



PREMIER MINISTRE

**Commissariat général  
à la stratégie  
et à la prospective**

**Département  
Développement durable**

**RAPPORTS  
& DOCUMENTS**

Février 2014

**Les effets amont**

**Contribution  
Géraldine Ducos**

**Tome 2**

Rapport

« *L'évaluation socio-économique en période de transition* »

Groupe de travail  
présidé par Émile Quinet



# Sommaire

1	Introduction .....	5
2	Des valeurs de référence centrées sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie et de sa distribution .....	5
3	Adaptation des valeurs de référence du rapport CE Delft/INFRAS à la France .....	8
4	Recommandations .....	9
5	Bibliographie .....	10
	ANNEXES .....	11



## 1 Introduction

On peut compter trois grandes catégories d'externalités en amont et en aval de l'usage de l'infrastructure<sup>1</sup> qu'il conviendrait de prendre en compte dans le calcul socio-économique des infrastructures de transport :

- **externalités liées à la production d'énergie et à sa distribution** (« du puits au réservoir ») : la production de carburant et d'électricité génère des polluants vers l'air, l'eau et le sol. Les émissions ont lieu lors de l'extraction de la matière première, de son transport et de sa transformation ainsi que lors du transport du produit fini. Les impacts toxicologiques et éco-toxicologiques des polluants atmosphériques ainsi que les effets sur le changement climatique des émissions de gaz à effet de serre sont les impacts le mieux connus aujourd'hui. Les risques environnementaux et sanitaires de la production et distribution d'énergie (risques liés à l'énergie nucléaire, risques de déversements accidentels d'hydrocarbures lors de leur extraction ou de leur transport, etc.) sont encore trop peu documentés pour être intégrés de façon robuste dans le coût des externalités amont ;
- **externalités liées à la production de véhicules, leur maintenance et retrait** : ces activités sont consommatrices d'énergie et de matériel et génèrent des externalités dont les mieux connues sont le changement climatique et à la pollution atmosphérique ;
- **externalités liées à la construction, maintenance et fin de vie de l'infrastructure** : ces activités ont des externalités, les mieux connues étant liées à l'occupation des sols, aux matériaux de construction et au matériel de chantier utilisés.

Toutefois, en l'état des connaissances actuelles, seule une partie des effets amonts peuvent être pris en compte. Le *Handbook* et le rapport de CE Delft INFRAS proposent en effet des valeurs de référence centrées sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie et de sa distribution et dont les principaux résultats sont présentés en première partie du présent rapport. La deuxième partie cherche à adapter ces valeurs au contexte français. La dernière partie présente les recommandations pour l'évaluation socio-économique.

## 2 Des valeurs de référence centrées sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie et de sa distribution

Le *Handbook* (2008) et le rapport de CE Delft INFRAS (2011) proposent des valeurs de référence centrées sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie et de sa distribution (externalités amont), à savoir :

- pollution atmosphérique due aux émissions du « puits au réservoir » de PM10, PM2,5, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et COVNM ;

---

(1) Les externalités produites par les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques générées par le trafic sont traitées dans les rapports « Émissions de gaz à effet de serre » et « Valorisation des émissions atmosphériques dans le calcul socio-économique ».

- Les effets amont -

- changement climatique due aux émissions du « puits au réservoir » de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>).

Certains risques associés à la production et la distribution d'énergie peuvent être considérables et devraient être pris en compte parmi les externalités amont. Toutefois, les auteurs de ces études ne disposant pas de valeurs de coûts marginal suffisamment récentes et robustes pour le risque nucléaire, ou encore, le risque de pollution accidentelle par déversement d'hydrocarbures, la composante « risque » n'est pas prise à compte.

Le calcul des coûts marginaux des émissions atmosphériques et de gaz à effet de serre liées au poste « production d'énergie et distribution » est effectué de la même manière que pour les émissions liées à la circulation (voir les rapports « Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socio-économique » et « Changement climatique ») : les données d'émission (polluants atmosphériques et gaz à effet de serre) sont multipliées à des coûts marginaux par tonne de polluant ou tonne de CO<sub>2</sub> émis. Les auteurs utilisent les mêmes valeurs de coût marginal que pour le calcul des valeurs de référence des polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre liées à la circulation (voir tableau ci-dessous).

**Tableau 1 : Données d'entrée aux valeurs de référence du poste « production d'énergie et distribution » dans le *Handbook* et le rapport de CE Delft/INFRAS**

	Valeurs d'émission	Coûts marginaux
<b>Handbook (2008)</b>		
SO <sub>2</sub>	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
NO <sub>x</sub>	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
COVNM	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
PM10	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (HEATCO, 2006)
PM2,5	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (HEATCO, 2006)
Gaz à effet de serre	TREMOVE Allemagne	Même valeur que pour les émissions de GES : 25 € 2000/tCO <sub>2</sub>
<b>Rapport CE Delft/INFRAS (2011)</b>		
SO <sub>2</sub>	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
NO <sub>x</sub>	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
COVNM	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Même valeur que pour la pollution atmosphérique due à la circulation (NEEDS, 2007)
PM10	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Valeur recommandée par le projet NEEDS (2007) pour les PM10 de sources indifférenciées
PM2,5	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Valeur recommandée par le projet NEEDS (2007) pour les PM2,5 de sources indifférenciées
Gaz à effet de serre	TREMOVE France (à partir de la base de données EcoInvent)	Même valeur que pour les émissions de GES : 146 € 2008/tCO <sub>2</sub>

Source : CGSP à partir du *Handbook* (2008) et du rapport CE Delft/INFRAS (2011)

Ainsi, les valeurs du *Handbook* et du rapport CE Delft/INFRAS reposent sur la même méthode de calcul mais sur des données d'entrée différentes pour quelques paramètres :

- les émissions concernent l'Allemagne dans le *Handbook* alors qu'elles concernent la France dans le rapport CE Delft/INFRAS ;
- le coût marginal des émissions de GES est bien inférieur dans le *Handbook* (25 € 2000/tCO<sub>2</sub>) par rapport au rapport CE Delft/INFRAS (146 € 2008/tCO<sub>2</sub>) ;
- le coût marginal des particules est spécifique aux émissions de particules de la circulation dans le *Handbook*, alors qu'il est général (toutes sources d'émission confondues) dans le rapport CE Delft/INFRAS.

Les valeurs de référence de ces deux rapports sont présentées dans le tableau ci-dessous pour les modes de transport routier, ferroviaire, aérien et fluvial.

**Tableau 2 : Valeurs de référence du *Handbook* et du rapport CE Delft/INFRAS (coûts annuels des émissions dues au poste « production d'énergie et distribution » de gaz à effet de serre, PM10, PM2,5, NOx, SO<sub>2</sub> et COVNM)**

	<i>Handbook</i> €2000/100 veh.km			CE Delft/INFRAS €2010/100veh.km
	Métropole	Urbain	Interurbain	Toutes zones
VP Essence Euro 3 (1,4-2 L)	0,82-1,16	0,81-1,16	0,56-0,74	1,01
VP Essence Euro 4 (1,4-2 L)	0,74-1,25	0,74-1,24	0,52-0,78	
VP Diesel 4 Euro 3 (1,4-2 L)	0,47-0,83	0,46-0,83	0,35-0,62	
VP Diesel 4 Euro 4 (1,4-2 L)	0,43-0,75	0,42-0,75	0,32-0,56	
Bus				3,19
Deux roues				0,47
Camion (< 7,5t -> 32 t) Euro 3	1,35-3,11	1,35-3,11	1,26-2,68	3,33
Camion (<7,5t -> 32 t) Euro 4	1,27-2,90	1,27-2,90	1,18-2,50	
VUL				1,29
	Métropole	Urbain	Non urbain	Toutes zones
Train Pass. Elec. : trains tractés	4,9	4,9	4,9	*33,83
Train Pass. Elec. : automoteurs	7,6	7,7		
Train Pass. Elec. : TGV			9,2	
Train Pass. Diesel : trains tractés	8,7	8,7	8,7	*153,39
Train Pass. Diesel : automoteurs	11,5	11,5		
Train Fret Elec.			13,7	*40,24
Train Fret Diesel			29,2	*161,45
	Toutes zones			Toutes zones
Avion	0,38-0,71 €/100 pass.km selon la distance parcourue			65,68
	Toutes zones			Toutes zones
Dry Cargo	8-40			108,69
Push barge	52-108			
Tanker	8-62			

Source : CGSP à partir du *Handbook* (2008) et du rapport CE Delft/INFRAS (2011)

\* Désagrégation Diesel/électricité en supposant que la valeur de référence du train diesel est 5 fois plus élevée que celle du train électrique.

### 3 Adaptation des valeurs de référence du rapport CE Delft/INFRAS à la France

Les valeurs de référence du rapport CE Delft/INFRAS présentent plusieurs avantages :

- elles sont calculées à partir d'émissions des secteurs de la production d'énergie et de la distribution d'énergie françaises. Aussi, les valeurs du train électrique tiennent compte du mix énergétique français relatif à la consommation d'électricité dans le transport ferré ;
- elles tiennent compte des valeurs de coût marginal de la pollution atmosphérique en France.

Ces valeurs doivent en revanche être cohérentes avec les valeurs de la vie humaine et de la tonne de CO<sub>2</sub> recommandées dans le tome I du présent rapport, à savoir :

- une VOLY de 115 000 € 2010 (et non pas 46 000 € 2010) ;
- une tonne de CO<sub>2</sub> de 32 € 2010 (et non pas 146 € 2010).

En l'absence de valeurs de référence désagrégées, la part des différents polluants et des gaz à effet de serre dans la valeur totale est attribuée comme indiqué dans le tableau suivant :

**Tableau 3 : Hypothèses sur la part des groupes de substance dans la valeur de référence du rapport CE Delft/INFRAS**

	$\alpha$ : Part CO <sub>2</sub>	$\beta$ : Part PM	$\gamma$ : Part gaz (NOx, SO <sub>2</sub> , COVNM)	Dans la valeur de référence $R_v$ pour le mode de transport $m$
Route	54 %	Négligeable	46 %	100 %
Fer diesel	54 %	Négligeable	46 %	100 %
Fer élec	63 %	Négligeable	37 %	100 %
Aérien	54 %	Négligeable	46 %	100 %
Fluvial	54 %	Négligeable	46 %	100 %

Source : CGSP à partir du bilan énergétique de la France pour 2010 et des émissions de 2010 des secteurs « production électricité » et « raffinage du pétrole » du CITEPA (rapport SECTEN, 2012), cf. annexe 1 pour le détail du calcul

NB : Pour le mode ferroviaire électrique, il est considéré que l'énergie consommée est à 90 % d'origine nucléaire et renouvelable et n'émet pas les polluants pris en compte dans ce rapport (CO<sub>2</sub>, PM, NOx, SO<sub>2</sub> et COVNM). Les émissions correspondent donc aux 10 % restants (centrales thermiques au charbon et au gaz).

Ainsi, la valeur tutélaire des émissions amont pour le type de véhicule  $v$ , est calculée comme suit à partir de la valeur de référence  $R_v$  recommandée dans le rapport CE Delft/INFRAS :

$$\text{Valeur tutélaire}_v = 0,22 \cdot \alpha \cdot R_v + 2,5 \cdot 0,5 \cdot \beta \cdot R_v + (1 - 0,5) \beta R_v + 2,5 \cdot 0,45 \cdot \gamma R_v + (1 - 0,45) \cdot \gamma R_v$$

Les coefficients correcteurs 0,22 et 2,5 sont respectivement ceux relatifs à la valeur de la tonne de CO<sub>2</sub><sup>1</sup> et de la valeur de la vie humaine<sup>2</sup>. Le coefficient 0,5 correspond à la part mortalité dans la part PM de la valeur de référence. Le coefficient 0,45 correspond

(1)  $32/146 = 0,22$ .

(2)  $115\ 000/46\ 000 = 2,5$ .



à la part mortalité dans la part « gaz » (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et COVNM) de la valeur de référence<sup>1</sup>.

## 4 Recommandations

### Recommandation 1

Prendre en compte la valeur des effets amont-aval dans les analyses socio-économiques via l'utilisation des valeurs tutélaires des tableaux ci-dessous déduites des effets éventuellement internalisés par une taxe ou toutes autres mesures internalisantes.

**Tableau 4 : Valeurs tutélaires recommandées pour les effets amont et aval à la circulation**

€2010/100 véh.km	Valeurs tutélaires des émissions atmosphériques des procédés amont
<b>Transport routier</b>	
VP	0,90
Bus	2,83
Deux roues	0,42
Poids lourds	2,96
VUL	1,14
<b>Transport ferroviaire</b>	
Train Pass. Elec	25,64
Train Pass. Diesel	136,35
Train Fret Elec.	30,50
Train Fret Diesel	143,51
<b>Transport aérien</b>	
Avion	58,38
<b>Transport fluvial</b>	
Fluvial	96,61

Source : CGSP, cf. annexe 2 pour le détail du calcul

Il est à noter que les valeurs recommandées pour les émissions atmosphériques des procédés amonts ne tiennent pas compte des effets éventuellement internalisés par une taxe ou des quotas payés par les industriels et qu'il convient bien sûr de les déduire des chiffres précédents. De fait, les raffineries et les centrales thermiques de production d'électricité sont soumises au marché de quotas européens si bien que le coût des émissions du CO<sub>2</sub> émis entre déjà dans le coût généralisé du transport.

(1) On suppose ici que 90 % de la valeur de référence correspond à des coûts sanitaires, dont 50 % correspondent aux coûts de mortalité.

### **Recommandation 2**

Faire évoluer les valeurs des effets amont-aval comme le PIB par tête.

### **Recommandation 3**

Poursuivre les recherches afin de pouvoir disposer de valeurs pour les effets amont et aval plus adaptées, plus complètes et plus précises.

## **5 Bibliographie**

CE Delft/INFRAS (2008) "Handbook on estimation of external costs in the transport sector", 336p.

CE Delft/INFRAS (2011), "External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008", 163p.

CGDD (2011) Bilan énergétique de la France pour 2010, 74p.

CITEPA (2012), « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France Séries sectorielles et analyse étendues », Format Secten, 336p.

HEATCO (2006) "Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Coût marginal des émissions par unité d'énergie produite

#### Production brute d'électricité française en 2010

(TWh)	Production
hydrolique	67,80
éolien	9,40
photovoltaïque	0,57
nucléaire	428,50
centrales thermiques	62,60
Total	568,87

Source : CGDD (2011) « Bilan énergétique de la France pour 2010 », 74p.

#### Émissions françaises de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques en 2010

(g/kWh)	Electricité	Raffinerie
SO <sub>2</sub>	59,1	58,7
NOx	49,3	19,6
CO <sub>2</sub>	28 900,0	14 800,0
COVNM	0,3	11,8

Source : CITEPA (2012) « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France Séries sectorielles et analyse étendues », Format Secten, 336p.

#### Facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> et de polluants atmosphériques

(g/kWh)	Electricité	Raffinerie
SO <sub>2</sub>	0,104	0,103
NOx	0,087	0,034
CO <sub>2</sub>	50,802	26,016
COVNM	0,001	0,021

Source : Calcul CGSP (Emission 2010/production brute d'électricité en 2010)

#### Coût marginal des émissions

(€2010/g)	Coût marginal
SO <sub>2</sub>	0,004911
NOx	0,005254
CO <sub>2</sub>	0,000032
COVNM	0,000914

Sources :

- CO<sub>2</sub>: cf. rapport sur les gaz à effet de serre
- Polluants atmosphériques : HEATCO (2006) "Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

### Coût marginal des émissions par unité d'énergie produite

(€2010/kWh)	Unités de production d'électricité	Raffinerie	Unité de production d'électricité : Part du polluant dans le coût total	Raffinerie : Part du polluant dans le coût total
SO <sub>2</sub>	0,00051	0,00051	20 %	33 %
NOx	0,00046	0,00018	18 %	12 %
CO <sub>2</sub>	0,00163	0,00083	63 %	54 %
COVNM	0,00000	0,00002	0 %	1 %
Coût des polluants atm. (SO <sub>2</sub> + NOx + COVNM)	0,00097	0,00071	37 %	46 %
Coût total	0,00259	0,00154	100 %	100 %

Source : CGSP

## Annexe 2 : Procédure de calcul des valeurs tutélaires « Procédés amont et aval »

	Coût par pass.km	Coût par véh.km	Part CO <sub>2</sub> dans le coût	Coef CO <sub>2</sub> dans le coût	Part PM dans le coût	Coef PM	Part gaz dans le coût	Coef gaz	Coût adapté par veh.km	Valeur tutélaire
<i>Unité</i>	<i>€2008/ 1 000 pass.km</i>	<i>€2008/ 10 0veh.km</i>	<i>%</i>		<i>%</i>		<i>%</i>		<i>€2008/ 1 000 veh.km</i>	<i>€2010/ 100 veh.km</i>
Voiture	5,7	0,99	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	0,88	0,90
Bus	3,0	3,13	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	2,78	2,83
Deux roues motorisées	4,2	0,46	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	0,41	0,42
VUL	15,8	1,26	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	1,12	1,14
PL	3,3	3,27	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	2,91	2,96
Train passager diesel	6,4	150,66	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	133,92	136,35
Train passager elec	1,3	33,23	63 %	/4,56	0 %	*2,5	37 %	*1	25,19	25,64
Train fret diesel	5,0	158,57	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	140,95	143,51
Train fret elec	1,0	39,53	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	29,96	30,50
Avion passager	8,4	64,51	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	57,34	58,38
Fluvial	1,2	106,75	54 %	/4,56	0 %	*2,5	46 %	*1	94,89	96,61

Source : CGSP, à partir de la formule de la page 9 et d'un indice d'inflation entre 2008 et 2010 de 101,81 (2008=base100)