

Info Tech N°17

LES TRANSPORTS ROUTIERS ET LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE « EFFET DE SERRE »

Selon la très grande majorité des experts, l'augmentation des gaz à effet de serre rend inéluctable un réchauffement climatique. Il nous reste seulement la possibilité de ralentir le processus et d'en diminuer l'intensité.

Après une présentation de « l'Effet de serre », de ses causes et de ses conséquences, ce document aborde la responsabilité liée aux transports routiers et la nécessité d'une mutation profonde de ce secteur.

I - L'EFFET DE SERRE

1 - Rayonnement électromagnétique

Le rayonnement est une énergie transportée dans l'espace sous forme d'ondes.

Emission

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu 0 K (-273°C) émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique.

Ce rayonnement est caractérisé par :

- la période T qui est le temps pendant lequel l'onde effectue une oscillation complète ou la fréquence f qui est le nombre de cycles effectués par l'onde en 1 seconde ($f = 1/T$)
- la longueur d'onde λ qui est la distance entre deux points homologues successifs sur l'onde
- la vitesse c de propagation de l'onde suivant la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c \text{ (m/s)}}{f \text{ (s}^{-1} \text{ ou Hz)}}$$

La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles.

La longueur d'onde du rayonnement électromagnétique varie avec la température du corps émetteur (Loi de PLANCK). Cette longueur d'onde est d'autant plus courte que la température est élevée.

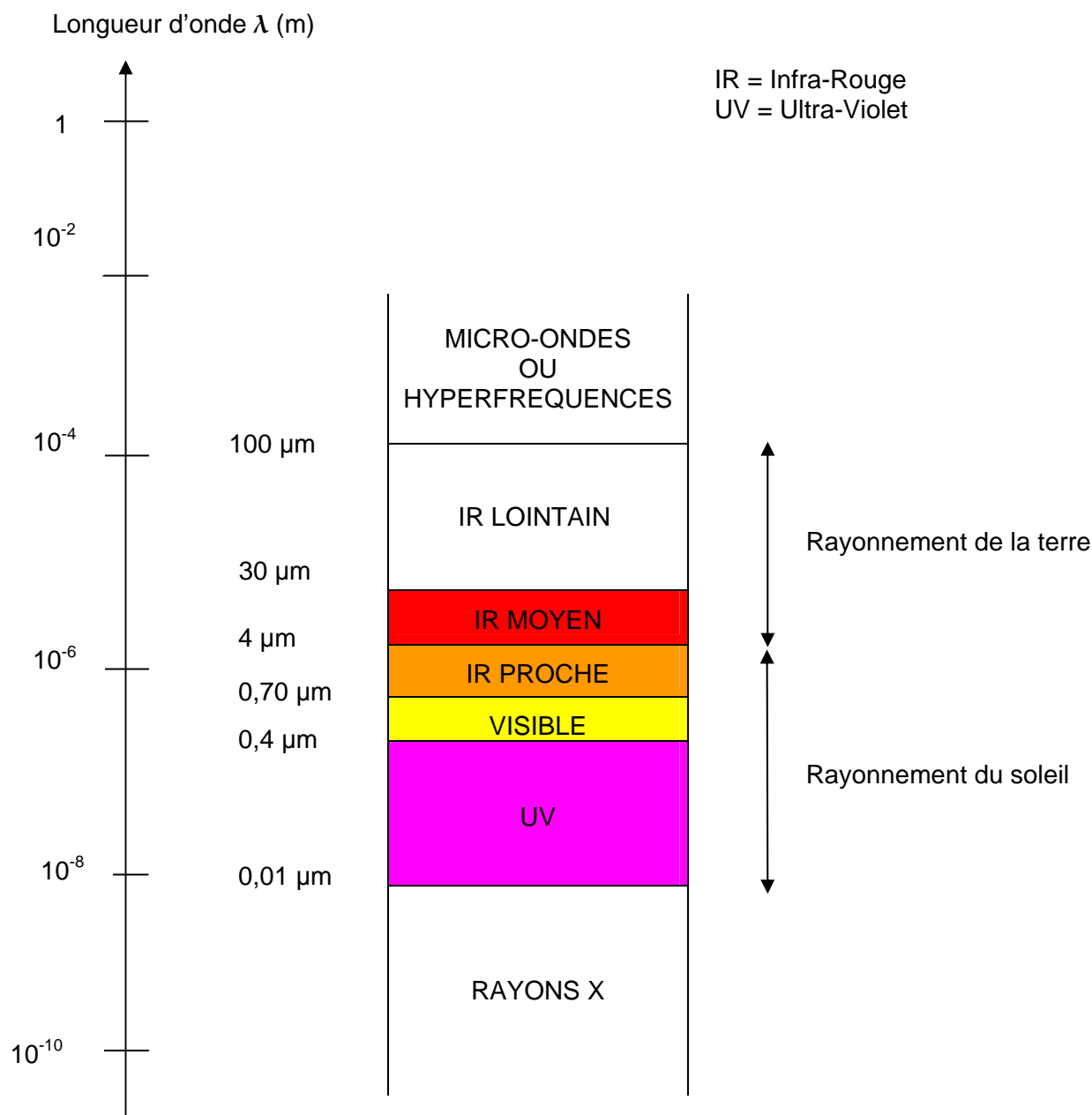
Réflexion – Absorption

Un corps qui reçoit un rayonnement électromagnétique peut :

- le réfléchir dans les mêmes longueurs d'onde
- l'absorber : dans ce cas, l'énergie absorbée modifie l'énergie interne du corps qui va émettre un nouveau rayonnement électromagnétique de longueurs d'onde différentes.

Spectre électromagnétique

Résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences ou ses longueurs d'onde constituantes.



2 - Rayonnement solaire et terrestre

Rayonnement solaire

Le soleil qui est à une température de 5785 K (+5512°C) émet un rayonnement électromagnétique dont les longueurs d'onde se situent dans 3 domaines du spectre électromagnétique.

- 10% du rayonnement total est émis dans le domaine de l'ultraviolet (dont la plus grande partie est arrêtée par la couche d'ozone stratosphérique : voir annexe 1).
- 40% du rayonnement total est émis dans le domaine du visible.
- 50% du rayonnement total est émis dans le domaine de l'infrarouge proche.

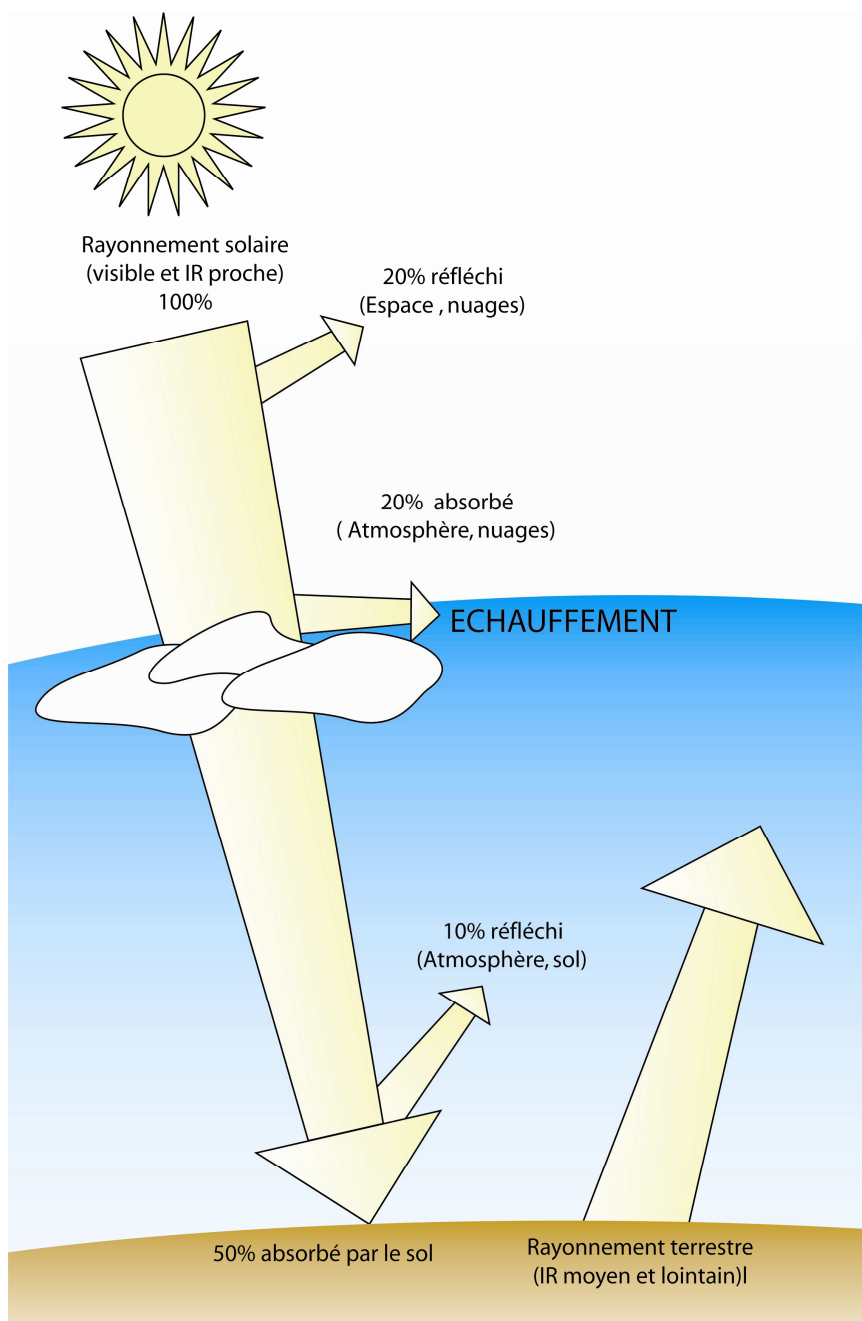
La moitié du rayonnement solaire parvient jusqu'au sol tandis que 30% est réfléchi (20% par l'espace et les nuages, 10% par l'atmosphère et le sol) et 20% est absorbé principalement par l'atmosphère qui subit ainsi un échauffement.

Rayonnement terrestre

La surface de la terre qui est à une température de 288 K (+15°C) émet un rayonnement électromagnétique dont les longueurs d'onde se situent dans le domaine de l'infrarouge moyen et lointain (en majorité de l'infrarouge moyen à 15 μm). Le soleil émet donc dans des longueurs d'onde plus courtes que la terre.

Etat d'équilibre

Le rayonnement terrestre restitue une énergie égale à celle du rayonnement solaire absorbé.



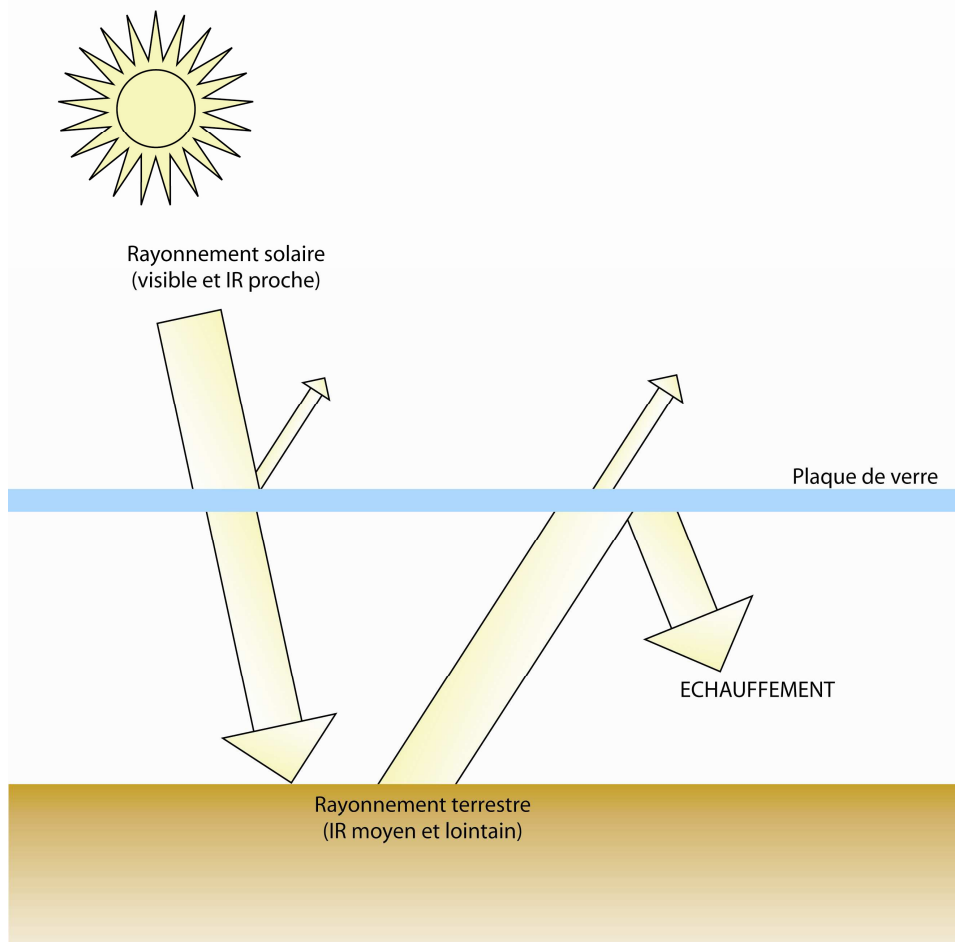
3 - L'effet de serre

Absorption du rayonnement infrarouge émis par la terre

Certains corps possèdent la capacité d'absorber le rayonnement infrarouge moyen et lointain émis par la terre.

Serre du jardinier

Le verre est presque totalement transparent au rayonnement visible et infrarouge proche (rayonnement solaire) et presque totalement opaque au rayonnement infrarouge moyen et lointain (rayonnement terrestre).

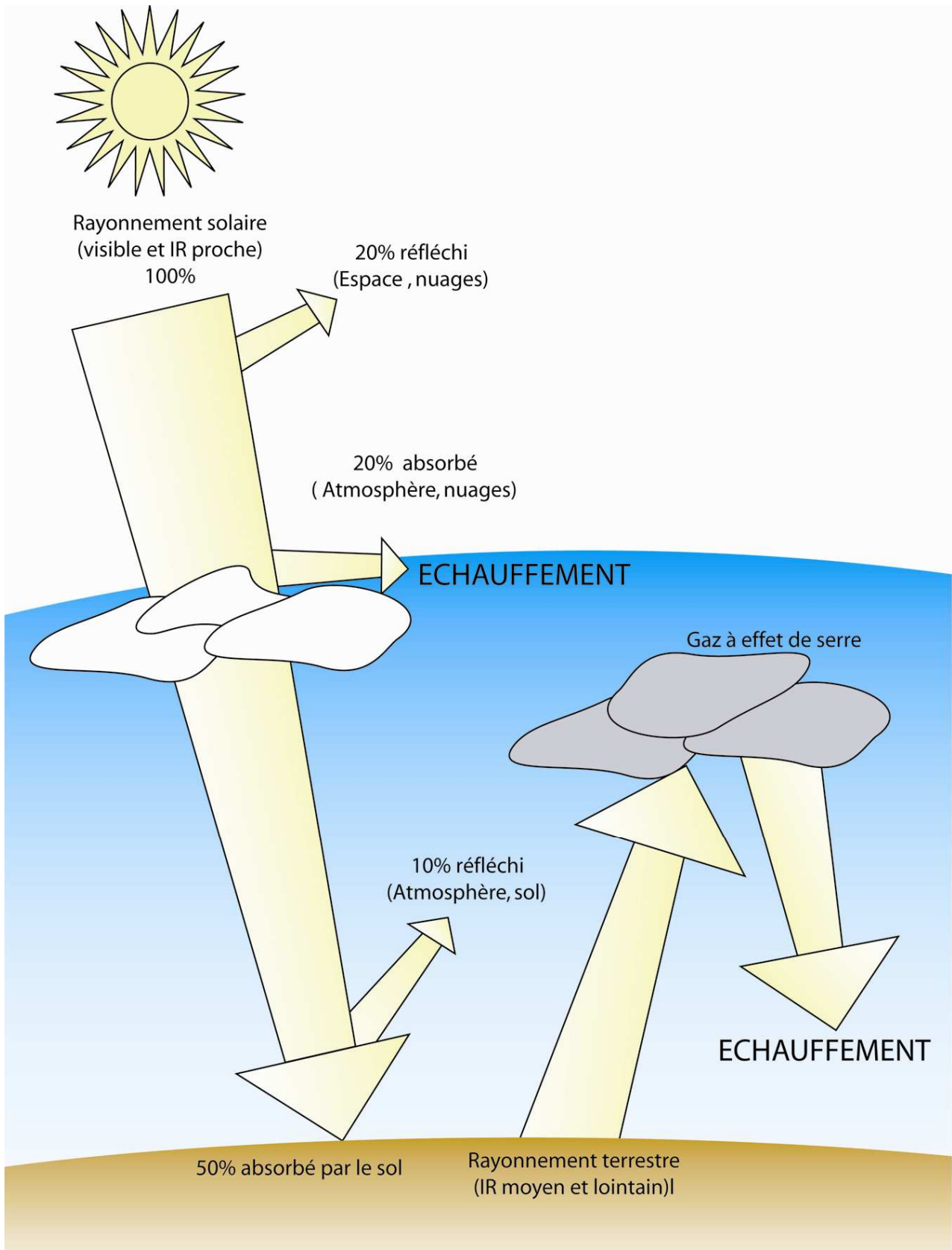


Le verre absorbe le rayonnement émis par la terre et réémet vers la terre la plus grande partie de ce rayonnement entraînant une accumulation de chaleur. C'est le principe de la serre du jardinier qui permet de récupérer 80% d'énergie infrarouge émise par le sol.

Effet de serre

Certains gaz présents en petites quantités (- de 1%) sur notre planète jouent exactement le même rôle que la plaque de verre par leur capacité à absorber le rayonnement infrarouge terrestre tout en étant transparents au rayonnement solaire. Ainsi, ils récupèrent l'énergie émise par le sol pour réémettre un rayonnement infrarouge en direction du sol qui subit ainsi un deuxième échauffement. Par analogie avec ce qui se passe dans une serre de jardinier, ces gaz sont nommés gaz à effet de serre.

Cet effet de serre naturel est très utile pour notre planète. En effet, en son absence, la température moyenne au niveau du sol serait de -18°C , en sa présence, elle est de $+15^{\circ}\text{C}$.



4 - Gaz à effet de serre

Ils sont tous de nature moléculaire, triatomique ou polyatomique.

Composition volumique dans l'atmosphère

Vapeur d'eau	H ₂ O	0,3%
Dioxyde de Carbone	CO ₂	0,03%
Méthane	CH ₄	0,00017%
Protoxyde d'azote	N ₂ O	0,00003%
Ozone troposphérique	O ₃	variable
Halocarbures	CFC HFC PFC	infime
Hexafluorure de soufre	SF ₆	infime

Source : Météo France

Potentiel de réchauffement global (PRG) des gaz à effet de serre

Les gaz ne possèdent pas tous les mêmes capacités d'absorption du rayonnement infrarouge terrestre et ils n'ont pas tous la même durée de vie. Afin de comparer leur impact sur le réchauffement planétaire, le GIEC (Groupement Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat) propose l'indice PRG (Potentiel de Réchauffement Global).

Le PRG est un indice permettant d'évaluer la contribution relative au réchauffement climatique de l'émission d'1kg de gaz à effet de serre par comparaison avec l'émission d'1kg de CO₂ pendant une période déterminée qui est en général de 100 ans.

Par définition, le PRG à 100 ans du CO₂ est fixé à 1.

Gaz	Formule	PRG Relatif à 100 ans
Dioxyde de carbone	CO ₂	1
Vapeur d'eau	H ₂ O	8
Méthane	CH ₄	23
Protoxyde d'azote	N ₂ O	296
Chlorofluorocarbures (CFC)	C _n F _m Cl _p	4600 à 14000
Hydrofluorocarbures (HFC)	C _n H _m F _p	12 à 12000
Perfluorocarbures (PFC)	C _n F _{2n+2}	5700 à 11900
Hexafluorure de soufre	SF ₆	22200

Source : GIEC – CITEPA

- Le PRG à 100 ans du protoxyde d'azote qui est de 296 signifie que l'impact de 1 kg de N₂O est équivalent à l'impact de 296 kg de CO₂ au bout d'un siècle.

Equivalent carbone

Une autre unité est parfois utilisée : « l'équivalent carbone » qui est obtenu en multipliant le PRG par le rapport entre la masse d'un atome de carbone ($C = 12\text{g.mol}^{-1}$) et celle d'une molécule de dioxyde de carbone ($\text{CO}_2 = 44\text{g.mol}^{-1}$). **Equivalent carbone = PRG x 12/44**

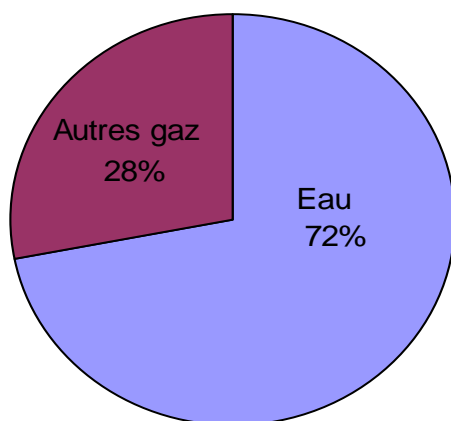
Pour les carburants fossiles qui produisent du CO_2 , cette unité représente précisément leur masse de carbone. Elle est également utilisée pour tous les autres gaz même pour ceux qui ne contiennent pas de carbone.

Gaz	Formule	Equivalent carbone de 1 kilo de gaz
Dioxyde de carbone	CO_2	0,273
Vapeur d'eau	H_2O	2,2
Méthane	CH_4	6,27
Protoxyde d'azote	N_2O	81
Chlorofluorocarbures (CFC)	$\text{C}_n\text{F}_m\text{Cl}_p$	1256 à 3818
Hydrofluorocarbures (HFC)	$\text{C}_n\text{H}_m\text{F}_p$	3,3 à 3273
Perfluorocarbures (PFC)	$\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$	1555 à 3245
Hexafluorure de soufre	SF_6	6055

Source : GIEC - CITEPA

- L'Equivalent carbone de 1 tonne de CO_2 est de 12/44 t e C (tonne équivalent Carbone), soit 0,273 t e C.

Contributions relatives des différents gaz à effet de serre



Source GIEC

Parmi tous les gaz à effet de serre, l'eau sous toutes ses formes (vapeur d'eau, nuages...) contribue pour 72% à l'effet de serre.

Les autres gaz y contribuent pour 28%, parmi ceux-ci certains sont d'origine naturelle :

- le dioxyde de carbone CO_2 : incendies, éruptions volcaniques, respirations...
- le méthane CH_4 : décomposition anaérobie des animaux et des végétaux (marais...)
- Le protoxyde d'azote N_2O : émissions des zones humides

Mais depuis l'ère industrielle, les concentrations de ces 3 gaz sont plus élevées que jamais, elles augmentent de façon continue dans des proportions et à une vitesse encore jamais observée. De plus d'autres gaz sont apparus

Contributions relatives des gaz à effet de serre d'origine anthropique

		Origine anthropique
CO₂		<ul style="list-style-type: none"> - Combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) - Productions industrielles (ciment...) - Déforestation CAES ¹ : environ 55%
CH₄		<ul style="list-style-type: none"> - Combustion imparfaite - Elevages : fermentation des aliments dans la panse des ruminants - Rizières - Décharges d'ordures CAES : environ 15%
HALOCARBURES	CFC HFC	<ul style="list-style-type: none"> - Fluide réfrigérant - Propulseur bombe aérosol - Industrie (aluminium, semi-conducteurs, mousses synthétiques...)
	PFC	<ul style="list-style-type: none"> - Industrie (aluminium, semi-conducteurs...)
		CAES : environ 15%
O₃ TROPOSPHERIQUE		<ul style="list-style-type: none"> - Combustion CAES : environ 15%
N₂O		<ul style="list-style-type: none"> - Enrichissement des sols par les engrais azotés - Traitement catalytique des gaz d'échappement - Industrie (synthèses chimiques)
SF₆		<ul style="list-style-type: none"> - Isolement des équipements haute tension - Gaz détecteur de fuites - Industrie des semi-conducteurs

Source : www.manicore.com

¹ CAES : Contribution Anthropique à l'Effet de Serre

II - EMISSIONS

1 - Répartition des émissions par activité en France

Emissions en M t e C (Méga tonnes équivalent Carbone) liées aux consommations d'énergie (pétrole, gaz, charbon)

	Année 2000 en M t e C	Pourcentage
Sidérurgie	6,11	5,8
Industrie	19,26	18,3
Résidentiel	22,76	21,6
Tertiaire	11,88	11,3
Agriculture	2,45	2,3
Transports	42,77	40,6
TOTAL	105,23	100

Source : MIES

L'activité transports représente la plus forte contribution des émissions. Cette activité regroupe les transports aériens, maritimes, ferroviaires et routiers, ces derniers représentant plus de 75% des émissions transports.

A noter qu'en France, la production importante d'électricité par voie nucléaire favorise les secteurs autres que les transports.

Evolution des émissions

Evolution des émissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2001	
Transports	+ 22 %
Résidentiel – Tertiaire	+ 14 %
Agriculture	- 4 %
Traitement des déchets	- 14 %
Industries	- 18 %
Production d'énergie	- 28 %

Source : PNLCC.MIES

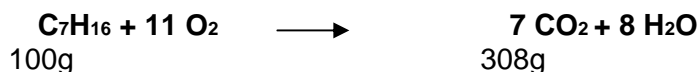
2 - Emissions liées aux transports routiers

Le secteur des transports émet 5 gaz qui contribuent directement à l'effet de serre.

a) Le dioxyde de carbone (CO₂)

La combustion des carburants carbonés entraîne un dégagement systématique de CO₂.

Exemple : supercarburant assimilé à l'heptane C₇H₁₆.



La combustion de 100g de C₇H₁₆ produit 308g de CO₂.

La combustion de 1 litre de C₇H₁₆ soit 750g produira alors 2310 g de CO₂ (308 x 750 / 100).

Soit environ 1 t e C pour un véhicule parcourant 20000 Kms/an.

$$\begin{array}{ccccccc} (8\text{l}/100 \text{ kms} & \Leftrightarrow & 1600 \text{ litres/an} & \Leftrightarrow & 3,7 \text{ t CO}_2 & \Leftrightarrow & 1 \text{ t e C}) \\ & & (8 \times 20000/100) & & (1600 \times 2310) & & (3,7 \times 0,273) \end{array}$$

Ce calcul ne tient compte que des émissions directes (hors extraction et raffinage du pétrole, fabrication du véhicule...).

Les émissions de CO₂ représentent plus de 95% des émissions de gaz à effet de serre dues au transport.

Bien que la législation ne fixe pas de valeurs limites pour les émissions de CO₂ et donc pour la consommation de carburant, les constructeurs implantés dans l'Union Européenne, sous l'égide de l'ACEA, se sont engagés à abaisser les émissions moyennes de leurs véhicules neufs à 140g de CO₂/Km à l'horizon 2008 - 2009 (155g de CO₂/Km en 2003 selon l'ADEME).

La filière diesel se caractérise par une réduction des émissions de CO₂ d'environ 20% du fait d'un meilleur rendement énergétique. Quant aux biocarburants, le CO₂ rejeté lors de leur combustion correspond approximativement à la quantité absorbée lors de la croissance des végétaux.

b) Les halocarbures (CFC, HFC)

Ce sont des fluides frigorigènes qui sont utilisés dans les circuits de climatisation automobile. Le CFC de type R12, qui était initialement utilisé, est non seulement un gaz à effet de serre mais il contribue également à la diminution de l'ozone stratosphérique du fait de la présence de chlore (voir annexe 1).

Le HFC de type R134a (exempt de chlore) est utilisé depuis le 01/01/1995. La climatisation d'un véhicule en contient en moyenne 0,850 kg. Son potentiel de réchauffement global (PRG) est de 1300, c'est à dire que l'impact de 1 kg de HFC R134a est équivalent à l'impact de 1300 kg de CO₂ au bout d'un siècle.

$$\text{Soit pour } 0,850 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad 1100 \text{ kg de CO}_2 \quad \longrightarrow \quad 0,3 \text{ t e C}$$

Il représente près de 2% des émissions de gaz à effet de serre dues au transport et progresse régulièrement (fuites, accidents, non récupération en fin de vie). Les émissions sont préoccupantes principalement du fait du PRG élevé.

L'Union Européenne envisage le retrait progressif du R134a pour le chargement initial des systèmes de climatisation des véhicules neufs à partir de 2009. Parmi les fluides de substitution aujourd'hui en étude figure le R744, qui est un composé à base de CO₂.

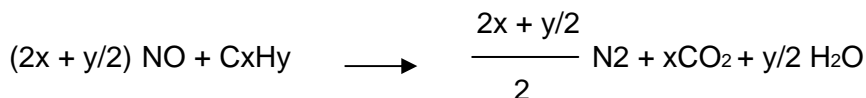
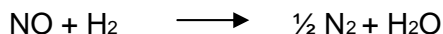
D'autre part, il faut noter que la climatisation entraîne une surconsommation annuelle de 5% et en conséquence une augmentation du CO₂

c) Le protoxyde d'azote (N₂O)

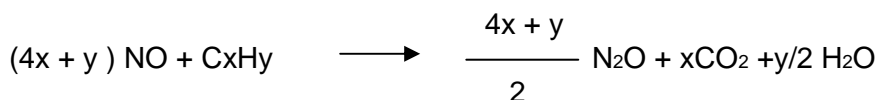
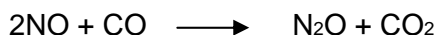
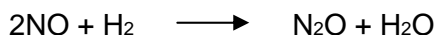
Sur les moteurs à allumage commandé, le traitement des gaz d'échappement par la catalyse 3 voies s'est généralisé. Les polluants réglementés (CO, HC, NO_x) sont traités simultanément par des réactions d'oxydation (CO, HC) et de réduction (NO_x).

Ce sont ces dernières qui peuvent entraîner des réactions parasites à l'origine de la formation de N₂O.

Réactions de réduction souhaitées



Réactions parasites



Les réactions se produisent d'autant plus que la richesse du mélange s'écarte de la stœchiométrie. Son potentiel de réchauffement global est de 296, c'est à dire que l'impact de 1kg de N₂O est équivalent à l'impact de 296 kg de CO₂ au bout d'un siècle.

Il représente près de 3% des émissions de gaz à effet de serre dues au transport et progresse régulièrement.

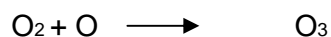
d) L'ozone troposphérique (O₃)

L'ozone troposphérique est non seulement un gaz à effet de serre mais un polluant dangereux (voir annexe 2).

Il résulte principalement de la photolyse par les radiations solaires du dioxyde d'azote (NO₂) en présence d'hydrocarbures (principalement méthane, benzène, toluène).
Le dioxyde d'azote (NO₂) se transforme en monoxyde d'azote (NO) et en oxygène atomique (O).



L'oxygène atomique (O) réagit alors avec l'oxygène moléculaire (O₂) pour former l'ozone (O₃).



L'ozone troposphérique représente 7% du contenu global d'ozone. La plus grande partie (93%) étant contenue dans la stratosphère (moyenne atmosphère).

Les émissions des précurseurs de l'ozone devenant de plus en plus importantes, il est logique de constater une augmentation du niveau d'ozone dans la basse atmosphère. Le taux d'augmentation de la concentration d'ozone serait de 2% par an.

e) Le Méthane (CH₄)

Il provient des combustions imparfaites et représente une part très faible des émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports.

3 - Projection tendancielle 2050

- **Emissions mondiales (source GIEC)**

En 1920, les émissions annuelles de CO₂ fossile étaient de 0,8 G t e C par an.

Le rythme actuel des émissions est de 6 G t e C de carbone par an et toutes les projections indiquent à l'horizon 2050 une tendance forte à la hausse (entre 9 G t e C et 20 G t e C).

Une réelle stabilisation du climat au niveau actuel ne serait garantie que par l'émission totale de 3 G t e C par an, celle-ci correspondant à la capacité d'absorption naturelle du CO₂ par les puits de carbone (océan, photosynthèse des végétaux...). Il en résulterait une concentration d'environ 450 ppmv.

Une inflexion modérée avec 5 G t e C en 2050 conduirait à une concentration de 550 ppmv, entraînant un réchauffement climatique de l'ordre de 2°C.

En l'absence de réponse forte, un réchauffement de l'ordre de 6°C est à redouter.

A noter que la hausse du niveau des océans serait de 20 cm par °C.

Selon le GIEC, le climat se réchaufferait d'une manière plus marquée aux latitudes polaires qu'aux tropiques, davantage sur les continents que sur les océans. En ce qui concerne les précipitations, les modélisations indiquent une augmentation des pluies en hiver et une certaine diminution en été. Ces changements auraient des conséquences de grande ampleur sur les paysages, la vie animale et végétale, l'évolution des sols et des ressources en eau et sur nos activités économiques ou encore sur notre santé.

- **Emissions françaises (source MIES)**

En M t e C	ANNEE 2000	Projection 2050 « sans économie »
Sidérurgie	6,11	5,89
Industrie	19,26	24,32
Résidentiel	22,76	24,96
Tertiaire	11,88	12,39
Agriculture	2,45	2,15
Transports	42,77	76,38
TOTAL	105,23	146,08

La projection tendancielle 2050 présente une hausse de près de 40% des émissions globales. Dans les secteurs autres que les transports, la hausse est modérée du fait des potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique (équipements et procédés pour l'industrie, équipements thermiques et isolation pour les bâtiments) et des possibilités de diversification des sources d'énergie en faveur du gaz, de l'électricité et des renouvelables.

Par contre, le secteur des transports présente un accroissement de près de 80%. Cette augmentation s'explique par une croissance forte, par la totale dépendance à l'égard du pétrole et surtout par l'absence de tout mouvement réel de substitution des énergies carbonées.

III - PROTOCOLE DE KYOTO

Le protocole de Kyoto adopté en décembre 1997, ratifié par l'Union Européenne en mars 2002, est entré en vigueur en février 2005.

Cet accord contraint les pays signataires à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2% en moyenne sur la période 2008-2012, par rapport à leur niveau de 1990.

Le protocole a retenu six gaz à effet de serre :

- le dioxyde de carbone (CO₂)
- le méthane (CH₄)
- le protoxyde d'azote (N₂O)
- les hexafluorocarbures (HFC)
- les perfluorocarbures (PFC)
- l'hexafluorure de soufre (SF₆)

Le protocole ne soumet pas tous les pays aux mêmes obligations. L'ensemble de l'Union Européenne devra réduire ses émissions de 8% en moyenne. La France quant à elle s'est engagée à ne pas émettre plus de gaz à effet de serre en 2010, qu'elle n'en émettait en 1990.

Le protocole prévoit des mécanismes de flexibilité qui permettent à des pays d'accroître leurs droits d'émissions, soit en finançant des projets de réduction des émissions dans d'autres pays, soit en échangeant des droits d'émissions avec d'autres pays industrialisés.

Le « commerce d'émissions » européen vise dans un premier temps les émissions de CO₂ des secteurs les plus gros émetteurs de l'industrie (papier, verre, ciment, secteur énergétique et raffineries). Environ 12000 installations dans l'Union Européenne à 25 sont concernées.

IV - L'APRES 2012 : SCENARIO « FACTEUR 4 » 2050²

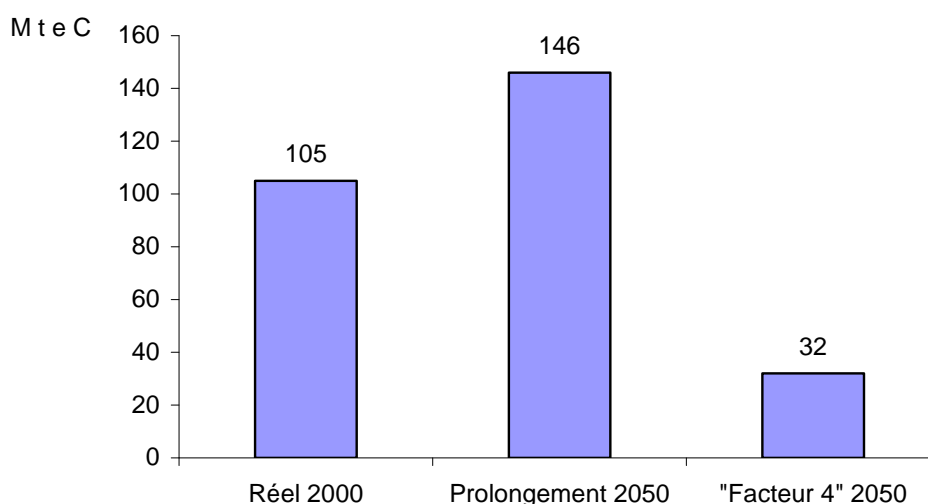
Afin de contenir le réchauffement mondial à moins de 2°C, il est nécessaire de diviser par deux (de 6 G t e C à 3 G t e C) les émissions mondiales de gaz à effet de serre. Cet objectif conduit d'après le rapport de la MIES par une division de l'ordre de quatre des émissions des pays industrialisés avant 2050.

Emissions françaises

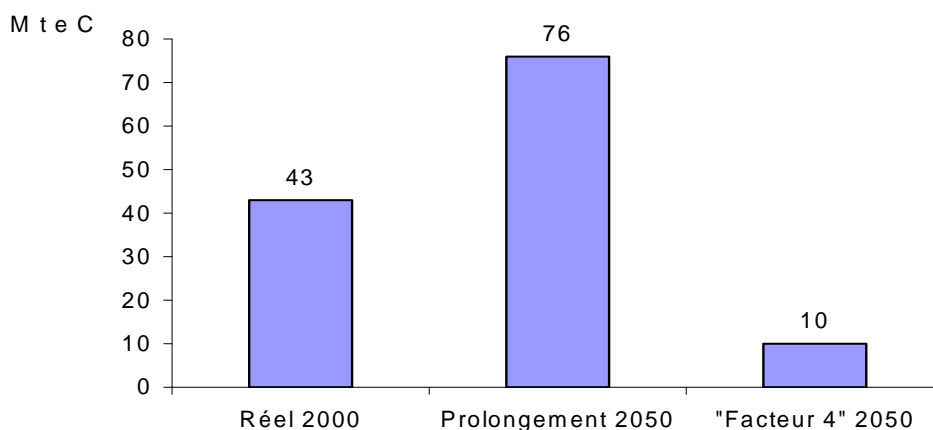
Le niveau français d'émissions annuelles qui est actuellement de 2 t e C/habitant se trouverait ainsi ramené à environ 0,5 t e C/habitant. (La moyenne mondiale se situe environ à 1 t e C/habitant et le niveau des Etats-Unis se situe à 6 t e C/habitant).

Les émissions globales peuvent être alors estimées à 32 M t e C (0,5 t e C/an x 64 millions d'habitants).

Emissions globales



Emissions transports



² Rapport de mission : MIES 2004 préparé par P. RADANNE « La division par 4 des émissions de dioxyde de carbone en France d'ici 2050 »

Nous pouvons remarquer que les transports émettent déjà aujourd'hui 1,3 fois plus que les émissions globales « Facteur 4 » 2050 (43 M t e C pour 32 M t e C). De plus, les émissions continuent actuellement de croître à près de 2% par an. Le secteur des transports va donc nécessiter une mutation profonde.

Pour atteindre l'objectif de 10 M t e C lié aux transports routiers à l'horizon 2050, la part estimée de pétrole devra être inférieure au 1/3 de l'énergie totale actuellement utilisée dans les transports.

Cela devrait exiger cinq politiques simultanées :

- fortes réductions des consommations unitaires des véhicules
 - optimisation des rendements
 - diminution de taille, de poids, de puissance, de vitesse de pointe
 - modification des comportements
 - limitations de vitesses drastiques
- contribution croissante des biocarburants
- développement du moteur électrique (véhicules hybrides, véhicules électriques, accumulateurs, piles à combustible...)
- développement des transports ferroviaires
- réduction de la mobilité par les politiques d'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

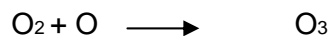
ANNEXE 1

Diminution de l'ozone stratosphérique (moyenne atmosphère)

Dans la stratosphère, l'énergie des rayons ultraviolets du rayonnement solaire ($h\nu$) est très élevée. Certaines molécules d'oxygène (O_2) sont dissociées en deux atomes d'oxygène (O),



chacun peut alors se combiner à une molécule O_2 pour donner une molécule (O_3).



Ainsi, une couche d'ozone (O_3) s'établit entre dix et soixante kilomètres d'altitude avec une concentration maximale à trente kilomètres. Cette couche représente 93% du contenu global d'ozone, les 7% restants étant contenus dans la troposphère (basse atmosphère).

Ces molécules d'ozone captent une grande partie du rayonnement ultraviolet solaire permettant ainsi la vie sur terre. Cet écran protecteur nous préserve des risques de cancer cutané et permet l'activité de photosynthèse des plantes. Cependant, cet écran est fragile, en effet, les constituants comme le chlore auraient une tendance à diminuer la couche d'ozone.

Cycle de destruction de l'ozone par le Chlore

Dans la stratosphère, les molécules de CFC sont décomposées par les rayons ultraviolets qui libèrent les atomes de chlore (Cl). Ceux-ci réagissent avec l'ozone (O_3) pour former de l'oxyde de chlore (ClO).



L'oxyde de chlore réagit ensuite avec un atome d'oxygène libre pour former un atome de chlore.



L'atome de chlore peut ensuite attaquer une autre molécule d'ozone.

Pour chaque cycle, le bilan est donc :



Ce processus expliquerait la formation de « trou d'ozone » dans la stratosphère.

ANNEXE 2

Augmentation de l'ozone troposphérique (basse atmosphère)

L'ozone est un polluant qui, à partir d'un seuil situé à 100 µg/m³ (50ppb), aurait des répercussions sur la santé (irritation des yeux et perturbation de la fonction respiratoire) et sur la végétation (apparition de tâches nécrotiques sur la face supérieure des feuilles et réduction de l'activité de photosynthèse).

Seuils de protection contre la pollution par l'ozone

Critère	Concentration/Durée	
	(µg/m ³)	(Heures)
Protection de la santé	110	8
Information de la population	180	1
Alerte niveau 1 : limitation de vitesse	240	3
Alerte niveau 2 : limitation de circulation	300	3
Alerte niveau 3 : interdiction partielle de circulation	360	1
Protection de la végétation	65	24
	200	1

Source LEGIFRANCE Décret N°2003-1085 du 12/11 /03

Exemple d'application :

L'alerte 1 est déclenchée par arrêté préfectoral lorsque la concentration dépasse 240 µg/m³ en moyenne horaire pendant une durée minimale de 3 heures consécutives.

Remarque : l'augmentation de l'ozone troposphérique ne peut malheureusement combler la diminution de l'ozone stratosphérique du fait de sa durée de vie qui est de l'ordre de la semaine. Il est au contraire supposé aujourd'hui qu'une très petite partie de l'ozone stratosphérique pourrait descendre dans la troposphère étant donné que l'ozone est beaucoup plus lourd que l'air.

SYMBOLES ET UNITES

- ppmv : partie par million en volume
M (Méga) : pour les millions (10^6)
G (Giga) : pour les milliards (10^9)

ABREVIATIONS

- ACEA : Association des Constructeurs Européens d'Automobiles
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
MIES : Mission Interministérielle pour l'Effet de Serre
PNLCC : Programme National de Lutte contre le Changement Climatique

REFERENCES

Bibliographie

- L'Effet de Serre : Allons-nous changer le climat ?
Hervé LE TREUT – Jean-Marc JANCOVICI
Editions Flammarion
- La pollution atmosphérique
Gérard MOUVIER
Editions Flammarion
- Rapport de mission MIES 2004
« La division par 4 des émissions de dioxyde de carbone en France d'ici 2050 »
Pierre RADANNE
- Carburants et moteurs
JC GUIBERT
Editions Technip

Sites WEB

<http://www.effetdeserre.gouv.fr>

<http://www.manicore.com>

<http://www.citepa.org>

<http://www.ademe.fr>

<http://www.meteo.fr>

<http://www.environnement.gouv.fr>