

## **Prospective et indicateurs des impacts des transports sur l'environnement.**

### **Outil d'évaluation et d'aide à la décision**

#### **Plan :**

2. Système de transport français

21. Eléments de contexte

#### **215. Perspectives et prospective des sources d'énergie et des technologies "classiques" des véhicules**

---

*Les technologies "classiques", essence et diesel, vont connaître des développements importants dans les années à venir. Dans un futur plus lointain, les sources d'énergie des véhicules et les technologies associées seront totalement indépendantes des questions de ressources fossiles (pétrole notamment); quelle que soit la durée des approvisionnements en de telles ressources, il sera nécessaire de trouver d'autres sources d'énergie pour préserver notre planète de l'effet de serre ...*

---

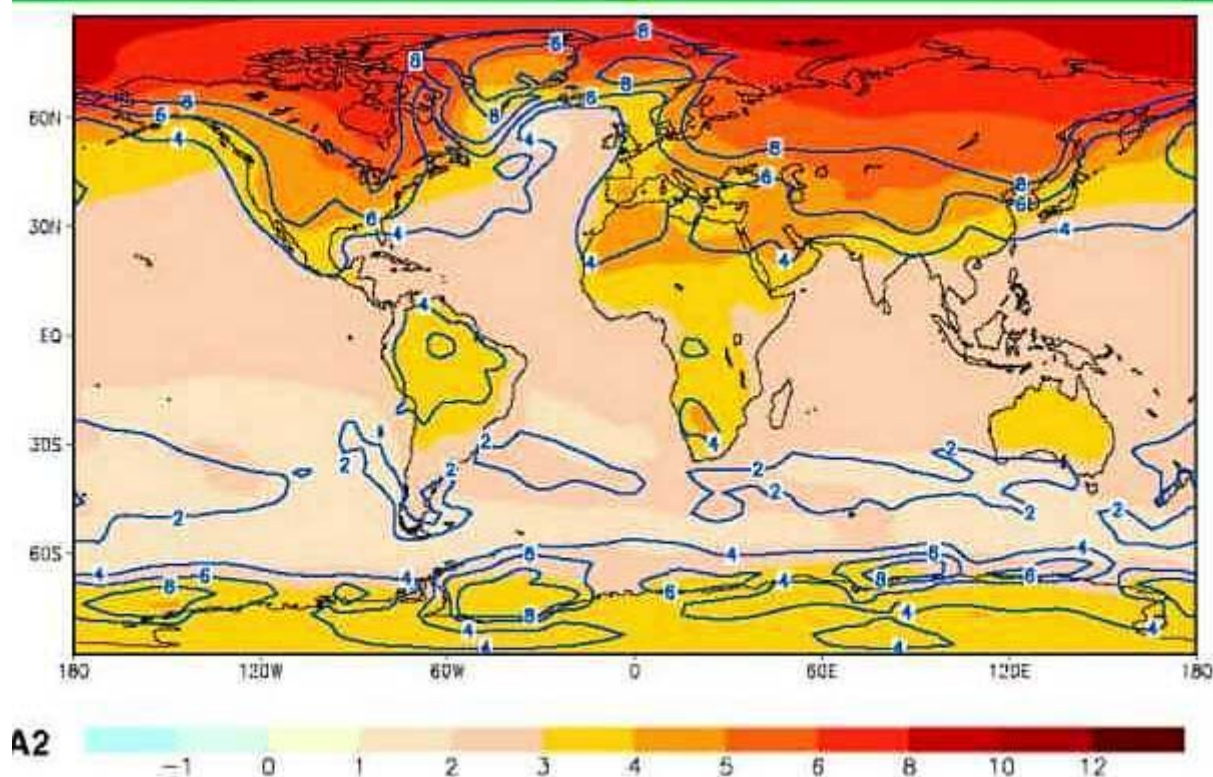
En France comme dans tous les pays du monde, tous les secteurs d'activité sont aujourd'hui concernés par des contraintes liées au Développement durable. Le secteur des transports est, en liaison avec l'énergie qu'il consomme, tout particulièrement concerné par la question du Changement climatique, au travers de ses émissions de gaz à effet de serre, principalement de CO<sub>2</sub>. Quelles sont les mesures envisagées pour limiter ces émissions, quelles seront les évolutions technologiques des véhicules et que pourrait être le futur ?

#### **1) CO<sub>2</sub> et Changement climatique**

Nous assistons depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à un réchauffement de la basse atmosphère terrestre, dont la température moyenne est parfaitement corrélée à la concentration en CO<sub>2</sub>. L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> apparaît directement liée à celle de l'activité industrielle. Les modèles développés par les climatologues permettent d'expliquer la relation entre [CO<sub>2</sub>] et température, et d'étudier différents scénarii à l'horizon 2100.

La concentration en CO<sub>2</sub> résultant de la différence entre l'émission et l'absorption (par les océans et la végétation), elle doublera d'ici 2100 dans l'hypothèse d'une émission constante de 17 Gt/an (base 1990); les changements climatiques et les impacts sur l'homme attendus sont alors déjà catastrophiques. Or cette hypothèse d'émission constante est aujourd'hui remise en cause compte-tenu des développements économiques prévus d'ici là dans le monde; ainsi les scientifiques travaillent désormais à l'évaluation des impacts d'un quadruplement de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère dont les conséquences ne seront pas supportables.

Une des conséquences de l'effet de serre (hypothèse  $2x[CO_2]$ ):  
Augmentations de la température moyenne selon les régions du globe terrestre.  
(IPCC : WGI "Climate Change 2001: The Scientific Basis" - Technical Summary)



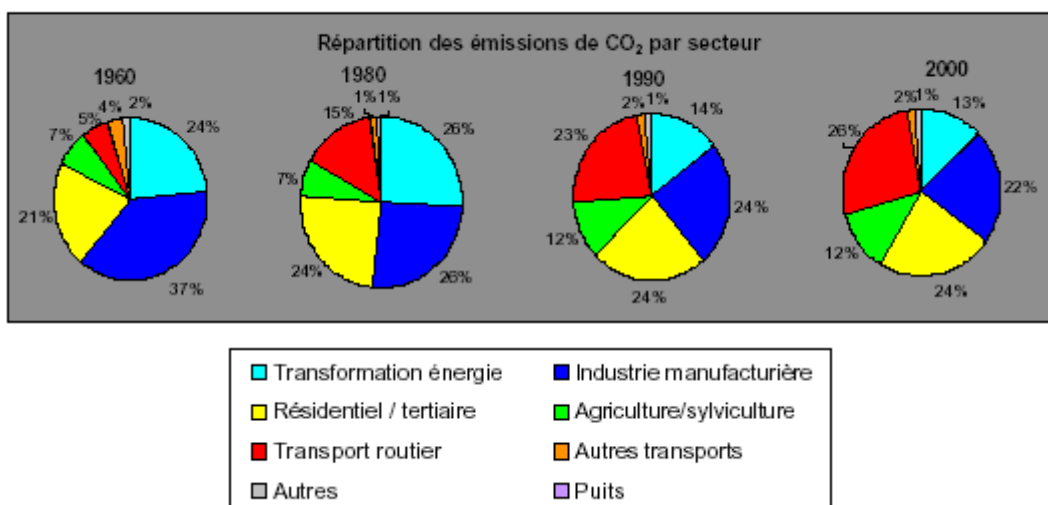
Notre climat actuel connaît déjà certains désagréments provoqués par l'effet de serre; il apparaît souhaitable de ne pas aller au-delà et pour cela il faudrait dès à présent et instantanément réduire très fortement, de 60 % environ, les émissions mondiales de  $CO_2$ . C'est totalement utopique et il nous faudra donc, à mesure, soigner les blessures : créer des "puits artificiels" pour absorber ce  $CO_2$ , mais surtout tout faire pour en limiter les émissions.

## 2) Les émissions de $CO_2$ des transports en France

Le  $CO_2$  étant un produit fatal de la combustion et en l'absence jusqu'à maintenant de dispositifs de récupération de ce gaz sur les installations de combustion, les émissions suivent l'évolution de la consommation d'énergie fossile. La baisse continue enregistrée en France de 1979 à 1988 provient essentiellement de la mise en œuvre du programme électronucléaire et secondairement d'autres actions comme les économies d'énergie.

En France métropolitaine, le  $CO_2$  contribue pour 70 % à l'effet de serre (parmi les six gaz pris en compte dans le protocole de Kyoto). La part du transport routier ne cesse d'augmenter : de 5 % en 1960, elle est passée à 26 % en 2000 et devrait atteindre 35 % en 2010, principalement du fait des augmentations de la mobilité individuelle (voitures) et du trafic de marchandises (poids lourds). Aussi la suite de ce texte concernera-t-elle uniquement ce mode de transport; on n'attend que peu d'évolutions technologiques significatives en terme de réduction unitaire de l'émission de  $CO_2$  du côté des autres modes : transports aériens (réduction des  $NO_x$  surtout), maritimes ou ferroviaires (électricité d'origine nucléaire ou hydraulique).

## Emissions de CO<sub>2</sub> dans l'air en France métropolitaine



(CITEPA : Emissions dans l'air en France - Substances impliquées dans le phénomène d'accroissement de l'effet de serre.)

### 3) Les mesures envisagées pour réduire l'émission unitaire de CO<sub>2</sub> des véhicules

La quantité de CO<sub>2</sub> émise par un véhicule propulsé par un moteur à combustion interne (essence, diesel, GPL, gaz naturel ...) est directement proportionnelle à sa consommation de carburant. Les solutions pour réduire la consommation sont aussi bien d'ordre technique que réglementaire, fiscal ou organisationnel.

Les évolutions technologiques attendues pour les véhicules routiers, mises en œuvre pour répondre aux différents impératifs, sont présentées plus loin.

Les évolutions réglementaires, au niveau européen, ne concernent aujourd'hui que les voitures particulières; elles portent sur les valeurs limites d'émission de CO<sub>2</sub>, exprimées en g/km, en moyenne pondérée par les ventes (1) sur la gamme de chaque constructeur, et mesurées sur le cycle européen mixte ECE15-0A :

Date	g de CO <sub>2</sub> par km (1)	Essence (2) l/100km	Diesel (2) l/100km
Actuel	170 g	7,2	6,5
2008	140 g	5,9	5,3
2012	120 g	5,1	4,6
2015 ?	90 g	3,8	3,4

(2) Consommations équivalentes selon carburant

L'objectif 2015-2020 correspond pratiquement à une division par 2 de la consommation moyenne de carburant des voitures européennes. Comment peut-on atteindre un objectif aussi ambitieux ? Nous aborderons cette question au titre des évolutions technologiques.

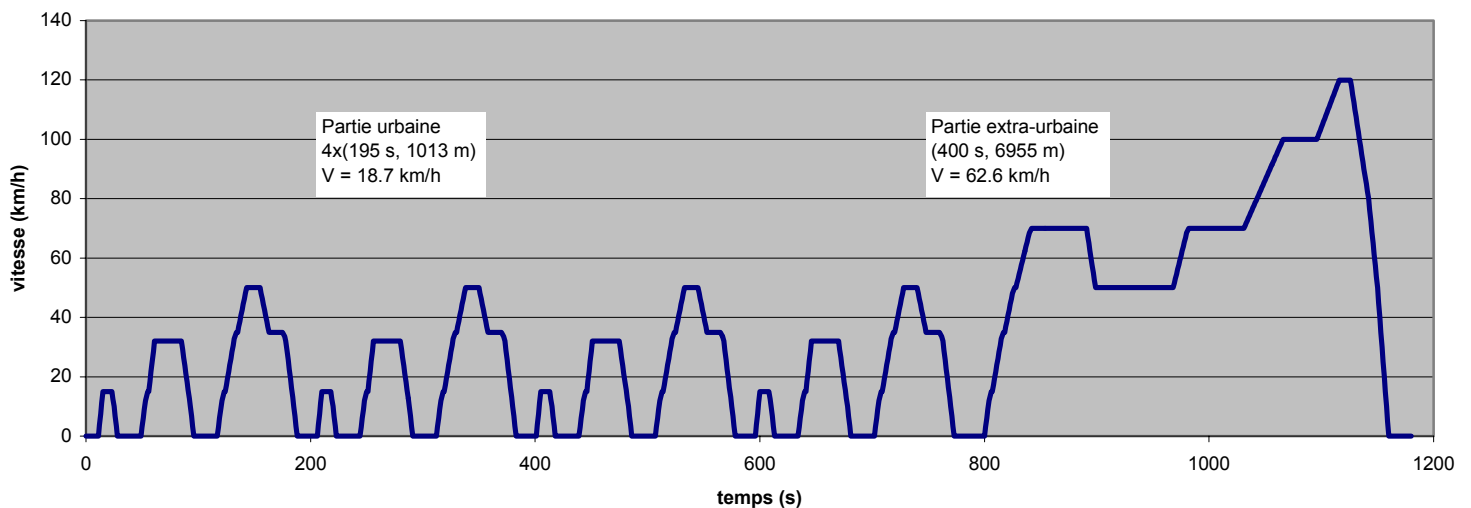
Sur un plan fiscal, l'Europe envisage d'instaurer prochainement une taxe sur la consommation de carburant : "écotaxe carbone/énergie" qui serait de l'ordre de 150 € (1000 FF) par tonne de carbone. Ce qui correspond à une augmentation d'environ 0,15 € (1 FF) par litre de carburant à la pompe; cela ne suffira pas pour produire un effet réellement dissuasif du point de vue de la maîtrise de la mobilité.

Du point de vue de l'organisation des déplacements, il y a bien sûr comme toujours la promotion des transports collectifs qui connaît déjà ses limites; il y a la limitation des vitesses sur la route, le transfert des marchandises route/rail ... Toutes ces mesures auront selon nous, malgré la bonne volonté, un impact marginal tant que la question de l'Aménagement du territoire (un grand A) ne sera pas traitée ...

En résumé il est clair que la voie principale de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules routiers passe encore aujourd'hui par des améliorations technologiques.

#### 4) Evaluer les réductions de consommation et d'émission unitaire de CO<sub>2</sub>

**Cycle européen ECE15-0A**



Les "caractéristiques" de ce cycle réglementaire pour les voitures particulières, vis à vis de l'émission de CO<sub>2</sub>, sont :

- Essai au banc à rouleau, avec une inertie équivalente # Pvide + 25 kg (= conducteur maigre !!!)
- Aucun auxiliaire (éclairage, climatisation ...)
- Vitesse et accélération identiques pour toutes les gammes (toutes puissances du moteur ...)
- Fonctionnement à des régimes et puissances du moteur d'autant plus faibles que le moteur est puissant
- Ce cycle ne permet pas d'évaluer les progrès technologiques :
  - sur les auxiliaires,
  - sur les motorisations, en dehors des zones de fonctionnement du cycle;
  - dans le cas de motorisations nouvelles (découplage moteur-roues) ?

Même si les améliorations technologiques des groupes motopropulseurs auront fait leurs preuves sur ce cycle, il demeurera nécessaire de se poser la question des variations relatives entre le cycle et la réalité : il ne faudrait pas que la pratique aille en sens inverse de la théorie !

## 5) Evolutions technologiques des véhicules

Les solutions envisagées pour respecter les valeurs limites d'émissions de CO<sub>2</sub> sont :

- diesélisation de la gamme – moteurs à injection directe haute pression
- augmentation de l'offre en bas de gamme, véhicules à faible consommation
- allègement des véhicules
- augmentation du rendement des moteurs
- réduction de la puissance absorbée par les auxiliaires et électrification
- développement de nouvelles motorisations

La comparaison ci-dessous des couples (énergie-motorisation) permet une première analyse.

<i>Energie et motorisation</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>Observations</i>
AC Essence actuel	100	Base
Essence injection directe	90-85	Développements en cours
AC GPL	90-85	Surcoût - Fiscalité
Diesel (nréchambre)	90	
Electrique batteries Charbon / nucléaire)	85/ 0	Performances très inférieures (autonomie vitesse) -Surcoût
Diesel iniection directe	80	
Hvbride parallèle	80	Coût élevé - Performances inf.
AC Gaz naturel	75	Surcoût -Fiscalité
Diesel + Diester 30 %	75	Surcoût -Fiscalité
Electrique Pile à combustible + reformeur	50	A l'horizon 2020 ? Coût actuel prohibitif

(Estimations INRETS-LTE)

### Diesélisation de la gamme :

Elle permet, par rapport au moteur à essence, 10 à 20 % de réduction d'émission de CO<sub>2</sub>, selon le mode d'injection.

### Structure de la gamme :

Les voitures actuelles de bas de gamme, équipées de moteurs diesel à injection directe haute pression (Peugeot 206 Hdi, Renault Clio 1.5dCi, Toyota Yaris ...), présentent des émissions inférieures à 120 g CO<sub>2</sub> /km sur le cycle mixte européen, contre plus de 200 g CO<sub>2</sub> /km pour les voitures haut de gamme équipées du même type de motorisation.

### Allègement des véhicules :

Une variation de masse de 100 kg entraîne, selon les conditions de circulation (ville, route), une variation d'émission de 5 à 10 g CO<sub>2</sub> /km.

La tendance régulière à l'augmentation de la masse, observée depuis plusieurs dizaines d'années, doit être inversée; la masse moyenne devrait ainsi être réduite de 100 kg d'ici 2005, puis 100 kg encore d'ici 2010 pour atteindre alors environ 800 kg.

### **Augmentation du rendement des moteurs thermiques :**

• Les pertes thermiques à l'échappement représentent environ 40 % de l'énergie du carburant. La modification du cycle thermodynamique (détente prolongée) permet de réduire ces pertes. Le turbocompresseur à géométrie variable permet de récupérer une partie de la chaleur des gaz d'échappement, sans affecter le rendement à faibles régimes et charges du moteur.

• Les pertes mécaniques peuvent représenter jusqu'à 15 % de l'énergie introduite. Les pertes par frottement sont réduites grâce à l'amélioration des états de surface (piston-cylindre) et de la lubrification.

Les pertes de transvasement (dépression à l'admission et contrepression à l'échappement) seront réduites grâce au système de distribution variable (soupapes).

• Le rendement des cycles thermodynamiques sera amélioré par le contrôle du rapport volumétrique avec les systèmes de compression variable (moteur à essence, faible charge) et de distribution variable (admission, échappement), associés à de nouveaux procédés de combustion :

- essence à auto-inflammation CAI (rendement à faible charge)
- diesel à combustion homogène HCCI (réduction des NOx et particules)

L'ensemble de ces améliorations technologiques permet de viser une réduction d'environ 20 % de l'émission de CO<sub>2</sub>; cependant elles ne peuvent être mises en œuvre que moyennant un contrôle en instantané de chacun des organes, à l'aide de calculateurs.

### **Réduction des puissances absorbées par les auxiliaires - électrification :**

Les auxiliaires consomment des puissances mécaniques (pompes, compresseurs ...) ou électriques (ventilateurs, éclairage ...). La consommation de 100 W mécaniques sur l'arbre moteur produit 1 à 3 g CO<sub>2</sub>/km; celle de 100 W électriques produit 2 à 7 g CO<sub>2</sub>/km. Il faut noter que l'énergie électrique est fournie par un alternateur - de rendement inférieur à 50 % - entraîné mécaniquement par le moteur thermique.

Deux raisons essentielles conduisent à l'électrification des auxiliaires :

- les progrès significatifs attendus sur le rendement des moteurs exigent un contrôle logiciel, donc des commandes électriques;
- toutes les pertes mécaniques augmentant avec la vitesse de rotation, il est nécessaire de découpler la vitesse des auxiliaires de celle du moteur.

Les fonctions concernées sont :

- contrôle moteur : injection (cycle thermo, pollution), distribution (et compression) variable
- thermique moteur et lubrification : pompes et actionneurs électriques
- compresseur de climatisation
- direction assistée, freins, suspension ?

Tout cela va conduire à une forte augmentation de la puissance électrique (x 4 ou 5 ?); il est alors impératif d'augmenter le rendement de la chaîne production-fourniture-consommation d'énergie électrique :

- alternateur à haut rendement (électrotechnique, refroidissement par eau) qui demeure entraîné par le moteur thermique;
- augmentation de la tension à 36/42 V, ce qui permet, à puissance égale, de diviser par 3 l'intensité et par 9 les pertes par effet Joule;
- augmentation du rendement et optimisation du fonctionnement de tous les consommateurs d'électricité.

Un réseau 12 V (convertisseur 36/12) devrait temporairement (?) coexister pour l'éclairage ...

## 6) Prospective énergies/motorisations

Rappelons tout d'abord le contexte : c'est celui de la lutte contre l'effet de serre, c'est-à-dire celui de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules équipés de moteurs thermiques.

Dans ce contexte l'Europe, en accord avec les constructeurs de véhicules, a élaboré des projets de réglementation correspondant à une réduction très importante de la consommation moyenne de carburant des automobiles, soit pratiquement une division par 2 à l'horizon 2015. Ces projets datent de la fin du siècle dernier où le scénario du Changement climatique reposait sur l'hypothèse d'un doublement de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère d'ici 2100; cette hypothèse apparaît aujourd'hui beaucoup trop optimiste et il s'ensuit que l'objectif très ambitieux portant sur la consommation des voitures n'est pas suffisant.

Ainsi proposons-nous le scénario suivant :

- 2000 à 2020 : perfectionnement des motorisations thermiques E/D;  
alimentation essence/gazole
- 2005- ... : moteurs à allumage commandé; alimentation mixte essence + hydrogène;  
génération d'hydrogène à bord par des unités d'électrolyse  
(déjà commercialisé aux USA)
- 2005- ... : développements de procédés de fabrication "propre" de l'hydrogène
- 2010- ... : moteurs à allumage commandé; alimentation hydrogène;  
stockage d'hydrogène à bord (développements en cours chez BMW)
- 2020- ... : abandon progressif de la combustion d'hydrocarbures (raison : CO<sub>2</sub>)
- 2050 : arrêt total des combustions de ressources fossiles (raison : CO<sub>2</sub>)

