



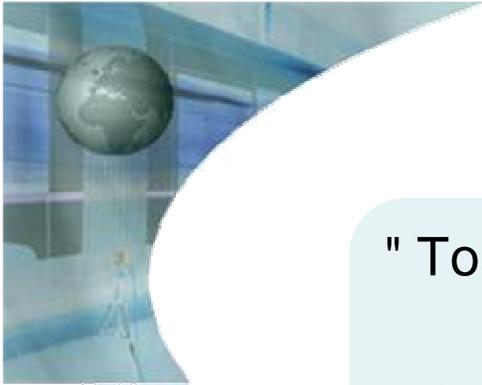
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

**Laboratoire
Transport et
Environnement**

Carburants alternatifs: situation et perspectives

Didier Pillot

INRETS, 7 janvier 2010



Éléments introductifs

" Toujours plus de CO₂ dans l'atmosphère en 2008 "

⇒ 385 ppm (revue Nature Geoscience, 17 nov. 2009)

Émissions liées à la combustion des énergies fossiles en croissance de 40% depuis 1990.

" Les combustibles à faible teneur en carbone pourraient transformer le marché du pétrole d'ici cinq ans "

(bureau d'étude Accenture, nov. 2009)

Incapacité des pays développés et en développement (130 chefs d'Etat) de s'entendre sur les moyens de réduction des émissions de gaz à effet de serre

(Conférence de Copenhague, déc. 2009)



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)



Enjeux pour l'énergie

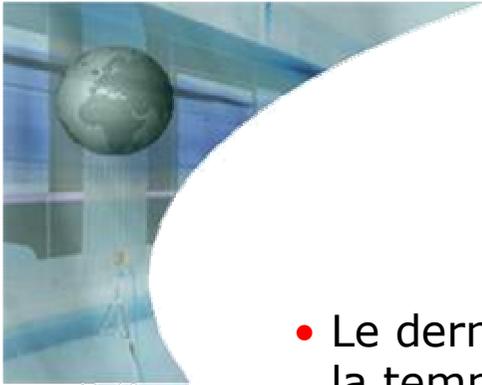
Fin de l'énergie abondante et bon marché

- Fin 2008, l'AIE reconnaît officiellement que le pic pétrolier sera atteint en 2020, (la production de pétrole conventionnel atteindra son pic bien avant)
- D'autres instances, dont l'ASPO, estiment que le pic sera atteint (déjà atteint ?) bien avant
- 85 % de l'énergie consommée dans le monde est d'origine fossile et les transports dépendent à plus de 95% du pétrole
- Les énergies renouvelables ne pourront se substituer que très partiellement aux énergies fossiles
- Le temps d'adaptation de l'économie face à une contrainte énergétique forte est estimé à deux décennies



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)



Enjeux climatiques

- Le dernier rapport du GIEC table sur une augmentation moyenne de la température de 2 à 6° C pour la fin du siècle
 - Les prévisions les plus pessimistes sont largement dépassées (augmentation de 7,6 % entre 2000 et 2006)
 - Objectif à 450 ppm (pour limiter le réchauffement global à 2°) déjà hors d'atteinte ?
 - Capacités d'absorption de CO₂ des écosystèmes en limite ?
 - Les conséquences déjà observables semblent également plus importantes (fréquence, intensité) que celles prévues
- ⇒ On entre en « zone inconnue »
- ⇒ les objectifs de réduction doivent être mis en oeuvre dès à présent, à minima de 3% par an et certainement beaucoup plus



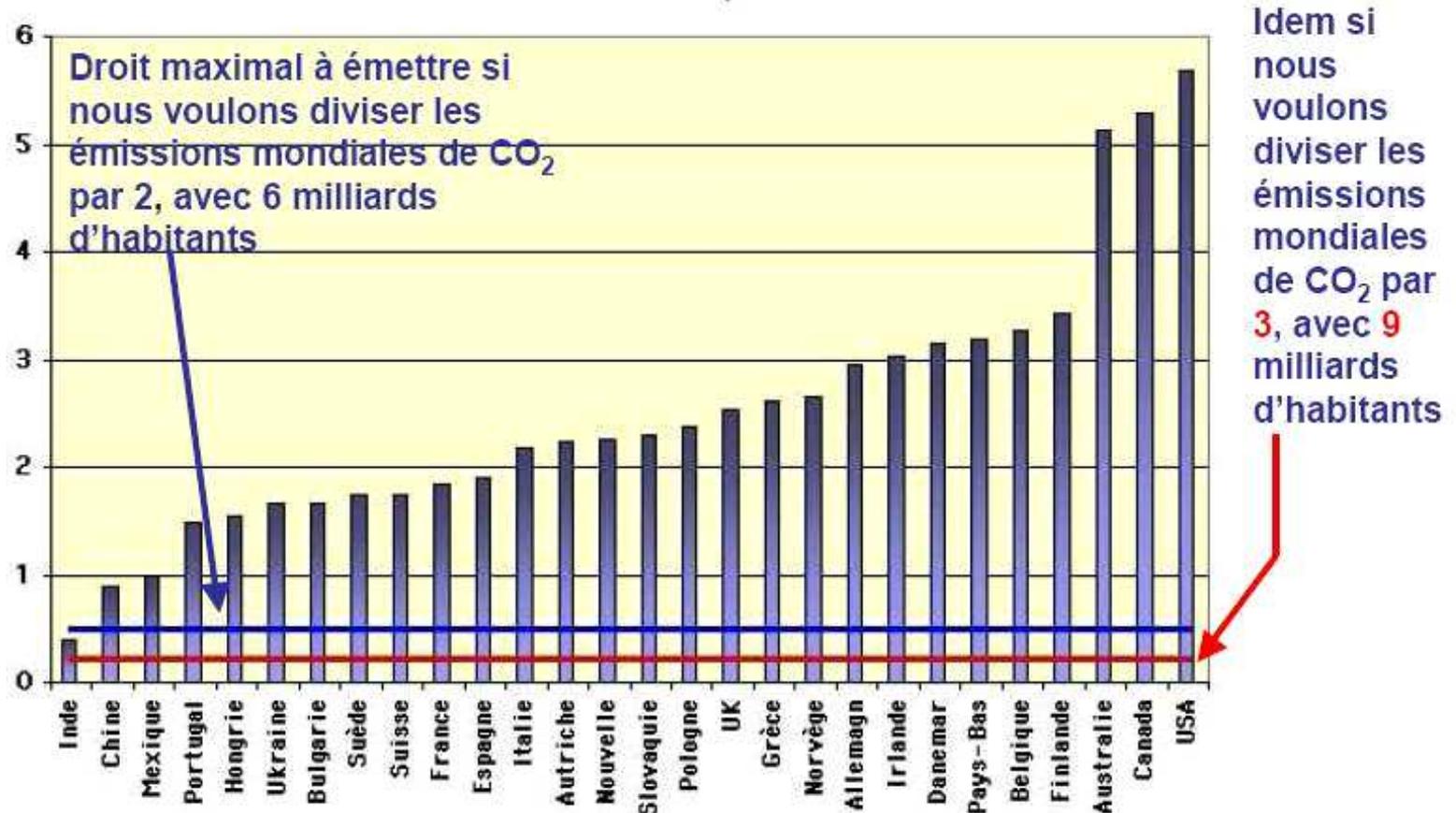
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)

Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010



Émissions de CO₂ par habitant



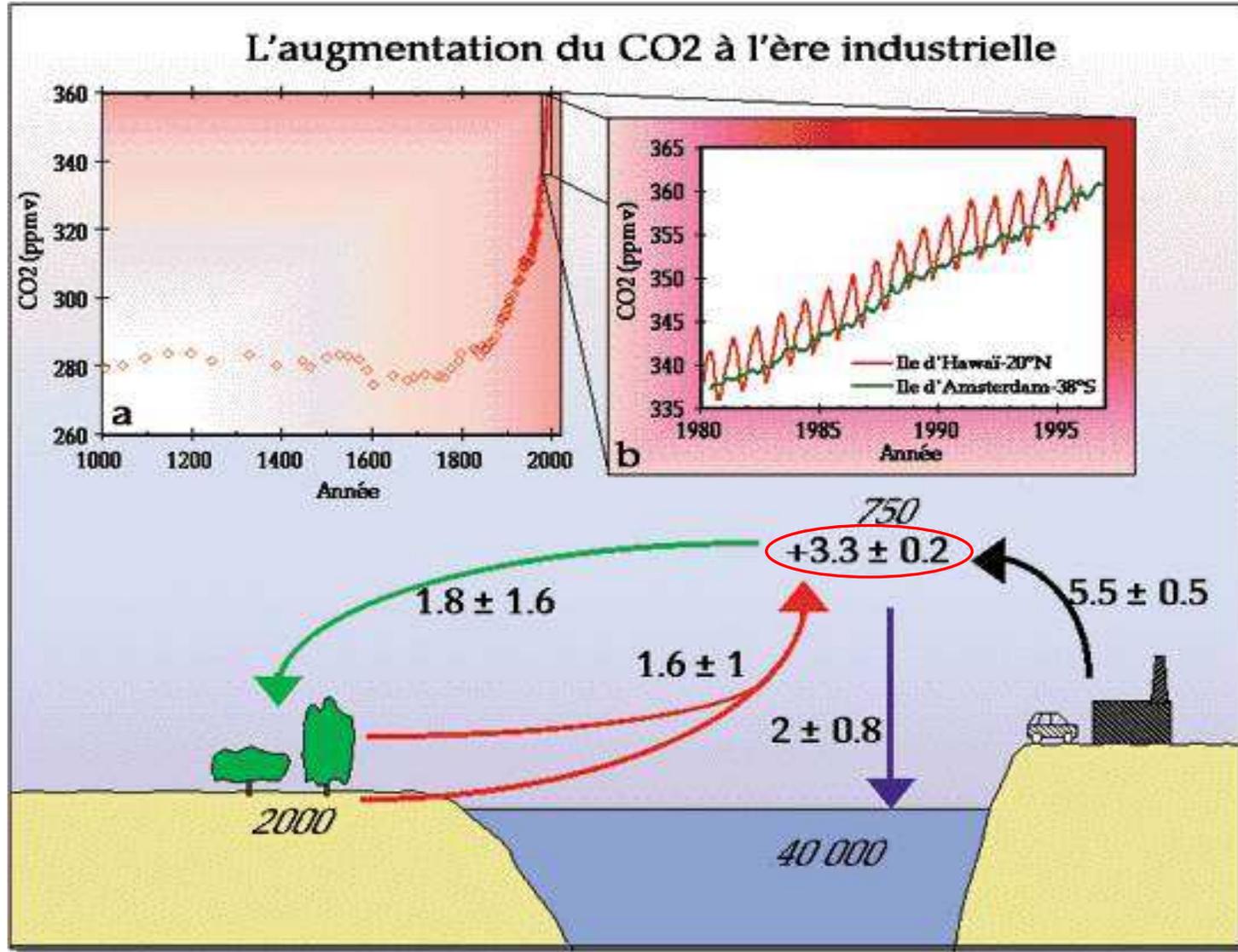
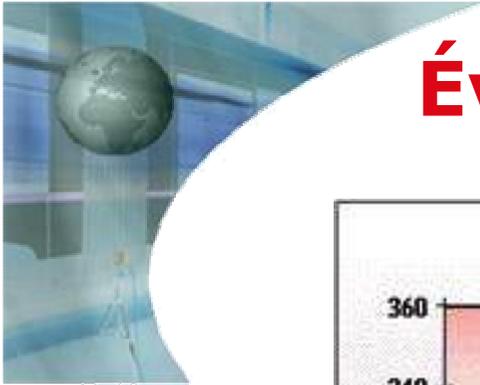
**Émissions de CO₂ par habitant en 1998
et « droits maximaux à émettre sans perturber le climat »**
(Source UNFCCC pour les émissions par habitant)



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)

Évolution du CO₂ atmosphérique

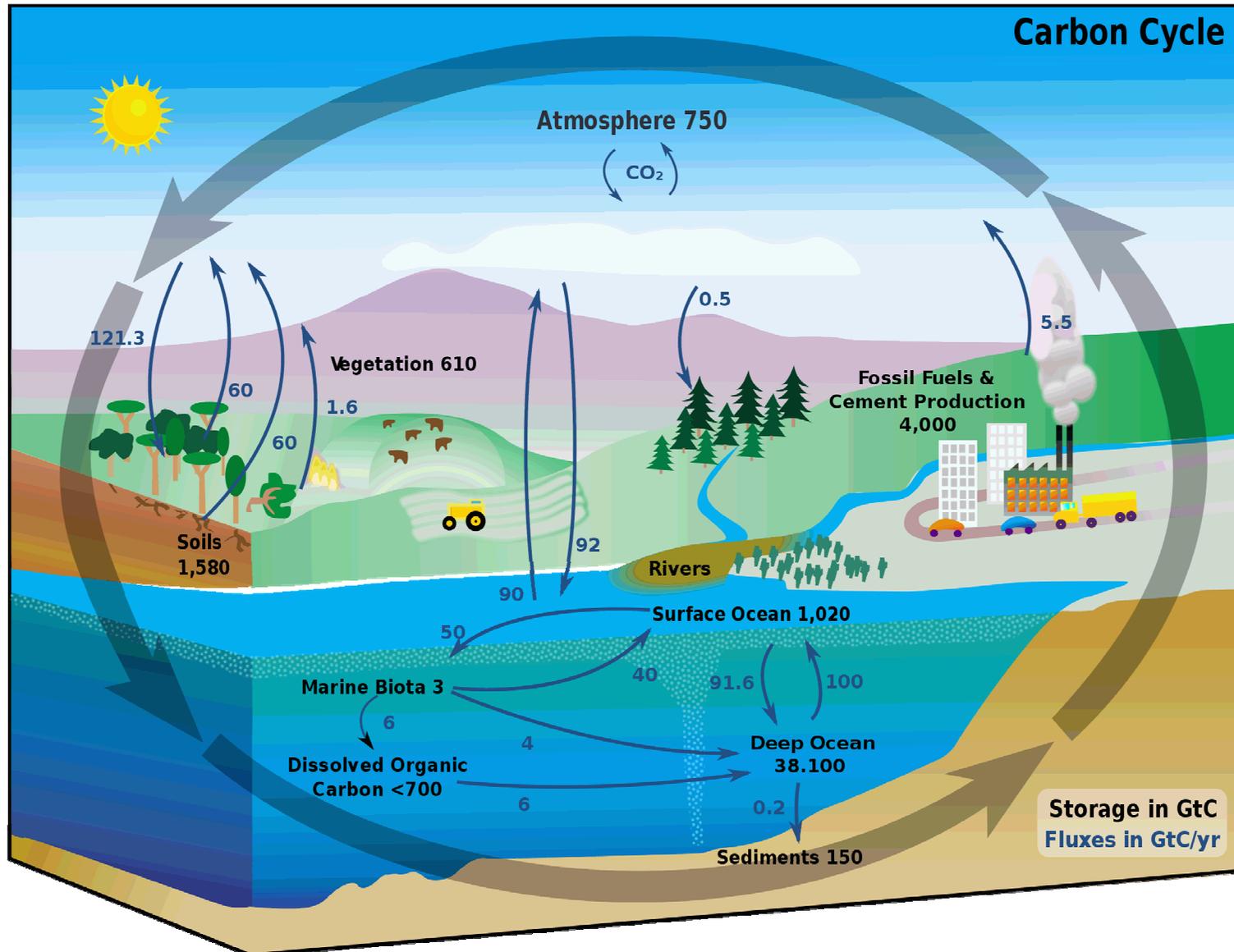
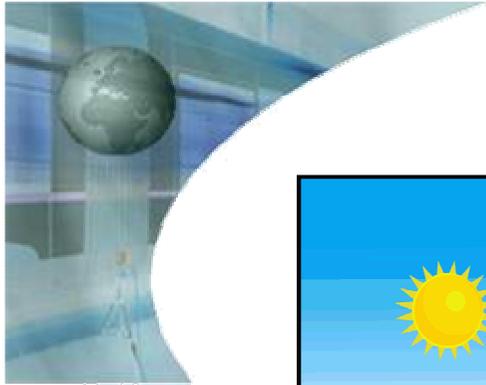


Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)

Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010

Cycle du carbone



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

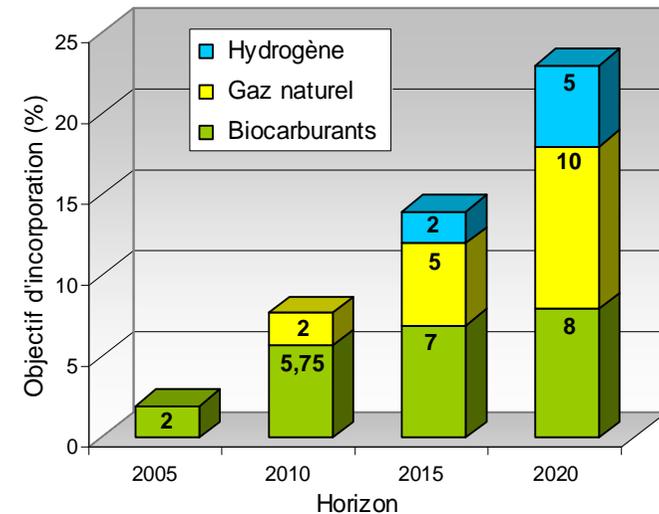
Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Contexte réglementaire (UE)

Directives européennes :

- Pour 2010 \Rightarrow 5,75% de biocarburants pour les transports (Directive 2003/30/CE)
- Pour 2020 \Rightarrow 10% de carburants d'origine renouvelable : biocarburants ou électricité et H₂ "verts" (Directive Énergies Renouvelables 2009/28/CE) avec des critères de durabilité des biocarburants : réduction des émissions de GES d'au moins 35% *, protection des terres à grande diversité biologique, forêts, zones humides, tourbières,...
- Émissions de CO₂ limitées pour les voitures neuves : 120 g/km pour 65% des nouvelles voitures en 2012, 75% en 2013, 80% en 2014 et 100% en 2015



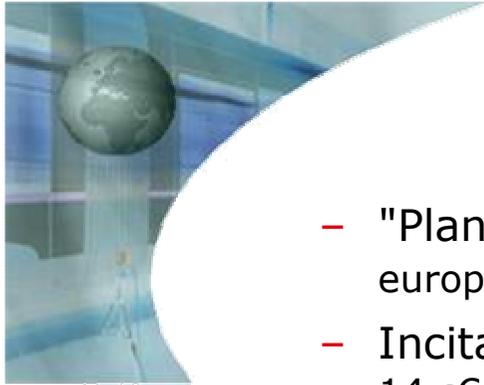
Part des carburants alternatifs (contenu énergétique) envisagée par la CE en 2001



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)

* Taux porté à 50 % à partir de janvier 2017, puis à 60 % à partir de janvier 2018 pour les biocarburants produits après le 1er janvier 2017



Plans français

- "Plan biocarburants" en 2004 ⇒ plus ambitieux que les objectifs européens (agrément pour 6 usines de production)
- Incitations fiscales : 25 c€/l puis 21 c€/l en 2009, 18 c€/l en 2010 et 14 c€/l en 2011 pour l'éthanol et 33 c€/l puis 15 c€/l en 2009, 11 c€/l en 2010 et 8 c€/l en 2011 pour le biodiesel

Objectifs d'incorporation	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
Part de biocarburant (contenu énergétique)	1,20 %	1,75 %	3,50 %	5,75 %	6,25 %	7 %	10 %
équivalence en volume							
Biodiesel	1,3 %	1,9 %	3,8 %	6,3 %	6,8 %	7,6 %	10,8 %
Bioéthanol	1,9 %	2,7 %	5,3 %	8,8 %	9,5 %	10,7 %	15,3 %

- 1er janvier 2007 : filière E85 (ou Superéthanol). Réservée aux véhicules Flex-fuel ; Incitation à l'achat par récupération de 80 % de la TVA sur l'E85 et exonération totale de la taxe sur les véhicules de société pendant deux ans
- 1er avril 2009 : lancement de l'E10
- 2010 : exonération de la taxe carbone...



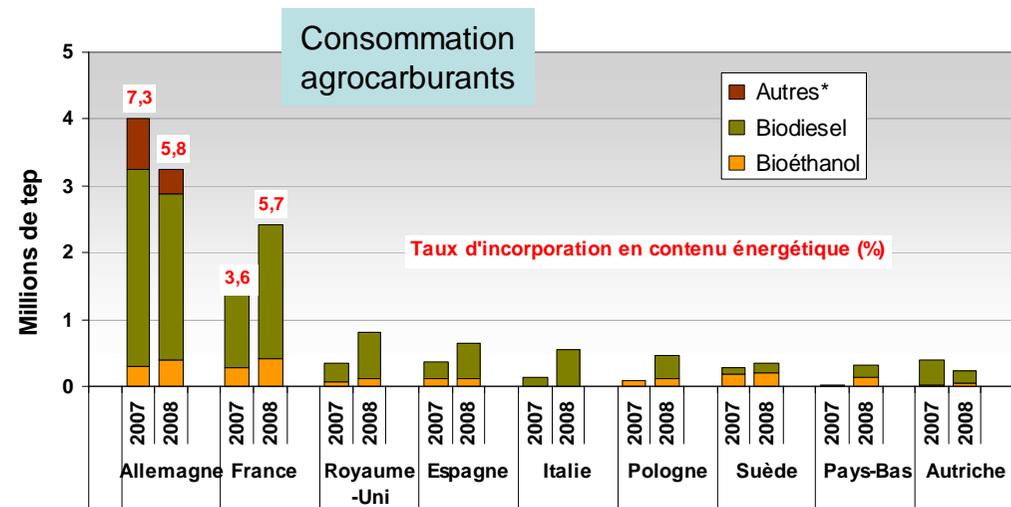
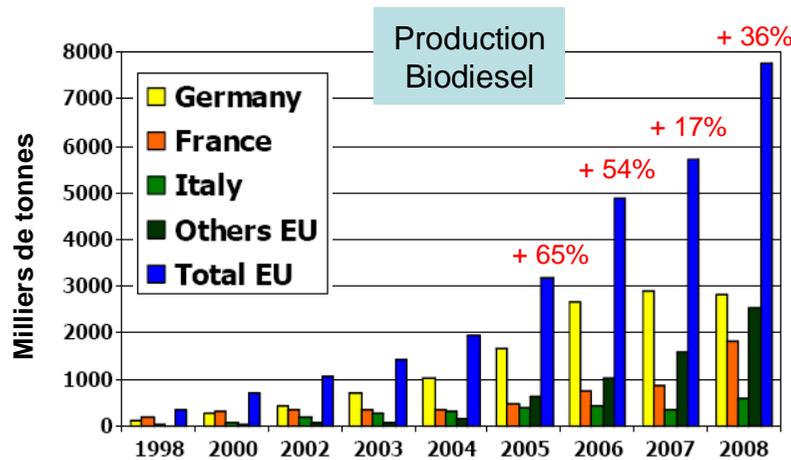
Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Productions et consommations

- Production européenne en croissance forte...
- mais importations à bas coût et capacités de production largement sous-utilisées dans plusieurs pays (Allemagne, Autriche, Italie,...)



* Huile végétale consommée pure pour l'Allemagne, l'Irlande et les Pays-Bas et biogaz pour la Suède

- Consommation d'agrocarburants en hausse de 28% en 2008
- 3,3 % en contenu énergétique de la consommation européenne de carburant routier



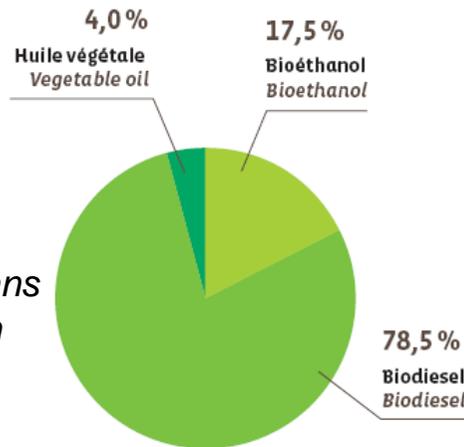
Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)

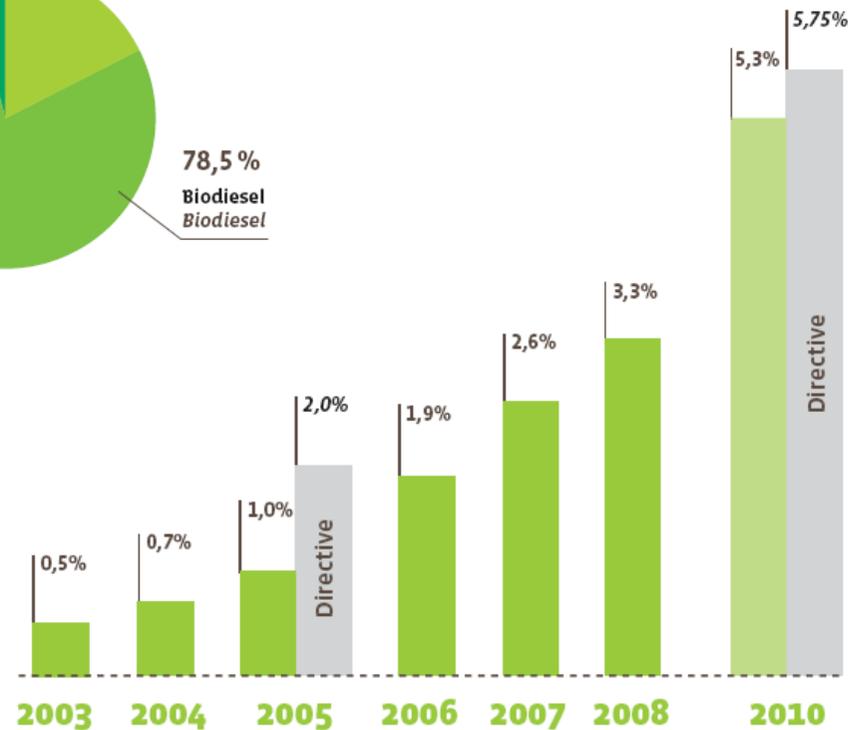
Productions et consommations (2)



Part des types de biocarburants dans la consommation européenne en contenu énergétique en 2008



La France est le premier producteur européen d'alcool agricole, avec 37% de la production totale en 2008. L'alcool agricole y est fabriqué pour 75% à partir de betteraves sucrières et 25% à partir de céréales.



Comparaison de la tendance actuelle avec les objectifs de la directive (2003/30/EC)



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Potentiels de production européens

Un scénario sans import : l'éthanol en position de force

M TEP	2005	2010	2010	
			En Mt./an	Mha
Essence	108	101		
Ethanol	2,2	10,1	15	6*
%	2,00%	10,00%		
Diesel	167	188		
Biodiesel	3,3	6,6	7	6
%	2,00%	3,50%		
Total	275	289		
Total Bio	5,5	16,7	22	12
%	2,00%	5,77%		

*éthanol ex-blé

Jachère en Europe de l'ordre de 5 à 6 Mha

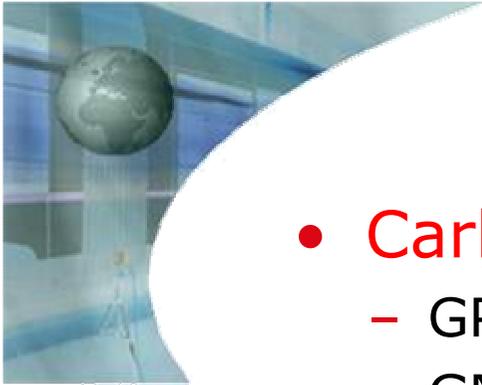
Source : IFP

- Importations d'au moins 30% pour atteindre l'objectif 2010...
- ...en attendant les biocarburants de 2ème génération



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



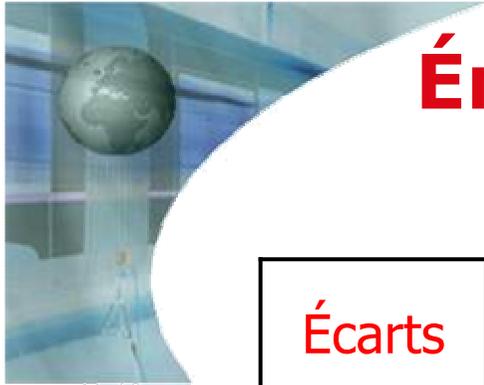
Définitions

- **Carburants alternatifs...**
 - GPL (gaz de pétrole liquéfié = butane + propane)
 - GNV ou GNC (gaz naturel véhicule ou comprimé)
prime de 2000 € pour l'achat d'une voiture fonctionnant au GPL ou au GNV, si elles rejettent moins de 135 g/km de CO₂
- **...et renouvelables (en tout ou partie)**
 - B5 à B7 (5 à 7% d'EMHV en volume, banalisé aux pompes gazole)
 - B30 (flottes captives diesel)
 - E10 (10% en volume, remplace lentement le SP95)
 - E85 (véhicules dédiés "Flex-fuel" ; 5800 véhicules de ce type en juillet 2008 et 320 pompes actuellement)
 - HVP (flottes captives)
 - Biogaz (ou biométhane)



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)



Émissions relatives de polluants (à l'échappement)

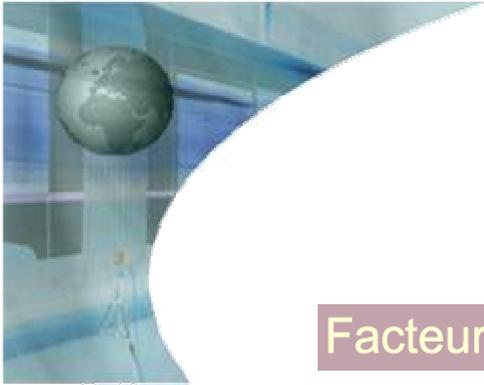
Écart	CO2		NOx		HC		Particules /gazole ss FAP
	/ess	/gazole	/ess	/gazole	/ess	/gazole	
GPL	-10%	+10%	x6 ?	-60%	-25%	≈	
GNV	-23%	+10%	x4	-75%	-30%	x4	
E10	-2%		+30%		-25%		
E85	-5%		≈		≈		
B5		-1%		≈		-5%	-10%
B30		-1%		≈		-10%	-20 à -40%
HVP 30%		+2%		+4%		+20 et -10%	+30% froid -10% chaud



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

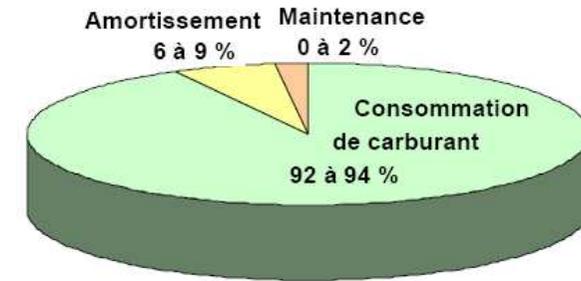
Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)

Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010

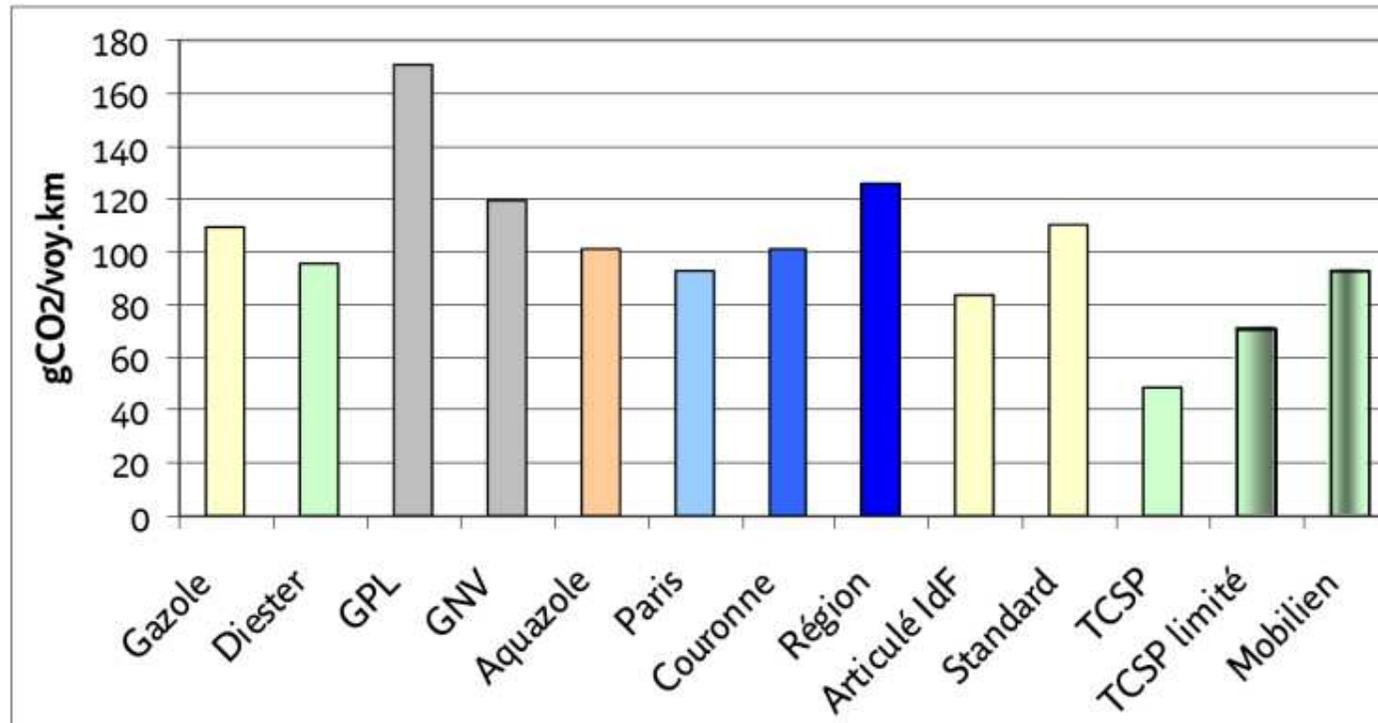


Étude RATP (2006)

Facteurs d'émission AUTOBUS

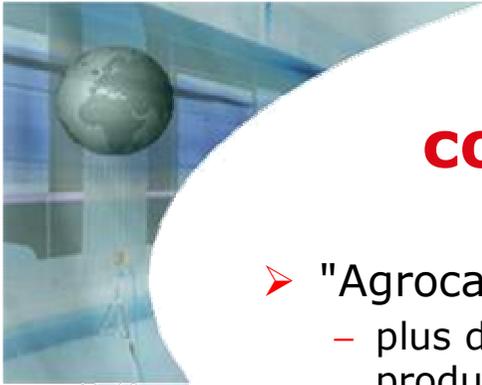


Traction + Amortissement + Maintenance



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Approche globale et points de controverse pour les agrocarburants

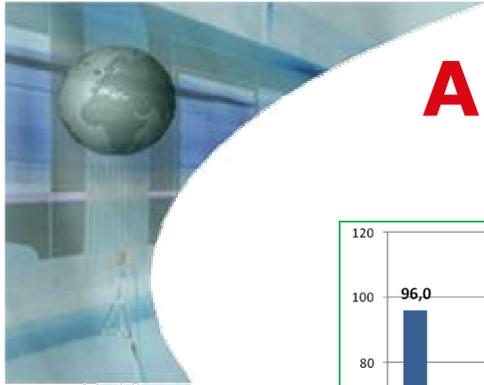
- "Agrocarburants contre nourriture" :
 - plus de 20% de la récolte américaine de maïs par exemple sont destinés à la production d'éthanol
 - hausse dramatique des prix des céréales en 2006 et 2007...
 - Mais, la tension mondiale est retombée après de bonnes récoltes et...
 - à noter que la production européenne de colza par exemple ne représente que 2% de la demande mondiale en graines oléagineuses.
- Utilisation massive d'engrais azotés : émissions de N₂O (puissant GES, 300 fois le CO₂), point critique du bilan GES pour les "nouvelles" cultures. Débat sur le facteur de conversion « engrais - N₂O »
- Rôle des intrants :
 - apport de méthanol à hauteur de 10% pour le biodiesel (synthèse méthane)
 - apport d'isobutène pour la production d'ETBE à partir d'éthanol (pour moitié)
- Déforestation et perte de biodiversité: Brésil, Indonésie, Malaisie,... et aussi avec la disparition des jachères selon certains, mais pour l'INRA, le principe des jachères tournantes tous les 3 ans génère déjà une remise en culture régulière des terres.
- Coût économique pour la société : débat sur le coût de la tonne de carbone évitée...



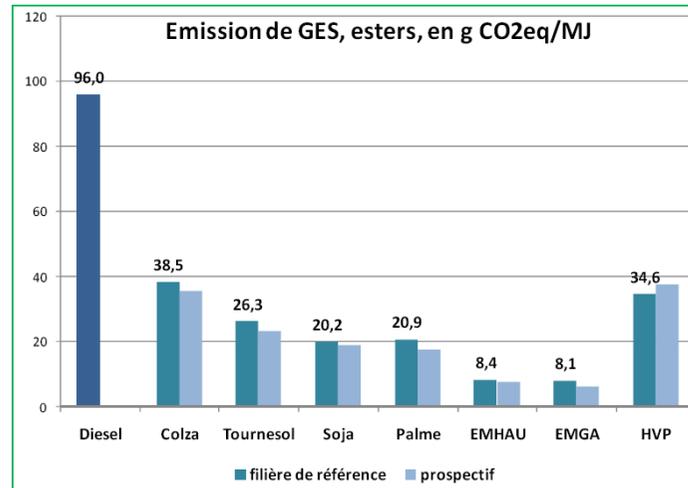
Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)

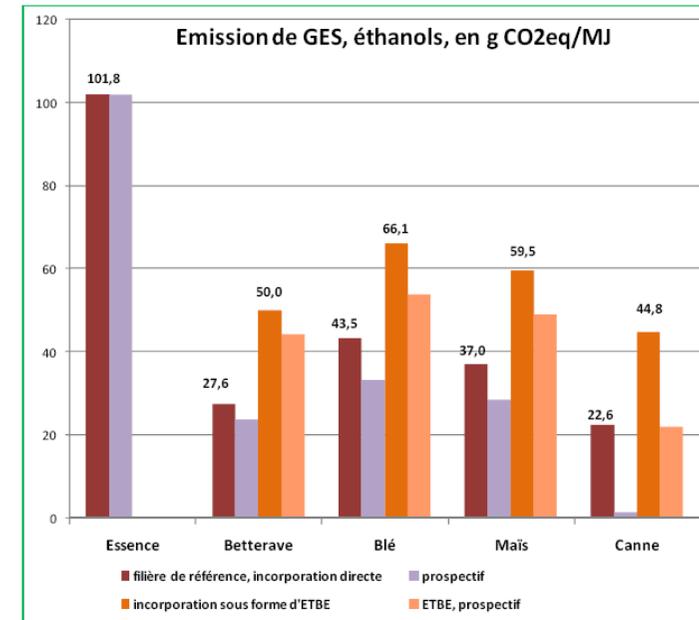
Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010



Approche "du champ à la roue"



EMHAU : ester méthylique d'huile alimentaire usagée
 EMGA : ester méthylique de graisse animale
 HVP : huile végétale pure



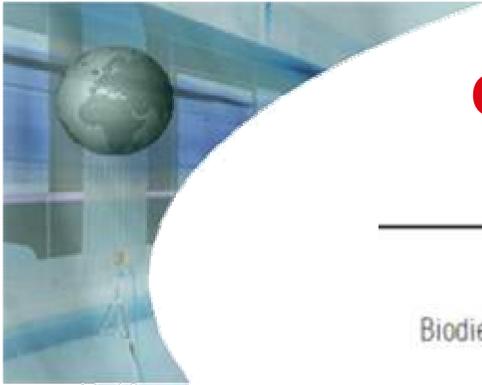
Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France (Synthèse ADEME, 2009)

- Bilans très sensibles "au rendement agricole à l'hectare, aux apports d'engrais et aux émissions de N₂O afférentes, ainsi qu'à l'intensité et aux sources d'énergie des procédés de transformation"
- Impacts des co-produits (glycérine, tourteaux, drèche,...) et des coûts de production sous-estimés d'après ses détracteurs
- Impact du changement d'affectation des sols ignoré, bien que chiffré dans la méthodologie

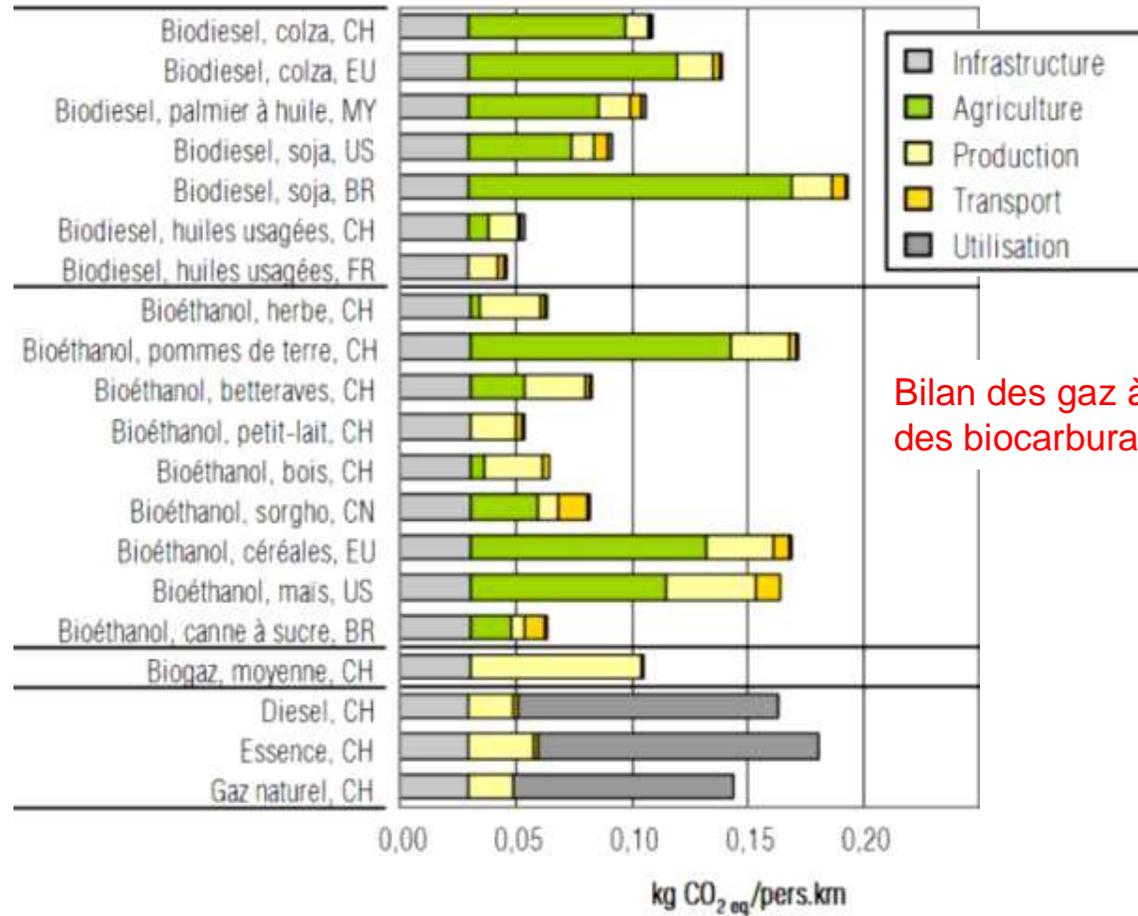


Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



ou approche "cycle de vie"



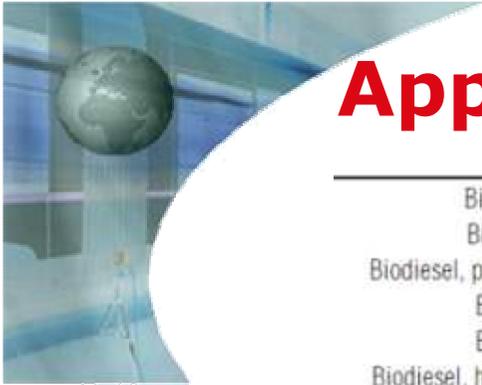
Bilan des gaz à effet de serre des biocarburants (EMPA 2007)

De nombreux biocarburants permettent de réduire de plus de 30% les émissions de gaz à effet de serre, mais...

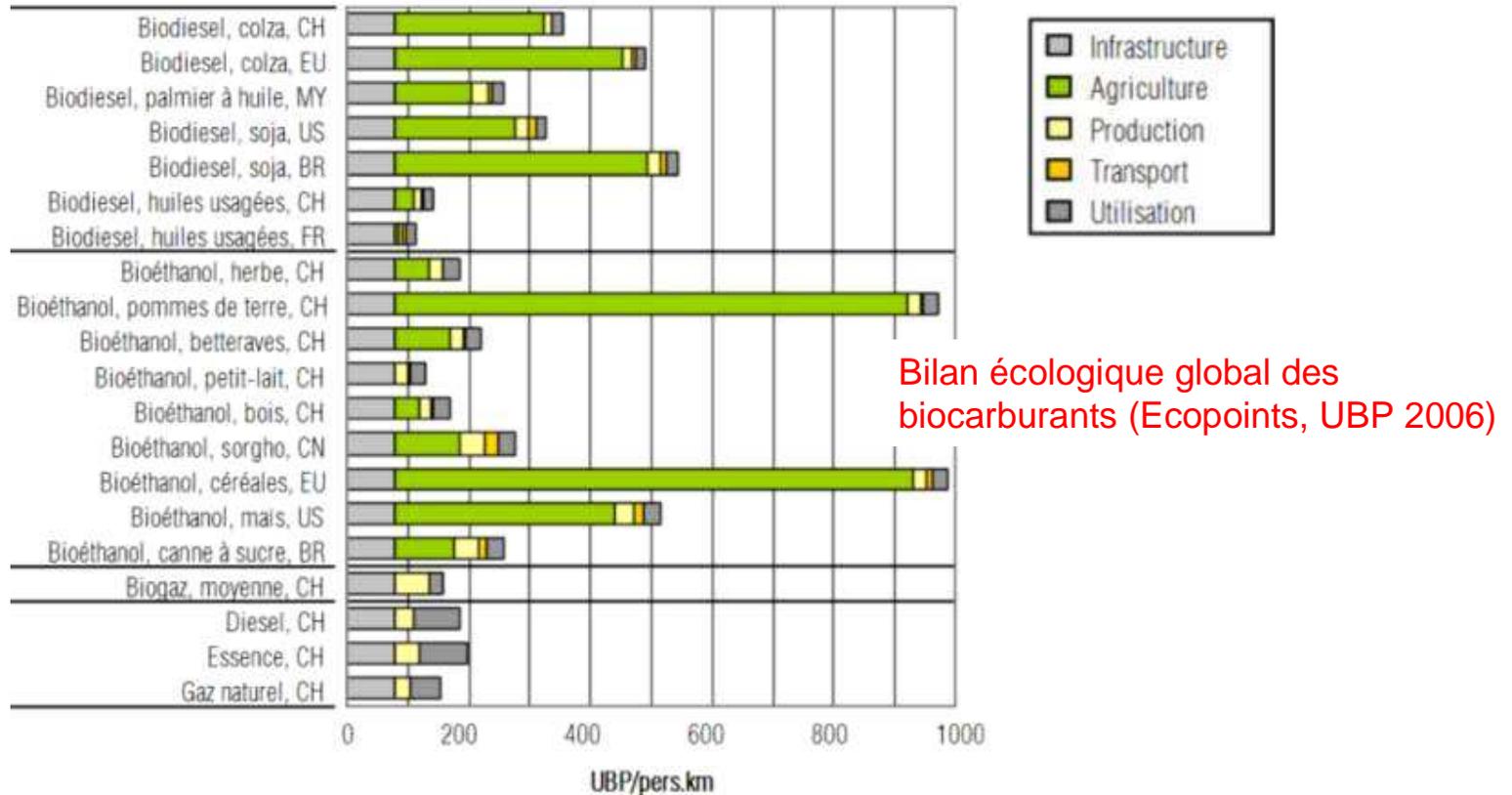


Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Approche environnementale globale

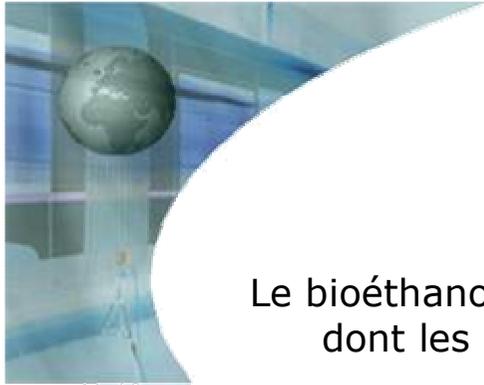


- Méthode suisse de la saturation écologique (ou UBP) : différence entre les impacts sur l'environnement et les valeurs limites légales
- Impact du défrichage et brûlage des forêts sur la pollution atmosphérique, sur la biodiversité, faibles rendements surfaciques, fertilisation intensive et mécanisation sont la cause d'un
- Bilan écologique défavorable de tous les agrocarburants par rapport aux carburants pétroliers



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Utilisations possibles du bioéthanol

Le bioéthanol peut être utilisé comme carburant (ou additif) de diverses façons, dont les plus courantes sont citées ici :

- éthanol hydraté (moins cher à produire) dans des moteurs diesel modifiés ou des moteurs à éthanol (3 millions de véhicules au Brésil et 400 bus Scania)
- éthanol anhydre (0-25% v/v) mélangé à de l'essence, dans des véhicules traditionnels (mélange à hauteur de 20-25% au Brésil)
- éthanol anhydre (0-85% v/v) mélangé à de l'essence, dans des véhicules flex-fuel (1400 stations distribuant du E85 et plus de 170 000 FFV en Suède)
- ETBE (0-15% v/v), mélangé à de l'essence conventionnelle
- éthanol anhydre (0-3% v/v) mélangé à du diesel, sans additif (tests au Brésil)
- éthanol anhydre (10-15% v/v) mélangé à du diesel, en présence d'un émulsifiant (testée en Suède, sur des autobus)
- Esterol : mélange de bioéthanol et de biodiesel, en phase de développement en Suède et aux Etats-Unis. Carburant prévu pour des moteurs diesel et combinant les avantages du bioéthanol et du biodiesel

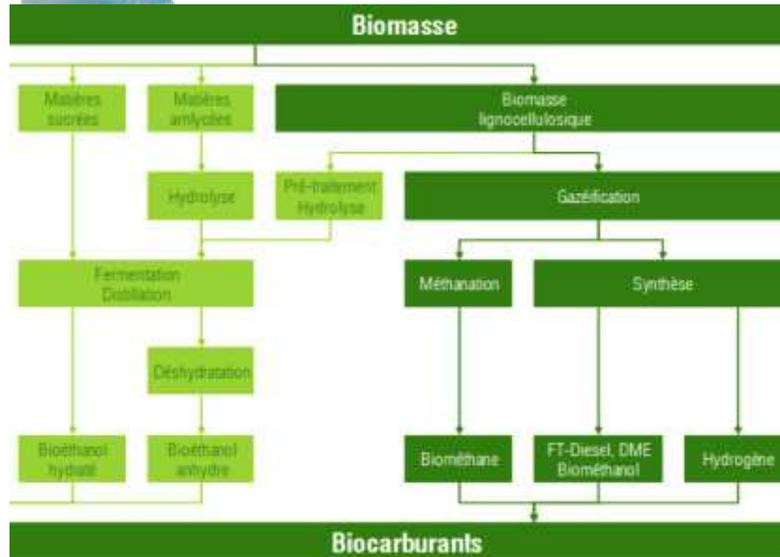


Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)

Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010

Les biocarburants de 2ème génération



Ou biocarburants de synthèse

- Gazéification puis synthèse par Fischer-Tropsch pour le FT-diesel, le diméthyl-éther (DME), l'hydrogène (H₂) et, dans une moindre mesure, le biométhanol
- Hydrolyse enzymatique pour l'éthanol dit "éthanol cellulosique"
- Filières de biocarburants liquides plus prometteuses à moyen-long terme
- Avantages : transformation de la biomasse lignocellulosique (bois, herbe, déchets et résidus agricoles, etc.), disponible en plus grandes quantités, généralement moins coûteuse et ne présentant pas de compétition directe avec l'alimentation

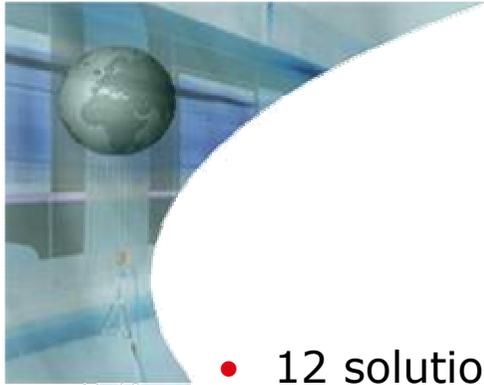
Feuille de route

2009 – 2011	Démonstrateurs de recherche pour la production de biocarburants de 2ème génération (voie thermochimique et biologique).
2012 – 2015	Lancement des premières opérations de taille industrielle. Faire évoluer les unités autothermiques vers des unités allothermiques.
2015 – 2020	Des installations industrielles sont en fonctionnement et représentent une part croissante du marché. (bioraffineries)



Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et Environnement (LTE)



Carburants issus de technologies de rupture

D'après le rapport « Betting on Science – Disruptive Technologies in Transport Fuels »

- 12 solutions (évolutions ou révolutions) en cours de développement, commercialisables dans 5 ans, dont:
 - Valorisation des déchets pour produire des carburants
 - Plantes génétiquement modifiées (requierent moins d'eau, d'engrais, + résistantes, ...)
 - Enzymes améliorant le rendement en sucre et alcool des plantes sucrières
 - Conversion biocatalytique et biofermentation (bactéries) pour la conversion de sucres en biodiesel ou éthanol
 - Valorisation des co-produits (glycérine) par procédé de fermentation
 - Utilisation des algues comme biomasse (meilleur rendement à l'ha, à un coût + faible
 - Production de butanol ex-biomasse par fermentation bactérienne (le butanol est + performant que l'éthanol)
- Besoin du soutien des pouvoirs publics pour favoriser le déploiement commercial de ces technologies
- et de dispositifs réglementaires plus clairs pour encadrer et imposer la biologie de synthèse, la valorisation des déchets et l'éco-utilisation de l'eau et de l'énergie dans la production des biocarburants



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Laboratoire Transport et
Environnement (LTE)

Projet ALTER-MOTIVE 7 janvier 2010