

## LE DIOXYDE DE CARBONE (CO<sub>2</sub>)

Qu'appelle-t-on CO<sub>2</sub> ? Comment se forme-t-il ? Comment est-il recyclé ? Quels sont ses dangers ? Comment calcule-t-on les quantités de CO<sub>2</sub> rejetées par les moteurs d'automobiles ? Comment peut-on réduire les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la circulation automobile ? Voici quelques éléments de réponses.

### Qu'appelle-t-on CO<sub>2</sub> ?

CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> ?

Le CO<sub>2</sub> est un gaz incolore, inodore et non toxique, qui peut 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> est utilisé pour conserver les produits emballés sous atmosphère contrôlée (chips, cacahuètes...) ou pour gazéifier certaines boissons (eaux minérales, jus de fruits, sodas).

### Comment se forme le CO<sub>2</sub> rejeté par les moteurs d'automobiles ?

Le CO<sub>2</sub> se forme lors de la combustion de bois, charbon, gaz ou hydrocarbure par réaction du carbone (C) avec l'oxygène (O<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub> 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 rapport avec ces émissions.

### Que devient le CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère ?

Le CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère pour en assimiler le carbone, principal constituant du bois, et en restituer l'oxygène (processus de *photosynthèse*). Sans CO<sub>2</sub>, plus de vie possible sur terre !

Le CO<sub>2</sub> rejeté au dessus des océans se dissout dans l'eau de mer. Une partie du CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>, plus de vie possible dans les océans !

L'autre partie du CO<sub>2</sub> marin réagit avec le calcium présent dans l'eau de mer pour former du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) qu'on retrouve par exemple dans le récif corallien, l'un des constituants des fonds marins.

### **Quel est le problème posé par le CO<sub>2</sub> atmosphérique ?**

Tous les êtres vivants (hommes, animaux, végétaux) émettent du CO<sub>2</sub> selon l'un des principes vitaux qu'est la respiration. S'y ajoutent les énormes quantités de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> d'une voiture ?**

Pour sensibiliser le public, les constructeurs sont désormais tenus de publier les quantités de CO<sub>2</sub> 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 de la façon de conduire du conducteur.

La consommation mixte aux normes CE sert ensuite de base de calcul pour les émissions de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> en grammes par kilomètre parcouru<sup>(\*)</sup>. Exemples :

- un moteur à essence dont la consommation s'établit à 6 l/100 km émet environ  $6 \times 24 = 144$  grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru ;

- un moteur diesel dont la consommation s'établit à 5 l/100 km émet environ  $5 \times 27 = 135$  grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru.

Insistons sur ce point : les émissions de CO<sub>2</sub> 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, 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<sub>2</sub>...

Voici un tableau qui indique les quantités de CO<sub>2</sub> émises en fonction de la motorisation et de la consommation de la voiture :

CO <sub>2</sub>	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
<b>ESSENCE</b>	96 g/km	120 g/km	144 g/km	168 g/km	192 g/km	216 g/km	240 g/km
<b>DIESEL</b>	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 de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 33 litres de carburant aux 100 kilomètres. Prévu pour parcourir 150 000 kilomètres par an, il va rejeter environ 135 tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère chaque année, soit plus de 3 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<sub>2</sub> (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 ;
- taxe carbone ;
- quota d'émissions par voiture ;
- etc.

## Comment réduire les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la circulation automobile ?

C'est l'affaire de tous car, pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, 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 été accomplis et 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 freinages tardifs.

La vitesse est une autre source de gaspillage d'énergie, et donc d'émissions inutiles de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> sont calculées.*

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

(\*\*\*) *Caractéristiques du camion : maître-couple 10 m<sup>2</sup> ; 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](http://www.adilca.com)

\* \* \*

## RÉACTIONS CHIMIQUES

### Masse molaire des principaux éléments (kg.kmol<sup>-1</sup>) :

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

### Masse volumique des corps en présence (kg.m<sup>-3</sup> à 273 K et 1013 hPa) :

diazote (N<sub>2</sub>) : 1,25  
dioxygène (O<sub>2</sub>) : 1,43  
dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : 1,96  
eau (H<sub>2</sub>O) : 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<sub>2</sub>) 23 % ; diazote (N<sub>2</sub>) 77 %

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

formule chimique de l'air pur : **O<sub>2</sub> + 3,8 N<sub>2</sub>**

### 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<sub>7,25</sub>H<sub>13</sub>**

### 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 :



$C_{7,25}H_{13}$  : 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 :



$C_7H_{16}$  : essence

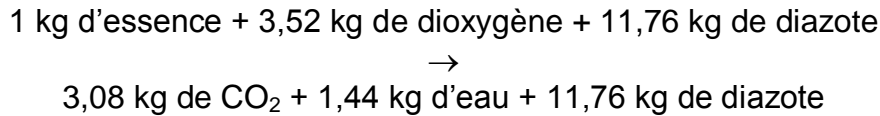
$O_2$  : dioxygène

$N_2$  : diazote

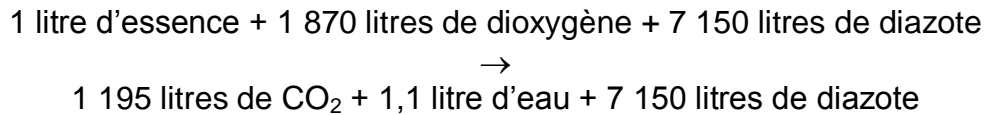
$CO_2$  : dioxyde de carbone

$H_2O$  : eau

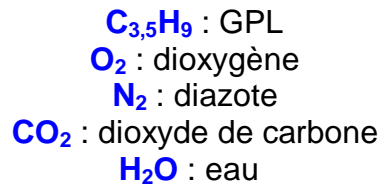
À partir de la masse molaire de chaque élément présent dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :



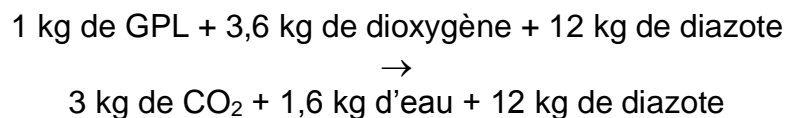
À partir de la masse volumique de chaque corps intervenant dans la réaction, on obtient les proportions suivantes :



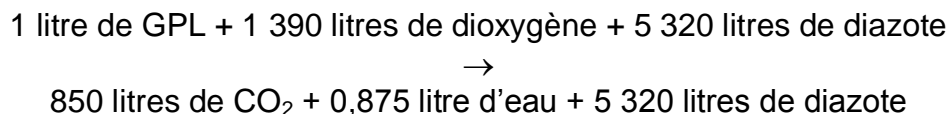
### Combustion du GPL :



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



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



**ASSOCIATION ADILCA**

[www.adilca.com](http://www.adilca.com)

\* \* \*



## BIBLIOGRAPHIE

- 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](http://www.adilca.com)

\* \* \*