

**1<sup>er</sup> colloque international « Environnement et Transport »**

**Avignon, France 19-20 juin 2003**

# Etablissement d'un indicateur environnemental adapté à l'ensemble des véhicules actuels ou à venir

Dr. Walter Hecq

Sandrine Meyer



Basé sur l'étude « Véhicule propres » réalisée par L'Université Libre de Bruxelles (**CEESE**) 

et la Vrije Universiteit Brussel (**ETEC**) 

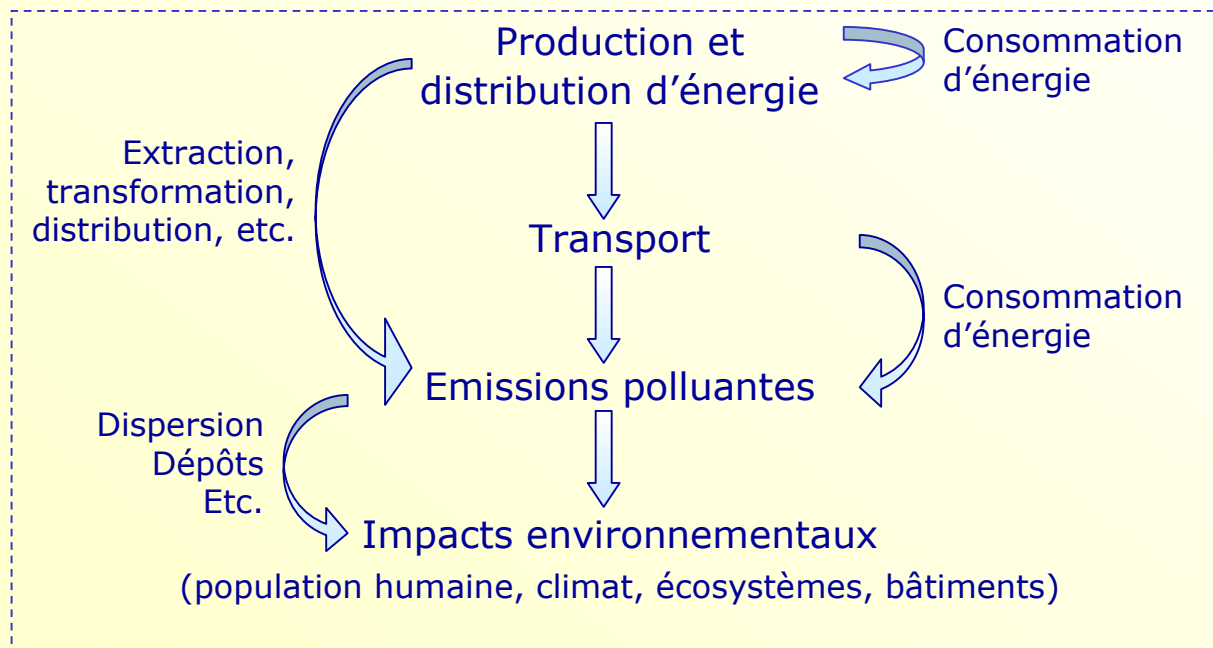
pour le compte de l'**Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement** (IBGE) 

# Plan de la présentation

- Introduction
- Méthodologie :
  - 5 étapes
    - Inventaire (I)
    - Classification (II)
    - Caractérisation (III)
    - Normalisation (IV)
    - Pondération (V)
  - ⇒ Score global : l'Ecoscore
- Application
- Discussion
- Conclusions

# Introduction

- **Objectif :** Introduction véhicules « plus respectueux de l'environnement »  
(cf. politique des « Plan air » et « Ordonnance air »)
- **Remarques :**
  - Impact important dans les zones urbaines (cf. densité population et bâtiments)
  - Dommages environnementaux du transport routier à Bruxelles = ~ 774 M€/an  
(Favrel, CEESE, 2001)



# Méthodologie :


- Existence de diverses méthodologies d'évaluation des dommages environnementaux des activités humaines (dont transport) basées soit sur des éléments physiques (ex : Scoring, Ecolabelling, LCA, etc.), soit sur des éléments monétaires (ex : calcul d'externalités, analyses coûts-bénéfices, etc.)
- Parmi ces méthodologies, le LCA comporte divers avantages :
  - développements récents
  - approche normalisée
  - applicable au transport routier
- mais :
  - approche orientée « processus industriel »
  - adaptation au transport ⇒ véhicules génériques
- Méthodologie « Ecoscore » :
  - approche du type LCA
  - plus orientée « utilisation »
  - applicable à chaque modèle
  - rassemble divers effets en un seul score
  - basée sur des données disponibles
  - modulable (ex : milieu urbain) et évolutive (cf. référence)

# Méthodologie

## **Etapes de la méthodologie « Ecoscore »** (cf. Eco-Indicator 95 et 99) :

- Inventaire (I)                      Quelles émissions sont associées au véhicule ?
  - Classification (II)                A quel(s) type(s) de dommage(s) contribuent ces émissions ?
  - Caractérisation (III)            Quelle(s) valeur(s) attribuer à ces dommages ?
  - Normalisation (IV)            Ces dommages sont-ils importants p.r. véhicule de référence ?
  - Pondération (V)                Quelle importance donner à un type de dommage p.r. autres ?
- ⇒ Score global : l'«Ecoscore»

# Méthodologie : inventaire (I)

- Calcul des émissions de polluants aux divers stade de vie du produit (émissions totales : **E** totales; Well-to-wheel)
- Dans ce cas-ci : utilisation du véhicule (émissions directes : **E** directes) et production / distribution énergie (émissions indirectes : **E** indirectes) 
- Emissions directes (Tank-to-wheel) = émissions réglementées (CO, PM, NO<sub>x</sub>, HC ou HC + NO<sub>x</sub>, bruit) + émissions non-réglémentées (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, COVNM, etc.)
- Emissions indirectes (Well-to-tank) = émissions dues à la production et à la distribution des carburants et de l'électricité (CO<sub>2</sub>, TSP, etc.)
- **W**<sub>ind.</sub> est un facteur de pondération entre les effets locaux (< 1) et les effets à plus grande échelle (= 1)

$$E_{\text{totales}} = E_{\text{directes}} + W_{\text{ind.}} \cdot E_{\text{indirectes}}$$



# Méthodologie : classification (II)

- Attribution des émissions calculées précédemment à la / aux catégorie(s) de dommages correspondante(s)

	Effets	Polluants
<b>Santé humaine</b>	Effets carcinogènes	<b>COV</b> (1,3 Butadiène ; Formaldéhyde ; Benzène) <b>HAP</b> (Benzo(a)pyrène ; Benzo(a)anthracène ; Dibenzo(a)anthracène)
	Effets respiratoires (composants organiques)	<b>COV</b> (COVNM ; méthane)
	Effets respiratoires (composants non-organiques)	<b>CO, PM, TSP</b> (Particules totales en suspension), <b>NOx</b> (en NO <sub>2</sub> équ.), <b>SO<sub>2</sub></b>
<b>Climat</b>	Effet de serre	<b>CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O</b>
<b>Eco-systèmes</b>	Ecotoxicité	<b>VOC</b> (Benzène ; Toluène) ; <b>HAP</b>
	Acidification, eutrophisation	<b>NOx</b> (en NO <sub>2</sub> équ.), <b>SO<sub>2</sub></b>
<b>Bâtiments</b>	Salissures, dégradations	<b>PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub></b>
<b>Bruit</b>	Gêne	<b>Bruit</b> [en dB(A)]



# Méthodologie : caractérisation (III)

- Calcul de la contribution de chaque polluant incriminé au sein de chaque catégorie de dommage
- $D_{i,j}$  est le dommage partiel de la catégorie  $i$  associé au polluant  $j$  exprimé en unité commune (ex : DALY, CO2 équ., PDF.m<sup>2</sup>.an, etc.)
- $\delta_{i,j}$  est le facteur de dommage associé à la catégorie de dommage  $i$  et relatif au polluant  $j$  (Eco-Indicator 99 ; CEESE, 2001)
- $E_{j,totales}$  correspond aux émissions totales liées au polluant  $j$

$$D_{i,j} = \delta_{i,j} \cdot E_{j,totales}$$

- Exemple : voiture EURO III





		Inventaire			Caractérisation		
Effet	Polluant	Emissions directes	Emissions indirectes	Emissions totales	Facteur de Dommage	Dommages	
1. Santé humaine	1.1 Effets cancérigènes chez l'homme	<b>COV</b>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]
		1,3 Butadiène	0,0023		0,0023	1,58E-05	3,71E-11
		Formaldéhyde	0,0019		0,0019	9,91E-07	1,92E-12
		Benzène	0,0021		0,0021	2,50E-06	5,36E-12
		<b>HAP</b>					
		Benzo(a)pyrène (BaP)				3,98E-03	
	Benzo(a)anthracène				5,86E-02		
	Dibenzo(a)anthracène				3,10E+01		
	<b>Total</b>					<b>4,44E-11</b>	
	1.2 Effets respiratoires provoqués par les substances organiques	<b>COV</b>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]
		COVNM	0,0510	0,4443	0,2732	1,28E-06	3,50E-10
		Méthane	0,0070	0,0365	0,0252	1,28E-08	3,23E-13
<b>Total</b>					<b>3,50E-10</b>		
1.3 Effets respiratoires provoqués par les substances non-organiques	<b>CO</b>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	
	CO	0,2560	0,0107	0,2614	7,31E-07	1,91E-10	
	Particules (PM10)	0,0000		0,0000	3,75E-04	0,00E+00	
	TSP (Particules en Suspension Totales)		0,0050	0,0003	1,10E-04	2,76E-11	
	NOx (en NO <sub>2</sub> éq)	0,0300	0,0886	0,0743	8,87E-05	6,59E-09	
	SO <sub>2</sub>	0,0143	0,1378	0,0832	5,46E-05	4,55E-09	
<b>Total</b>					<b>1,14E-08</b>		
2. Effet de serre			[g/km]	[g/km]	[g/km]	[GWP]	[CO <sub>2</sub> éq/km]
		CO <sub>2</sub>	152,0000	19,3169	171,3169	1,00E+00	1,71E+02
		CH <sub>4</sub>	0,0070	0,0365	0,0435	2,10E+01	9,13E-01
		N <sub>2</sub> O				3,10E+02	
		<b>Total</b>				<b>1,72E+02</b>	
3. Eco-systèmes	3.1 Ecotoxicité	<b>COV</b>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/kg]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]
		Benzène	0,0021		0,0021	2,75E+03	5,90E-03
		Toluène	0,0040		0,0040	2,40E-04	9,55E-10
		<b>HAP</b>				7,80E-04	
			<b>Total - Ecotoxicité</b>				<b>5,90E-03</b>
	3.2 Acidification et Eutrophisation		[g/km]	[g/km]	[g/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/kg]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]
NOx (en NO <sub>2</sub> éq)		0,0300	0,0886	0,1186	5,71E+00	6,78E-04	
SO <sub>2</sub>		0,0143	0,1378	0,1522	1,04E+00	1,58E-04	
		<b>Total - Acidification + Eutrophisation</b>				<b>8,36E-04</b>	
		<b>Total - Ecosystèmes</b>				<b>6,73E-03</b>	
4. Bâtiments			[g/km]	[g/km]	[g/km]	[Euro/kg]	[Euro/km]
		Particules	0,0000	0,0050	0,0003	1,30E+02	3,25E-05
		SO <sub>2</sub>	0,0143	0,1378	0,0832	8,26E+00	6,88E-04
		<b>Total</b>				<b>7,20E-04</b>	
5. Bruit		Bruit [DB(A)]			73		

# Méthodologie : normalisation (IV)

---

- Les dommages totaux calculés pour chaque catégorie  $i$  ( $Q_i = \sum_j D_{i,j}$ ) sont normalisés par une valeur de référence spécifique pour chaque catégorie de dommage ( $Q_{i, ref}$ )
- Ecoscore : référence = niveaux de dommages associés à un véhicule fictif défini pour chaque catégorie de véhicule

(ex : voiture Euro IV + polluants non-réglés sur base de la consommation de carburant ou de la réduction de 30% dans la masse totale de COV émis selon méthodologie européenne + normes bruit de la région étudiée)

$$q_i = Q_i / Q_{i, ref}$$

- Exemple : voiture EURO III



		Inventaire			Caractérisation		Normalisation		
Effet	Polluant	Emissions directes	Emissions indirectes	Emissions totales	Facteur de Dommage	Dommages	Dommages véhicule de référence	Dommages normalisés	
1. Santé humaine	1.1 Effets cancérogènes chez l'homme	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]	
		1,3 Butadiène	0,0023		0,0023	1,58E-05	3,71E-11	8,34E-12	
		Formaldéhyde	0,0019		0,0019	9,91E-07	1,92E-12	1,66E-12	
		Benzène	0,0021		0,0021	2,50E-06	5,36E-12	2,76E-12	
		HAP							
		Benzo(a)pyrène (BaP)				3,98E-03			
	Benzo(a)anthracène				5,86E-02				
	Dibenzo(a)anthracène				3,10E+01				
	<b>Total</b>					<b>4,44E-11</b>		<b>1,28E-11</b>	<b>3,48</b>
	1.2 Effets respiratoires provoqués par les substances organiques	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]	
COVNM		0,0510	0,4443	0,2732	1,28E-06	3,50E-10	1,52E-10		
Méthane		0,0070	0,0365	0,0252	1,28E-08	3,23E-13	1,88E-13		
<b>Total</b>						<b>3,50E-10</b>		<b>1,52E-10</b>	<b>2,30</b>
1.3 Effets respiratoires provoqués par les substances non-organiques	CO	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]		
	Particules (PM10)	0,2560	0,0107	0,2614	7,31E-07	1,91E-10	3,68E-10		
	TSP (Particules en Suspension Totales)	0,0000		0,0000	3,75E-04	0,00E+00	0,00E+00		
	NOx (en NO <sub>2</sub> éq)	0,0300	0,0886	0,0743	1,10E-04	2,76E-11	8,90E-12		
	SO <sub>2</sub>	0,0143	0,1378	0,0832	8,87E-05	6,59E-09	9,68E-09		
	<b>Total</b>					<b>1,14E-08</b>		<b>1,24E-08</b>	<b>0,92</b>
2. Effet de serre		CO <sub>2</sub>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[GWP]	[CO <sub>2</sub> éq/km]	[CO <sub>2</sub> éq/km]	
		CH <sub>4</sub>	152,0000	19,3169	171,3169	1,00E+00	1,71E+02	1,31E+02	
		N <sub>2</sub> O	0,0070	0,0365	0,0435	2,10E+01	9,13E-01	5,75E-01	
		<b>Total</b>					<b>1,72E+02</b>		<b>1,32E+02</b>
3. Eco-systèmes	3.1 Ecotoxicité	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	PDF.m <sup>2</sup> .an/kg]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	
		Benzène	0,0021		0,0021	2,75E+03	5,90E-03	3,04E-03	
		Toluène	0,0040		0,0040	2,40E-04	9,55E-10	5,76E-11	
		HAP				7,80E-04			
	<b>Total - Ecotoxicité</b>					<b>5,90E-03</b>		<b>3,04E-03</b>	
	3.2 Acidification et Eutrophisation	NOx (en NO <sub>2</sub> éq)	[g/km]	[g/km]	[g/km]	PDF.m <sup>2</sup> .an/kg]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	
SO <sub>2</sub>		0,0300	0,0886	0,1186	5,71E+00	6,78E-04	7,90E-04		
<b>Total - Acidification + Eutrophisation</b>		0,0143	0,1378	0,1522	1,04E+00	1,58E-04	8,54E-05		
<b>Total - Ecosystèmes</b>					<b>6,73E-03</b>		<b>3,91E-03</b>	<b>1,72</b>	
4. Bâtiments		Particules	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[Euro/kg]	[Euro/km]	[Euro/km]	
		SO <sub>2</sub>	0,0000	0,0050	0,0003	1,30E+02	3,25E-05	1,05E-05	
		<b>Total</b>	0,0143	0,1378	0,0832	8,26E+00	6,88E-04	3,54E-04	
<b>Total - Bâtiments</b>					<b>7,20E-04</b>		<b>3,65E-04</b>	<b>1,97</b>	
5. Bruit	Bruit [DB(A)]			73			7,40E+01	<b>0,99</b>	

# Méthodologie : pondération (V)

- Attribution d'un poids (entre 0 et 100%) à chacune des catégories de dommage normalisées ; la somme de tous les poids fait maximum 100%
- Choix dépend grandement des priorités politiques et de la sensibilisation des décideurs aux divers effets pris en compte dans l'évaluation (ex : IFEU, 1997 ; De Cicco, 2000 ; Govaert, 2001)

Catégories de dommage		Poids dans l'«Ecoscore»
Santé humaine	Effets cancérigènes	20%
	Effets respiratoires (s. o.)	15%
	Effets respiratoires (s. non-o.)	15%
	Effet de serre	25%
	Ecosystèmes	10%
	Bâtiments	5%
	Bruit	10%

50%  
Cf. milieu urbain



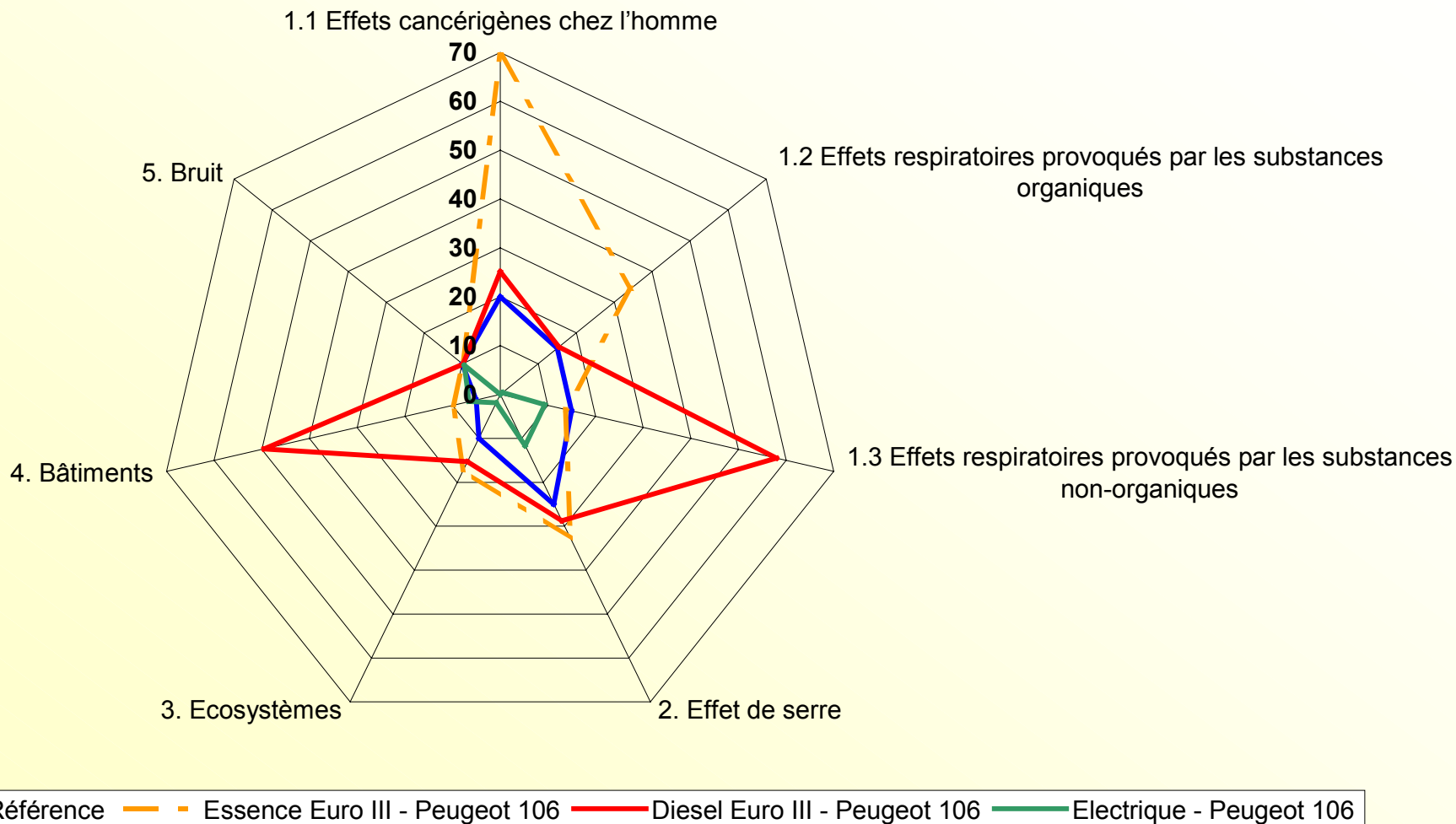
# Méthodologie : score global

$$\begin{aligned} \text{Ecoscore} &= 50\% \cdot q_{\text{respiration \& cancer}} \\ &+ 25\% \cdot q_{\text{effet de serre}} \\ &+ 10\% \cdot q_{\text{écosystèmes}} \\ &+ 5\% \cdot q_{\text{bâtiments}} \\ &+ 10\% \cdot q_{\text{bruit}} \end{aligned}$$

			Inventaire			Caractérisation		Normalisation		Pondération	
	Effet	Polluant	Emissions directes	Emissions indirectes	Emissions totales	Facteur de Dommage	Dommages	Dommages véhicule de référence	Dommages normalisés	Facteur de Pondération [%]	Score
1. Santé humaine	1.1 Effets cancérigènes chez l'homme	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]		20	69,6
		1,3 Butadiène	0,0023		0,0023	1,58E-05	3,71E-11	8,34E-12			
		Formaldéhyde	0,0019		0,0019	9,91E-07	1,92E-12	1,66E-12			
		Benzène	0,0021		0,0021	2,50E-06	5,36E-12	2,76E-12			
		HAP									
		Benzo(a)pyrène (BaP)				3,98E-03					
		Benzo(a)anthracène				5,86E-02					
	Dibenzo(a)anthracène				3,10E+01						
	Total						4,44E-11	1,28E-11	3,48		
1.2 Effets respiratoires provoqués par les substances organiques	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]		15	34,5	
	COVNM	0,0510	0,4443	0,2732	1,28E-06	3,50E-10	1,52E-10				
	Méthane	0,0070	0,0365	0,0252	1,28E-08	3,23E-13	1,88E-13				
Total						3,50E-10	1,52E-10	2,30			
1.3 Effets respiratoires provoqués par les substances non-organiques	CO	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[DALY/kg]	[DALY/km]	[DALY/km]		15	13,7	
	Particules (PM10)	0,2560	0,0107	0,2614	7,31E-07	1,91E-10	3,68E-10				
	TSP (Particules en Suspension Totales)	0,0000		0,0000	3,75E-04	0,00E+00	0,00E+00				
	NOx (en NO <sub>2</sub> équ)	0,0300	0,0050	0,0003	1,10E-04	2,76E-11	8,90E-12				
	SO <sub>2</sub>	0,0300	0,0886	0,0743	8,87E-05	6,59E-09	9,68E-09				
Total	0,0143	0,1378	0,0832	5,46E-05	4,55E-09	2,34E-09	1,14E-08	1,24E-08	0,92		
2. Effet de serre	CO <sub>2</sub>	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[GWP]	[CO <sub>2</sub> équ/km]	[CO <sub>2</sub> équ/km]		25	32,7	
	CH <sub>4</sub>	152,0000	19,3169	171,3169	1,00E+00	1,71E+02	1,31E+02				
	N <sub>2</sub> O	0,0070	0,0365	0,0435	2,10E+01	9,13E-01	5,75E-01				
	Total					3,10E+02		1,72E+02			1,32E+02
3. Eco-systèmes	3.1 Ecotoxicité	COV	[g/km]	[g/km]	[g/km]	PDF.m <sup>2</sup> .an/kgj	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]		10	17,2
		Benzène	0,0021		0,0021	2,75E+03	5,90E-03	3,04E-03			
		Toluène	0,0040		0,0040	2,40E-04	9,55E-10	5,76E-11			
		HAP				7,80E-04					
	Total - Ecotoxicité					5,90E-03	3,04E-03				
	3.2 Acidification et Eutrophisation	NOx (en NO <sub>2</sub> équ)	[g/km]	[g/km]	[g/km]	PDF.m <sup>2</sup> .an/kgj	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]	[PDF.m <sup>2</sup> .an/km]			
SO <sub>2</sub>		0,0300	0,0886	0,1186	5,71E+00	6,78E-04	7,90E-04				
Total - Acidification + Eutrophisation		0,0143	0,1378	0,1522	1,04E+00	1,58E-04	8,54E-05	8,36E-04	8,75E-04		
Total - Ecosystèmes						6,73E-03	3,91E-03	1,72			
4. Bâtiments	Particules	[g/km]	[g/km]	[g/km]	[Euro/kg]	[Euro/km]	[Euro/km]		5	9,9	
	SO <sub>2</sub>	0,0000	0,0050	0,0003	1,30E+02	3,25E-05	1,05E-05				
	Total	0,0143	0,1378	0,0832	8,26E+00	6,88E-04	3,54E-04	7,20E-04			3,65E-04
5. Bruit	Bruit [DB(A)]			73			7,40E+01	0,99	10	9,9	
								Total	100	187,4	

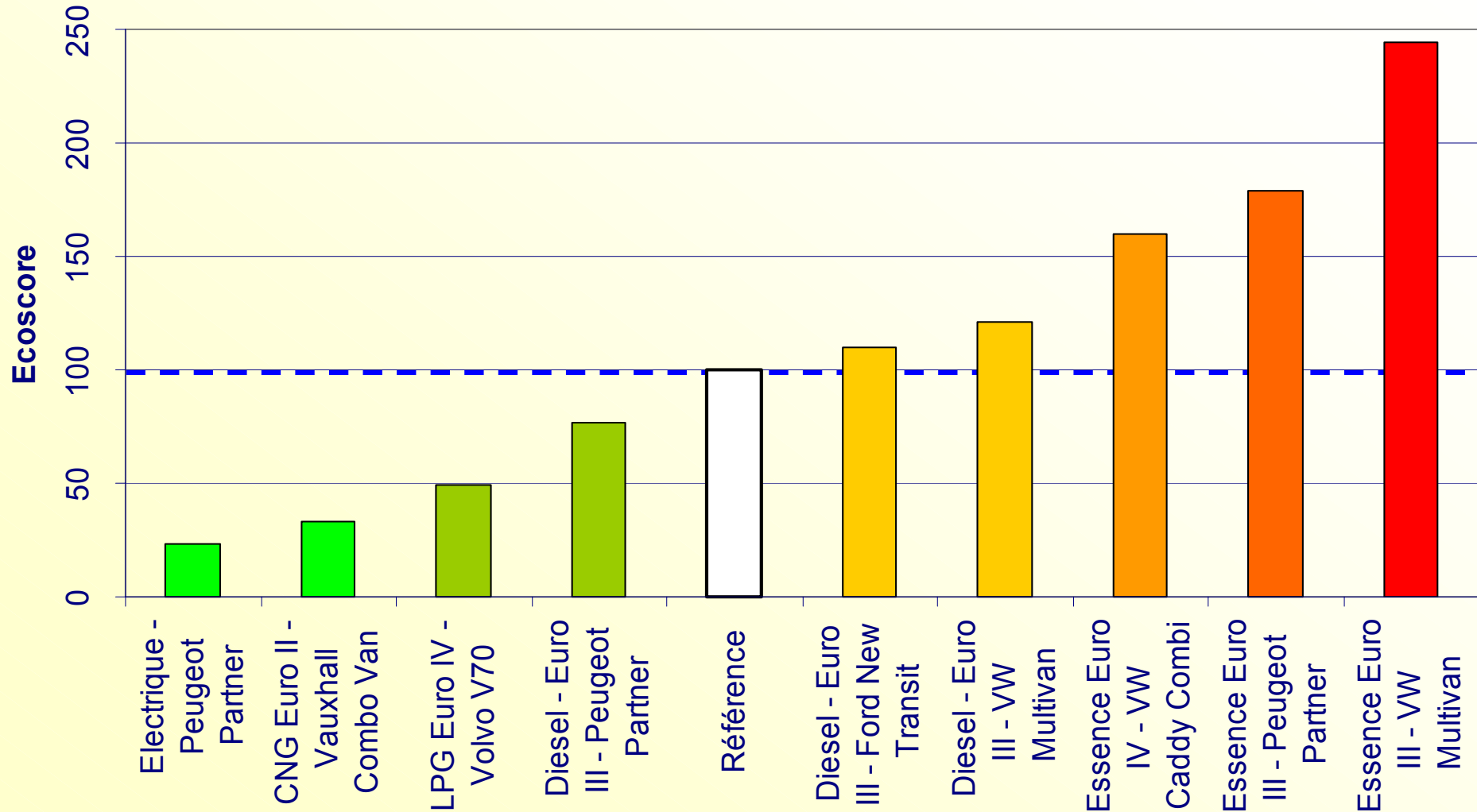
# Application

## Catégorie : voitures de particuliers



# Application

## Catégorie : petits utilitaires légers





# Discussion

- Adaptation de la méthodologie aux véhicules lourds  
(ex : coexistence de données « moteur » et de données « véhicule »)
- Contexte d'analyse : étude complémentaire sur les aspects technico-économiques de véhicules disponibles sur le marché (ex : surcoût, infrastructures de ravitaillement, autonomie, etc.) et sociaux (ex : résistance au changement)
- Améliorations potentielles
  - Introduire des facteurs correctifs pour la conduite en situation réelle
  - Tenir compte des étapes de production et de recyclage des véhicules dans le calcul des dommages
  - Etudier plus en détails les freins sociologiques à l'acceptation de « véhicules alternatifs »

# Conclusions

- Construction d'un indicateur environnemental compatible avec l'ensemble des véhicules routiers actuels et à venir
- Première approche tenant compte des impératifs d'applicabilité pratique (disponibilité de données ; comparabilité)
- Pondération plus spécifique aux zones urbaines mais peut facilement être adaptée à d'autres horizons
- Indicateur évolutif en fonction des nouvelles normes adoptées (cf. adaptation des valeurs de référence)
- Comparabilité des véhicules disponibles et orientation des politique d'achat (ex : flottes administratives) rendues possible par l'Ecoscore
- Approche complémentaire à celles basées sur l'évaluation monétaire (NewExt, etc.)

