LA COMBUSTION DES CARBURANTS

LE DIOXYDE DE CARBONE (CO_2)

Gaz carbonique, atmosphère terrestre, combustion du carburant, cycle du carbone, pollution, effet de serre, consommation de carburant, émissions de CO_2, essence, gazole, GPL, bilan carbone

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

LE DIOXYDE DE CARBONE (CO_2)

Qu'appelle-t-on CO_2 ? Comment se forme-t-il ? Comment est-il recyclé ? Quels sont ses dangers ? Comment calcule-t-on les quantités de CO_2 rejetées par les moteurs d'automobiles ? Comment peut-on réduire les émissions de CO_2 liées à la circulation automobile ? Voici quelques éléments de réponses.

Qu'appelle-t-on CO_2 ?

CO_2 est le symbole chimique de la molécule de *dioxyde de carbone*, également appelée *anhydride de carbone* ou *gaz carbonique*. Cette molécule est constituée d'un atome de carbone (symbole chimique C) et de deux atomes d'oxygène (symbole chimique O), d'où son nom.

Quelles sont les propriétés du CO_2 ?

Le CO_2 est un gaz incolore, inodore et non toxique, capable de se dissoudre dans l'eau. Sa masse volumique est d'environ 2 grammes par litre, soit une densité 1,5 fois supérieure à celle de l'air. D'un point de vue chimique, le CO_2 appartient à la catégorie des gaz neutres, autrement dit il ne se combine qu'avec un tout petit nombre d'éléments.

L'ensemble de ses propriétés physico-chimiques ainsi que sa saveur aigrelette en font un produit très apprécié dans l'industrie alimentaire : le CO_2 est utilisé pour conserver les produits emballés sous atmosphère contrôlée (chips, cacahuètes…) ou pour gazéifier certaines boissons (eaux minérales, jus de fruits…).

Comment se forme le CO_2 rejeté par les moteurs d'automobiles ?

Le CO_2 se forme lors de la combustion de bois, charbon, gaz ou hydrocarbure par réaction du carbone (C) avec l'oxygène (O_2) de l'air. L'essence automobile contient environ 84 % de carbone, le gazole environ 87 %, cette réaction avec l'oxygène fournissant l'énergie nécessaire pour faire tourner le moteur.

Il est important de noter que les rejets de CO_2 sont toujours proportionnels à la quantité de carburant consommé, et que les techniques modernes de dépollution des moteurs (catalyseur à oxydation, catalyseur à réduction, filtre à particules, etc.) sont sans effet sur ces émissions.

Que devient le CO_2 rejeté dans l'atmosphère ?

Le CO_2 est indispensable à la vie, il est biodégradable et se recycle de façon naturelle.

Ce sont les plantes vertes et en particulier les arbres qui, grâce à leurs feuilles, capturent le CO_2 présent dans l'atmosphère pour en assimiler le carbone, principal constituant du bois, et en restituer l'oxygène (processus de *photosynthèse*). Sans CO_2, plus de vie possible sur terre !

Le CO_2 rejeté au dessus des océans se dissout dans l'eau de mer. Une partie du CO_2 marin est capturée par les plantes aquatiques et le phytoplancton qui ont besoin de carbone pour leur croissance. L'oxygène ainsi restitué entretient la vie sous-marine. Sans CO_2, plus de vie possible dans les océans !

L'autre partie du CO_2 marin réagit avec le calcium présent dans l'eau de mer pour former du carbonate de calcium ($CaCO_3$) qu'on retrouve par exemple dans le récif corallien, l'un des constituants des fonds marins.

Quel est le problème posé par le CO_2 atmosphérique ?

Tous les êtres vivants (hommes, animaux, végétaux) émettent du CO_2 selon l'un des principes vitaux qu'est la respiration. S'y ajoutent les énormes quantités de CO_2 rejetées dans l'atmosphère qui proviennent de la consommation d'énergie fossile (bois, charbon, gaz, pétrole). Cette consommation s'est accrue à partir des années 50 avec le développement des transports terrestres, maritimes et aériens partout dans le monde.

Comme d'autres gaz présents dans l'air (vapeur d'eau, méthane, dioxyde d'azote, oxyde nitreux…), le CO_2 atmosphérique a la propriété d'absorber une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre, gênant ainsi son refroidissement, c'est ce qu'on appelle l'*effet de serre*.

Comment calcule-t-on les émissions de CO_2 d'une voiture ?

Pour sensibiliser le public, les constructeurs sont désormais tenus de publier les quantités de CO_2 rejetées par les voitures. Comment sont-elles calculées ?

L'homologation européenne prévoit d'abord un test de consommation : chaque voiture passe sur un banc qui mesure la quantité de carburant nécessaire à un cycle normalisé d'une durée totale de 20 minutes. Ce cycle, piloté par un programme informatique, est identique pour toutes les voitures et restitue les conditions de roulage en ville (cycle urbain) et sur route (cycle extra-urbain). L'intérêt de cette procédure est de placer tous les modèles de voitures sur un pied d'égalité.

La consommation ainsi mesurée, exprimée en *litres aux 100 kilomètres* (symbole l/100 km), est appelée *consommation mixte aux normes de la communauté européenne*, à ne pas confondre avec la *consommation réelle* qui, elle, dépend à la fois de l'état de la voiture, des parcours empruntés et du style de conduite du conducteur.

La consommation mixte aux normes CE sert ensuite de base de calcul pour les émissions de CO_2 qui sont exprimés en *grammes par kilomètre parcouru* (symbole g/km).

Pour ce faire, une simple règle de trois suffit, puisqu'on sait qu'un moteur à essence rejette environ 2 400 grammes de CO_2 par litre d'essence consommé, un moteur diesel environ 2 700 grammes par litre de gazole consommé.

Il suffit donc de multiplier par 24 la consommation d'un moteur à essence exprimée en litres aux 100 kilomètres, et par 27 celle d'un moteur diesel, pour exprimer les émissions de CO_2 en grammes par kilomètre parcouru (*). Exemples :

- un moteur à essence dont la consommation s'établit à 6 l/100 km émet environ 6 x 24 = 144 grammes de CO_2 par kilomètre parcouru ;

- un moteur diesel dont la consommation s'établit à 5 l/100 km émet environ 5 x 27 = 135 grammes de CO_2 par kilomètre parcouru.

Insistons sur ce point : les émissions de CO_2 mentionnées sur les fiches d'homologation n'ont qu'une valeur indicative. Les quantités réelles dépendent de l'état de la voiture, de son chargement, des caractéristiques du trajet emprunté, des conditions de circulation et surtout, du style de conduite du conducteur. Cela signifie que, selon son humeur ou sa motivation, n'importe quel conducteur peut faire mieux… ou moins bien !

Consommation et émissions de CO_2…

Voici un tableau qui indique les quantités de CO_2 émises en fonction de la motorisation et de la consommation de la voiture :

CO_2	**4** l/100 km	**5** l/100 km	**6** l/100 km	**7** l/100 km	**8** l/100 km	**9** l/100 km	**10** l/100 km
ESSENCE	96 g/km	120 g/km	144 g/km	168 g/km	192 g/km	216 g/km	240 g/km
DIESEL	108 g/km	135 g/km	162 g/km	189 g/km	216 g/km	243 g/km	270 g/km

© association adilca reproduction interdite

Bilan carbone annuel par pays…

Les pays qui ont signé le protocole de Kyoto sur l'environnement (1997) sont invités à faire leur bilan carbone annuel. Cette opération consiste à calculer les quantités totales de CO_2 émises dans l'atmosphère en se basant sur les volumes de bois, de charbon, de gaz et de pétrole consommés.

Rien n'empêche les automobilistes d'en faire autant à titre individuel. Pour cela, il suffit de noter sur un petit carnet la quantité de carburant versée dans le réservoir à chaque plein, ainsi que le kilométrage correspondant. Outre la consommation réelle, ce petit carnet permet de calculer le budget carburant et la quantité de CO_2 rejetée dans l'atmosphère.

Exemple : un conducteur ayant parcouru 10 000 kilomètres dans l'année avec 750 litres de gazole, a dépensé plus de 1 000 € en carburant, consommé en moyenne 7,5 litres aux 100 kilomètres et émis environ 2 tonnes de CO_2 dans l'atmosphère.

Bilan carbone annuel par conducteur…

Voici à quoi peut ressembler un bilan carbone annuel :

ESSENCE	**4** l/100 km	**5** l/100 km	**6** l/100 km	**7** l/100 km	**8** l/100 km	**9** l/100 km	**10** l/100 km
15 000 km/an	1,4 t	1,8 t	2,2 t	2,5 t	2,9 t	3,24 t	3,6 t
30 000 km/an	2,9 t	3,6 t	4,3 t	5 t	5,8 t	6,5 t	7,2 t
60 000 km/an	5,8 t	7,2 t	8,6 t	10,1 t	11,5 t	13 t	14,4 t
100 000 km/an	9,6 t	12 t	14,4 t	16,8 t	19,2 t	21,6 t	24 t

© association adilca reproduction interdite

DIESEL	**4** l/100 km	**5** l/100 km	**6** l/100 km	**7** l/100 km	**8** l/100 km	**9** l/100 km	**10** l/100 km
15 000 km/an	1,6 t	2 t	2,4 t	2,8 t	3,2 t	3,7 t	4 t
30 000 km/an	3,2 t	4 t	4,9 t	5,7 t	6,5 t	7,3 t	8,1 t
60 000 km/an	6,5 t	8,1 t	9,7 t	11,4 t	13 t	14,6 t	16,2 t
100 000 km/an	10,8 t	13,5 t	16,2 t	18,9 t	21,6 t	24,3 t	27 t

© association adilca reproduction interdite

Et les camions ? Un maxi-code moderne consomme environ 30 litres de carburant aux 100 kilomètres. Destiné à parcourir 120 000 kilomètres par an, il va rejeter près de 100 tonnes de CO_2 dans l'atmosphère chaque année, soit 2,5 fois sa masse !…

Taxer les émissions de carbone…

Les campagnes d'information et de prévention s'avérant souvent inefficaces, les gouvernements qui souhaitent réellement réduire les émissions de CO_2 (ils s'y sont engagés…) n'auront peut-être pas d'autre choix que d'appliquer certaines méthodes coercitives bien connues. Parmi les plus souvent évoquées :

- bonus-malus carbone à l'achat d'une voiture neuve ;
- vignette carbone annuelle ;
- taxe carbone sur les carburants ;
- quota d'émissions par voiture ;
- etc.

Comment réduire les émissions de CO_2 liées à la circulation automobile ?

C'est l'affaire de tous car, pour réduire les émissions de CO_2, il faut utiliser des voitures moins gourmandes, réduire les kilométrages parcourus quand c'est possible, ou quand ce n'est pas possible, réduire la consommation de carburant liée au style de conduite. Mais comment y parvenir ?

Les constructeurs devront alléger les voitures, améliorer leurs performances aérodynamiques, ainsi que le rendement des moteurs. Mais sur ce dernier point, les plus gros progrès ont déjà été accomplis, il n'y a guère de miracle à attendre.

Les aménageurs de la voirie devront apprendre à réduire ou supprimer les causes de ralentissements inutiles (giratoires, feux rouges, stops) car ce sont principalement les

relances en agglomération qui sont gourmandes en carburant. La synchronisation des feux tricolores, par exemple, permet de substantielles économies d'énergie et de pollution. Et pourquoi pas un bilan carbone obligatoire pour tout nouvel aménagement de la voirie ?

Les automobilistes soucieux de leur portefeuille et de l'environnement devront apprendre à conduire avec modération, par exemple en évitant les démarrages puissants, les accélérations inutiles et les lâchers d'accélérateur tardifs.

La vitesse est une autre source de gaspillage d'énergie, et donc d'émissions inutiles de CO_2 dans l'atmosphère :

- une voiture qui circule à 130 km/h au lieu de 110 km/h voit sa consommation augmenter d'environ 20 %, ce qui augmente d'autant les quantités de CO_2 émises (**).

- un camion maxi-code moderne qui circule à 90 km/h au lieu de 80 km/h voit sa consommation augmenter d'environ 10 %, ce qui représente près de 10 kilogrammes de CO_2 inutilement émis dans l'atmosphère tous les 100 kilomètres (***).

Par conséquent, l'une des solutions pourrait consister à réduire les vitesses maximales autorisées sur autoroute, par exemple à 110 km/h pour les voitures et à 80 km/h pour les camions.

(*) *Pour le physicien, la nuance entre mesure et calcul est fondamentale : la consommation de carburant est mesurée, les émissions de CO_2 sont calculées.*

(**) *Tests effectués en situations réelles, mesures publiées dans la revue* ''AutoPlus'' *n° 1086 et 1100.*

(***) *Caractéristiques du camion : maître-couple 10 m² ; Cx 0,9 ; masse 40 t ; ensemble monté sur 12 pneumatiques générant une résistance au roulement supposée indépendante de la vitesse ; rendement du bloc propulseur supposé égal à ½ et indépendant du régime moteur.*

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***

RÉACTIONS CHIMIQUES

Masse molaire des principaux éléments (kg.kmol^{-1}) :

hydrogène (**H**) : 1
carbone (**C**) : 12
azote (**N**) : 14
oxygène (**O**) : 16

Masse volumique des corps en présence (kg.m^{-3} à 273 K et 1013 hPa) :

diazote (**N_2**) : 1,25
dioxygène (**O_2**) : 1,43
dioxyde de carbone (**CO_2**) : 1,96
eau (**H_2O**) : 1 000
gazole : 845
essence : 760
GPL : 550

Formule chimique de l'air pur (*gaz rares assimilés au diazote*) **:**

composition massique de l'air : dioxygène (**O_2**) 23 % ; diazote (**N_2**) 77 %

- masse molaire du dioxygène : 16 x 2 = 32 kg
- masse d'air contenant une kilomole de dioxygène : (32 / 23) x 100 = 139 kg
- masse de diazote correspondante : 139 – 32 = 107 kg
- masse molaire du diazote : 14 x 2 = 28 kg
- coefficient du diazote : 107 / 28 = **3,8**

formule chimique de l'air pur : **$O_2 + 3{,}8\ N_2$**

Formule chimique du gazole :

composition massique du gazole : carbone (**C**) 87 % ; hydrogène (**H**) 13 %

indice du carbone : 87 / 12 = **7,25** ; indice de l'hydrogène : 13 / 1 = **13**

formule chimique : **$C_{7,25}H_{13}$**

Formule chimique de l'essence :

composition massique de l'essence : carbone (**C**) 84 % ; hydrogène (**H**) 16 %

indice du carbone : 84 / 12 = **7** ; indice de l'hydrogène : 16 / 1 = **16**

formule chimique : C_7H_{16}

Formule chimique du GPL :

composition du GPL : butane (C_4H_{10}) 50 % ; propane (C_3H_8) 50 %

formule chimique approchée : $C_{3,5}H_9$

Combustion du gazole :

$$C_{7,25}H_{13} + 10,5\ O_2 + (10,5 \times 3,8)\ N_2 \rightarrow 7,25\ CO_2 + 6,5\ H_2O + 40\ N_2$$

$C_{7,25}H_{13}$: gazole
O_2 : dioxygène
N_2 : diazote
CO_2 : dioxyde de carbone
H_2O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg de gazole + 3,36 kg de dioxygène + 11,2 kg de diazote
→
3,19 kg de CO_2 + 1,17 kg d'eau + 11,2 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre de gazole + 1 985 litres de dioxygène + 7 570 litres de diazote
→
1 375 litres de CO_2 + 1 litre d'eau + 7 570 litres de diazote

Combustion de l'essence :

$$C_7H_{16} + 11\ O_2 + (11 \times 3,8)\ N_2 \rightarrow 7\ CO_2 + 8\ H_2O + 42\ N_2$$

C_7H_{16} : essence
O_2 : dioxygène
N_2 : diazote
CO_2 : dioxyde de carbone
H_2O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg d'essence + 3,52 kg de dioxygène + 11,76 kg de diazote
→
3,08 kg de CO_2 + 1,44 kg d'eau + 11,76 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre d'essence + 1 870 litres de dioxygène + 7 150 litres de diazote
→
1 195 litres de CO_2 + 1,1 litre d'eau + 7 150 litres de diazote

Combustion du GPL :

$$C_{3,5}H_9 + 5,75\ O_2 + (5,75 \times 3,8)\ N_2 \rightarrow 3,5\ CO_2 + 4,5\ H_2O + 22\ N_2$$

$C_{3,5}H_9$: GPL
O_2 : dioxygène
N_2 : diazote
CO_2 : dioxyde de carbone
H_2O : eau

À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 kg de GPL + 3,6 kg de dioxygène + 12 kg de diazote
→
3 kg de CO_2 + 1,6 kg d'eau + 12 kg de diazote

À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :

1 litre de GPL + 1 390 litres de dioxygène + 5 320 litres de diazote
→
850 litres de CO_2 + 0,875 litre d'eau + 5 320 litres de diazote

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION ADILCA : *Guide des Lois physiques de l'Automobile*, ouvrage collectif édité à compte d'auteurs, Paris 2002.

- ASSOCIATION ADILCA : *Les Lois chimiques de la Combustion des Carburants*, ouvrage collectif édité à compte d'auteurs, Paris 2004.

- LEMASSON (Georges) : *Les machines transformatrices d'énergie*, Tome 1 (Résistances passives, Thermodynamique), Éditions DELAGRAVE, Paris 1966.

- LEMASSON (Georges) : *Les machines transformatrices d'énergie*, Tome 2 (Turbo machines, Machines alternatives), Éditions DELAGRAVE, Paris 1967.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *