

LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Composants, origines, conséquences

La Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996 définit la pollution comme "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à :

- mettre en danger la santé humaine
- nuire aux ressources biologiques
- influencer sur les changements climatiques
- détériorer les biens matériels
- provoquer des nuisances olfactives excessives"

Nous respirons chaque jour 15 à 20.000 litres d'air soit 19 à 26 kg d'air, composé essentiellement d'Azote à 78%, d'oxygène à 21% et d'autres gaz (Argon, CO₂, et divers polluants) pour 1%. Cependant bien que cette dernière proportion paraisse faible, c'est elle qui est à l'origine d'effets nocifs sur la santé et l'environnement. Le CO₂ est un gaz à effet de serre, dit GES par la suite.

La pollution intérieure

Elle est d'origine essentiellement anthropique (produite par l'homme) et concerne nos activités dans des espaces fermés : bureau, maison, magasins... Les polluants identifiés sont :

Le CO ou monoxyde de carbone (gaz mortel à 0,15%), issu de la mauvaise combustion des appareils de cuisson et des chaudières

Les oxydes d'azote ou NO_x (gazinière, combustion)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ou HAP (bricolage, nettoyage, entretien, chauffage, peinture et solvants) comme le benzène, le toluène, le xylène, l'essence térébenthine, les suies, les dérivés du goudron ...

La combustion des hydrocarbures comme les combustibles des poêles à pétrole, appauvrissent en oxygène les locaux, produisent du CO₂ et de l'eau qui se condense sur les surfaces froides et favorise les acariens et les moisissures

Les Composés Organiques Volatils ou COV, qui émettent pendant des années des gaz et vapeurs. Ils sont présents dans les produits de construction (mousses isolantes, bois traités, insecticides), de décoration et d'ameublement, (textile, mobilier), de peintures et colles, d'entretien ménager, désodorisants, parfums d'ambiance, lotions corporelles ...

Les Aldéhydes : comme le formaldéhyde, dans les panneaux de bois agglomérés, les mélaminés, les moquettes, les produits de bricolage ...

Désormais les produits de construction et de décoration bénéficient d'un étiquetage des émissions en COV : de A+ peu émissif à B ou C fortement émissif.

Les crèches et maternelles doivent faire l'objet d'une surveillance de la qualité de l'air intérieur depuis 2015 et avant 2018 pour les classes élémentaires.

Le benzo-a-pyrène, qui est aussi un HAP, est produit par la décomposition à haute température des graisses (cuisine, barbecue), et par la cigarette.

Le radon, gaz radioactif émanant du sol, n'est à prendre en compte que dans les régions naturellement uranifères, Bretagne, Limousin, région de Lodève)

Les bio-contaminants, tels que les pollens, pesticides, bombes insecticides ... Les bactéries, insectes, acariens moisissures, sont favorisés par l'humidité et la chaleur.

Après avoir neutralisé le chauffage dans les pièces concernées, il est donc utile d'aérer son habitation quotidiennement, surtout si elle est bien isolée, par les ouvrants naturels afin de garder un air sain.

La pollution extérieure

Une origine naturelle

Volcans (gaz soufrés, poussières fines, HAP), foudre (ozone), marais (méthane, gaz carbonique CO₂), érosion éolienne, pluies de sable, animaux (méthane dû à la digestion des ruminants), pollens, embruns marins, radon ...

Des phénomènes météorologiques ont également une incidence :

- **le vent**, facteur de dispersion mais aussi de déplacement de la pollution dans des zones où elle n'a pas été émise (ozone en montagne)
- **le soleil**, contribue à la formation d'ozone à partir des précurseurs comme les COV et les NO_x
- **la pluie**, permet le lessivage des oxydes d'azote et l'entraînement des particules en suspension, (pollution des sols et des eaux) mais se transforme en pluies acides

- **la température** (plus froide en altitude) favorise la dispersion des polluants (plus chauds) qui s'élèvent mais attention au phénomène d'inversion de température, couche d'air chaud 3 à 400 m au dessus du sol, qui agit comme un couvercle de marmite et provoque l'accumulation des polluants dans les basses couches de l'air.

Une origine anthropique

Les principaux polluants surveillés étant :

- **le dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux SO₂**, industries, centrales thermiques, chauffage collectif, il se transforme en acide avec l'humidité de l'air.

- **les Oxydes d'azote (NO_x) NO et NO₂**, industrie chimique, installations de combustion, véhicules, appareils au gaz. Sous l'action des Ultra-Violet (UV) ils sont également des précurseurs de l'ozone, en particulier vers les axes routiers.

- **les particules fines de taille inférieure à 10µm : PM10 et inférieures à 2,5 µm : PM2,5** : combustion à des fins énergétiques de charbon et pétrole, chauffage au bois, brûlage, transport routier : suies, usure des pièces mécaniques, freins, embrayage, pneumatiques, revêtement routier, activités industrielles : sidérurgie, cimenterie ...

- **le benzène C₆H₆** : gaz d'échappement, industrie, véhicules à essence, évaporation pompes à essence ...

- **le monoxyde de carbone CO, très toxique** (à ne pas confondre avec le dioxyde de carbone CO₂ non toxique mais GES) : trafic routier en majorité, garages, tunnels, parkings, combustion incomplète des carburants et autres combustibles, mauvais fonctionnement des appareils de chauffage ...

- **l'ozone O₃** C'est aussi un GES. Il n'est pas émis directement par les gaz d'échappement, mais est formé, sous l'action des UV, à partir de polluants "précurseurs" comme les NO_x et les COV produits par l'industrie chimique et pétrolière, la distribution de carburants, le transport routier, le stockage de solvants ... Il peut donc se former loin de son lieu d'émission lorsque les précurseurs ont été emportés par le vent.

Attention : il ne faut pas confondre cet ozone néfaste à la santé, qui est produit dans la couche basse de l'atmosphère dite "troposphère" (de 0 à 10 km d'altitude), avec la couche d'ozone située dans la stratosphère vers 25 km d'altitude, constituant un filtre naturel protégeant la vie terrestre des effets nocifs des UV.

- **les métaux lourds : plomb (Pb), Arsenic (As), cadmium (Cd) nickel (Ni) mercure (Hg)**, incinération des ordures ménagères et autres déchets, combustion des énergies fossiles, procédés industriels, métallurgie ... ce sont des polluants persistants qui s'accumulent dans les organismes vivants.

- **le benzo-a-pyrène**, associé souvent aux PF, décomposition des graisses à haute température, fonderies, gaz d'échappements, suies, épandage routier de bitume, les raffineries de pétrole, la combustion de la biomasse ou de composés aromatiques.

- **les dioxines et furanes**, incinération des déchets ménagers et de boues en présence de chlore et de brome, procédés industriels ...

- **les Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP**, formés par évaporation et rejetés lors de la combustion de matières organiques, charbon et pétrole, industries de la peinture et solvants.

- **les pesticides et le protoxyde d'azote N₂O** gaz hilarant et anesthésique provenant de l'agriculture (produits phytosanitaires et engrais azotés, lisiers et fumiers) ainsi que le nitrate d'ammonium NH₃.
D'après air Rhône-Alpes en 2013 :

Le secteur des transports représente :

- 59 % des émissions de NO_x
- 16 % des émissions de particules fines PM10
- 16 % des émissions de particules fines PM2,5

Le secteur industriel représente :

- 56 % des émissions pour le SO₂ ;
- 23 % pour les COVnM
- 21 % pour les PM10
- 18 % pour les NO_x
- 14 % pour les PM2,5
- 9 % pour les dioxines/Furanes
- la contribution majoritaire pour la plupart des métaux lourds (Plomb, cadmium, Chrome, Arsenic, Mercure, Nickel)

Le secteur agricole représente :

- 94 % des émissions de NH₃
- 79 % des émissions de CH₄
- 79 % des émissions de N₂O
- 9 % des émissions de PM10
- 7 % des émissions de NO_x

Effets sur la santé et l'économie

La pollution, si elle se concentre majoritairement dans les villes, peut être entraînée par les vents à des centaines de km, ou se former, comme l'ozone, à partir de précurseurs postérieurement à son émission sous l'action des UV. L'été la concentration en ozone est maximale vers 14h. Elle diminue la nuit. L'exposition aux substances nocives se fait par l'entremise des organes respiratoires, par l'ingestion (métaux lourds), et par la peau.

Elle provoque, selon les concentrations, des troubles immédiats ou retardés, entraînant chez les personnes les plus vulnérables que sont les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées, des diminutions des capacités respiratoires et l'aggravation des pathologies déjà existantes.

Chez les enfants : toux, irritations, bronchites chroniques et bronchiolites. Le nombre de cas d'asthme a doublé en 10 ans et 10% des enfants sont concernés.

L'inhalation de particules fines induit, en sus des problèmes respiratoires, des problèmes cardiovasculaires et endocriniens, la baisse de la fertilité chez les hommes, l'augmentation de la mortalité intra-utérine et des naissances prématurées.

La pollution, classée cancérigène en 2013 par le Centre International de recherche sur le Cancer (CIRC de Lyon) est la cause principale de décès prématurés (perte de 5 à 8 mois de l'espérance de vie).

La Communauté Européenne estime qu'en 2010 en Europe, 379.000 décès prématurés sont dus aux particules fines et 26.500 dus à l'ozone.

En France, l'étude "CAFE" (Clean Air For Europe), impute 42.000 décès prématurés aux particules fines PM_{2,5}, correspondant à une perte d'espérance de vie de 8,2 mois.

Le programme " APHEKOM" coordonné par l'INVS (Institut National de Veille Sanitaire) sur 25 villes européennes dont 9 françaises, montre que le gain d'espérance de vie à 30 ans, qui résulterait du respect de la valeur OMS (Organisation Mondiale de la Santé) de 10 µg/m³ en PM_{2,5} serait de 5,7 mois pour Lyon.

Sur les 50% des habitants vivant autour des axes routiers fréquentés, on note 15% d'asthme chez les moins de 15 ans, 23% des bronchites chroniques, 25% des maladies cardiovasculaires chez les plus de 65 ans.

Quant aux pollens, 20% des Français souffrent d'allergies respiratoires, ce pourcentage s'accroissant en permanence. Le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) informe la population sur le risque d'allergie par des bulletins périodiques.

La CE évalue les dommages économiques à 23 Mds d'euros :

- 15 Mds de productivité de travail
- 4 Mds de soins sanitaires
- 3 Mds de pertes de rendement des cultures
- 1 Md de dégradation des bâtiments

Effets sur l'environnement

Les NO₂ et SO₂ en s'acidifiant avec l'humidité de l'air forment des dépôts acides et des pluies acides, dépassant largement les zones d'émission.

Avec l'ozone, ces polluants décomposent la chlorophylle, réduisent la photosynthèse chez les végétaux, ralentissent la croissance, perturbent l'absorption des sels minéraux, provoquent des nécroses foliaires, et conduisent in fine à des pertes de rendement.

Les dépôts azotés menacent la biodiversité en favorisant les plantes nitrophiles au détriment des autres et participent à l'"eutrophisation" (excès de nutriments) des écosystèmes.

L'ozone est un gaz à effet de serre et participe au réchauffement climatique.

Les molécules chloro-fluorocarbonées (CFC, PFC et FHC) constituant les gaz de réfrigération, contribuent à la destruction de la couche d'ozone protectrice de la stratosphère.

Enfin la pollution de l'air salit (suies, particules fines) et dégrade (dépôts acides) les matériaux et les monuments : formation de croûte noire adhérente, attaque des pierres calcaires, nécessitant un entretien et des ravalements coûteux pour la collectivité et les particuliers.

Surveillance de la qualité de l'air par les pouvoirs publics

Elle est organisée à partir de directives européennes (directive 2008/50 CE du 21/05/08) transposées en lois (Grenelle I et II de l'environnement), et de décrets et arrêtés.

- Des dispositions de surveillance et de mesure au niveau national et aussi régional sont élaborées pour respecter des valeurs limites et des valeurs cibles. (Voir documents CE et ministère écologie)

La région Rhône-Alpes bénéficie de 4 PPA (Plans de Protection de l'Atmosphère) régis par l'arrêté inter-préfectoral du 1er décembre 2014.

- En particulier certaines valeurs maximales, intégrées sur une période d'une heure, une journée ou en moyenne annuelle doivent être respectées, durant un certain nombre de jours par an pour 12 catégories de polluants:

NO₂, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, benzène, benzo-a-pyrène et métaux lourds (Pb, As, Cd, Ni)

Exemples :

B. Valeurs limites			
Période de calcul de la moyenne	Valeur limite	Marge de dépassement	Date à laquelle la valeur limite doit être respectée
Anhydride sulfureux			
Une heure	350 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile	150 µg/m ³ (43 %)	(1)
Un jour	125 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile	Néant	(1)
Dioxyde d'azote			
Une heure	200 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	50 % le 19 juillet 1999, diminuant le 1er janvier 2001, puis tous les douze mois par tranches annuelles égales, pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010
Année civile	40 µg/m ³	50 % le 19 juillet 1999, diminuant le 1er janvier 2001 puis tous les douze mois par tranches annuelles égales, pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010
Benzène			
Année civile	5 µg/m ³	5 µg/m ³ (100 %) le 13 décembre 2000, diminuant le 1er janvier 2006 puis tous les douze mois de 1 µg/m ³ , pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010
Monoxyde de carbone			
Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (2)	10 mg/m ³	60 %	(1)
Plomb			
Année civile	0,5 µg/m ³ (3)	100 %	(3)
PM10			
Un jour	50 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile	50 %	(1)
Année civile	40 µg/m ³	20 %	(1)
<i>(1) En vigueur depuis le 1^{er} janvier 2005.</i>			
<i>(2) Le maximum journalier de la concentration moyenne sur 8 heures est sélectionné après examen des moyennes glissantes sur 8 heures, calculées à partir des données horaires actualisées et toutes les heures. Chaque moyenne sur 8 heures ainsi calculée est attribuée au jour où elle s'achève; autrement dit, la première période considérée pour le calcul sur un jour donné sera la période comprise entre 17 h 00 la veille et 1 h 00 le jour même; la dernière période considérée pour un jour donné sera la période comprise entre 16 h 00 et 24 h 00 le même jour.</i>			

A partir de deux niveaux seuils susceptibles d'être dépassés, le préfet organise la diffusion de messages :

- de recommandation et d'information à destination de groupes pour lesquels une exposition de courte durée à ce seuil présente des risques pour la santé ex: 180 µg/m³ pour l'ozone.
- d'alerte lorsque l'exposition de courte durée à ce niveau présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou un risque de dégradation de l'environnement ex: 240 µg/m³ pour l'ozone.

Voir tableau ci-dessous :

Niveaux des seuils d'information et d'alerte

Seuil définissant les niveaux de dispositifs préfectoraux en cas d'épisode de pollution

	Niveau information	Niveaux d'alerte		
		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
NO₂	200 µg/m ³ /h 1j constat ou prévi.	400 µg/m ³ /3h 1j constat ou prévi. OU 200 µg/m ³ /h 3j constat j-1 + prévi. j + prévi. j+1	400 µg/m ³ /h 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	400 µg/m ³ /h 6j constat j-1 + constat j-2 + constat j-3 + constat j-4 + prévi. j + prévi. j+1
O₃	180 µg/m ³ /h 1j constat ou prévi.	240 µg/m ³ /3h 1j (constat ou prévi.) OU 180 µg/m ³ /h 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	300 µg/m ³ /3h 1j (constat ou prévi.) OU 240 µg/m ³ /h 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	360 µg/m ³ /h 1j (constat ou prévi.) OU 240 µg/m ³ /h 6j constat j-1 + constat j-2 + constat j-3 + constat j-4 + prévi. j + prévi. j+1
PM₁₀	50 µg/m ³ /j 1j constat ou prévi.	80 µg/m ³ /j 1j constat ou prévi. OU 50 µg/m ³ /j 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	80 µg/m ³ /j 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	80 µg/m ³ /j 6j constat j-1 + constat j-2 + constat j-3 + constat j-4 + prévi. j + prévi. j+1
SO₂	300 µg/m ³ /h 1j constat ou prévi.	500 µg/m ³ /3h 1j constat ou prévi. OU 300 µg/m ³ /h 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	500 µg/m ³ /h 4j constat j-1 + constat j-2 + prévi. j + prévi. j+1	500 µg/m ³ /h 6j constat j-1 + constat j-2 + constat j-3 + constat j-4 + prévi. j + prévi. j+1

Réglementation :

Le troisième PNSE (2015 – 2019) 42 témoigne de la volonté du gouvernement de réduire autant que possible et de façon la plus efficace les impacts des facteurs environnementaux sur la santé afin de permettre à chacun de vivre dans un environnement favorable à la santé.

Il s'articule autour de 4 grandes catégories d'enjeux :

- des enjeux de santé prioritaires
- des enjeux de connaissance des expositions et de leurs effets
- des enjeux pour la recherche en santé environnement
- des enjeux pour les actions territoriales, l'information, la communication, et la formation

L'action n°49 du 3ème Plan National Santé Environnement 2015–2019 demande la mise en œuvre du plan national de la qualité de l'air intérieur (PQAI) annoncé par le gouvernement le 13 octobre 2013. Le PQAI comprend 26 actions regroupées en 5 thématiques :

- informer le grand public et les acteurs relais ;
- développer l'étiquetage des produits émetteurs de polluants ;
- dans la filière du bâtiment, développer les actions incitatives et préparer les évolutions réglementaires en lien avec la réglementation thermique ;
- progresser sur le terrain vis-à-vis de pollutions spécifiques ;
- améliorer les connaissances.

L'intervention des Conseillers en Environnement Intérieur (CEI) auprès des personnes atteintes de pathologies liées ou susceptibles d'être aggravées par la qualité de l'air intérieur fait l'objet d'une évaluation dans le cadre d'un projet hospitalier de recherche clinique (PHRC).

Surveillance de la qualité de l'air

Elle est effectuée par un ensemble de structures agréées type loi 1901•AASQA (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air), fédérées au sein de l'ATMO. L'arrêté du 22 juillet 2004 définit un indice de la qualité de l'air dit « indice » ATMO pour les agglomérations > 100.000 hab. et un IQA Indice Qualité de l'Air simplifié <100.000 hab. Cet indice est déterminé par le maximum d'un ensemble de sous-indices relatifs à 4 polluants SO₂, NO₂, O₃ et PM₁₀

indice	qualificatif
1 2	très bon
3 4	bon
5	moyen
6 7	médiocre
8 9	mauvais
10	très mauvais

Cas particulier des gaz à effet de serre

Certains des polluants évoqués plus haut, constituent donc aussi des gaz à effet de serre, ils sont accompagnés par d'autres gaz et aérosols décrits ci-dessous.

On rappelle que l'effet de serre est un phénomène naturel de forçage radiatif, (certaines longueurs d'onde du rayonnement solaire réémis par la terre sont absorbées par les GES et ne peuvent s'échapper vers l'espace) permettant à la terre de bénéficier ainsi d'un apport complémentaire de 150 W/m², sans lequel la température à la surface de notre globe serait de l'ordre de moins dix huit degrés centigrades. Le principal GES est la vapeur d'eau qui intervient majoritairement, mais elle n'est pas prise en compte car sa concentration ne dépend pratiquement pas de l'activité humaine. Restent les 6 gaz visés par le protocole de Kyoto de 1997, responsables de l'effet de serre additionnel :

- le dioxyde de carbone CO₂
- le méthane CH₄
- le protoxyde d'azote N₂O
- l'hexafluorure de soufre SF₆
- les hydrofluorocarbures HCF
- les perfluorocarbures PFC

L'ozone n'est pas répertorié comme GES du fait de la variabilité de ses émissions.

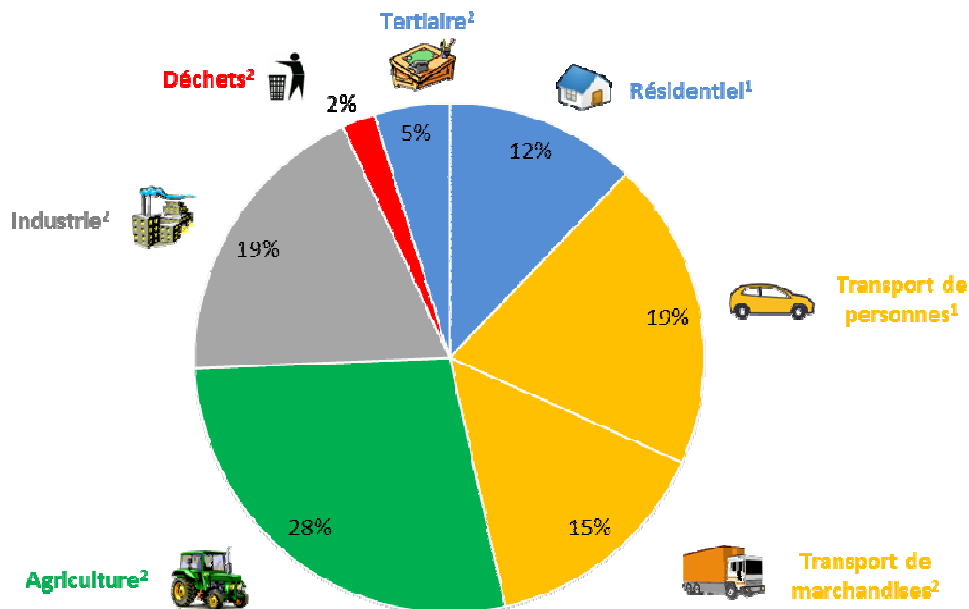
Les GES seraient responsables avec 90% de certitude, de l'augmentation de 55% de l'effet de serre additionnel (GIEC). Le CO₂ additionnel provient de la combustion des combustibles fossiles, pétrole, gaz, bois, charbon.

Toute combustion, toute activité et fabrication de matériaux ou de biens de consommation entraîne, à des degrés divers, obligatoirement une empreinte carbone, c'est à dire la production de CO₂ : véhicules thermiques ou électriques, centrales de production d'énergie électrique thermiques, nucléaires, hydroélectriques, éoliennes, ou photovoltaïques.

Ces gaz n'ont pas tous le même pouvoir de réchauffement global (PRG) : si on prend 1 comme référence de PRG pour le CO₂, celui de la vapeur d'eau est = 8, du méthane = 28, du N₂O = 265, du SF₆ = 23.500. Cela signifie qu'un kg de méthane équivaut à 28 kg de CO₂.

Mais il faut aussi prendre en compte leur durée de vie et leur abondance pour en déterminer la proportion de nocivité réelle qui n'est plus celle bien simple de cette première approche avec les PRG. (Voir tableaux diapos n° 67 et 68).

Plus du tiers des émissions est dû au transport routier.



Origine des gaz à effet de serre autres que la vapeur d'eau

Dans l'agriculture la production de N₂O, ou protoxyde d'azote, est dû à l'épandage d'engrais azotés. C'est un GES dont le pouvoir de réchauffement global (PRG) est 270 fois plus élevé que celui du CO₂. Le méthane est émis par la digestion des ruminants, la fermentation anaérobie des lisiers et fumiers ainsi que les rizières. Son PRG sur 20 ans est 84 fois celui du CO₂ et 28 fois sur 100 ans. Il contribuerait pour 18% au réchauffement climatique.

Quelques conséquences des GES

L'effet du réchauffement pourrait avoir plusieurs conséquences graves :

- fonte des glaces des calottes polaires et des glaciers et l'augmentation de la température de l'eau (dilatation thermique), conduiront à une élévation du niveau des océans, menaçant particulièrement de submersion marine l'est, le sud et le sud-ouest de l'Asie, les îles Maldives, l'archipel des Tuvalu, les îles Marshall, Salomon, Carteret, Kiribati ...

Notons que la fonte de la banquise (eau de mer gelée) ne participe pas à l'élévation du niveau des mers (c'est le glaçon dans votre apéritif), mais pose d'autres graves problèmes d'adaptation pour la faune.

- fonte du permafrost¹ conduisant à l'émanation de CH₄ dans la toundra (GES)
- acidification des océans par absorption du CO₂
- rendement de la pêche augmentée dans le nord et la disparition de la biodiversité dans le sud
- prolifération des méduses rendant la pêche difficile et disparate
- diminution du rendement des rizières et des céréales, augmentant les prix agricoles
- recul des glaciers et des surfaces enneigées entraînant pertes touristiques, agricoles et diminution de ressource en eau douce
- disponibilité en eau pouvant affecter les centrales de production d'énergie, soit hydrauliques, soit thermiques ou nucléaires (cycle de Carnot)
- déplacement des zones de culture : des vignes de champagne en Angleterre ?
- désertification de certaines zones par manque de pluie
- augmentation du coût des assurances par suite des épisodes violents météorologiques
- risque de tension sociale accrue dans les pays à faible revenu
- poches de pauvreté entraînant des migrations massives
- conflits militaires à cause de l'eau
- perturbation de la croissance économique des pays émergents
- facture sanitaire élevée dans les régions pauvres
- une hausse de 2°C entraînerait une perte de 0,2 à 2% du produit économique brut mondial (GIEC 2013)

Pollution par les véhicules diesel et essence

Les 4 polluants émis par les véhicules et réglementés par les normes euro (sauf CO₂ qui n'affecte pas la santé mais est un GES) sont :

- les particules fines issues des gaz d'échappement PM10 (englobant donc les PM2,5) : moteurs diesel et moteurs récents essence à injection directe. Les seuils sont définis en masse : Particules en Masse < 10 µm ou PM10 et en nombre : Particules en Nombre ou PN.

Ces seuils ne prennent pas en compte les particules fines émises par les pièces d'usure freins, embrayage, pneus, revêtement routier.

Or le freinage à lui seul est responsable de 20% de l'ensemble des particules émises par le trafic routier. Un véhicule type Renault Scenic ou C4 Picasso émet 30 mg de particules PM10 par km (22 mg plaq. Av et 8 mg plaq. Ar).

Idem pour les voitures électriques de même poids.

L'INSA de Lyon estime que l'usure des plaquettes de freins = 20t/an sur la région.

Pour 533 milliards de véh.légers.km = 16.000 t/an en France.

- les NOx : moteurs diesel et moteurs récents essence à injection directe

- le CO : moteurs diesel et essence

- HC et HCNM : Hydro Carbures et Hydro Carbures Non Méthaniques imbrûlés: surtout moteurs essence à carburateur et injection indirecte et anciens moteurs diesel.

- le CO₂ : gaz à effet de serre dû à la combustion de carburant des moteurs diesel et essence. Le CO₂ est lié au système de bonus malus, ce qui en fait une contrainte essentielle et une gageure pour les motoristes confrontés au problème de diminuer les consommations, et donc le CO₂.

Pour y parvenir il faut augmenter le rendement des moteurs thermiques et adopter une combustion en mélange pauvre (plus d'air pour moins de carburant) à haute température et à haute pression, ce qui favorise malheureusement la production des NO_x et des particules fines.

Diminuer le CO₂ augmente donc la pollution et vice-versa !

Cependant des dispositifs techniques permettent de réduire ces polluants. Il s'agit du Filtre à Particules (FAP), de la vanne de recyclage des gaz (EGR) et du pot catalytique amélioré avec le piège à NOx (Renault Nissan et divers véhicules allemands) ou celui plus performant baptisé SCR (Selective Catalyse Reduction) de PSA, utilisant un additif à l'urée qui transforme les NOx à 95% d'efficacité, en azote et eau (voir description diapos 82 à 85).

A l'heure actuelle 61% du parc est en diesel, soit 19,4 millions de véhicules, dont 2/3 ne sont pas dotés de FAP ou de FAP efficaces.

L'émission de particules fines à l'échappement provient à 57% de véhicules particuliers, à 27% de véhicules utilitaires légers et à 16% de poids lourds.

Les véhicules essence (VE) anciens émettent peu de NOx et peu de particules, de manière identique aux diesels équipés de FAP de dernière génération (efficaces à 99,9%)

Les diesels anciens émettent beaucoup de NOx et de PF.

Les VE récents à injection directe génèrent désormais eux aussi des particules fines conduisant dès 2011 la norme EURO 5 à les réglementer.

Le tableau ci-dessous présente les dates de mise en application des différentes normes. Pour savoir à quelle norme correspond votre véhicule regardez sur votre carte grise à la ligne « **V9** »

Norme	Mise en service des véhicules	Homologation des nouveaux types
Euro 1	1 ^{er} janvier 1993	1 ^{er} juillet 1992
Euro 2	1 ^{er} juillet 1996	1 ^{er} janvier 1996
Euro 3	1 ^{er} janvier 2001	1 ^{er} janvier 2000
Euro 4	1 ^{er} janvier 2006	1 ^{er} janvier 2005
Euro 5	1 ^{er} janvier 2011	1 ^{er} septembre 2009
Euro 6b	1 ^{er} septembre 2015	1 ^{er} septembre 2014

Dates d'applicabilité des normes EURO

La norme EURO 6c sera applicable aux véhicules mis en service à partir du 1^{er} septembre 2017.

Les tableaux suivants sont relatifs aux seuils tolérés des différents polluants pour les véhicules diesels et les véhicules essence ou gaz. Dans la norme Euro 6b on remarquera que pour les Diesel, les seuils demeurent identiques à ceux de la norme Euro 5 (1er janvier 2011), à savoir **une limitation PM en masse à 5 mg/km et une limitation PN en nombre à 6 x 10¹¹** (600 milliards).

Pour les moteurs essence, si la masse autorisée est légèrement inférieure, **avec 4,5 mg/km, le nombre de particules qui peuvent être émises est quant à lui dix fois plus élevé, avec un seuil fixé à 6 x 10¹² par kilomètre** (6.000 milliards).

De quoi autoriser **les moteurs à essence modernes, en particulier à injection directe**, à rejeter en plus grand nombre des **particules très fines, les plus nocives pour la santé**.
En 2017 ils devront donc être dotés de FAP performants, comme pour les diesels.

Normes Euro véhicules diesel

Norme	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6b
Oxydes d'azote (NO_x)	-	-	500	250	180	80
Monoxyde de carbone (CO)	2720	1000	640	500	500	500
Hydrocarbures (HC)	-	-	-	-	-	-
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	-	-	-	-	-	-
HC + NO_x	970	900	560	300	230	170
Particules (PM)	140	100	50	25	5	5
Particules (PN) (#/km)	-	-	-	-	6×10 ¹¹	6×10 ¹¹
Toutes les valeurs sauf PN sont exprimées en mg/km. (standard = g/km)						

= 600 Milliards de PF pour diesel

Normes Euro véhicules essence et au gaz GNL et GPL

Norme	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5 ⁵	Euro 6b ⁶
Oxydes d'azote (NO_x)	-	-	150	80	60	60
Monoxyde de carbone (CO)	2720	2200	2200	1000	1000	1000
Hydrocarbures (HC)	-	-	200	100	100	100
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	-	-	-	-	68	68
HC + NO_x	-	-	-	-	-	-
Particules (PM)	-	-	-	-	5 ^{*1}	4,5 ^{*1}
Particules (PN) (#/km)	-	-	-	-	-	6×10 ^{12*} 2
Toutes les valeurs sauf PN sont exprimées en mg/km.						
1. ↑ ^{a et b} Uniquement pour les voitures à essence à injection directe fonctionnant en mélange pauvre (combustion stratifiée). 2. ↑ Le règlement n° 459/2012 autorise les voitures à essence à injection directe à émettre 6×10 ¹² particules jusqu'en 2017 ; au delà elles seront limitées à 6×10 ¹¹ comme les véhicules Diesel.						

= 6.000 Milliards de PF pour les essence

Il est alors assez curieux de constater que, après avoir demandé aux motoristes d'investir dans la Recherche et le Développement (R et D) afin de diminuer les émissions de CO₂, de particules fines et des NO_x, et alors que le diesel est enfin devenu plus vertueux, les pouvoirs publics et les médias donnent une image déformée de la nuisance du diesel actuel, du fait de la persistance de nombre de véhicules anciens.

Nos voisins allemands qui vendent aux français des véhicules diesel plus polluants (le groupe VAG, jusqu'à présent, ne proposait pas sur le moyen de gamme de système SCR et FAP aussi performants que ceux de PSA) se réjouissent de cette contre publicité faite à l'encontre des constructeurs français. Ce dénigrement est incohérent avec l'objectif fixé de moins de CO₂ pour la planète. Sauf pour les petites puissances où il n'est pas rentable, le diesel restera encore le type de moteur qui permet d'émettre le moins de CO₂ et donc de moins participer au réchauffement climatique, priorité de la COP 21. Le cas de la voiture électrique sera évoqué plus loin.

La norme euro 6c, applicable en 2017 sera pratiquement identique en termes de NO_x et particules fines.

Les cycles de conduite des normes EURO

Les émissions de polluants sont mesurées durant un cycle de conduite normalisé défini en 1973, appelé **NEDC** (New European Driving Cycle) qui dure 20 minutes sur banc.

Il comprend une première phase de conduite typée "ville" suivi d'une phase de conduite plus rapide typée "route" mais sans aucune phase d'accélération franche ni dépasser 120 km/h.

La vitesse moyenne durant ce cycle est de 33 km/h avec 24% du cycle en temps d'arrêt.

Les particules sont mesurées moteur froid. (ce qui favorise le piège à NO_x plus ancien et moins efficace, au détriment du SCR qui lui fonctionne mieux à chaud).

Mais désormais le cycle NEDC devrait être remplacé en 2017 dans le cadre de la norme Euro 6c, par le cycle **WLTP** (Worldwideharmonized Light vehicles Test Procedure) conçu pour être le plus proche possible des conditions d'utilisation réelles.

On observe que ce nouveau protocole augmente la vitesse moyenne (pointes à 130 km/h) du cycle d'homologation et diminue les phases d'arrêt (12,6%) destinées à modéliser les parcours urbains. Il est complété par un **test en conditions réelles le RDE** (Real Driving Cycle) sur circuit empêchant ainsi la triche.

La mesure du pic d'émission en conditions réelles de roulage ne devra pas dépasser 1,6 fois la valeur seuil défini dans le protocole puis 1,2 par la suite. En fait pour permettre aux motoristes de s'adapter, la CE récemment a permis temporairement une valeur de 2 fois la valeur seuil obtenue sur le banc d'essai fixe. Cette mesure a été perçue comme une autorisation à polluer deux fois plus, alors qu'en fait par le passé les véhicules dépassaient de 10 à 45 fois plus les normes d'émission mesurées sur banc d'essai. C'est donc une prescription qui est au contraire très contraignante.

Préjugés et réalités : ou différence entre objectifs et résultats.

Réduction des vitesses

Réduire de 110 km/h à 90 km/h la vitesse sur voies autoroutières urbaines, une bonne mesure à coup sûr pour diminuer la pollution ?

Examinons le problème réel pour les véhicules légers concernés :

La distance de sécurité entre les véhicules est réglementée par l'article R. 412-122 du code de la route qui stipule :

- "lorsque deux véhicules se suivent, le conducteur du second véhicule doit maintenir une distance de sécurité suffisante pour pouvoir éviter une collision en cas de ralentissement brusque ou d'arrêt subit du véhicule qui le précède. Cette distance est d'autant plus grande que la vitesse est élevée. Elle correspond à la distance parcourue par le véhicule **pendant un délai d'au moins deux secondes**".

- "**Hors agglomération**", lorsque des véhicules ou des ensembles de véhicules, dont le poids total en charge dépasse les 3,5 tonnes ou dont la longueur excède 7 mètres, se suivent à la même vitesse, la distance de sécurité est d'au moins 50 mètres".

* ce n est donc pas le cas des autoroutes urbaines et voies rapides urbaines.

Considérons un train de voitures de longueur moyenne 4,2 m séparées par la distance réglementaire de 2 s, telle que le formule le code de la route, sur une distance de 10km, sur une seule file.

Remarquons que cette interdistance s'amenuise avec la diminution de vitesse.

Distances de sécurité

Vitesse km/h	Distance parcourue en m/s	Interdistance de sécurité sur 2 secondes	Interdistance réelle constatée Ordre de grandeur
50	14	28	15
70	19,5	39	25
90	25	50	30
110	30,6	61	40
130	36,1	72	50

Sur cette portion de 10 km le nombre de voitures est donc plus grand si elles roulent à 90 km/h qu'à 110 km/h, et elles mettent plus de temps à parcourir la même distance mais elles consomment 17% de moins

au km en théorie en fonction du régime moteur moindre. Ce n'est pas toujours le cas pour les voitures à boîte automatique à 7 ou 8 vitesses (Mercedes, BMW, Audi, Range Rover, ...), qui enclenchent alors, sans la volonté du conducteur, le rapport inférieur, augmentant en proportion le régime moteur et donc la consommation d'où augmentation CO₂, NOx et PF. Mais ignorons cependant pour notre démonstration cet aspect négatif qui confirmerait d'autant plus la conclusion de cet exercice.

Calculons la consommation de carburant, d'abord pour un train de 10 voitures :

Un groupe de 10 voitures séparées de 9 interdistances occupe à 110 km/h : $42 + (9 \times 61) = 591$ m, et seulement $42 + (9 \times 50) = 492$ m à 90 km/h.

Ainsi à 110 km/h sur une portion de 10km il y a 169 voitures.

Et à 90 km/h sur la portion de 10 km on dénombre 203 voitures.

Consommation à 110 km/h : 6l/100 km et à 90 km/h : 5l/100km.

Consommation totale de ces véhicules sur ces 10 km : à 110 km/h : $0,6 \times 169 = 101,4$ litres à 90 km/h : $0,5 \times 203 = 101,5$ litres.

Conclusion : consommation identique.

Il n'y a donc aucune amélioration sur la production de CO₂, ni bien entendu sur celle des NOx et des PF !

On obtient les mêmes résultats en raisonnant sur le temps mis pour faire ces 10 km :

à 110 km/h $t = (1/110) \times 10 = 0,0909$ h soit 5mn et 27s en consommant $6 \times 110/100 = 6,6$ l/h

à 90 km/h $t = (1/90) \times 10 = 0,111$ h soit 6mn et 40 s en consommant $5 \times 90/100 = 4,5$ l/h

169 voitures à 110 km/h consommeront donc sur 10 km : $6,6 \times 0,0909 \times 169 = 101,4$ litres

203 voitures à 90 km/h consommeront donc sur 10 km : $4,5 \times 0,111 \times 203 = 101,4$ litres

En examinant le débit horaire il est de 1859 véh/h à 110 km/h et de 1829 véh/h à 90 km/h.

Cette dernière fonction du débit est fonction de la distance de sécurité, et de la vitesse.

Cependant les distances réelles de sécurité constatées sont bien inférieures à ces valeurs réglementaires. Par exemple pour les valeurs moyennes réelles du tableau (40 et 30m) le même raisonnement conduit à une consommation de 161 litres de carburant sur 10 km pour les voitures circulant à 90 km/h et seulement 150 litres pour celles circulant à 110 km/h.

Par contre le fait de diminuer le régime conduit le moteur à fonctionner avec une combustion en mélange plus pauvre (plus d'air et moins de carburant) ce qui favorise la production des particules fines et des NOx particulièrement pour les "diesel" et désormais pour les "essence" modernes à injection directe (200 bars)

Comme les moteurs Peugeot Pure tech 1,2 VTi, Renault Mégane 1,2 TCE Honda, Ford Focus ecoboost 1,0, Hyundai i40 1,6 GDI ...

Il est ainsi démontré que, au mieux cette limitation de vitesse n'a aucune influence sur la pollution instantanée et au pire elle est néfaste.

Néanmoins il faut rappeler que la limitation de vitesse comporte deux vertus :

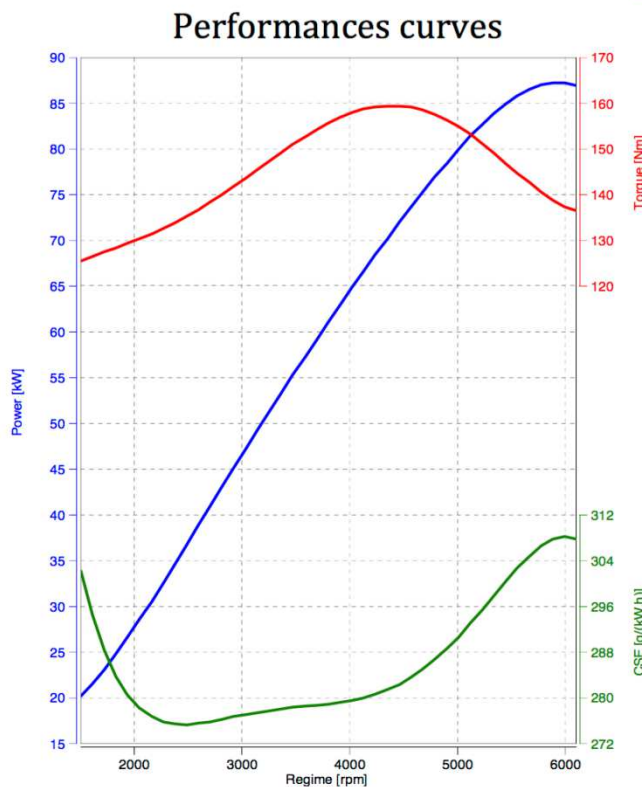
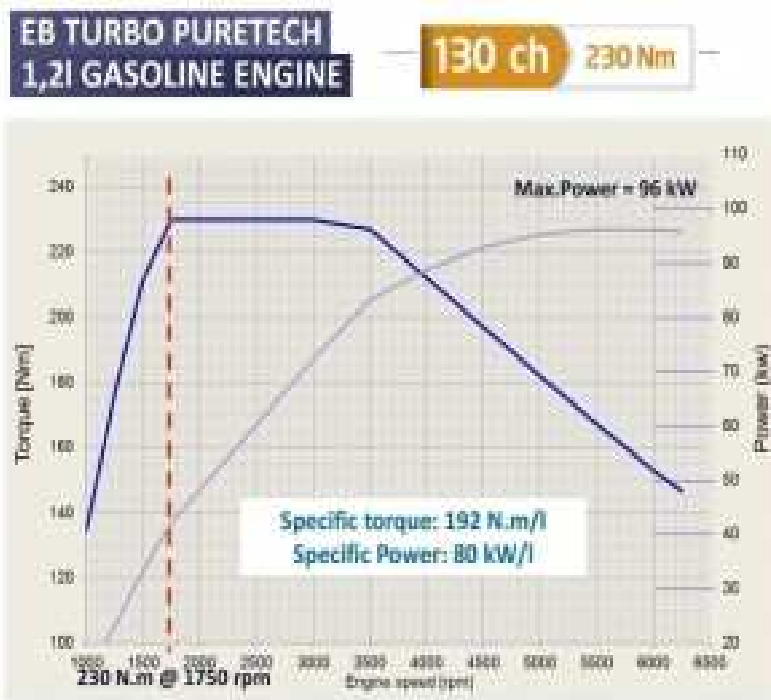
- Elle fluidifie la circulation

- Elle diminue les dommages en cas d'accident car l'énergie cinétique² des passagers qui est proportionnelle au carré de la vitesse, est ainsi diminuée de 33% en passant de 100 km/h à 90 km/h.

Dans tous les cas il est nécessaire pour consommer le moins possible de fonctionner au régime moteur le plus proche du couple maximum. Selon les moteurs ce couple peut être atteint pour des valeurs du régime de rotation très différentes.

Les figures ci dessous explicitent ce phénomène entre 2 moteurs PSA :

le premier a un couple de 230 N.m à 1750 t/mn



Dans le deuxième cas le couple maximum n'est obtenu qu'à un régime élevé de 4250 t/mn. Le premier moteur sera donc plus performant et plus économique.

Autre préjugé bon pour la pollution : *Mettre les centres villes à 30 km/h*

Le SETRA (Service d'Etudes sur le Transport, les Routes et leurs Aménagements) dans une récente étude sur cette mesure, établit clairement que c'est une hérésie sur le plan de la pollution :

- Les émissions moyennes du parc augmenteraient de 33% soit une surconsommation de 2 litres pour un véhicule consommant 6l/100
- C'est une catastrophe pour les diesels : doublement des PF et des NOx
- Encrassement de la vanne EGR et du FAP qui ne peut plus se régénérer du fait de la trop faible température des gaz d'échappement à 30 km/h = pannes

- d'où tentation (taxis) de faire "défaper" !!

Mais c'est une question épineuse car si passer de 50 à 30 km/h augmente notablement la pollution, cette mesure permet cependant, et de nombreuses études le montrent, **de préserver la vie des piétons, des cycliste et motocyclistes. C'est donc un choix de société.**

Mais ne vaut-il pas mieux sauver des vies et essayer d'améliorer par des techniques ou par l'usage de la voiture électrique la pollution des centres villes? C'est certainement là un usage pertinent de la voiture électrique correspondant à des trajets courts en mode doux.

Particules fines : *les fausses bonnes idées* :

- Le fait de freiner le débit des véhicules par les bus qui s'arrêtent en pleine voie entraîne sur 10 km une augmentation du temps de trajet de 40% et un surcroît de pollution de l'ordre de 20% (freinages, arrêts et redémarrages) idem pour la consommation donc augmentation du CO₂ et des NOX et des PF.

- Le chauffage domestique au bois, des cheminées, poêles et foyers ouverts et fermés, reste un grand producteur de particules fines :

- 33% dus au résidentiel en PM₁₀ et 48% pour PM_{2,5}
- 7,4 M de français se chauffent au bois (résidence principale)
- 50% l'utilisent comme chauffage principal.
- Rhône-Alpes est le 1^{er} consommateur avec 7,4 Mstères /an = 4 millions de tonnes de bois.

La voiture électrique

La voiture électrique n'émet pas de CO₂ au moment de l'utilisation ce qui lui donne une image amplement reprise dans les médias de véhicule écologique "zéro émission"

Le zéro émission est un mythe. C'est tout simplement impossible, même avec de l'éolien, de l'hydroélectrique ou du photovoltaïque.

Cependant il faut considérer son fonctionnement et sa fabrication (acier et plastique) et celle surtout de ses batteries (le lithium est toxique et dangereux).

Selon l'ADEME "du puits à la roue" au total, construction et recharges batteries, le bilan carbone serait de 126 g CO₂/km pour le véhicule électrique alors que les moteurs thermiques génèrent 130 g CO₂/km en 2010 et bientôt 95 g/km en 2020. Ce bilan est souvent contesté par les tenants de ce type de motorisation.

Son fonctionnement par contre ne produit pas ou peu de NOx et de particules fines, en particulier si la source du courant de recharge est décarbonée !

Mêmes conclusions pour l'étude britannique commandée par le LowCarbonVehiclePartnership et également publiée en juin 2011 qui conclut qu'une voiture électrique de taille moyenne produira sur sa durée de vie 23,1 tonnes de CO₂ contre 24 tonnes pour une voiture conventionnelle à moteur à explosion.

Simplement le problème aura été déplacé, le CO₂ ayant été émis ailleurs que sur le lieu de son utilisation.

Ces résultats dépendent de l'origine du courant de recharge, produit soit à partir d'une source carbonée comme le charbon ou le fioul soit par le nucléaire et les énergies renouvelables.

Bilan carbone de la voiture électrique

Grâce au nucléaire le mix moyen de la production électrique de la France équivaut à seulement 85g de CO₂/kW.h

Europe : 400 g/kW.h Chine : 850g/kW.h Inde : 875 g/kW.h

La consommation d'un V. élec = 0,1 à 0,25 kW.h par km. Sur 10.000 km par an : 1000 à 2500 kW.h correspondant à un équivalent CO₂ pour 10.000 km de :

- 85 kg à 213 kg équivalent CO₂ en France (2,55 t minimum pour 300.000 km)
- 400 à 1000 kg en Europe
- 850 à 2125 kg en Chine
- 875 à 2188 kg en Inde

Pour la France, si on remplaçait la moitié des véhicules à moteur thermique (soit ½ de 32 millions) par des véhicules électriques il faudrait, selon la puissance du véhicule, 16 à 40 millions de Mw.h correspondant à :

- 4.000 à 10.000 éoliennes de 2MW (4000 MW.h/an)
- 16.000 à 40.000 ha de cellules photovoltaïque à raison de 10 m² pour 1 kWc installé (qui produit 1000 kW.h par an)
- 2 à 5 tranches nucléaires de 1.100 MW (7,7. 10⁶MW.h/an)

Récapitulatif charge véhicule électrique : voir diapo 97

Conclusions

- La pollution atmosphérique, reconnue cancérigène par le CIRC est un enjeu de santé publique : cancers, déficience respiratoire, maladies cardiovasculaires
- La pollution chronique diminue l'espérance de vie de 6-8 mois
- L'industrie, le résidentiel, le tertiaire, le chauffage, l'incinération des déchets, l'agriculture, sont des contributeurs
- La pollution à l'intérieur des habitations semble méconnue de ceux qui la subissent, d'autant plus qu'elle est peu réglementée
- En hiver le chauffage au bois responsable majeur avec chauffage collectif et circulation, de la pollution aux PF mais pas ou peu de l'effet de serre
- En été c'est le transport routier avec les NOx, l'ozone et les PF
- Les pollens et les pesticides contribuent à accroître l'effet allergène
- Diminution des rendements agricoles, perturbation des écosystèmes, acidification et eutrophisation sont les conséquences essentielles de la pollution sur l'environnement
- Dommages économiques dus à la perte de productivité et aux coûts de santé
- Les gaz à effet de serre d'origine anthropique participent avec une presque certitude (90%) au réchauffement constaté.
- Ils sont émis par la combustion de l'énergie fossile (pétrole, charbon, uranium) et par l'industrie (transformation de matières premières) donc par notre mode de vie.
- La pollution automobile est un des facteurs importants mais pas le seul
- Les véhicules diesel récents sont plus limités en PF que les véhicules essence récents à injection directe
- Les diesels grâce aux systèmes de piégeage des NOx par SCR ont fortement diminué la production de ce polluant.
- Les limitations de vitesse n'ont pas toujours les effets simplistes escomptés sur la pollution et sur la production de CO2, mais un effet bénéfique sur la gravité des accidents.
- L'image donnée de la voiture électrique écologique ou "zéro émission" doit être examinée objectivement en fonction de l'origine carbonée ou pas du courant de recharge.
- Elle produit aussi une empreinte carbone identique aux moteurs thermiques si on prend en compte sa fabrication et celle de la batterie, de son remplacement et de sa recharge.
- Les conséquences sociales et économiques du réchauffement climatique peuvent être graves. A nous de les prévenir et de préparer des solutions !

Et les autres pollutions ?

- Les plastiques et les substances chimiques issus de notre mode de vie moderne, contaminent l'eau de nos rivières et fleuves.
- Les mers et océans sont les réceptacles finaux de ces déchets qui constituent des continents de débris (les Gyres du pacifique) provoquant la mort des espèces vivantes et l'appauvrissement de notre écosystème.

Jean-Pierre MANIN

- 1) *Le permafrost (ou pergélisol) est un terme géologique qui désigne un sol dont la température se maintient en dessous de 0°C pendant plus de deux ans consécutifs. Il représente 20% de la surface terrestre de la planète. Le permafrost est recouvert par une couche de terre, appelée "zone active" ou "mollisol" qui dégèle en été et permet ainsi le développement de la végétation.*
- 2) $E_c = 1/2 mV^2$ *m = masse en kg, V en mètres*

Références

- ADEME www.ademe.fr
- Air Rhône Alpes : www.air-rhônealpes.fr
- CITEPA Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. www.citepa.org
- SETRA Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements www.setra.fr
- WIKIPEDIA
- Site de Jean-Marc JANKOVICI www.manicore.com
- L'Usine Nouvelle, le Monde, le Figaro, Auto-Plus
- Moteurs PSA
- Directives européennes sur la qualité de l'air (2008, 2015) www.legifrance.gouv.fr