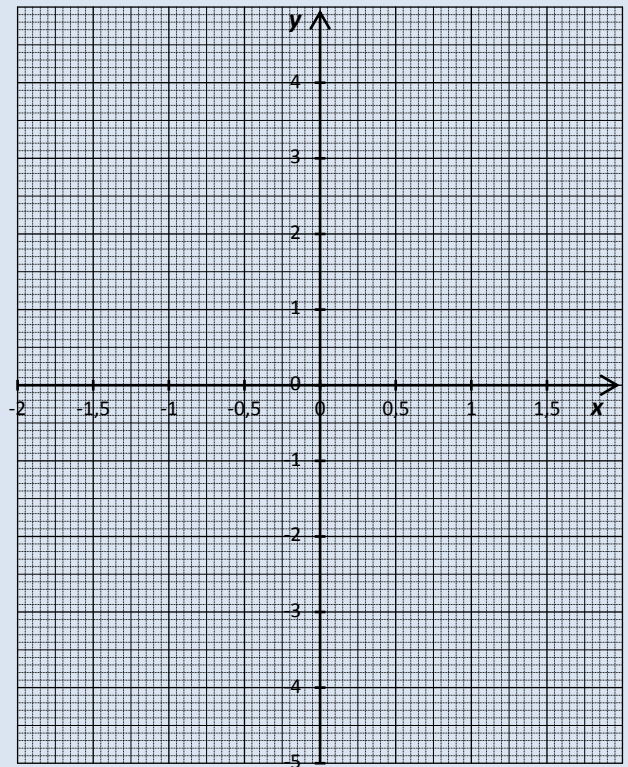
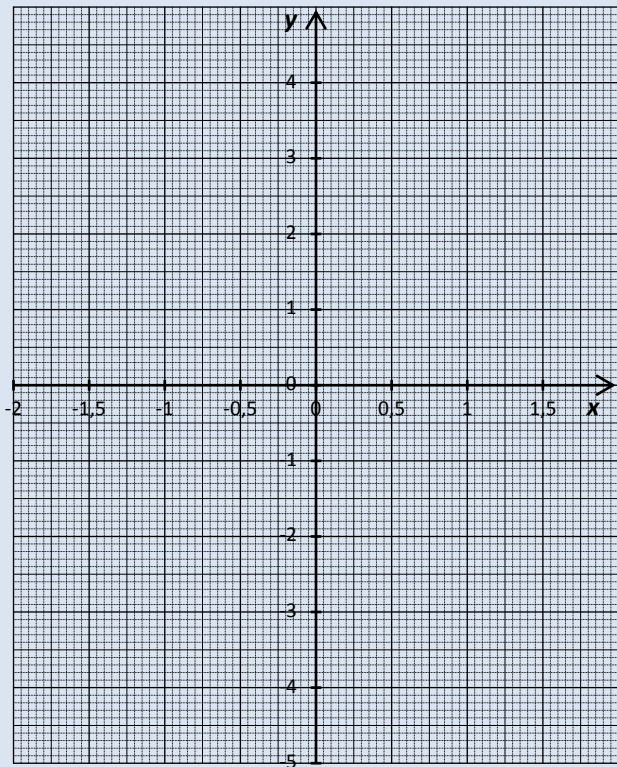
Tableaux de valeurs

x	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2
f(x)							

x	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2
g(x)							

Remarques

Représentations graphiques



Remarques

Conclusion

Activité n°2 : Introduction à la mole

www.volkswagen.fr

Extrait de Marianne du 12 septembre 2009

De 0 à 100 km en 4,5 litres.



Passat SW BlueMotion. A partir de 22 510 €.⁽¹⁾

4,5 l/100 km = 119 g de CO₂/km = 700 € de Bonus Ecologique.⁽²⁾

Et si on revoyait un peu notre conception de la performance ? Grâce à sa nouvelle génération de moteur TDI à rampe commune et à son système de récupération de l'énergie au freinage, la Passat SW BlueMotion abaisse encore les standards en termes de consommation et de bruit. Mieux : ces technologies, alliées au système Start-Stop qui évite de faire tourner le moteur au feu rouge, permettent de descendre sous le seuil des 120 g de CO₂/km.

On ne peut pas vivre sans rejeter de CO₂. Tâchons déjà d'en rejeter un peu moins.

BLUEMOTION

— TECHNOLOGIES —



Das Auto.

Volkswagen recommande 

(1) Prix TTC conseillé au tarif du 01/05/09 mis à jour au 06/08/09 de la Passat SW 'Trendline' BlueMotion 1.6 TDI 105 CR FAP, remise exceptionnelle 'LES (INSTANTS) VOLKSWAGEN' de 4 000 € TTC déduite. Offre non cumulable réservée aux particuliers en France métropolitaine valable pour ce véhicule, commandé et livré du 5 mai au 30 décembre 2009. (2) Selon modalités du décret 2007-1873. **Modèle présenté :** Passat SW 'Confortline' 1.6 TDI 105 CR FAP BlueMotion au prix TTC conseillé au tarif du 01/05/09 mis à jour au 06/08/09, de **25 290 €**, remise exceptionnelle de 4 000 € TTC déduite et option peinture métallisée (510 € TTC) incluse. Consommations mixte/urbaine/extra-urbaine de la Passat SW 'Confortline' BlueMotion 1.6 TDI 105 (l/100 km) : 4,5 / 5,5 / 3,9. Emissions de CO₂ (g/km) : 119. **Das Auto : La Voiture.**

I) Approche

Etudions la publicité Volkswagen :

Elle affirme : 4,5 l/100km = 119 g de CO₂/km

Au-delà de l'utilisation abusive du signe "=" nous allons tenter de savoir si cette publicité dit la vérité.

Trouvez le moyen de prouver cette affirmation.

Phase de recherche à la maison.

Données techniques sur le gazole : (<http://www.explic.com/7919-essence.htm>)

- densité : 0,845
- formule chimique simplifiée : C₂₁H₄₄

Démonstration :

4,5 L/100km (0,045 L/km

Conversion en masse

0,045 x 0,845 = 0,038025

0,038025 kg/km soit 38,025g/km

38,025 g de gazole produiraient donc d'après la publicité 119 g de CO₂

Pour poursuivre, il nous faut l'équation bilan de la combustion du gazole



Il nous manque une donnée, en effet l'équation bilan met en relation des quantités de molécules et les données de la publicité sont des masses !

Nous allons définir la notion qui nous manque pour poursuivre et nous reviendrons sur cette approche.

II) La mole

Il y a une disproportion très importante entre les grandeurs à l'échelle des entités élémentaires (atomes, molécules, ions) et les grandeurs utilisables dans les expériences courantes (volume de l'ordre du litre ou du cm³, masse de l'ordre du gramme).

Il est évident qu'il est impossible de compter le nombre d'atomes de carbone qu'on introduit dans le milieu réactionnel. De plus cela compliquera l'écriture des réactions !

On a donc défini une grandeur qui permet de faire le lien entre l'échelle des entités élémentaires (ou échelle microscopique) et l'échelle humaine : la mole.

• définition

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de carbone 12.

Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être, des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés.

Le symbole de la mole est : mol

Il y a donc $6,02 \cdot 10^{23}$ entités élémentaires dans une mole. Ce nombre que nous venons de trouver est la constante d'Avogadro noté N_A

Définition pratique de la mole :

Une mole d'entités élémentaires est la quantité de matière constituée par $6,02 \cdot 10^{23}$ entités élémentaires.

III) Masses molaires

La masse molaire (symbole M) d'une entité élémentaire est la masse d'une mole de cette entité élémentaire.

Unité légale : kg/mol unité usuelle : g/mol

Exemples:

1 mole de carbone 12 a pour masse 12 grammes

1 mole de chlore a pour masse 35,5 g

1 mole d'oxygène a pour masse 16g

1 mole d'hydrogène a pour masse 1 g

La masse molaire d'une molécule est la somme des masses molaires de ses différents éléments.

Ex : 1 mole d'eau H_2O : $M_{H_2O} = 2 \cdot 1 + 16 = 18$ (en g/mol)

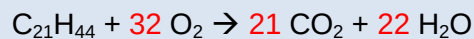
1 mole acide chlorhydrique HCl = $1 + 35,5 = 36,5$ (en g/mol)

1 mole d'acide sulfurique H_2SO_4 = $2 + 32 + 16 \cdot 4 = 98$ (en g/mol)

Retour sur l'approche :

Nous avons :

38,025 g de gazole par km

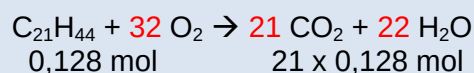


Calculons maintenant la masse molaire du cétane (gazole) et celle du dioxyde de carbone

$M_{\text{gazole}} = 296$ g/mol

$M_{CO_2} = 44$ g/mol

On a donc introduit $38,025 / 296 = 0,128$ mol de gazole pour parcourir 1 km



On obtient donc 2,688 mol de CO_2 à 44g/mol soit :

118,3 g de CO_2 par km

**Conclusion l'affirmation de la
publicité est vraie**

Pour prolonger le thème

Il est bien entendu possible de compléter ce dossier, voici quelques pistes qui ne sont pas encore exploitées :

- Mouvement des bielles – pistons → Cinématique
- Mouvement des bielles – pistons → fonctions trigonométriques
- Rendement des moteurs → Energétique

De façons plus générales sur l'automobile :

- Etude du circuit électrique du système d'éclairage du véhicule
- Déclenchement de l'air bag → chimie, cinématique (capteur de décélération)
- Volume de coffre → géométrie dans l'espace
- Consommation → proportionnalité
- Les statistiques applicables à tous les domaines.
- Etc.

Si vous avez des idées, n'hésitez pas :

stephane.chopin@ac-amiens.fr