



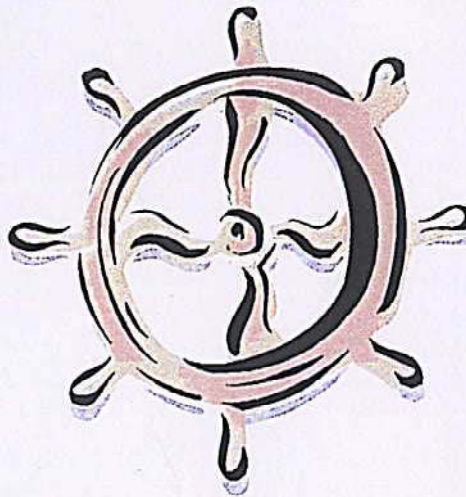
---

**Etude sur les pollutions de l'air  
par les moteurs des bateaux  
de la navigation intérieure**

---

**Rapport final**

**Septembre 2000**



Sébastien BEGUIER  
Marc DURIF  
Jean-Pierre FONTELLE  
Bénédicte OUDART

## Sommaire

Liste des tableaux.....	4
Liste des figures.....	5
Résumé.....	6
<b>1 Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Méthodologies utilisées au CITEPA pour déterminer les émissions par mode de transport.....</b>	<b>8</b>
2.1 Transport routier (marchandises et voyageurs).....	8
2.2 Transport ferroviaire (marchandises et voyageurs).....	9
2.3 Trafic fluvial.....	10
2.3.1 Méthode « simple ».....	10
2.3.1.1 Activité ou trafic.....	10
2.3.1.2 Facteurs d'émission.....	11
2.3.1.3 Les émissions 1997.....	11
2.3.2 Discussion sur la méthode.....	12
2.3.3 Méthode "détaillée".....	12
2.3.3.1 Transport de marchandises.....	12
2.3.3.1.1 Calcul des émissions des NO <sub>x</sub> , CO, COVNM pour l'année 1997.....	13
2.3.3.1.2 Calcul des émissions de SO <sub>2</sub> et CO <sub>2</sub> pour l'année 1997.....	15
2.3.3.2 Transport de voyageurs.....	15
2.3.3.3 Bateaux de chantier.....	15
2.3.3.4 Résultats.....	16
2.3.4 Comparaison des méthodes dites « simple » et « détaillée ».....	19
<b>3 Comparaison des types de transport à l'échelle nationale.....</b>	<b>21</b>
3.1 Part des émissions du transport « diesel » sur les émissions métropolitaines.....	21
3.2 Comparaison des différents moyens de transports.....	21
3.2.1 Trafic fluvial.....	22
3.2.2 Trafic routier.....	24
3.2.3 Trafic ferroviaire.....	24
3.2.4 Comparatif.....	24
<b>4 Emissions au niveau régional, exemple du PRQA 1994, Alsace et Nord Pas-de-Calais.....</b>	<b>29</b>
4.1 Cas de l'Alsace.....	29
4.2 Cas du Nord-Pas-de-Calais.....	30
<b>5 Workshop du 29 avril 2000 de la CCNR.....</b>	<b>32</b>
5.1 Evolution réglementaire.....	32
5.1.1 Proposition réglementaire de la CCNR.....	32
5.2 Etat du parc.....	33
5.3 Mesure.....	33
5.4 Réductions des émissions des moteurs existants.....	34
5.4.1 Systèmes internes de réduction des NO <sub>x</sub> .....	34
5.4.2 Système externe de réduction des NO <sub>x</sub> .....	34
5.4.3 Systèmes de réduction des particules.....	34
5.5 Conclusion du Workshop.....	35
<b>6 Investigations préliminaires à une campagne de mesures.....</b>	<b>36</b>
6.1 Structure du parc actuel de bateaux de marchandises.....	36
6.1.1 Les automoteurs.....	36
6.1.2 Les pousseurs et remorqueurs.....	39
6.1.3 Echantillon retenu.....	41

6.2	Substances et sources à étudier .....	41
6.3	Considérations techniques de faisabilité.....	42
6.3.1	Prélèvement de l'échantillon dans les fumées d'échappement du moteur.....	42
6.3.2	Méthodes analytiques .....	42
6.3.3	Acquisition de données.....	42
6.3.4	Utilités .....	42
6.4	Projet de protocole expérimental.....	43
6.4.1	Schéma général .....	43
6.4.2	Planning d'expérimentation.....	43
6.4.3	Données finales .....	45
6.5	Estimation du coût d'une campagne de mesures .....	45
7	Conclusion .....	47
	ANNEXE 1.....	49
	ANNEXE 2.....	52
	ANNEXE 3.....	55

## Liste des tableaux

- Tableau 1 : Emissions des différents modes de transport en 1997
- Tableau 2 : Emissions des véhicules diesel en 1997
- Tableau 3 : Emissions des locomotives diesel pour l'année 1997
- Tableau 4 : Consommation de fuel 1997
- Tableau 5 : Facteurs d'émissions NO<sub>x</sub>, COVNM, CO pour 1997
- Tableau 6 : Facteurs d'émissions SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> pour 1997
- Tableau 7 : Emissions du transport fluvial
- Tableau 8 : Hypothèses sur le fonctionnement
- Tableau 9 : Coefficient intégrant l'âge du moteur au calcul des émissions
- Tableau 10a : Emissions du transport marchandises 1997 - selon méthode 1
- Tableau 10b : Emissions du transport marchandises 1997 - selon méthode 1
- Tableau 10c : Emissions du transport marchandises 1997 - selon méthode 2
- Tableau 10d : Emissions du transport marchandises 1997
- Tableau 11 : Emissions du transport voyageurs et des bateaux de chantier 1997
- Tableau 12 : Emissions du trafic fluvial 1997 « méthode détaillée »
- Tableau 13 : Comparaison des émissions du trafic fluvial marchandises 1997
- Tableau 14 : Emissions du transport fluvial 1997
- Tableau 15 : Emissions des transports « diesel » en 1997/ Comparaison avec le total métropole
- Tableau 16 : Emissions des transports « diesel » en 1997/ Comparaison avec le total transport diesel
- Tableau 17a : Transports de marchandises (régional, interrégional, international) en 1997
- Tableau 17b : Transports de marchandises (régional, interrégional, international) en 1997
- Tableau 18 : Transports de voyageurs en 1997
- Tableau 19 : Trafic voyageurs et marchandises du transport routier en 1997 - SES-CCTN 1998
- Tableau 20 : Trafic voyageurs et marchandises du transport ferroviaire en 1997
- Tableau 21 : Emissions par nature de trafic en 1997
- Tableau 22 : Emissions en Alsace des transports pour 1994
- Tableau 23 : Détail des émissions en Alsace des transports pour 1994
- Tableau 24 : Emissions du Nord-Pas-de-Calais pour l'année 1994
- Tableau 25 : Détail des émissions du Nord-Pas-de-Calais pour l'année 1994
- Tableau 26 : Proposition réglementaire de la CCNR - Phase I
- Tableau 27 : Proposition réglementaire de la CCNR - Phase II
- Tableau 28 : Echantillon proposé pour une campagne de mesures

## Liste des figures

Figure 1 : Contribution respective des différents trafics aux émissions et aux consommations

Figure 2 : Contribution respective des différents trafics aux émissions

Figure 3a : Transport de voyageurs en France en 1997

Figure 3b : Transport de voyageurs en France en 1997

Figure 4a : Transport de marchandises en France en 1997

Figure 4b : Transport de marchandises en France en 1997

Figure 5a : Distribution des puissances des automoteurs à 1 moteur

Figure 5b : Distribution des puissances des automoteurs à 2 moteurs

Figure 5c : Distribution des puissances des automoteurs

Figure 5d : puissance moyenne embarquée et port en lourd des automoteurs

Figure 6a : Distribution des puissances des pousseurs à 1 moteur

Figure 6b : Distribution des puissances des pousseurs à 2 moteurs

Figure 6c : Distribution des puissances des pousseurs

Figure 6d : Distribution des puissances des remorqueurs

## Résumé

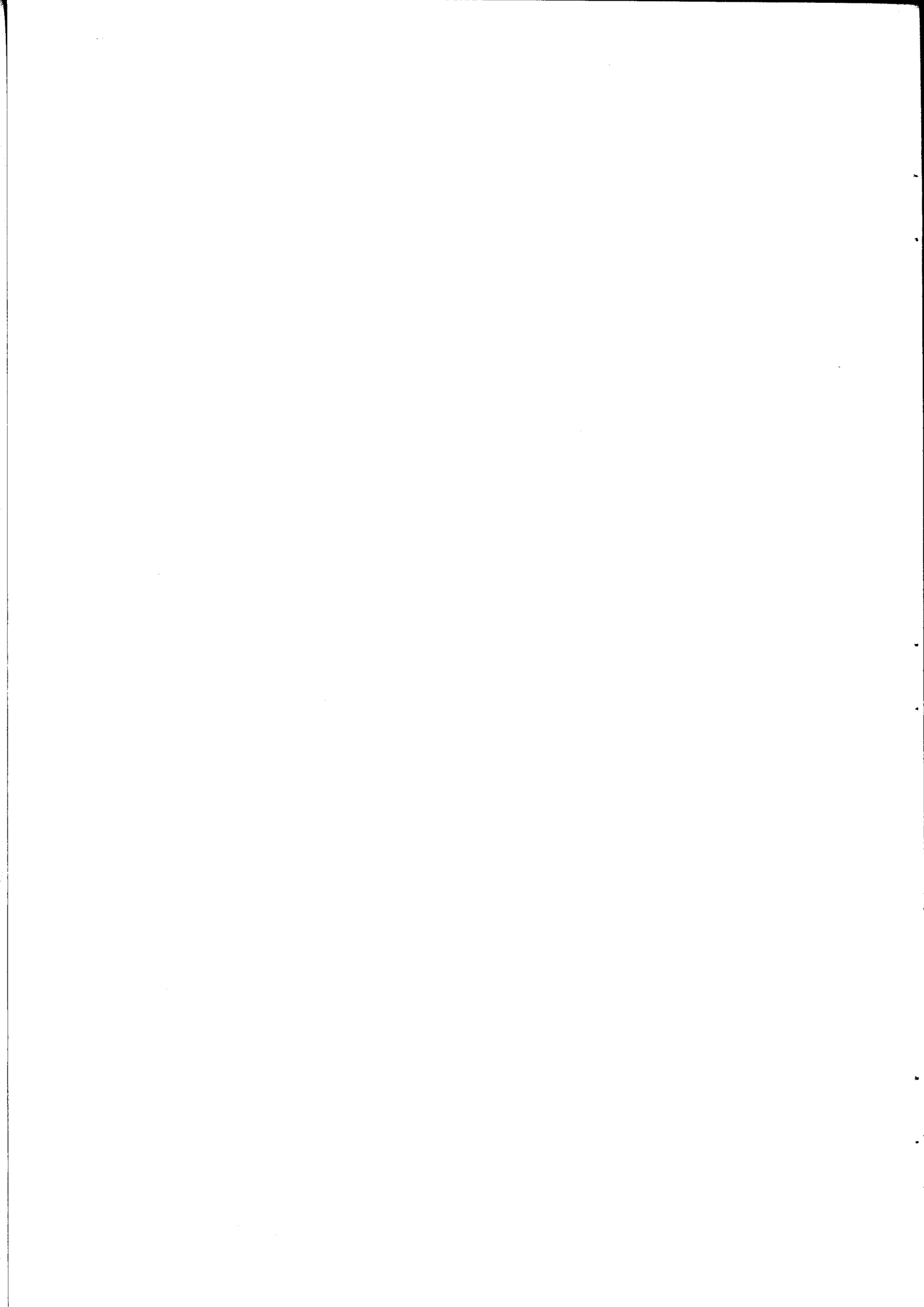
A ce jour aucune étude précise n'a été réalisée sur les émissions du transport fluvial du fait de la faible contribution supposée de ce secteur aux émissions nationales. Le transport fluvial possède un avantage en terme d'émission par rapport au transport routier dû à l'efficacité énergétique de ce mode de transport. En effet, le ratio tonne transportée/consommation énergétique est plus important pour le fluvial.

Depuis plusieurs années, l'attention s'est portée sur le transport routier qui représente la grande majorité des émissions dues aux transports. Celle-ci a notamment eu pour conséquence la mise en place de réglementations successives (Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV), ramenant ainsi les niveaux d'émissions, exprimés en g/kWh, à des niveaux bien inférieurs à ceux supposés du transport fluvial (Annexe 2).

Le but de cette étude est de réaliser un état de l'art des connaissances sur les émissions polluantes des moteurs des bateaux de navigation intérieure. Cette étude s'est déroulée en deux phases comprenant d'abord une étude comparative des émissions des moteurs diesel selon différents modes de transports routier, fluvial et ferroviaire; puis une étude préliminaire à une campagne de mesures des émissions des bateaux fluviaux.

Les résultats de cette étude confirment la faible contribution des émissions du transport fluvial en France par rapport aux émissions du transport routier. Rapporté à la tonne-kilomètre transportée le transport fluvial émet moins de polluants que le transport routier sauf pour le SO<sub>2</sub> mais trois à quatre fois plus que le transport ferroviaire. Au niveau local la contribution des émissions du transport fluvial peut dans certaines zones être plus significative mais reste minoritaire par rapport au routier.

Cependant les données qui permettent de déterminer les émissions des bateaux de navigation intérieure sont très parcellaires et pourraient être affinées par une meilleure connaissance de la flotte et des facteurs d'émissions. Seule une campagne de mesures sur un échantillon représentatif du parc national permettrait d'accéder à une meilleure connaissance des émissions des bateaux de navigation intérieure.



## 1 Introduction

Cette étude porte sur les émissions dans l'air des transports routier, fluvial et ferroviaire. En 1997, les émissions des différents modes de transport, sans distinction sur la source énergétique utilisée, étaient les suivantes :

Tableau 1 : Emissions des différents modes de transport en 1997  
source Secten 08/99 - CITEPA

Métropole	Toutes sources kt	Routier		Fluvial**		Ferroviaire	
		Kt	% *	kt	% *	kt	% *
SO <sub>2</sub>	764	48	6	0.2	0.03	0.25	0.03
NO <sub>x</sub>	1 645	840	51	2.2	0.1	9.8	0.6
COVNM	2 410	810	34	0.25	0.008	1.1	0.05
CO	8 246	3 996	48	0.58	0.007	2.6	0.03
CO <sub>2</sub> brut***	472 000	125 000	26.5	167	0.035	780	0.17
Pb	1.3	0.92	71	-	-	-	-
Cu	0.09	-	-	-	-	0.05	60

\* part sur les émissions totales  
- : négligeable

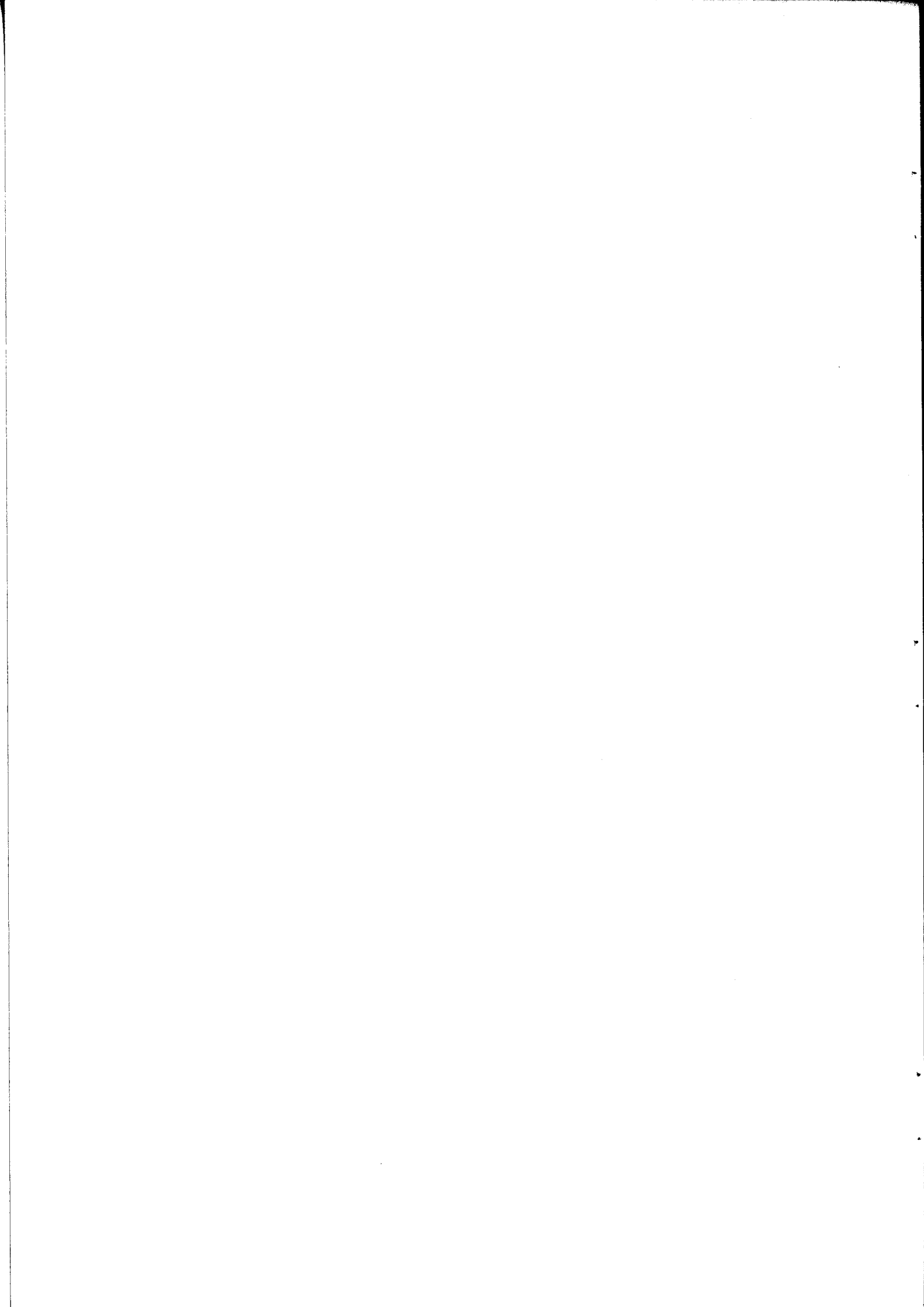
\*\* estimé selon la méthode décrite au 1.3

\*\*\* brut : puits de CO<sub>2</sub> exclus

On constate la contribution importante du transport routier et les très faibles contributions des transports fluvial et ferroviaire par rapport aux émissions totales en France en 1997. Pour certains polluants comme les métaux lourds, il existe des particularités selon le mode de transport. On note en effet les parts prépondérantes des émissions de plomb et de cuivre respectivement pour le transport routier et le transport ferroviaire. Pour le plomb, la part du routier tombe à 0 % en l'an 2000 consécutivement au retrait de l'essence plombée.

On notera que les émissions « délocalisées » telles que la production d'électricité (notamment pour le secteur ferroviaire) ne sont pas incluses car elles sont déjà comptabilisées dans les installations correspondantes.

Dans toute la suite de l'étude on ne s'intéresse qu'aux transports « diesel » c'est-à-dire dont l'équipement de propulsion est un moteur diesel. Les polluants comptabilisés sont les SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, CO et CO<sub>2</sub>.



## 2 Méthodologies utilisées au CITEPA pour déterminer les émissions par mode de transport

La méthodologie utilisée actuellement par le CITEPA repose sur une approche orientée sources en accord avec les spécifications d'inventaires définies dans les conventions internationales UNECE<sup>1</sup> et UNFCCC<sup>2</sup>. Cela signifie que l'on attribue à un matériel de transport uniquement les émissions qui surviennent lors de son fonctionnement au lieu où il se trouve. Dans ce cas précis il s'agit des émissions liées au moteur.

### 2.1 Transport routier (marchandises et voyageurs)

Les émissions du transport routier sont calculées au moyen du modèle européen COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport). Ce modèle requiert des données relatives, d'une part au parc de véhicules et, d'autre part, aux conditions d'utilisation. Le principe consiste dans un premier temps à calculer les consommations d'énergie de l'ensemble des véhicules. Ces consommations sont comparées aux consommations officielles établies par le Ministère des Transports. Les hypothèses initiales sont ajustées par itération. Dans un deuxième temps les émissions sont calculées à partir du jeu d'hypothèses validées et des fonctions d'émissions du modèle ou de fonctions spécifiques plus appropriées.

Le parc de véhicules distingue plus d'une trentaine de types en séparant VP (véhicules particuliers) - VUL (véhicules utilitaires légers) - PL (poids lourds) - 2 roues, la cylindrée ou le PTAC, l'âge, la motorisation. L'absence de données statistiques formatées selon cette structure a été palliée par le modèle OPALE (Ordonnancement du Parc en Liaison avec les Emissions) développé par le CITEPA. Ce modèle utilise diverses données statistiques produites par le Ministère des Transports, le CCFA, l'Argus et le CSNM.

Les conditions d'utilisation prennent en compte notamment les longueurs de trajet, les types de voie, la pente, les conditions climatiques. On notera que les émissions d'évaporation lors du remplissage du réservoir sont incluses.

Le modèle COPERT est amélioré progressivement pour tenir compte des connaissances nouvelles sur les émissions (plusieurs améliorations méthodologiques et des fonctions de calcul) et des nouveaux types de véhicules.

Les émissions totales par catégories de véhicules diesel pour l'année 1997 sont les suivantes :

<sup>1</sup> UNECE : Commission Economique Européenne des Nations Unies

<sup>2</sup> UNFCCC : Convention Cadre sur le Changement du Climat des Nations Unies

Tableau 2 : Emissions des véhicules diesel en 1997 - source Secten 08/99 - CITEPA

	SO <sub>2</sub> kt	NOx kt	COVNM kt	CO kt	CO <sub>2</sub> Mt
VP diesel non catalysés	9.1	90.0	22.9	91.8	28.6
VP diesel catalysés	0.5	2.5	0.4	1.1	1.4
sous total VP	9.6	92.5	23.3	92.9	30
VU diesel non catalysés	5.5	65.0	20.8	83.5	17.3
VU diesel catalysés	-	-	-	-	-
sous total VU	5.5	65.0	20.8	83.5	17.3
Poids lourd diesel >3.5 t	7.8	222.2	27.4	52.5	24.6
Cars et bus diesel	0.8	33	3.6	10.1	2.6
TOTAL	23.7	412.7	75.1	239	74.5
Part sur le total national (%)	3.1	25	3.1	2.9	15.8

## 2.2 Transport ferroviaire (marchandises et voyageurs)

Ne sont intéressants ici que les modes de tractions fonctionnant au diesel, à savoir les locomotives, les turbotrans, les autorails et les locotracteurs. La traction électrique est supposée ne pas émettre de polluants liés à l'utilisation de l'énergie car les émissions liées à la production d'électricité sont comptabilisées au lieu de production.

Chacune de ces machines a un domaine d'utilisation spécifique.

- Les locomotives sont utilisées pour la traction de voyageurs et des marchandises.
- Les turbotrans sont utilisés uniquement sur la ligne St Lazare-Caen-Cherbourg.
- Les autorails sont utilisés dans le transport régional.
- Les locotracteurs sont utilisés pour la manœuvre des engins de transports (gare de triage,...)

Les consommations de gazole sont données par le Comité Professionnel Du Pétrole (CPDP) et représentent les consommations de combustibles tous usages du matériel de traction. Des données sur les consommations, transmises par la SNCF, nous ont permis de répartir ces consommations entre le transport de marchandises et le transport de voyageurs.

Pour le mode de traction diesel, en terme de consommation énergétique, le ratio transport de voyageurs/ transport de marchandises est de 4.

Les émissions totales pour l'année 1997 sont les suivantes :

Tableau 3 : Emissions des locomotives diesel pour l'année 1997 - CITEPA 08/99

	SO <sub>2</sub> t	NOx t	COVNM t	CO t	CO <sub>2</sub> kt
Locomotives diesel voyageurs	189	7 425	874	2 008	591
Locomotives diesel marchandises	45	1 778	209	481	141
Locotracteurs diesel	14	569	67	154	45
TOTAL	249	9 773	1 150	2 643	777

Part sur le total national (%)	0.03	0.6	0.05	0.03	0.17
--------------------------------	------	-----	------	------	------

## 2.3 Trafic fluvial

### 2.3.1 Méthode « simple »

La méthode décrite est qualifiée de méthode « simple ». Les émissions calculées sont celles du transport de marchandises.

Les émissions du trafic fluvial sont déterminées par la formule suivante :

$$E_i = A * EF_i$$

- E<sub>i</sub> : étant l'émission de la substance i pendant la durée de l'activité A
- A : étant l'activité qui caractérise le trafic lui-même pendant la durée considérée
- EF<sub>i</sub> : étant le facteur d'émission rapporté à l'activité A considérée pour le polluant i.

#### 2.3.1.1 Activité ou trafic

Les engins mis en œuvre sont supposés utiliser comme carburant uniquement du fuel.

La grandeur prise en compte pour caractériser l'activité est la consommation de fuel des transports fluviaux fournie par le Comité Professionnel Du Pétrole (CPDP). Cette consommation ne prend en compte que le transport de marchandises en France, tous pavillons confondus. Elle est indexée sur le trafic en tonnes.kilomètres.

Pour l'année 97 les consommations sont les suivantes :

Tableau 4 : Consommation de fuel 1997

kt	GJ
53	2 226 000

CPDP- éléments statistiques - 1997

sachant que le PCI du fuel est de 42 GJ/Mg.

### 2.3.1.2 Facteurs d'émission

Les polluants considérés sont les suivants :

SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, COVNM.

Les facteurs d'émission sont rapportés à la consommation de fuel.

Pour les trois derniers polluants on utilise les données du « Atmospheric Emission Inventory Guidebook » EMEP/CORINAIR 1996. Les facteurs d'émission sont ceux des moteurs diesel pour la catégorie « autres machines et sources mobiles ».

Tableau 5 : Facteurs d'émissions NO<sub>x</sub>, COVNM, CO pour 1997

	g/kg	g/GJ
NO <sub>x</sub>	42.5	1011
COVNM	4.72	112
CO	10.9	259

Atmospheric Emission Inventory Guidebook - 1996

Les facteurs d'émission du SO<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> dépendent des caractéristiques du fuel. Ils sont adaptés en fonction des éventuelles variations de ces caractéristiques (notamment pour la teneur en soufre récemment).

Pour l'année 1997 les facteurs sont les suivants (source CITEPA) :

Tableau 6 : Facteurs d'émissions SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> pour 1997

	g/kg	g/GJ
SO <sub>2</sub>	4.0	95
CO <sub>2</sub>	3150	75 000

CITEPA - 08/99

### 2.3.1.3 Les émissions 1997

Connaissant l'activité et les facteurs d'émission pour l'année 1997, on calcule les émissions totales du trafic fluvial :

Tableau 7 : Emissions du transport fluvial

	Emissions 1997 en t	Part sur le total national %
SO <sub>2</sub>	212	0.03
CO <sub>2</sub>	166 950	0.035
NO <sub>x</sub>	2 253	0.1
COVNM	249	0.008
CO	579	0.007

CITEPA

### 2.3.2 Discussion sur la méthode

Pour le trafic fluvial, la méthode utilisée est très simple et nécessite un niveau d'information agrégé. Ce choix s'explique par la faible part représentée par le transport fluvial des émissions nationales. Elle ne prend en compte que la consommation globale du secteur à laquelle est associé un facteur d'émission défini par EMEP/CORINAIR pour les moteurs diesel.

Les améliorations à apporter se situent tout d'abord sur le recensement du parc de bateaux utilisés chaque année et les conditions d'utilisation. Cela implique l'accès aux données suivantes :

- type de bateau
- âge du moteur
- durée d'utilisation
- puissance nominale
- charge du moteur pendant l'utilisation

A partir de ce type de données (parc et conditions d'utilisation) on peut proposer la méthode suivante que l'on appellera méthode « détaillée ».

### 2.3.3 Méthode "détaillée"

Une tentative de calcul plus fin s'appuyant sur un recensement précis du parc de bateaux a été établie en suivant la méthode proposée par EMEP/CORINAIR dans «Atmospheric Emissions Inventory Guidebook». (méthodologie écrite en 1996)

La méthode EMEP/CORINAIR est principalement basée sur des données américaines de l'EPA datant de 1991 donc descriptives d'une situation prévalant dans les années 80.

Selon la nature du trafic, transport de marchandises, transport de voyageurs et bateaux de chantier, les données d'entrée sont différentes. Trois approches sont donc nécessaires même si la méthodologie est très proche.

#### 2.3.3.1 Transport de marchandises

Les données d'entrée sont :

- le parc de bateaux français fourni par VNF au 31/12/98 qui comprend (voir structure du parc au chapitre au 6.1) :
  - l'immatriculation de chaque bateau
  - le port en lourd
  - la puissance en CV
  - le type de matériel (automoteur, pousseur,...)

La structure du parc en 1998 a été utilisée pour l'année 1997, celle-ci subissant peu de variations d'une année sur l'autre.

- une consommation moyenne calculée à partir de données des professionnels : soit 0.25 l/kWh (environ 200 g/kWh).

Les caractéristiques retenues par le CITEPA sur l'utilisation des bateaux sont les suivantes :

Tableau 8 : Hypothèses sur le fonctionnement

Type de matériel	Durée annuelle d'utilisation Tb*	Régime d'utilisation		
		Type	% charge	% temps d'utilisation
Automoteurs (cat VNF 1+4+8)	Ta	R1 : attente-ralenti	25	25
		R2 : marche lente	50	35
Pousseurs/ Remorqueurs (cat VNF 5+6)	Tp	R3 : marche normale	70	30
		R4 : plein régime	90	10

\*évaluée par la méthode décrite ci-dessous

La consommation totale annuelle de fuel pour l'année 1997 est disponible dans les données du CPDP. Cette consommation correspond au trafic marchandises, elle est indexée sur le trafic t.km en charge en France, tous pavillons confondus. Cette consommation est donc un majorant de la consommation du parc de bateaux français.

Afin de boucler au point de vue énergétique, les caractéristiques retenues pour l'utilisation des bateaux ont été affinées. Les résultats sont présentés au paragraphe 3.3.3.4.

⇒ Critique sur la méthode : afin d'assurer le bouclage énergétique nous utilisons la consommation de fuel fournie par le CPDP. Cette donnée ne correspond pas spécifiquement à la consommation annuelle du parc de bateaux français, cette valeur pourrait être affinée. Les régimes d'utilisation ont été estimés par le CITEPA.

Ces paramètres sont donc perfectibles à partir de données de la profession. On pourrait notamment prendre en considération un taux d'activité différent selon la catégorie du bateau et sa puissance.

### 2.3.3.1.1 Calcul des émissions des NOx, CO, COVNM pour l'année 1997

#### a) Données sur les facteurs d'émission

L'« Atmospheric Emissions Inventory Guidebook » fournit un tableau qui donne pour les moteurs diesel les facteurs d'émission en g/kWh selon une gamme de puissance nominale.

Les équations utilisées sont les suivantes :

- NOx : 14.36 g/kWh quelle que soit la puissance nominale
- CO : - pour Puissance < 130 kW :  $FE = 26 - 14 \cdot P^{0.1}$  en g/kWh  
- pour Puissance > 130 kW : FE = 3.0 g/kWh
- COVNM : - pour Puissance < 130 kW :  $FE = 12 - 6.5 \cdot P^{0.1}$  en g/kWh  
- pour Puissance > 130 kW : FE = 1.3 g/kWh

avec P : puissance nominale du moteur.

**b) Calcul des émissions**

On définit les indices et abréviations suivants :

b = bateau

r = régime (R1, R2, R3 et R4)

i = polluant considéré

HP = puissance nominale

tr = % temps d'utilisation au régime r

Tb = durée d'utilisation annuelle du bateau b

Le facteur d'émission pour le bateau b pour le polluant i et pour le régime de puissance r est défini par :

$$FE_{i,b,r} = HP_b * r * FE_{i,HP}$$

$FE_{i,HP}$  est calculé avec les équations présentées plus haut.

(exemple : pour le CO pour un moteur de puissance 500 kW, le facteur d'émission est 3.0 g/kWh)

Avec les paramètres introduits, on en déduit les émissions totales du bateau b pour le polluant i :

$$E_{i,b} = T_b * \sum_1^4 tr * FE_{i,b,r}$$

Les émissions totales pour le polluant i sont donc déterminées par somme sur le parc entier :

$$E_i = \sum_1^n E_{i,b}$$

D'autres paramètres peuvent être introduits. Le vieillissement du moteur entraîne une augmentation des émissions par année, le guidebook (Atmospheric Emission Inventory Guidebook - 1996) donne la table suivante :

Tableau 9 : Coefficient intégrant l'âge du moteur au calcul des émissions

Polluant	facteur correctif d'augmentation en % par année
NOx	0
CO	1.5
COVNM	1.5
SO2/CO2	1

Atmospheric Emission Inventory Guidebook - 1996

Ce terme correctif n'a pas été introduit dans les calculs faute de données suffisantes.

### 2.3.3.1.2 Calcul des émissions de SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> pour l'année 1997

La méthode est la même que pour la méthode simple. On calcule les émissions de SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> à partir de la consommation par bateau en appliquant les facteurs d'émission suivants (voir méthode simple) :

- SO<sub>2</sub> : FE = 95 g/GJ
- CO<sub>2</sub> : FE = 75 000 g/GJ

On peut également appliquer un facteur correctif de vieillissement de 1% par an.

Les émissions totales du parc sont obtenues en sommant les émissions par bateau.

### 2.3.3.2 Transport de voyageurs

La méthodologie est similaire. On dispose du parc de bateaux composé à partir des données croisées du CETMEF et de l'AFIT<sup>1</sup> (voir annexe 1). Les régimes d'utilisation sont supposés les mêmes que pour le transport de marchandises. Ne disposant pas d'information sur la consommation de fuel globale annuelle pour ce trafic, aucun bouclage énergétique n'est réalisé.

La consommation unitaire est d'environ 210 g/kWh (données de professionnels).

### 2.3.3.3 Bateaux de chantier

Le calcul des consommations et des émissions est effectué comme pour le trafic voyageurs en prenant en compte les paramètres spécifiques suivants :

- le parc de bateaux évalué par le CETMEF (voir annexe 1),
- une consommation unitaire de 0.28 l/kWh basée sur les consommations moyennes des bateaux de chantier en région parisienne.

<sup>1</sup> AFIT : association française de l'ingénierie touristique

### 2.3.3.4 Résultats

#### a) Trafic de marchandises

- Méthode 1 : calcul à partir des temps moyens d'utilisation estimés par les professionnels.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 10a : Emissions du transport marchandises 1997

Méthode de calcul	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
méthode 1	115	8.1	1.8	0.6	0.46	362

CITEPA

#### ⇒ Affinage de la méthode :

Le calcul des consommations de carburant est basé sur un trafic en charge. Hors les données des professionnels du secteur<sup>1</sup> montrent que le trafic à vide est en moyenne 2.5 fois moins consommateur de carburant soit 80 g/kWh. De plus on considère que 60% du trafic a lieu en charge maximale et 40% à vide. On en déduit de nouvelles données pour la consommation :

Consommation totale : 86 kt dont : - 68 kt en charge,  
- 18 kt à vide.

Les émissions sont en conséquence modifiées pour le SO<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> :

Tableau 10b : Emissions du transport marchandises 1997

Méthode de calcul	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
méthode 1	86	8.1	1.8	0.6	0.35	271

CITEPA

- Méthode 2 : calcul avec « bouclage énergétique » sur la consommation de fuel déclarée par le CPDP :

La consommation de fuel disponible dans le CPDP est fixée à 53 kt en 1997. Cette donnée est basée sur le trafic en charge (t.km) tous pavillons confondus. Les calculs font référence à une étude menée en 1980<sup>2</sup>. Or les statistiques<sup>3</sup> disponibles permettent d'estimer à 65% la part du trafic en charge, hors transit, des pavillons français. La consommation des pavillons français atteint ainsi 35 kt en 1997 (65% de 53 kt).

<sup>1</sup> Compagnie Rhénane de Navigation

<sup>2</sup> Informations communiquées par VNF

<sup>3</sup> Mémento de statistiques des transports (résultats 1996 extrapolés) - Ministère de l'Équipement, des Transports et du logement.

De plus le trafic des pavillons français hors transit est ventilé entre un trafic national (dit intérieur) et international (exportations et importations), ce dernier représentant 15% du trafic des pavillons français. L'approvisionnement en carburant étant moins coûteux à l'étranger (Belgique et Pays-Bas), on peut estimer que les pavillons français participant au trafic international ravitaillent en carburant à l'étranger. La consommation apparente ne représente donc que 85% de la consommation réelle. La consommation réelle des pavillons français en charge est donc estimée à 42 kt. On fait de plus l'hypothèse que les pavillons étrangers ne ravitaillent pas en France sachant que le trafic étranger représente moins de 4% du trafic national intérieur.

Afin de réaliser un bouclage énergétique on se base sur une consommation estimée en charge à 42 kt.

Les temps de fonctionnement résultant du mode d'exploitation des bateaux sont donc réévalués pour se caler sur la consommation en charge précitée (paramètres utilisés pour les calculs en annexe 1). Les résultats sont les suivants :

Tableau 10c : Emissions du transport marchandises 1997

Méthode de calcul	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
méthode 2	53.5	5.1	1.1	0.4	0.2	171

CITEPA

- Répartition des émissions par types de bateaux :

Deux grands types de bateaux sont utilisés pour le transport de marchandises, les automoteurs et les pousseurs (voir 6.1). Les émissions calculées par les deux méthodes 1 et 2 ont pour origine à 34% les automoteurs et à 66% les pousseurs. On observe la même répartition pour les consommations de carburant. Bien que les automoteurs soient beaucoup plus nombreux ; les temps de travail et la puissance des pousseurs étant bien supérieurs, la contribution des pousseurs aux émissions est la plus importante, les deux tiers environ.

- Synthèse des résultats :

Tableau 10d : Emissions du transport marchandises 1997

Méthode de calcul	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
méthode 1	86	8.1	1.8	0.6	0.35	271
méthode 2	53.5	5.1	1.1	0.4	0.2	171
Ecart ½ %	+ 61%	+59%	+64%	+50%	+61%	+61%
moyenne	70	6.6	1.45	0.5	0.27	221

CITEPA

L'écart entre les deux méthodes est important, de l'ordre de 60%. Les temps d'utilisation retenus pour la méthode 2 (« bouclage énergétique ») sont inférieurs de 40% à ceux communiqués par les professionnels.

**Afin de limiter les incertitudes, en particulier sur les hypothèses retenues, on choisit pour la méthode détaillée de prendre comme résultats la moyenne des méthode 1 et 2.**

⇒ *Critiques sur la méthode : Le choix du bouclage énergétique permet de s'appuyer sur une donnée officielle et reste l'élément de validation indispensable sous réserve d'une bonne fiabilité de la statistique énergétique. Cependant l'écart observé entre les deux méthodes entraîne une interrogation sur le chiffre annoncé par le CPDP.*

### b) Trafic voyageurs et bateaux de chantier

Tableau 11 : Emissions du transport voyageurs et des bateaux de chantier 1997

Trafic	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
Voyageurs	26	1.75	0.37	0.16	0.10	81
Chantier	40	2.4	0.5	0.2	0.16	123

CITEPA

### c) Consommations et émissions calculées par la méthode "détaillée"

Tableau 12 : Emissions du trafic fluvial 1997 « méthode détaillée »

Trafic	Consommation kt	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
Marchandises	70	6.6	1.45	0.5	0.27	221
Voyageurs	26	1.75	0.37	0.16	0.10	81
Chantier	40	2.4	0.5	0.2	0.16	123

CITEPA

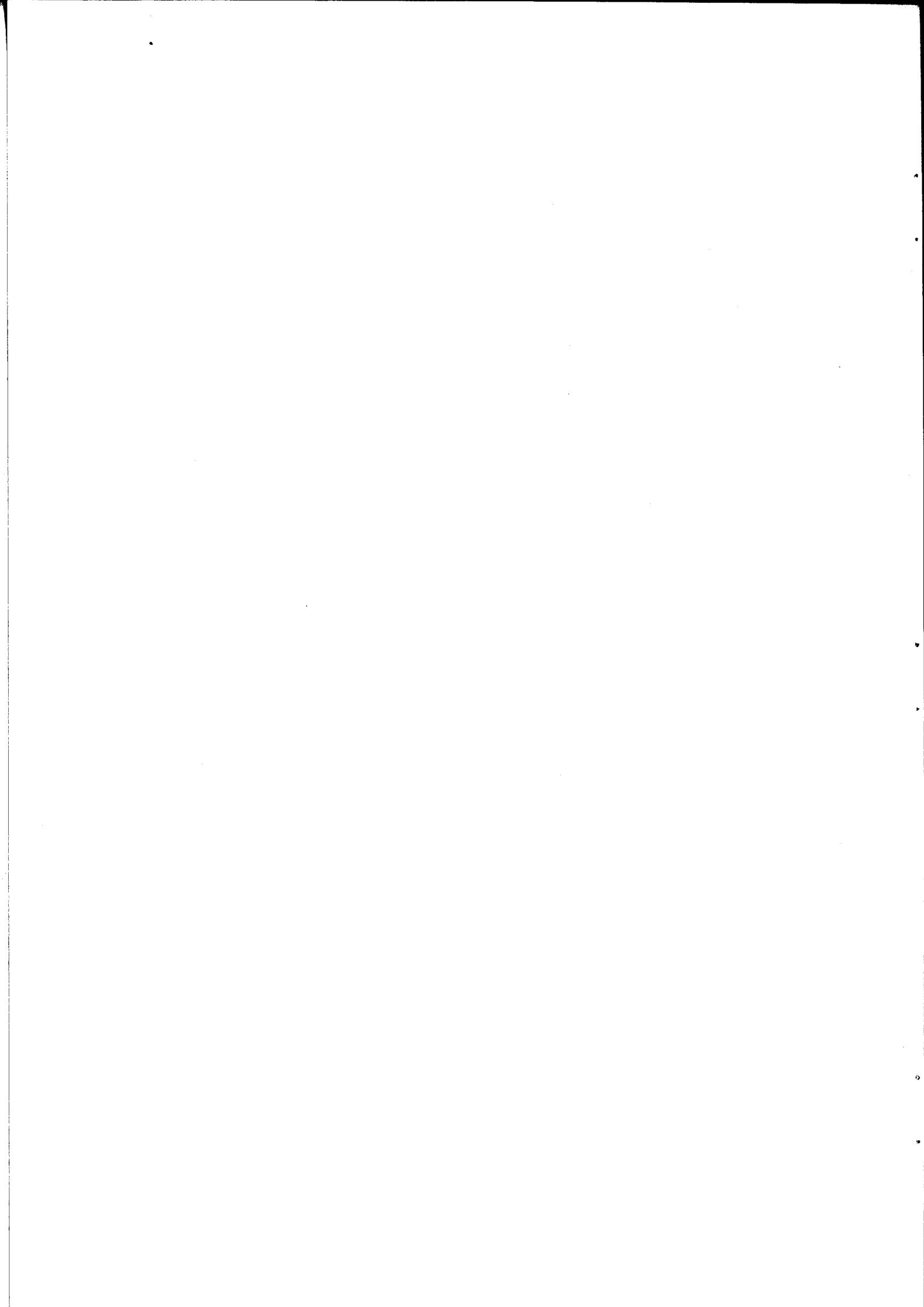
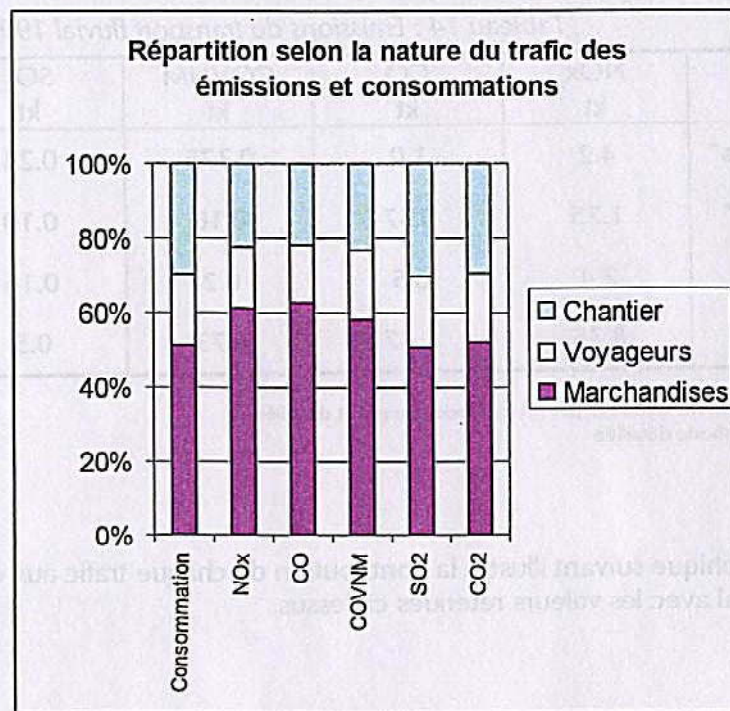


Figure 1 : Contribution respective des différents trafics aux émissions et aux consommations



Le trafic de marchandise contribue de 50 à 60% aux émissions du trafic fluvial selon les polluants considérés. La contribution des bateaux de chantier est estimée à plus de 25%, ce résultat apparaît important au regard du trafic engendré par cette activité spécifique. Le parc des bateaux de chantier, estimé selon les professionnels à 1000 unités en activité, semble surestimé. Les données utilisées pour déterminer le trafic des bateaux de chantier étant parcellaires, l'incertitude attachée aux calculs des émissions est très importante et doit, en conséquence, être prise en compte dans toute exploitation des résultats.

⇒ *Critiques sur la méthode : Il conviendrait de s'assurer de la représentativité des facteurs d'émission proposés pour NOx, CO et COVNM. Cela nécessite des campagnes de mesures (longues et coûteuses). Les durées d'utilisation et les régimes d'utilisation pourraient être affinés (meilleure connaissance des conditions opératoires).*

### 2.3.4 Comparaison des méthodes dites « simple » et « détaillée »

On peut comparer les méthodes sur le trafic de marchandises. Les écarts observés sont relativement importants mais les émissions en valeurs absolues restent faibles au regard des ensembles diesel transport/ transport toutes énergies, toutes sources.

Tableau 13 : Comparaison des émissions du trafic fluvial marchandises 1997

Méthode	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
détaillée	6.6	1.45	0.5	0.27	221
simple	2.2	0.6	0.25	0.21	167
variation d/s	+ 200 %	+ 142 %	+ 100%	+ 29 %	+ 32%

CITEPA

Dans la suite de l'étude on retiendra les émissions suivantes :

Tableau 14 : Emissions du transport fluvial 1997

Trafic	NOx kt	CO kt	COVNM kt	SO <sub>2</sub> kt	CO <sub>2</sub> kt
Marchandises*	4.2	1.0	0.375	0.24	194
Voyageurs**	1.75	0.37	0.16	0.10	81
Chantier**	2.4	0.5	0.2	0.16	123
total	8.35	1.87	0.73	0.5	398

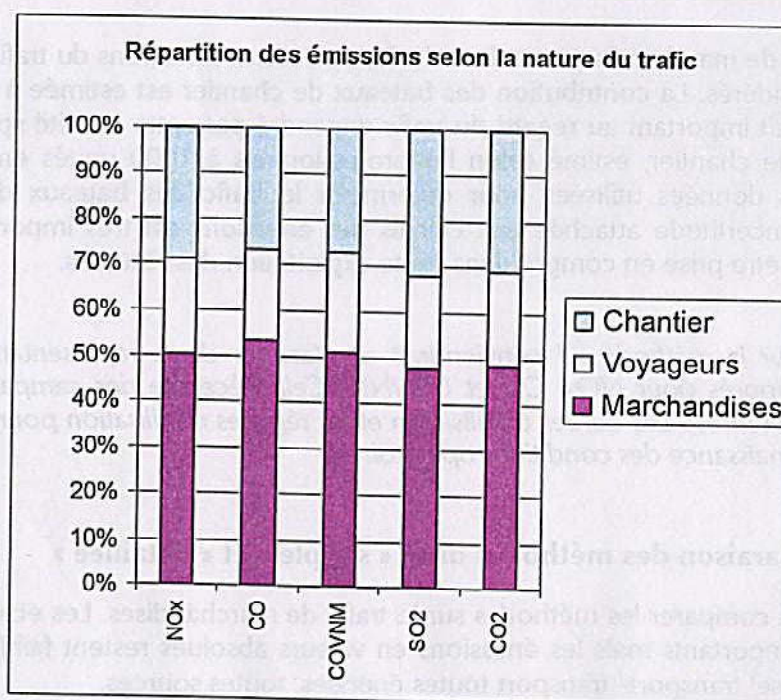
CITEPA

\* moyenne des émissions calculées par les méthodes simple et détaillée

\*\* calculé par la méthode détaillée

Le graphique suivant illustre la contribution de chaque trafic aux émissions globales du transport fluvial avec les valeurs retenues ci-dessus.

Figure 2 : Contribution respective des différents trafics aux émissions



CITEPA

⇒ Ces premiers résultats pourraient être améliorés par une connaissance plus fine des conditions opératoires pour chaque nature de trafic en France.

### 3 Comparaison des types de transport à l'échelle nationale

#### 3.1 Part des émissions du transport « diesel » sur les émissions métropolitaines

On qualifie de transport « diesel » les moyens de transport utilisant comme équipement de propulsion un moteur diesel.

Tableau 15 : Emissions des transports « diesel » en 1997/ Comparaison avec le total métropole

Métropole	Toutes sources kt	Transport routier		Transport ferroviaire		Transport fluvial	
		kt	%/métropole	kt	%/métropole	kt	%/métropole
SO <sub>2</sub>	764	24	3.14	0.25	0.03	0.5	0.07
CO <sub>2</sub>	472 000	74 500	15.8	777	0.16	398	0.09
NOx	1 645	413	25.1	9.8	0.6	8.35	0.5
COVMN	2 410	75	3.1	1.2	0.05	0.73	0.03
CO	8 246	239	2.9	2.6	0.03	1.87	0.02

CITEPA

On constate que le transport routier diesel représente une part importante des émissions, jusqu'à 25% des émissions de NOx, alors que les transports ferroviaire et fluvial sont très inférieurs à 1% du total et ce quel que soit le polluant considéré.

Sur les 5 polluants étudiés ici, les NOx constituent l'émission prépondérante pour le transport fluvial (0.5% des émissions nationales).

Le tableau suivant fait ressortir la part prépondérante du trafic routier diesel sur les émissions du transport « diesel » en France pour l'année 1997.

Tableau 16 : Emissions des transports « diesel » en 1997/ Comparaison avec le total transport diesel

	total transport diesel kt	Transport routier		Transport ferroviaire		Transport fluvial	
		kt	%/ total	kt	%/ total	kt	%/ total
SO <sub>2</sub>	24.8	24	96.8	0.25	1.0	0.5	2.2
CO <sub>2</sub>	75 700	74 500	98.4	777	1.0	398	0.5
NOx	431	413	95.8	9.8	2.3	8.35	1.9
COVMN	77	75	97.6	1.2	1.6	0.73	0.9
CO	243	239	98.3	2.6	1.1	1.87	0.7

CITEPA

La part du transport fluvial reste très faible avec moins de 2,5% quel que soit le polluant considéré.

#### 3.2 Comparaison des différents moyens de transports

Les résultats précédents ne sont pas directement exploitables pour comparer les émissions unitaires liées au transport d'une tonne de marchandises ou d'un voyageur selon différents modes. Pour comparer le niveau d'émission de chaque moyen de transport il faut introduire des paramètres supplémentaires qui sont :

- le nombre de voyageurs - kilomètre (voy.km) : ce paramètre représente le trafic voyageurs.
- le nombre de tonnes - kilomètre (ton.km) : ce paramètre représente le trafic marchandises.

A partir des émissions globales calculées et de la répartition du trafic selon les paramètres précédents on obtient les grandeurs suivantes par type de transport :

- émission/ voy.km
- émission/ t.km

**Le paramètre « distance » correspond ici à la distance réellement parcourue et non à la distance orthodromique entre 2 points.**

Les ratios exprimés en distance orthodromique devraient permettre en principe une comparaison directe entre les moyens de transport et leur niveau d'émission par polluant et par nature de trafic.

### 3.2.1 Trafic fluvial

Nous disposons par l'intermédiaire des statistiques des transports de marchandises des statistiques VNF du trafic sur les voies d'eau.

Tableau 17a : Transports de marchandises (régional, interrégional, international) en 1997

Gt . km
5.7

VNF-1997 \* hors transit rhénan tous pavillons confondus

Le trafic des pavillons français représente 65% du trafic hors transit tous pavillons confondus, on retient donc le trafic suivant :

Tableau 17b : Transports de marchandises (régional, interrégional, international) en 1997

Gt . km
3.7

VNF-1997 \* hors transit rhénan - pavillons français

Pour le transport de voyageurs, nous n'avons pas eu accès à des statistiques sur les voyageurs.kilomètres transportés.

En 1995, le nombre total de passagers transportés peut être estimé à 8 millions (source AFIT). Le trafic des bateaux de croisière étant inférieur à 100 000 passagers et les émissions inférieures à 5 % du total des émissions du transport fluvial de voyageurs, la part du trafic croisière est éliminée des calculs.

A partir des données disponibles, les hypothèses concernant le trafic des bateaux de tourisme sont les suivantes :

Le trafic du bassin parisien est le plus important avec presque 6 millions de passagers et 25% de la flotte<sup>1</sup> (les capacités des bateaux parisiens étant en moyenne supérieures à ceux de la province).

Hypothèses pour le bassin parisien :

- flotte : 70 bateaux dont 35 stationnés à quai<sup>2</sup>, spécialisés dans la restauration et animations diverses.
- Durée moyenne du parcours : 1 heure et 0.5 heure pour l'embarquement et le débarquement, soit 1.5 heures par tour.
- Horaires de travail : 10 h/jour, soit 6 tours/jour.
- 330 j/an soit 2000 tours/an

Le nombre moyen de passagers, par bateau et par tour, est donc de 90 avec un parcours moyen de 12 km, le trafic peut être estimé à 75 Mvoy.km.

Hypothèses pour la province :

- flotte : 210 bateaux dont 105 à quai pour la restauration.
- 330 j/an et 1300 tours/an

Le nombre moyen de passagers, par bateau et par tour, est donc de 15 avec un parcours moyen de 12 km, le trafic peut être estimé à 25 Mvoy.km.

On en déduit un trafic total de 100 Mvoy.km en 1995, on conserve cette valeur pour 1997.

Tableau 18 : Transports de voyageurs en 1997

Mvoy . km
100

CITEPA

Ces chiffres sont des estimations. Le manque de statistiques entraîne des incertitudes importantes.

<sup>1</sup> AFIT : Association française de l'Ingénierie touristique

<sup>2</sup> Données de professionnels

### 3.2.2 Trafic routier

D'après la Commission des Comptes des Transports de la Nation, en 1997, la décomposition du trafic routier est la suivante :

Tableau 19 : Trafic voyageurs et marchandises du transport routier en 1997 - SES-CCTN 1998

Trafic voyageurs Gvoy . km	
Trafic VP diesel	302*
Trafic cars et bus	41.9
Trafic marchandises Gt .km	
Trafic PL**	182.8

\* valeur déterminée en redistribuant le trafic VP total suivant le nombre de véh.km

\*\*national et trafic international sur territoire français hors transit

Pour le trafic des poids lourds ce total ne tient pas compte du transit des poids lourds français et étranger. Ils représentent respectivement 0.9 et 37.3 Gt.km.

### 3.2.3 Trafic ferroviaire

Tableau 20 : Trafic voyageurs et marchandises du transport ferroviaire en 1997

Transport de voyageurs Gvoy .km	
Locomotives voyageurs diesel	4.9
Transport de marchandises Gt .km	
Locomotives marchandises diesel	7.5*

SNCF 10/98

\* cette valeur a été déterminée en distribuant le trafic SNCF marchandises total, pondéré par les kms parcourus, selon les modes électrique et diesel.

### 3.2.4 Comparatif

A partir de ces données, on peut estimer le niveau d'émission pour le transport de voyageurs en t/Gvoy.km et pour le transport de marchandises en t/Gt.km.

Le trafic lié au transport fluvial de voyageurs est particulier puisque la moitié de la flotte est considérée stationnant à quai. Afin de présenter un niveau d'émission représentatif du mouvement réel des bateaux, les émissions engendrées par les bateaux stationnés à quai et ne participant pas aux diverses rotations sont exclues.

Le tableau suivant récapitule les résultats. Pour le trafic fluvial de passagers, compte tenu des incertitudes sur les chiffres annoncés, les résultats sont à utiliser avec précaution.

Tableau 21 : Emissions par nature de trafic en 1997

1997	SO <sub>2</sub>	NOx	COVNM	CO	CO <sub>2</sub>
<b>Transport de voyageurs (t/Gvoy.km)</b>					
VP diesel	32	306	77	308	99 338
Cars et bus diesel	19	787	86	242	62 052
Locomotives diesel	41	1608	189	435	127 959
Transport fluvial	475	8300	760	1750	385 000
<b>Trafic de marchandises (t/Gt.km)</b>					
PL (>3.5 t)	43	1221	156	301	134 573
Locomotives marchandises	6.4	252	30	68	20 000
Transport fluvial	65	1135	101	270	52 430

CITEPA

Les graphiques suivants illustrent ces résultats.

Figure 3a : Transport de voyageurs en France en 1997

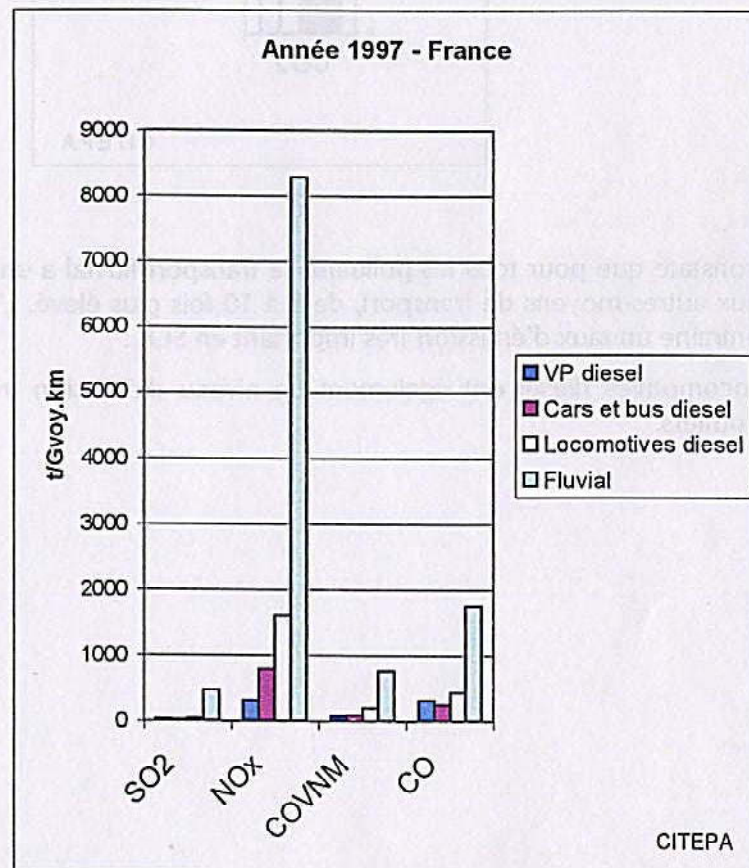
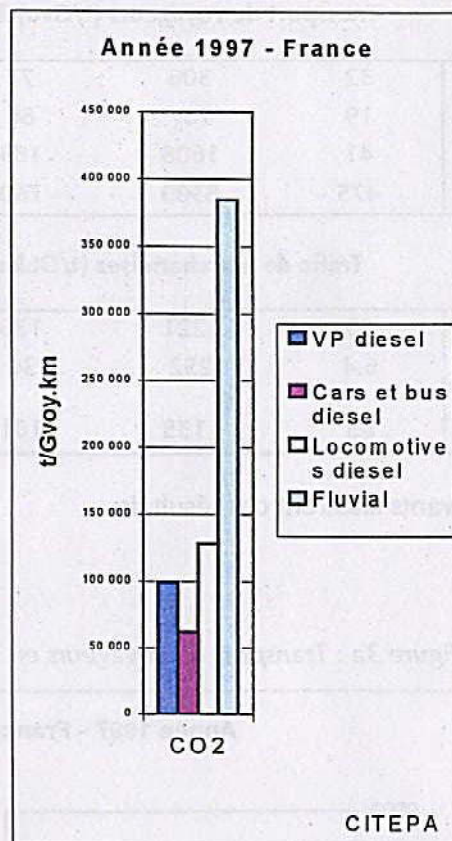


Figure 3b : Transport de voyageurs en France en 1997



On constate que pour tous les polluants le transport fluvial a un niveau d'émission très supérieur aux autres moyens de transport, de 5 à 10 fois plus élevé. L'utilisation de fuel riche en soufre entraîne un taux d'émission très important en  $\text{SO}_2$ .

Les locomotives diesel ont également un niveau d'émission très élevé comparé aux transports routiers.

Figure 4a : Transport de marchandises en France en 1997

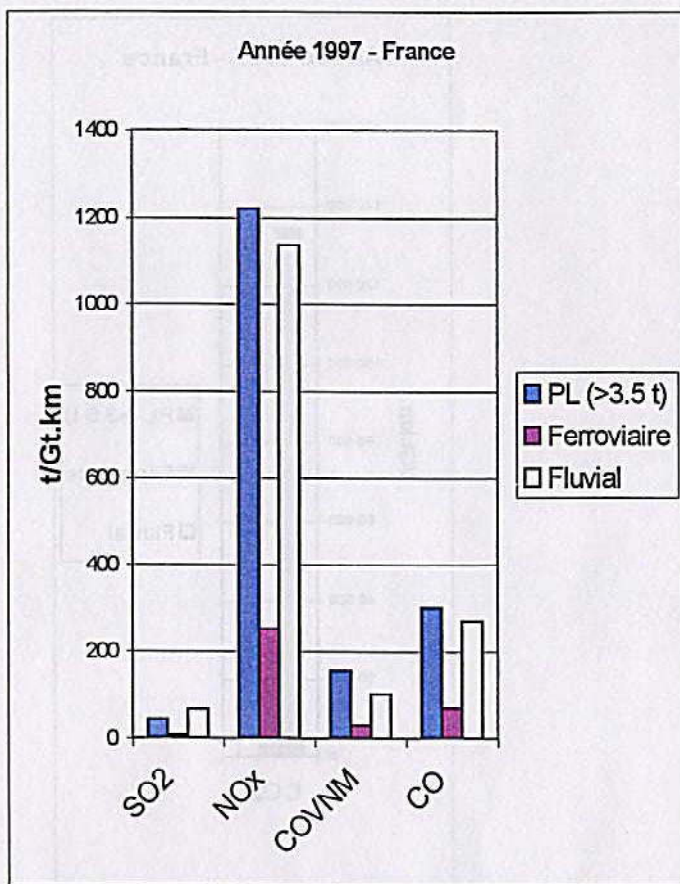
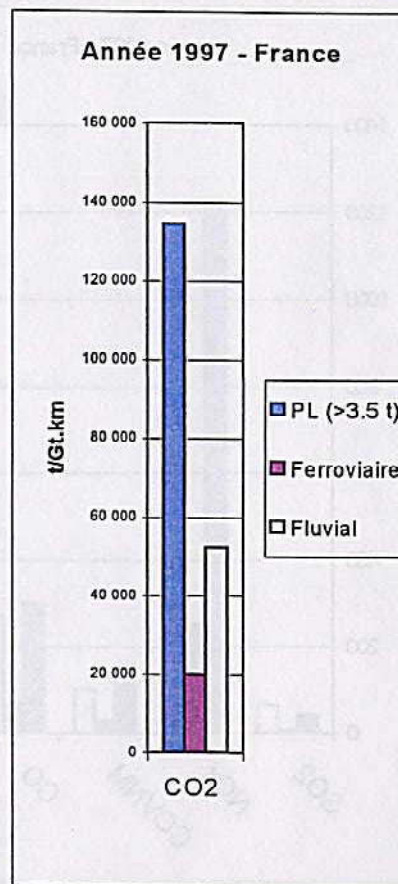


Figure 3a : Transport de marchandises en France en 1997



Le mode de transport le plus polluant est le poids lourd sauf pour le  $\text{SO}_2$ . L'utilisation de fuel riche en soufre pour le transport fluvial entraîne en effet un niveau d'émission légèrement supérieur pour ce mode comparé aux poids lourds.

Les émissions du fluvial restent élevées et au moins 2.5 fois supérieures à celles du transport ferroviaire.

En particulier pour les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les transports routier et fluvial sont 4 à 5 fois plus polluants que le transport ferroviaire.

## 4 Emissions au niveau régional, exemple du PRQA 1994, Alsace et Nord Pas-de-Calais

Cet inventaire réalisé dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) pour l'année 1994 permet une restitution des émissions à l'échelle de l'arrondissement administratif et des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. Ce découpage tient compte des spécificités régionales et en particulier des canaux ou fleuves utilisés par le trafic fluvial.

Pour le transport fluvial, la méthodologie utilisée s'appuie sur la méthode dite « simple ». Le trafic voyageurs n'est pas inventorié.

### 4.1 Cas de l'Alsace

Le cas de l'Alsace est représentatif d'un trafic fluvial dense. Le Rhin est un axe de transit important avec, en 1994, 2.9 milliards de tonnes.kilomètres de marchandises transportées, ce qui correspond à 38% du trafic en France.

Un découpage au niveau de l'arrondissement administratif a été effectué pour le Rhin, les routes nationales et autoroutes ainsi que pour le rail.

Ce découpage permet d'affecter à chaque arrondissement un niveau d'émission plus représentatif du trafic à l'échelon local.

La localisation régionale est la suivante. Le tableau présente la part de chaque transport sur les émissions du transport total en Alsace. On ne distingue pas les émissions du diesel et du non-diesel. La part manquante est celle du transport aérien.

Tableau 22 : Emissions en Alsace des transports pour 1994

Localisation	Polluant	Routier		Ferroviaire		Fluvial	
		t	%	t	%	t	%
Alsace	SO <sub>2</sub>	4 200	87.7	39	0.8	423	8.8
	NO <sub>x</sub>	27 000	95.2	250	0.9	695	2.4
	COVNM	30 500	95.4	56	0.2	96	0.3
	CO	164 000	98.4	125	0.1	397	0.2
	CO <sub>2</sub>	3 300 000	94.7	22 500	0.7	40 800	1.2

PRQA 1994 - CITEPA

A la différence de l'échelle nationale (métropole), l'importance relative du trafic fluvial en Alsace avec le Rhin apparaît. Contrairement au niveau national, la part du transport fluvial est plus importante que celle du transport ferroviaire.

On constate des fluctuations importantes au niveau des arrondissements et particulièrement pour l'arrondissement de Wissembourg avec 18.5% des émissions de NO<sub>x</sub> et 46% de SO<sub>2</sub> attribuées au transport fluvial. L'ensemble des données est répertorié dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Détail des émissions en Alsace des transports pour 1994

Localisation	Polluant	Routier		Ferroviaire		Fluvial	
		t	%	t	%	t	%
Arrondissement de Selestat	SO2	474	83.5	4	0.7	143	25
	NOx	3 064	92.2	23	0.7	236	7.1
	COVNM	3 584	99.0	5	0.1	33	0.9
	CO	18 205	99.2	11	0.1	135	0.7
	CO2	36 822	95.9	2060	0.5	13830	3.6
Arr. de Strasbourg camp.	SO2	462	83.2	5	0.9	71	13
	NOx	3 288	92.8	35	1.0	114	3.2
	COVNM	2 693	86.5	8	0.2	16	0.5
	CO	14 087	95.3	17	0.1	65	0.4
	CO2	35 070	89.2	3130	0.8	6670	1.7
Arr. de Wissembourg	SO2	82	53	3	0.2	71	46
	NOx	480	78.8	16	2.7	113	18.5
	COVNM	788	97.6	4	0.5	16	1.9
	CO	3 788	98.1	8	0.2	64	1.7
	CO2	64 950	88.9	1470	2.0	6630	9.1
Arr. de Mulhouse	SO2	246	71	2	0.6	59	17
	NOx	1 750	81.3	13	0.6	97	4.5
	COVNM	1 429	62.1	3	0.1	14	0.6
	CO	7 565	84.5	7	0.1	56	0.6
	CO2	186 690	68.1	1180	0.4	5720	2.1

PRQA 1994 - CITEPA

## 4.2 Cas du Nord-Pas-de-Calais

Avec le canal de Dunkerque - Valenciennes, le Nord-Pas-de-Calais est également une région à fort trafic fluvial. Ce trafic atteint en 1994 0.68 Gt.km soit 9.1% du trafic en métropole.

Les différents canaux, routes et voies de chemin de fer ont subi un découpage avec la même méthodologie que pour l'Alsace.

La localisation régionale est la suivante. Le tableau présente la part de chaque transport sur les émissions du transport total au Nord-Pas-de-Calais. On ne distingue pas les émissions du diesel et du non-diesel. La part manquante est celle du transport aérien.

Tableau 24 : Emissions du Nord-Pas-de-Calais pour l'année 1994

Localisation	Polluant	Routier		Ferroviaire		Fluvial	
		kt	%	kt	%	kt	%
Nord-pas-de-Calais	SO2	8.8	97	0.07	0.8	0.18	2
	NOx	55	98.4	0.43	0.8	0.34	0.6
	COVNM	56	98.9	0.09	0.2	0.04	0.1
	CO	321	99.5	0.21	0.1	0.19	0.1
	CO2	6 700	98.5	38.5	0.6	20	0.3

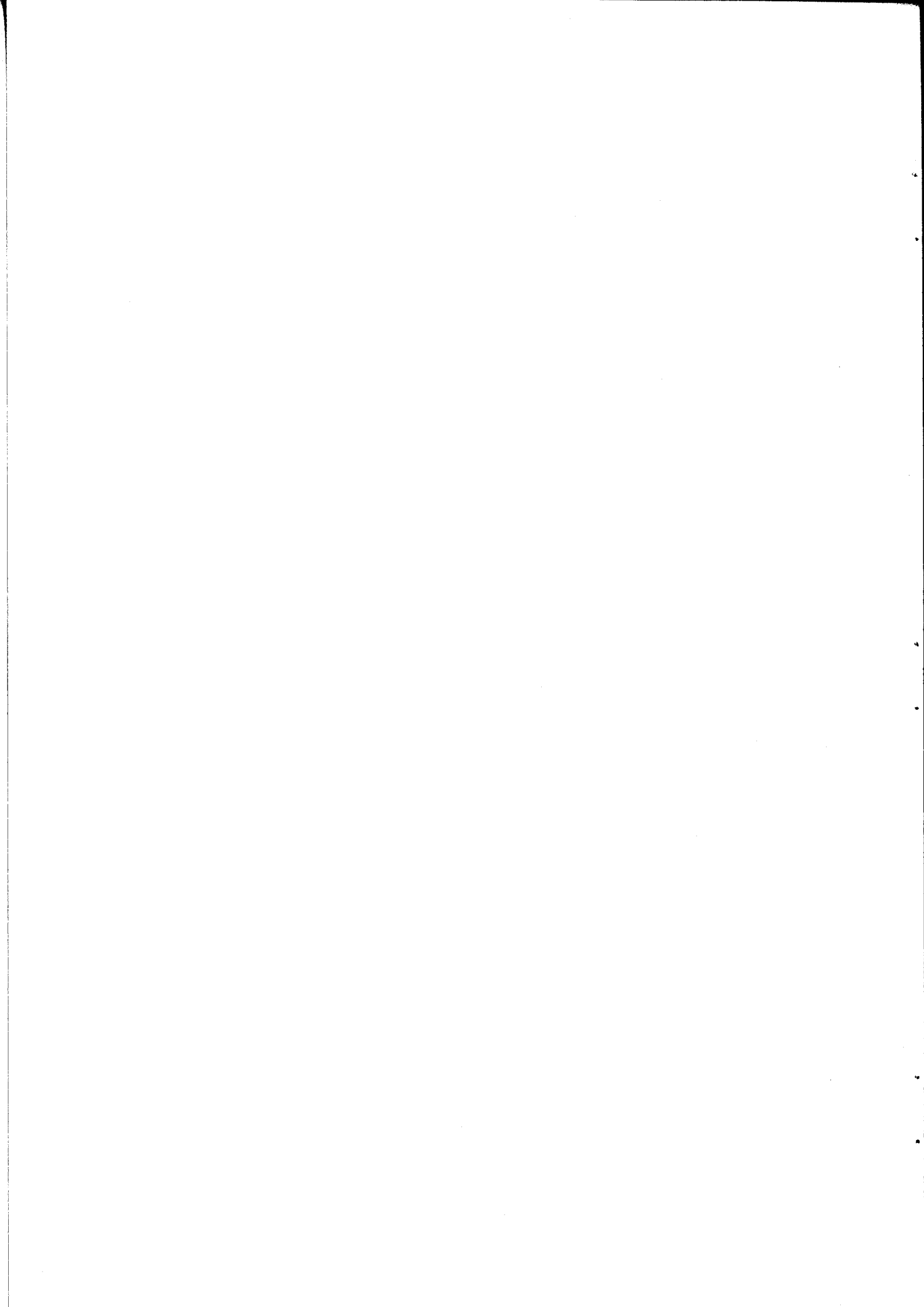
PRQA 1994 - CITEPA

A l'échelle régionale la part du trafic fluvial est comparable au niveau national. On peut cependant relever à l'échelle locale pour les exemples page suivante un niveau d'émission plus important jusqu'à 5.8% pour les NOx et 19.5% pour les SO<sub>2</sub>.

Tableau 25 : Détail des émissions du Nord-Pas-de-Calais pour l'année 1994

Localisation	Polluant	Routier		Ferroviaire		Fluvial	
		t	%	t	%	t	%
Arrondissement de Douai	SO2	196	79.7	2	0.8	48	19
	NOx	1338	93.4	14	1.0	80	5.6
	COVNM	1202	98.8	3	0.3	11	0.9
	CO	6220	99.2	7	0.1	46	0.7
	CO2	146780	96.1	1300	0.9	4700	3.1
Arrondissement de Béthune	SO2	148	80	0	0.0	36	19.5
	NOx	952	93.4	0	0.0	59	5.8
	COVNM	1085	94.9	0	0.0	8	0.7
	CO	5523	95.0	0	0.0	34	0.6
	CO2	112820	93.6	0	0.0	3470	2.9

PRQA 1994 - CITEPA



## 5 Workshop du 29 avril 2000 de la CCNR

Le transport par les voies navigables intérieures est reconnu comme un mode de transport peu polluant comparé au transport routier (la comparaison au transport ferroviaire est plus délicate car il est discutable de comptabiliser les émissions dues à la production d'électricité par combustion). Cet avantage du fluvial par rapport au routier est dû à l'efficacité énergétique de ce mode de transport qui pour un litre de combustible consommé transporte plus de charge que le routier.

Le principal souci des participants à ce Workshop est de rester concurrentiel par rapport à la route sur le plan des émissions. En effet on observe depuis plusieurs années des abaissements des niveaux d'émissions imposés aux poids lourds via les réglementations successives Euro 1 à 5 et ces abaissements finissent par compenser l'efficacité énergétique du transport fluvial. De plus, du fait d'une durée de vie plus courte des moteurs de camion, le renouvellement du parc se fait beaucoup plus rapidement que dans le transport fluvial dont les moteurs ont une durée de vie beaucoup plus longue.

### 5.1 Evolution réglementaire

A ce jour il n'existe aucune réglementation sur les niveaux d'émissions des bateaux de navigation fluviale.

La Commission Européenne n'a pas avancé sur le sujet et ce n'est pas l'une de ses priorités.

Seule la CCNR (Commission Centrale de la Navigation sur le Rhin) réunissant cinq pays frontaliers du Rhin (Allemagne, Belgique, France, Pays-Bas, Suisse) propose l'application d'une réglementation. Si une telle réglementation était acceptée par les membres de la CCNR, la Commission Européenne serait prête à la suivre en intégrant cette réglementation à la directive 82/714/CE relative à la navigation intérieure au niveau européen.

#### 5.1.1 Proposition réglementaire de la CCNR

Son vote est prévu en mai 2000. Celle-ci ne s'appliquerait qu'aux nouveaux moteurs de plus de 37 kW des bateaux de plus de 24m de long. Elle s'appliquerait en deux phases.

##### a) Première phase (à partir du 01/01/2002)

Les niveaux d'émissions s'appuient sur les prescriptions de la phase I de la directive européenne sur les émissions des engins moteurs non routiers 97/68/CE pour les puissances comprises entre 37 et 130 kW et les prescriptions de l'IMO 2000 sur les émissions des moteurs marins pour les puissances supérieures à 130 kW.

Tableau 26 : Proposition réglementaire de la CCNR - Phase I

Puissance nominale (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Particules (g/kWh)
37 < Pn < 75	6.5	1.3	9.2	0.85
75 < Pn < 130	5	1.3	9.2	0.7
Pn > 130	5	1.3	9.2 (tr/mn > 2800) 13 (500 < tr/mn < 2800)	0.54

### b) Deuxième phase (01/01/2006 sans certitude)

Les niveaux d'émissions s'appuient sur les prescriptions de la phase II de la directive européenne sur les émissions des engins moteurs non routiers 97/68/CE pour toutes les puissances et tous les polluants (sauf NOx pour les puissances supérieures à 560 kW) et sur les prescriptions de l'IMO sur les émissions des moteurs marins pour les puissances supérieures à 560 kW pour les NOx.

Tableau 27 : Proposition réglementaire de la CCNR - Phase II

Puissance nominale (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Particules (g/kWh)
37 < Pn < 75	5	1.3	7	0.4
75 < Pn < 130	5	1	6	0.3
130 < Pn < 560	3.5	1	6	0.2
Pn > 560	3.5	1	6 (tr/mn >2800) 30 x t <sup>0.2</sup> (500 < tr/mn < 2800) 8.7 (tr/mn <500)	0.2

D'après les motoristes, il semble que les technologies disponibles pour les nouveaux moteurs permettent d'atteindre les niveaux visés par la CCNR.

Pour les moteurs existants, la CCNR propose d'entamer les discussions sur un projet de réglementation établi au plus tard en 2005 mais sans préciser de délai d'application.

On peut donc avoir la quasi-certitude que rien n'entrera en application concernant les moteurs existants avant six ou huit ans.

## 5.2 Etat du parc

Selon l'IVR, le parc des moteurs utilisés en navigation intérieure représente environ 25 000 unités à travers l'Europe. Il y a de plus en plus de moteurs rapides au détriment des moteurs lents, d'entretien plus difficile du fait du prix élevé et de la rareté des pièces de rechange. Ces moteurs tournent entre 1500 et 8000 heures par an, avec une moyenne de 4000 heures par an en pleine charge. Les moteurs ont une durée de vie longue, entre 20 et 50 ans. Il va y avoir un renouvellement massif des moteurs d'une puissance supérieure à 1000 kW dans les prochaines années car ils arrivent en fin de vie.

## 5.3 Mesure

Ces réglementations impliquent un contrôle et donc une mesure des émissions. Ceci n'est pas facile du fait qu'il n'existe aucune méthode normalisée pour la mesure des émissions in situ des moteurs de transport fluvial.

Deux méthodes ont été cependant présentées. Une méthode allemande issue du transport maritime très lourde et difficilement applicable au transport fluvial permettant des analyses plus précises. Une méthode néerlandaise simple et rapide mais peu représentative des différents cycles de fonctionnement des bateaux au vu des informations portées à notre connaissance.

Les motoristes soulèvent le problème de la double certification des moteurs. Si par exemple un moteur est déjà certifié IMO2000 (certification qui ne couvre que les NOx) ou 97/68/CE (NOx, CO, HC, Particules) devra-t-il se faire certifier à nouveau pour une application fluviale? Il semble que non.

## **5.4 Réductions des émissions des moteurs existants**

Même si la réduction des émissions des moteurs existants n'est pas pour l'instant un des objectifs de la réglementation, les technologies disponibles à ce jour ont été présentées.

### **5.4.1 Systèmes internes de réduction des NOx**

Ces différents systèmes ont pour effet d'abaisser la température de combustion et donc d'abaisser la production de NOx de 30 à 50%.

On citera (sont indiqués entre parenthèses les inconvénients de ces techniques) :

- Injection d'eau (baisse de la performance du moteur mais peut être amélioré avec le système "common rail")
- Recirculation d'air (problème du refroidissement avant la réinjection - système complexe)
- Retard à l'injection (augmentation de la consommation et des imbrûlés)
- Emulsion gazole-eau (ce système n'existe que pour les très grosses machines)

### **5.4.2 Système externe de réduction des NOx**

Seul a été présenté un système de réduction catalytique des NOx. La réaction entre l'ammoniac (produit par l'urée) et les NOx produit de l'eau et de l'azote (N<sub>2</sub>). Cette technologie est très efficace (90% de réduction de la concentration en NOx) mais très coûteuse. A titre indicatif les coûts d'investissement sont de l'ordre de 25 à 30% du prix d'un moteur neuf et les coûts d'exploitation calculés sur la base d'une consommation de cinq litres d'urée par heure pendant 8000 heures par an donne un coût de 40 kF/an.

Toutes ces techniques permettraient d'atteindre des niveaux d'émission entre 3 et 7 g/kWh de NOx.

### **5.4.3 Systèmes de réduction des particules**

Les systèmes de filtration particulaire permettent de réduire de 50 à 70% les émissions de poussières dans toute la plage des diamètres. On peut craindre des pertes en puissance du moteur du fait de contre-pression engendrée par ces dispositifs.

Aucunes des technologies n'ont de référence en navigation intérieure et bien souvent elles sont encore au stade du développement. Il est donc très difficile de se prononcer sur les possibilités d'une application fluviale et sur leur impact en terme de coût.

## 5.5 Conclusion du Workshop

Des travaux sont nécessaires pour définir les actions exactes à entreprendre pour la réduction des émissions des transports fluviaux. Fixer et appliquer des normes de rejets à l'atmosphère aura un coût, mais on peut espérer qu'il y aura des économies d'échelle comme cela a été constaté dans le transport routier.

Il est nécessaire de faire des analyses de coût-efficacité pour mesurer l'impact de telles mesures (une étude hollandaise donne un coût de 1euro/kgNO<sub>x</sub> abattu). Concernant les émissions des nouveaux moteurs, la décision devrait être prise en mai 2000.

## 6 Investigations préliminaires à une campagne de mesures

La connaissance des émissions des bateaux navigant sur les voies fluviales est très parcellaire. Des campagnes de mesures appropriées constituent la meilleure approche en vue d'améliorer cette connaissance et ont l'intérêt de pouvoir refléter l'état actuel du parc français.

Cette première investigation porte sur les bateaux affectés aux transports de marchandises. La méthodologie est extrapolable aux bateaux de transports de voyageurs et de chantier en prenant en compte les conditions d'utilisation spécifiques à la nature du trafic.

### 6.1 Structure du parc actuel de bateaux de marchandises

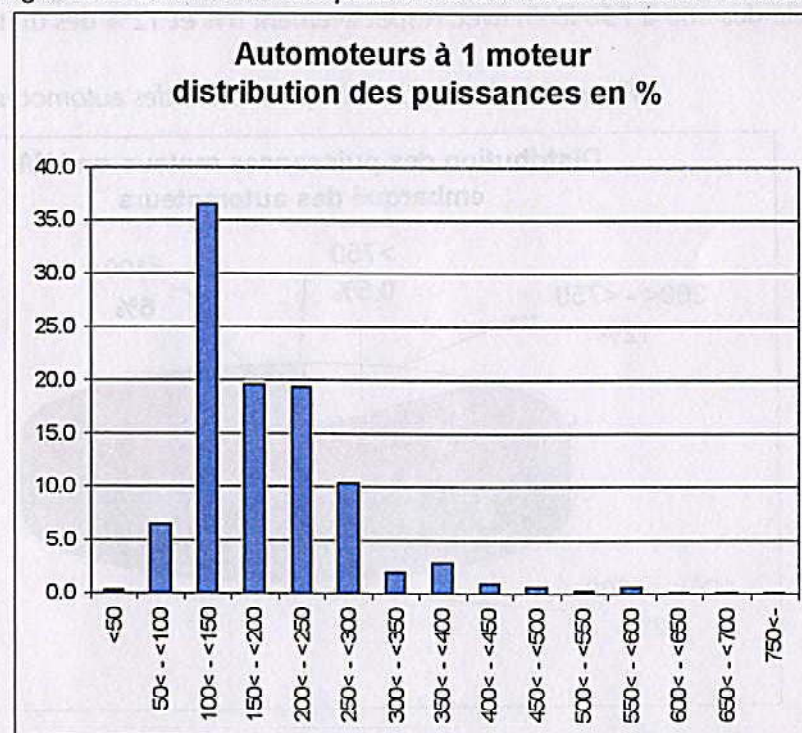
Les émissions de polluants sont directement corrélées à la puissance des moteurs embarqués sur les bateaux. Afin de déterminer un échantillon représentatif du parc pour réaliser une campagne de mesure, il est donc nécessaire de connaître précisément la structure du parc français en terme de puissance.

La base de données communiquées par VNF renseignent sur 1446 bateaux en mentionnant leur matricule et leur puissance par moteur. Aucune information n'est disponible sur la marque du moteur et ses spécifications. L'analyse de ces données permet de dégager les catégories suivantes : les automoteurs, les pousseurs et remorqueurs.

#### 6.1.1 Les automoteurs

Ce sont des barges motorisées, les plus répandues étant les péniches de type Freycinet d'une capacité moyenne de 250 tonnes. Les automoteurs recensés sont au nombre de 1246 dont 91% possèdent un seul moteur et 9% possèdent deux moteurs. La distribution des puissances est la suivante :

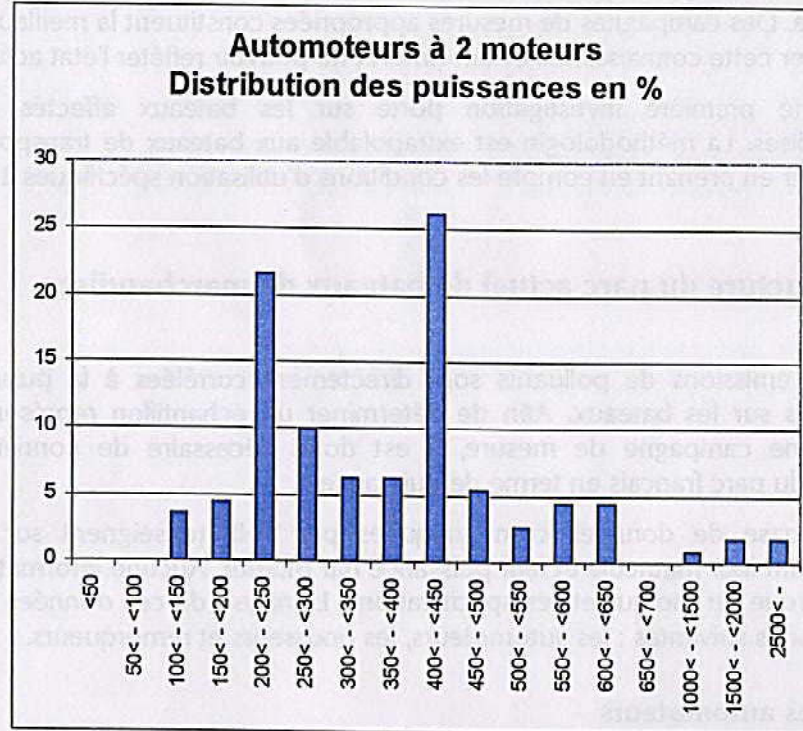
Figure 5a : Distribution des puissances des automoteurs à 1 moteur



Source VNF - (puissance en kWh)

Les automoteurs à 1 moteur ont généralement une puissance inférieure à 300 kWh.

Figure 5b: Distribution des puissances des automoteurs à 2 moteurs

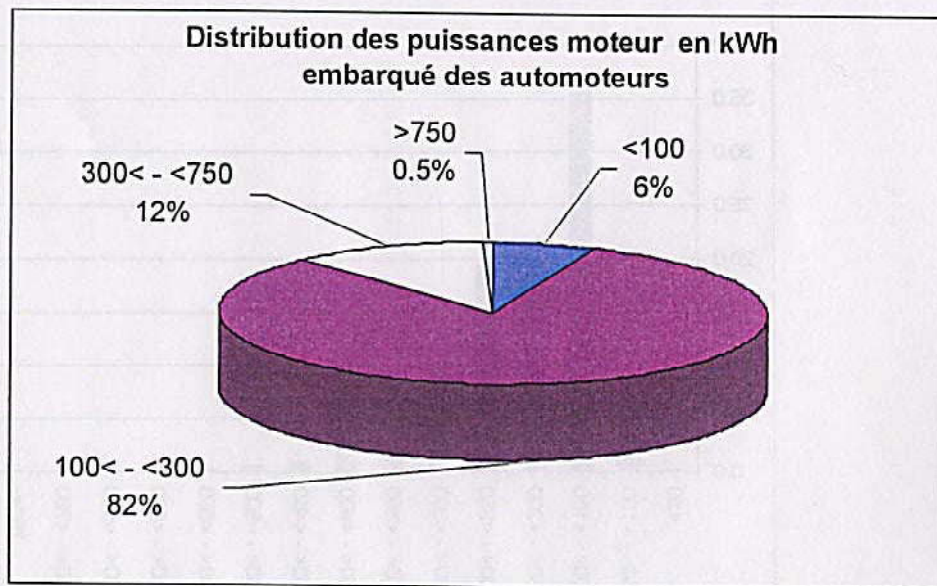


Source VNF - (puissance en kWh)

Deux gammes de puissance prédominent, celles comprises entre 150 et 300 kWh et celles comprises entre 350 et 500 kWh.

Sur la totalité des automoteurs du parc VNF, la catégorie de puissance majoritaire est celle des 100 à 300 kWh avec 82% des unités, encadrée par les catégories des moins de 100 kWh et celle des 300 à 750 kWh avec respectivement 6% et 12% des unités.

Figure 5c: Distribution des puissances des automoteurs



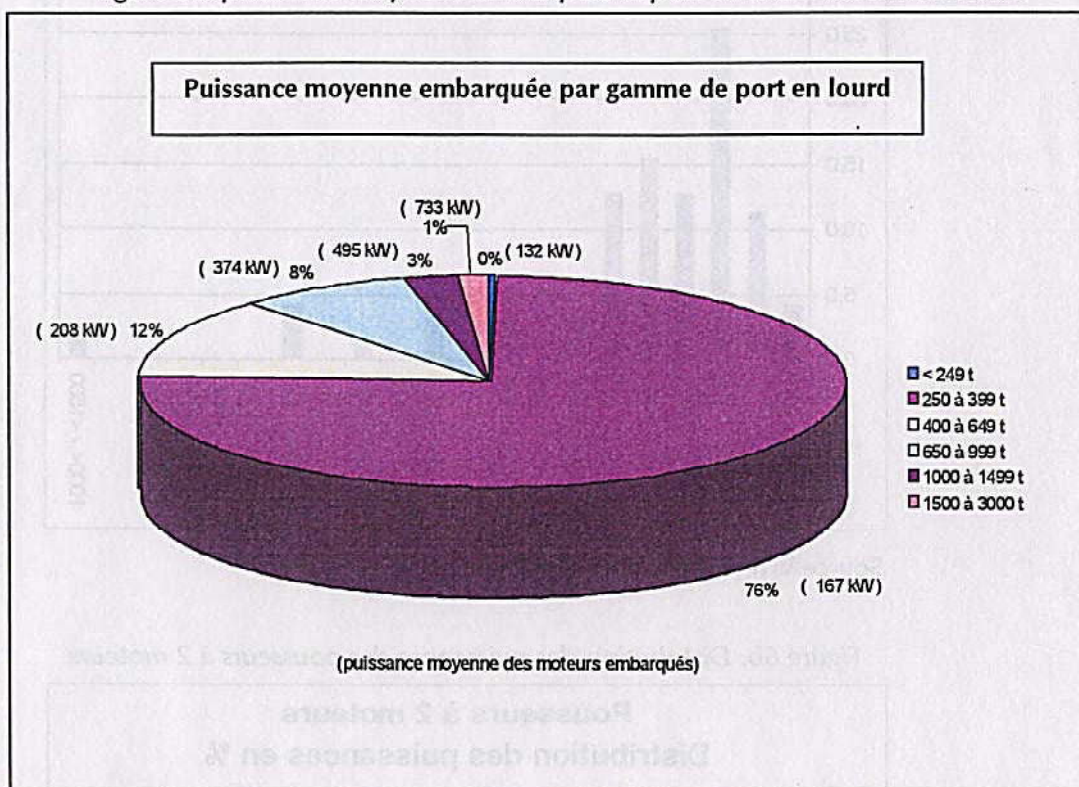
Source VNF

Ces premiers résultats orientent vers un échantillon décomposé de la manière suivante :

- Puissance inférieure à 100 kWh : 1 bateau
- Puissance comprise entre 100 et 350 kWh : 4 bateaux
- Puissance supérieure à 350 kWh : 1 bateau

Le port en lourd est un paramètre important puisqu'il conditionne la charge du moteur lors de la navigation. Les ratios poids/ puissance s'étalent de 1 à 10 t/ kWh. Les puissances moyennes par gamme de port en lourd sont les suivantes :

Figure 5d: puissance moyenne embarquée et port en lourd des automoteurs



Source VNF

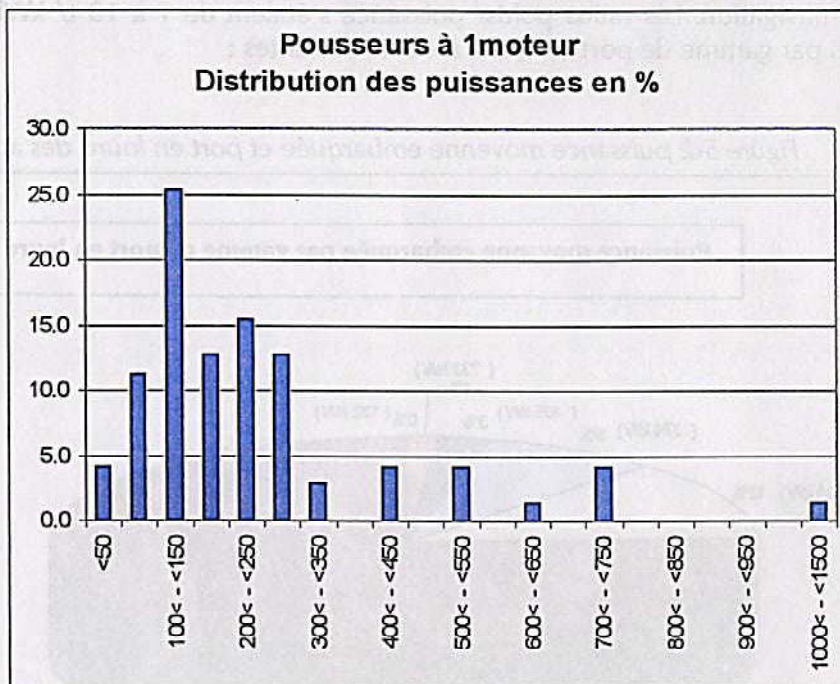
Les caractéristiques des moteurs (âge, marque, type) doivent être prises en compte également comme critère d'échantillonnage. Le manque d'information sur ce point conduit dans cette phase de première investigation à limiter l'échantillon au seul critère de puissance. L'échantillon dans un deuxième temps devra être affiné afin d'intégrer les critères de port en lourd et des caractéristiques moteur.

### 6.1.2 Les pousseurs et remorqueurs

Ces bateaux dotés de motorisations puissantes peuvent pousser (pousseur) ou tracter (remorqueur) jusqu'à six barges en convois. Les pousseurs recensés sont au nombre de 173 dont 42% avec un seul moteur et 58% avec deux moteurs . On dénombre 24 remorqueurs.

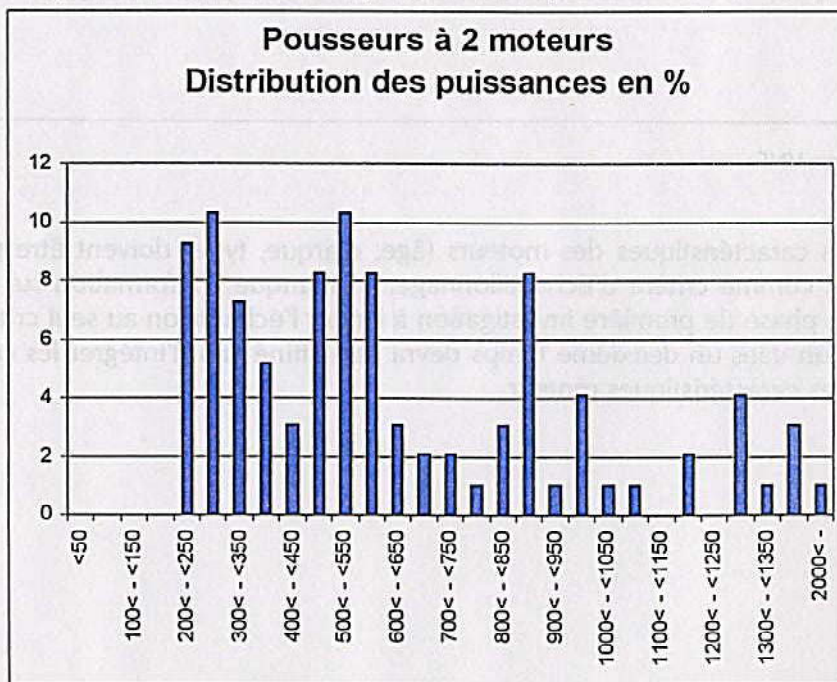
La distribution des puissances est la suivante :

Figure 6a: Distribution des puissances des pousseurs à 1 moteur



Source VNF - (puissance en kWh)

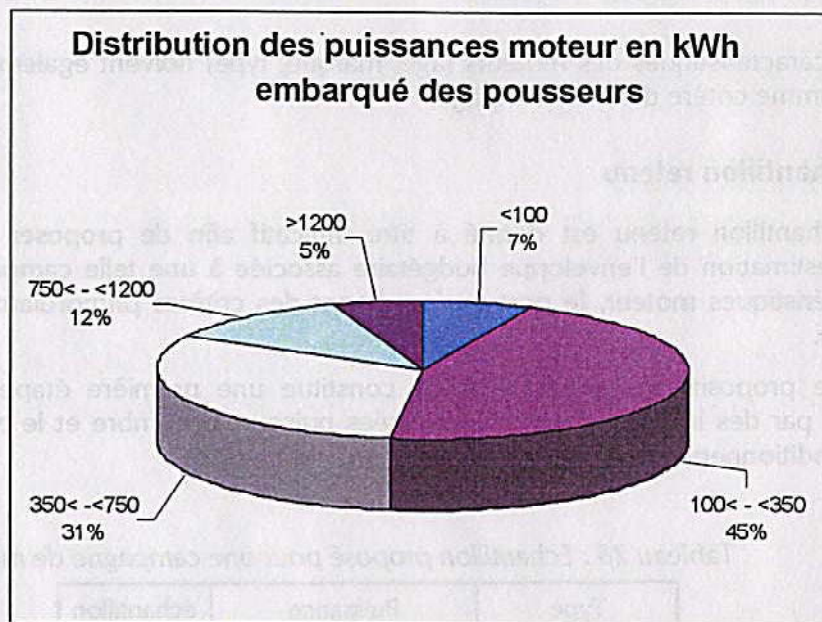
Figure 6b: Distribution des puissances des pousseurs à 2 moteurs



Source VNF - (puissance en kWh)

Si la répartition des gammes de puissance pour les pousseurs à 1 moteur est assez groupée entre 50 et 300 kWh, la distribution des puissances avec 2 moteurs est très étalée. Sur la totalité des pousseurs, deux catégories de puissance dominant, celles des 100 à 350 kWh et celle des 350 à 750 kWh avec respectivement 31 % et 45 % des unités.

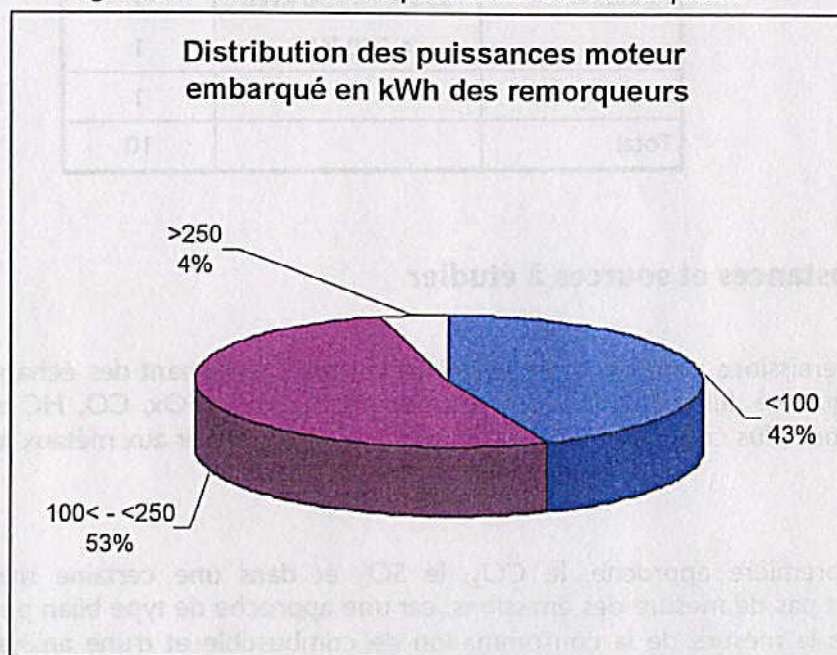
Figure 6c: Distribution des puissances des pousseurs



Source VNF

La distribution des puissances pour les remorqueurs est la suivante :

Figure 6d: Distribution des puissances des remorqueurs



Source VNF

Ces premiers résultats orientent vers un échantillon décomposé de la manière suivante :

- Pousseurs :
  - puissance comprise entre 100 et 350 kWh : 1 bateau
  - puissance comprise ente 350 et 750 kWh : 1 bateau
  - puissance supérieure à 750 kWh : 1 bateau
- Remorqueurs : 1 bateau

Les caractéristiques des moteurs (âge, marque, type) doivent également être prises en compte comme critère d'échantillonnage.

### 6.1.3 Echantillon retenu

L'échantillon retenu est donné à titre indicatif afin de proposer par la suite une première estimation de l'enveloppe budgétaire associée à une telle campagne de mesures. Les caractéristiques moteur, le port en lourd sont des critères primordiaux pour définir cet échantillon.

Cette proposition d'échantillonnage constitue une première étape qui devrait être complétée par des investigations plus poussées puisque le nombre et le type de bateaux à étudier conditionnent l'ensemble de la campagne de mesures.

Tableau 28 : Echantillon proposé pour une campagne de mesures

Type	Puissance	échantillon
Automoteur	< 100 kWh	1
	100 < - < 350 kWh	4
	> 350 kWh	1
Pousseur	100 < - < 350 kWh	1
	350 < - < 750 kWh	1
	> 750 kWh	1
Remorqueur		1
Total		10

## 6.2 Substances et sources à étudier

Les émissions visées sont en premier lieu celles provenant des échappements moteur. En conséquence, les substances à retenir sont CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC et particules. Des investigations plus complètes pourraient justifier de s'intéresser aux métaux lourds (ML) et aux HAP.

En première approche, le CO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub> et dans une certaine mesure les ML ne nécessitent pas de mesure des émissions, car une approche de type bilan peut être employée à partir de la mesure de la consommation de combustible et d'une analyse de ce dernier. Quant aux CO, HC, NO<sub>x</sub> et particules, il est indispensable de recourir à la mesure. De plus, il pourrait s'avérer utile d'examiner la granulométrie des particules, voire leur composition chimique.



Certaines opérations liées au trafic fluvial telles que chargement et déchargement de produits pulvérulents, pétroliers, etc., pourraient également être considérés car, sans doute, génératrices de quantités supérieures de particules et de composés organiques volatils. La présence de groupes électrogènes indépendants des moteurs de puissance justifierait de mesurer les émissions des deux types d'équipements.

### **6.3 Considérations techniques de faisabilité**

#### **6.3.1 Prélèvement de l'échantillon dans les fumées d'échappement du moteur**

Il faut pouvoir disposer d'une section de mesure ad-hoc : accessible, assurant des caractéristiques d'écoulement particulières (pour la mesure de la concentration des poussières et la mesure du débit gazeux principalement). Il n'est pas exclu de devoir mettre en place un dispositif particulier prolongeant l'échappement pour créer les sections de mesure recherchées.

#### **6.3.2 Méthodes analytiques**

Les analyseurs de gaz mis en oeuvre utiliseront vraisemblablement les techniques suivantes :

- chimiluminescence ou électrochimie (NO<sub>x</sub>),
- ionisation de flamme (HC),
- infrarouge ou électrochimie (CO),
- filtration et/ou autres techniques (\*) pour les poussières en fonction de la décision relative à l'option granulométrique.
- La mesure du débit de gaz fera sans doute appel au tube de Pitot.

Des mesures complémentaires classiques de la température, de la pression et des concentrations de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O seront réalisées pour déterminer la masse volumique et le débit de l'effluent. La mesure de la consommation d'énergie s'avère délicate et sera étudiée lors de la phase préliminaire en fonction des équipements disponibles sur le bateau et des configurations rencontrées. Parmi les solutions possibles : compteur, mesure par ultrason, etc.

#### **6.3.3 Acquisition de données**

Système automatique d'acquisition

#### **6.3.4 Utilités**

Une source d'énergie 220 V monophasé est à prévoir. Si cette énergie n'est pas disponible à bord, il conviendra de prévoir une alimentation autonome avec un groupe électrogène portatif.

(\*) impacteur, spectromètre à diffusion, mesure triboélectrique

Les instruments de mesure seront conditionnés pour occuper une place minimale. Il faudra cependant vérifier qu'ils pourront être installés à bord à proximité de la section de mesure. L'utilisation de bouteilles de gaz étalons comprimés, notamment H<sub>2</sub> sera nécessaire ; il conviendra de s'assurer que les conditions de sécurité le permette ainsi que les contraintes éventuelles sur les caractéristiques électriques du matériel de mesure.

## 6.4 Projet de protocole expérimental

### 6.4.1 Schéma général

Compte tenu des questions soulevées et des difficultés susceptibles d'être rencontrées, nous proposons de prévoir dans un premier temps une phase de mise au point et de validation consistant :

- à mettre au point le dispositif d'échantillonnage (éventuellement différent pour certains types de bateaux). La visite de bateaux caractéristiques des différents cas étudiés sera nécessaire.
- à effectuer une campagne sur un bateau pour valider le protocole expérimental : durée des allures de marche, efficacité du système de la mesure de la consommation énergétique, bon fonctionnement de la ligne d'échantillonnage, etc.
- à établir le protocole expérimental final.
- à réaliser la campagne pour l'ensemble des bateaux. Un dépouillement au moins partiel des mesures permettra de valider au fur et à mesure les campagnes et de répéter certains essais ou vérifier certaines informations, tant que le bateau sera à disposition.
- dépouillements et rapports d'essais.
- synthèse finale.

### 6.4.2 Planning d'expérimentation

Le planning est défini ci-après pour un bateau et sera reproduit, sauf cas particulier, pour chaque bateau. Le déroulement suivant est proposé :

- 1<sup>er</sup> jour : installation du matériel et essais préliminaires  
2<sup>ème</sup> jour : mesures sur bateau léger

Les paramètres sont mesurés en continu (sauf pour les poussières pour lesquelles l'accumulation de matière sur un filtre nécessitera d'intégrer un cycle d'essai complet).

Phase 1 - manœuvre de départ jusqu'au régime établi sur la voie.

Phase 2 - progression sur la voie (à contre-courant ou à co-courant) allure 1.

Phase 3 - progression sur la voie (à contre-courant ou à co-courant) allure 2.

Phase 4 - franchissement d'obstacle (exemple écluse).

Phase 5 - manœuvre (demi-tour).

Phase 6 - franchissement d'obstacle (passage inverse de l'écluse). On peut espérer avec ce double franchissement disposer d'un ensemble de résultats couvrant la variété des situations, notamment de temps d'attente.

Phase 7 - progression sur la voie (à co-courant ou à contre-courant) allure 1.

Phase 8 - progression sur la voie (à co-courant ou à contre-courant) allure 2.

Phase 9 - manœuvre d'accostage à quai.

Phase 10 - stationnement à quai.

Cette phase pourrait être déportée au 1<sup>er</sup> ou au 3<sup>ème</sup> jour s'il s'avère qu'elle est indépendante du déplacement du bateau.

Si le cycle constitué par les phases 1 à 9 pouvait avoir une durée de l'ordre de 2 heures, le cycle serait reproduit trois fois sur la journée. En tout état de cause, il conviendrait de définir les itinéraires types, de manière à ce que le cycle puisse être effectué au moins deux fois dans la journée. Il peut aussi être envisagé un trajet plus long présentant des caractéristiques analogues au cours d'un seul voyage avec plusieurs franchissements d'obstacles.

3<sup>ème</sup> jour : chargement du bateau

Les mesures porteraient éventuellement sur les émissions liées aux besoins auxiliaires produits exclusivement par le bateau (par exemple groupe électrogène). En option, il pourrait être envisagé de compléter les mesures par des prélèvements sur et autour du bateau pour évaluer les émissions diffuses (essentiellement en cas de transport d'hydrocarbures et de produits pulvérulents). Cette option reste conditionnée à la faisabilité d'une telle mesure (à définir lors de la préparation de la campagne).

4<sup>ème</sup> jour : mesures sur bateau chargé

Répétition des phases du 2<sup>ème</sup> jour.

5<sup>ème</sup> jour : démontage.

En différé : dépouillements, analyses et rapport.

### 6.4.3 Données finales

La campagne de mesures débouchera sur la constitution d'un ensemble d'informations (listée ci-après de manière simplifiée) :

- identification du bateau (type, nom, immatriculation, caractéristiques principales),
- type moteur(s) (marque, identification),
- caractéristiques principales moteur (puissance, cylindrée, ...),
- référence essai, date, organisme,
- conditions expérimentales (phase expérimentale, remarques particulières),
- charge du bateau,
- durée de l'essai,
- caractéristiques fonctionnement moteurs,
- caractéristique du combustible (PCI, teneur en S et éventuellement autres substances),
- consommation d'énergie au cours de l'essai,
- t x km transportés au cours de l'essai,
- émissions brutes de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, poussières,
- coefficients d'émissions rapportées à la consommation d'énergie, aux t.km transportés et éventuellement l'énergie utile,
- autres informations relatives aux mesures connexes,
- autres informations utiles à l'interprétation des résultats.

### 6.5 Estimation du coût d'une campagne de mesures

Cinq laboratoires expérimentés dans la mesure des émissions ont été consultés : APAVE, INERIS, LNE, MSIS et VERITAS.

La photocopie des deux devis écrits que nous avons reçus figure en annexe 3. Les autres réponses ont été obtenues par contacts téléphoniques.

Le contenu du cahier des charges était oral et très sommaire. Les estimations des coûts ainsi obtenus devront donc être précisées ultérieurement. Cependant, cette consultation rapide permet d'estimer l'ordre de grandeur du coût de la campagne de mesures.

Le coût pour une campagne de mesures sur un bateau en région parisienne se situe dans la fourchette de 40 à 60 kF HT. Ce coût pourrait atteindre 80 kF HT dans le cas d'une campagne en province (par exemple sur le Rhin) sauf à confier les mesures à un organisme régionalement plus proche.

L'estimation ci-après repose sur une campagne de mesures sur 3 bateaux pour chacun des types de bateaux identifiés déterminés par l'échantillonnage (6.1). Pour cette phase d'investigation préliminaire 10 types de bateaux sont retenus, ce qui revient à réaliser des mesures sur une trentaine de bateaux.

Le coût global est estimé comme suit (kF HT) :

• 30 bateaux à 50 kF (milieu de la fourchette) =	1.500
• surcoût pour essais sur le Rhin =	90
• mise au point initiale (équivalent de 2 essais) =	100
• effort commercial du fait de l'importance de l'affaire (supposé 20%) =	- 320
• coordination (y compris mise au point du cahier des charges,	
• consultation des laboratoires, suivi des essais) et synthèse (CITEPA) =	200
• divers (location de groupes électrogènes, compresseurs, analyses	
• combustible, etc... =	100
	—
TOTAL =	1.670

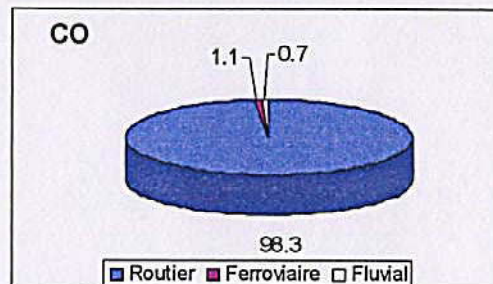
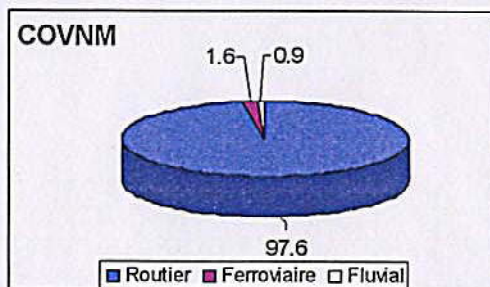
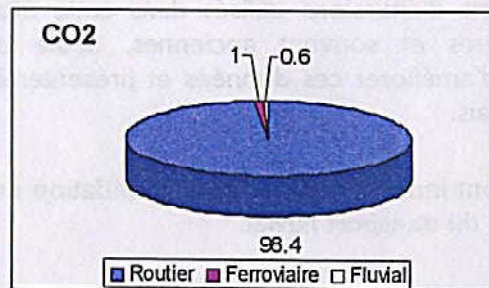
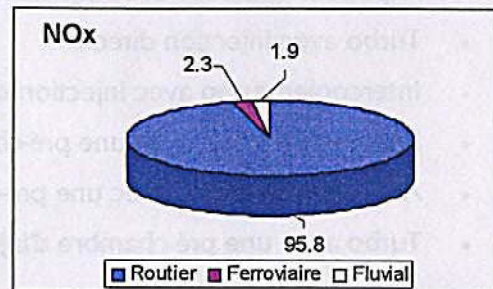
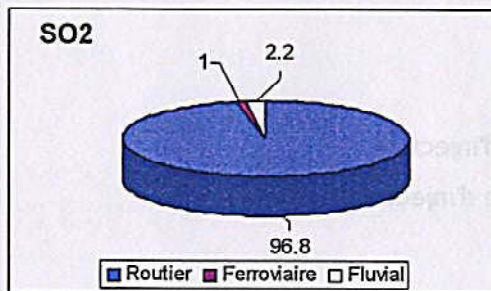
hors taxes, location des bateaux, frais de chargement, etc.



## 7 Conclusion

Le but de cette étude était de réaliser un état de l'art des connaissances sur les émissions polluantes des moteurs des bateaux de navigation intérieure. Cette étude s'est déroulée en deux phases comprenant d'abord une étude comparative des émissions des moteurs diesel selon différents modes de transports routier, fluvial et ferroviaire; puis une étude préliminaire à une campagne de mesures des émissions des bateaux fluviaux.

Les résultats confirment la faible contribution des émissions du transport fluvial par rapport aux émissions nationales. La comparaison des émissions par mode de transport « diesel » en France montre également que la part du trafic fluvial est très faible comparée au transport routier.



Cependant au niveau local la contribution des émissions du transport fluvial peut être significative puisque on atteint en Alsace jusqu'à 46% du total des émissions de SO<sub>2</sub> dans l'arrondissement de Wissenbourg.

Rapporté à la tonne-kilomètre transportée le transport fluvial émet moins de polluants que le transport routier sauf pour le SO<sub>2</sub> mais trois à quatre fois plus que le transport ferroviaire. L'importance des émissions de SO<sub>2</sub> est due à l'utilisation d'un combustible riche en soufre.

Lors de cette étude nous avons rencontré une difficulté certaine à rassembler des informations sur la constitution du parc des bateaux de navigation intérieure français. De plus lorsque nous avons utilisé ces données certaines incohérences quant aux consommations de combustibles se sont révélées. Il serait intéressant de déterminer si celles-ci proviennent de la méthodologie appliquée ou du mode d'estimation des données statistiques.

Afin de travailler à l'avenir sur des informations cohérentes, il serait utile de réunir les différents détenteurs d'informations (VNF, IVR...) pour établir une typologie précise de la flotte française suivant une nomenclature choisie en terme de motorisation à savoir :

- nombre de moteurs par bateau, marque, modèle
- nombre d'heures annuelles d'utilisation
- puissance nominale du ou des moteurs en kW
- courbe de charge typique du moteur par rapport à la puissance nominale
- âge du moteur
- type de motorisation, par exemple :
  - Aspiration naturelle avec injection directe
  - Turbo avec injection directe
  - Intercooled turbo avec injection directe
  - Intercooled turbo avec une pré-chambre d'injection
  - Aspiration naturelle avec une pré-chambre d'injection
  - Turbo avec une pré-chambre d'injection

De plus, les facteurs d'émissions utilisés dans cette étude proviennent de données bibliographiques étrangères et souvent anciennes. Seule une campagne de mesures appropriées permettrait d'améliorer ces données et présenterait l'intérêt de pouvoir refléter l'état actuel du parc français.

Ces informations sont indispensables à la consolidation des résultats de cette première estimations des émissions du transport fluvial.

## ANNEXE 1

## Données utilisées pour les calculs des émissions du trafic fluvial en 1997 en France

### Régime d'utilisation (tous trafics)

régime	% charge	% temps d'utilisation moteur
attente-ralenti	25	25
marche lente	50	35
marche normale	70	30
plein régime	90	10

### Transport de marchandises

Parc	méthode de calcul	consommation unitaire (g/kwh)	durée annuelle d'utilisation moteur	
			automoteur (h/an)	pousseur (h/an)
VNF	données de professionnels	200	1400*	8000**
VNF	bouclage énergétique	200	900	5000

\* pour les automoteurs : on estime qu'ils naviguent une semaine sur deux en régulation (ouverture des écluses) soit 7.5h/jour en moyenne sur 180 jours/an.

\*\* pour les pousseurs : on estime qu'ils naviguent en dérégulation et en 3/8 soit 24h/jour et 330 jours/an.

### Transport de voyageurs

Parc	consommation unitaire (g/kwh)	durée annuelle d'utilisation moteur	
		b. tourisme (h/an)	b. croisière (h/an)
CETMEF/AFIT	210	2475*	750**

\* pour les bateaux de tourisme : la moitié fonctionne 10h/jour pendant 330 jours/an et l'autre moitié (bateaux restaurants) fonctionne 5h/jour pendant 330 jours/an.

\*\* pour les bateaux de croisière : 4.5 h/jour pendant 330/2= 165 jours/an.

### Bateaux de chantier

Parc	consommation unitaire (g/kwh)	durée annuelle d'utilisation moteur (h/an)
CETMEF	240*	730*

\* données transmises par une entreprise privée en région parisienne

## Données sur le parc de bateaux de voyageurs et de chantier

Bateaux de voyageurs		
type	nombre	puissance moyenne (kW)
tourisme*	280	312
croisière**	40	358

\*CETMEF et AFIT : hors bateaux d'associations et collectivités

\*\* CETMEF

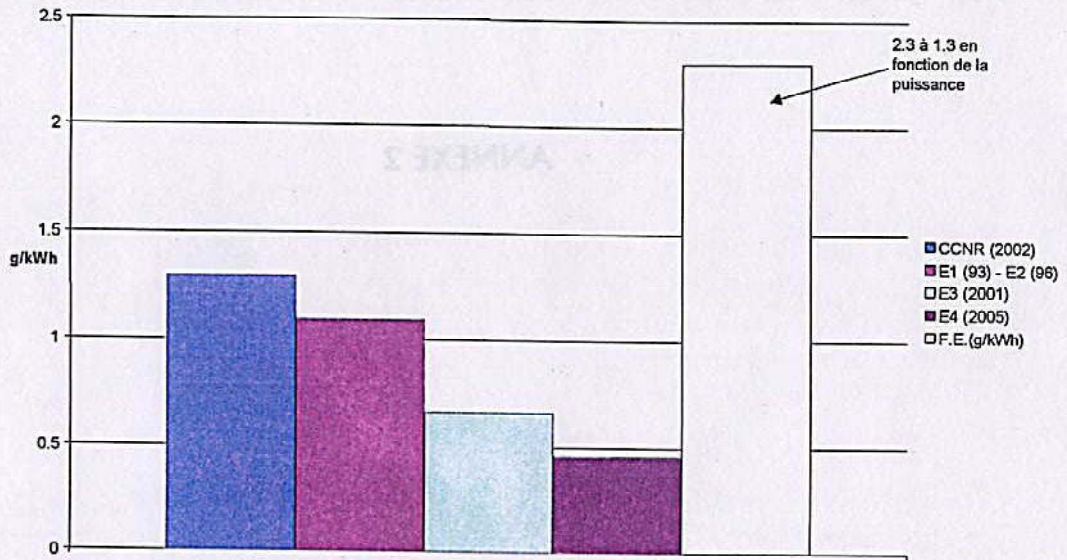
Bateaux de chantier	
nombre	puissance moyenne (kW)
1000	422

CETMEF

## ANNEXE 2

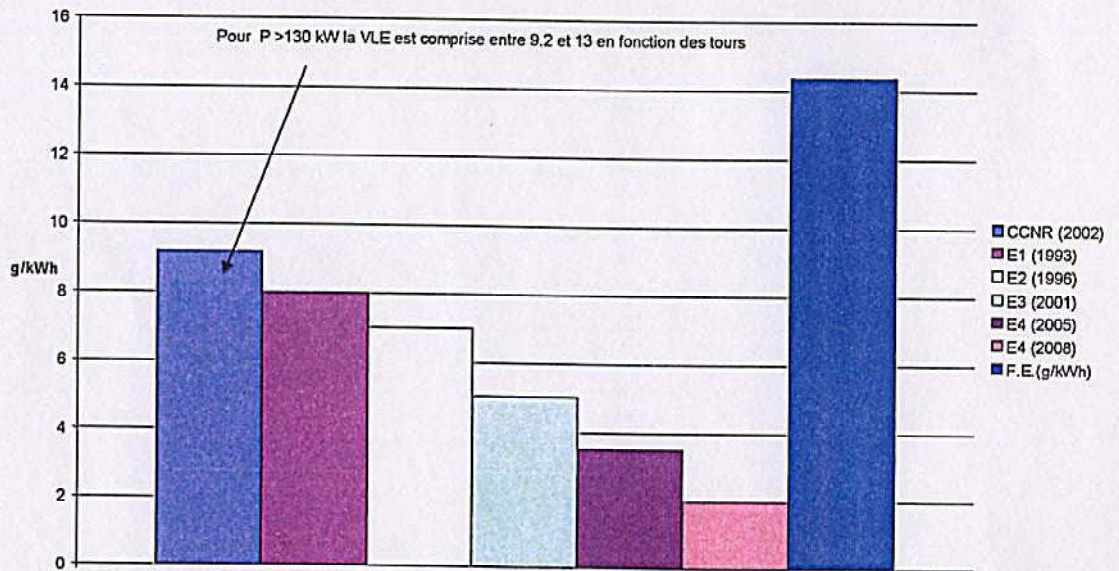
Comparaison des niveaux d'émissions pour les moteurs des bateaux et des poids lourds

HC

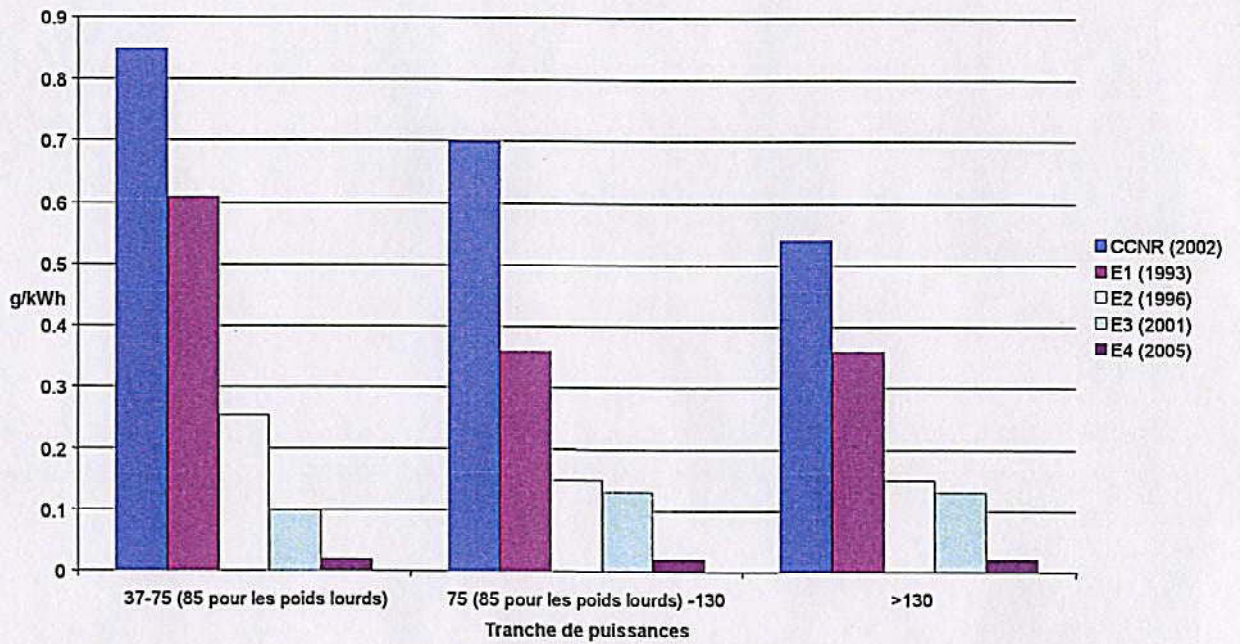


Comparaison des niveaux d'émissions pour les moteurs des bateaux et des poids lourds

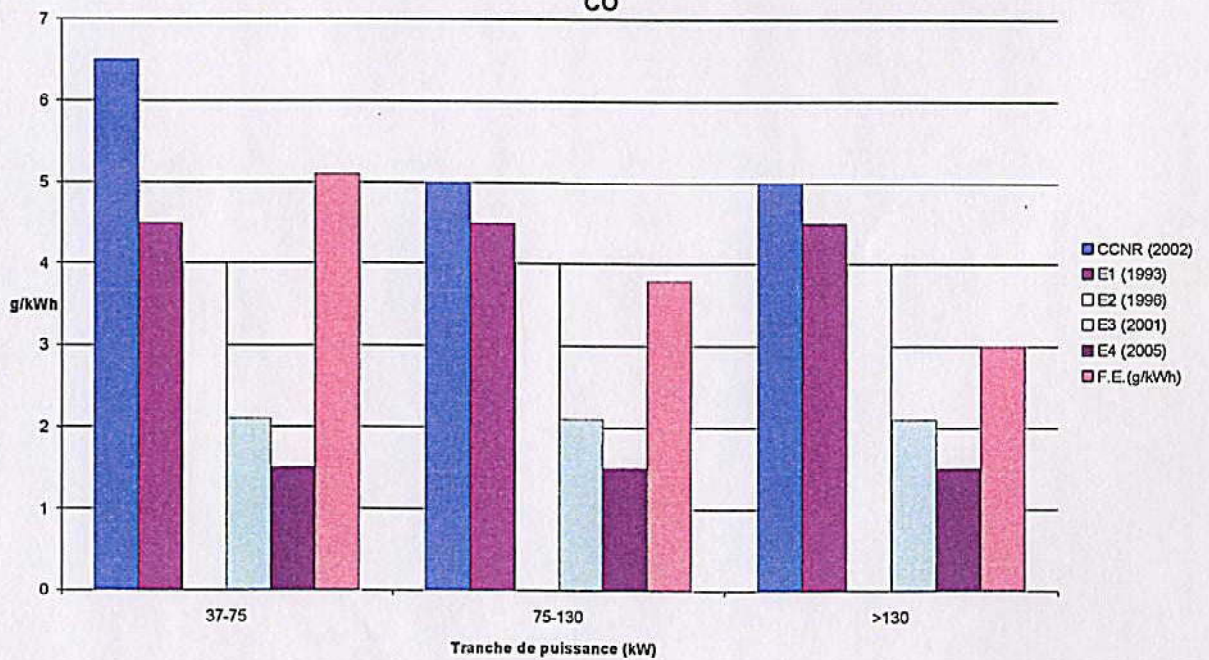
NOx



Comparaison des niveaux d'émissions pour les moteurs des bateaux et des poids lourds  
Particules



Comparaison des niveaux d'émissions pour les moteurs des bateaux et des poids lourds  
CO



## ANNEXE 3

REÇU 15 JUIN 2000



CITEPA  
A l'attention de Mr FONTELLE  
10, Rue du Faubourg Poissonnière  
75010 PARIS

Gif Sur Yvette, le 13 Juin 2000

N/Réf. : SV.00.P.GIF.D.059

Objet : Proposition technique, organisationnelle et financière  
Evaluation des émissions de péniches

**Affaire P 188**

Monsieur,

Suite à votre appel téléphonique et comme convenu, nous vous prions de bien vouloir trouver ci-après notre proposition.

Nous restons à votre entière disposition pour tout renseignement complémentaire.

Espérant que notre offre suscite votre intérêt, nous vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

S. VANDRIESSCHE  
Responsable technique

ZAC de Courcelle  
1, route de la Noue - 91196 GIF-SUR-YVETTE Cedex  
Tél. : (33) 01 64 86 16 50 - Fax. : (33) 01 64 86 16 79

S.A. au capital de 3.900.000 F - R.C.S. : Corbeil Essonnes B 327 492 336



## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE DES MESURES</b>	<b>2</b>
1.1. Objet	2
1.2. Polluants à identifier et quantifier	2
1.3. Paramètres variables	2
<b>2. MOYENS MATERIELS ET INSTRUMENTATION</b>	<b>3</b>
2.1. Moyens de mesure	3
2.2. Matériels de mesure (gaz)	3
2.2.1. Analyseur d'hydrocarbures	3
2.2.2. Analyseur d'oxydes d'azote	4
2.2.3. Analyseur de O <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> / CO	4
2.3. Matériel de mesures (poussières)	5
2.3.1. Poussières totales	5
2.3.2. Analyse granulométrique (SDI 2000)	5
2.4. Débit, température, humidité	5
2.5. Ligne chauffée + coffret assécheur	5
2.6. Enregistrements des données (analyses de gaz)	5
2.7. Consommation de carburant (énergie)	6
<b>3. CONTRAINTES A PREVOIR (SUR LE BATEAU)</b>	<b>6</b>
<b>4. PRESENTATION DES RESULTATS ET COMPTE-RENDUS</b>	<b>6</b>
<b>5. OFFRE FINANCIERE</b>	<b>7</b>
5.1. Coût pour 1 journée d'essai	7
5.2. Détail des coûts	7
5.3. Conditions et modalités de paiement	7
5.4. Validité de nos prix	7

## 1. CONTEXTE DES MESURES

### 1.1. Objet

Le but de la mission consiste à quantifier les échappements de péniches au cours de différents essais. Les mesures seront réalisées directement dans le tuyau d'échappement.

Chaque bateau sera testé 3 fois et une dizaine de bateaux seront évalués.

Les trois tests seront les suivants :

- *bateau vide* : démarrage du bateau - remontée du courant - passage d'écluses - demi tour et circuit en sens inverse jusqu'à l'accostage
- *bateau chargé* : démarrage du bateau - remontée du courant - passage d'écluses - demi tour et circuit en sens inverse jusqu'à l'accostage
- *bateau à quai en phase de chargement*

Durée d'un test : 1 journée

### 1.2. Polluants à identifier et quantifier

Dans cette étude, les paramètres et polluants auxquels nous nous intéressons pour les campagnes de mesure sont :

- Consommation de carburant ;
- Débit des gaz d'échappement, température et humidité relative ;
- Polluants gazeux : - Monoxyde de carbone (CO)  
- Oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>)  
- Hydrocarbures totaux (HCT)  
+ dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et oxygène (O<sub>2</sub>)
- Poussières : mesure de poussières totales et analyse granulométrique.

### 1.3. Paramètres variables

Les paramètres a priori influents sur les émissions atmosphériques sont :  
le type de bateau, le type de motorisation, la charge et la vitesse.



## 2. MOYENS MATERIELS ET INSTRUMENTATION

Préambule : tous nos analyseurs de gaz

### 2.1. Moyens de mesure

Le matériel utilisé par MSIS comprendra :

POLLUANT	APPAREIL OU SYSTEME ET METHODE DE MESURAGE
Oxygène, dioxyde de carbone et monoxyde de carbone (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> et CO)	Analyseur infrarouge <i>de marque COSMA</i> et de type <i>CRISTAL 500</i>
Hydrocarbures totaux (HCT)	Analyseur par FID <i>ENVIRONNEMENT SA</i> de type <i>HC 51M</i>
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	Analyseur par chimiluminescence de marque <i>COSMA</i> et de type <i>2020</i>
Poussières totales + analyses granulométriques	Matériel <i>GRASEBY ANDERSEN</i> de type <i>AUTO 5</i> + Spectromètre Inertiel et Diffusionnel (SDI 2000)

### 2.2. Matériels de mesure (gaz)

#### 2.2.1. Analyseur d'hydrocarbures

L'analyseur est de marque *ENVIRONNEMENT SA* et de type *HC 51M*.

La mesure de la concentration des hydrocarbures présents dans l'air échantillonné utilise un détecteur à ionisation de flamme (FID).

Les molécules de carbone sont ionisées par une flamme d'hydrogène (carburant) / oxygène (comburant).

Un électromètre permet de recueillir le courant issu de l'ionisation des atomes de carbone présents dans la flamme.

Caractéristiques techniques (constructeur) :

- Gammes : 0 - 10 ppm ; 0 - 50 ppm ; 0 - 100 ppm ; 0 - 500 ppm ; 0 - 1000 ppm
- Minimum détectable : < 0.05 ppm
- Dérive d'étalonnage : < 1 % tous les 7 jours
- Linéarité : + ou - 1 %
- Temps de réponse : 5 à 60 secondes
- Débit d'échantillon : 1,35 l/min



## M S I S 2.2.2. Analyseur d'oxydes d'azote

Cet appareil est de marque *COSMA* de type *TOPAZE* (modèle 2020) et sert pour la mesure simultanée des oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) par chimiluminescence.

Cet analyseur est basé sur la réaction de chimiluminescence produite lorsque l'oxyde d'azote (NO) est mis en présence d'ozone (O<sub>3</sub>).

### Caractéristiques techniques (constructeur) :

- concentration minimale : 10 ppb
- précision : mieux que 1 % de la valeur lue
- pas de dérive de zéro
- bruit de fond : inférieur à 1 %
- dérive de sensibilité : 1 % maximum par semaine
- linéaire : mieux que 1 % (concentrations entre 10 et 90 % de l'échelle)
- température de fonctionnement : 5 à 45°C
- temps de réponse : 3 à 10 secondes selon la gamme de mesure
- débit de gaz échantillon : 40 à 60 litres par heure (débit plus réduit possible).

## 2.2.3. Analyseur de O<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub> / CO

L'analyseur multigaz utilisé est de marque *COSMA* et de type *CRISTAL 500*.  
Son principe de mesure est basé sur l'absorption infrarouge.

### Caractéristiques techniques (constructeur) :

- Gammes de mesure :
- \* CO<sub>2</sub> : 0 - 20 %
  - \* O<sub>2</sub> : 0 - 25 %
  - \* CO : 0 - 1000 ppm et 0 - 5000 ppm
  - \* CO : 0 - 1000 ppm et 0 - 5000 ppm
- 
- précision : > à 1.5 % de la pleine échelle
  - sensibilité : 1 % de l'étendu de mesure
  - temps de réponse : environ 1 seconde
  - débit de fonctionnement : 150Nl/h



## 2.3. Matériel de mesures (poussières)

### 2.3.1. Poussières totales

Nous utilisons un train de prélèvement de marque *GRASEBY ANDERSEN* et de type *AUTO 5*. Il est constitué des éléments suivants :

- \* Canne de prélèvement chauffée avec tube de Pitot et thermocouple
- \* Compartiment filtre chauffé à 120°C
- \* Compartiment refroidi équipé de barboteurs en verre, d'un condenseur en inox
- \* Contrôleur à microprocesseur 32 bits en boîtier étanche, clavier, lecteur disquette, pompe à vide, compteur à gaz, orifices calibrés, thermomètres, manomètres.

### 2.3.2. Analyse granulométrique (SDI 2000)

Cet instrument a pour intérêt principal de couvrir un domaine granulométrique plus important que les impacteurs en cascade, car il est doté en plus de batteries de diffusion.

Le principe de collection de poussières se fait donc par impaction (inertie) et par diffusion.

## 2.4. Débit, température, humidité

- Débit : Tube de Pitot + micromanomètre *ALNOR AXD 55*
- Température : Thermocouple
- Humidité : Pesées avec silicagel

## 2.5. Ligne chauffée + coffret assécheur

La mesure des COV totaux implique l'utilisation d'une ligne chauffée, afin d'éviter les pertes de polluants.

Pour les autres composés, les gaz seront d'abord asséchés à l'aide d'un assécheur à effet Pelletier (*ARELCO*) avant d'être introduit dans les analyseurs.

## 2.6. Enregistrements des données (analyses de gaz)

Utilisation d'une centrale d'acquisition de marque *AHLBORN* et de type *ALMEMO 3290-8* ou d'un enregistreur 8 voies de marque *SEIRAM*.



## **M S A S** Consommation de carburant (énergie)

Les précisions seront données ultérieurement (débitmètre à liquide ?).

### **3. CONTRAINTES A PREVOIR (SUR LE BATEAU)**

- Location d'un groupe électrogène (fonctionnement des analyseurs de gaz et du matériel poussières) ;
- Utilisation d'air comprimé ;
- Utilisation de bouteilles de mélanges étalons de gaz pour vérifier les analyseurs de gaz ;
- Protection des analyseurs avec des bâches en cas d'intempéries et d'impossibilité de les mettre à l'abri.

### **4. PRESENTATION DES RESULTATS ET COMPTE-RENDUS**

Le rapport d'intervention comprendra :

- \* les conditions au moment des essais (nature des bateaux, type de carburant, vitesse des bateaux, charge)
- \* les tableaux de valeurs et courbes de résultats
- \* les constats de vérification et/ou certificats d'étalonnage des appareils utilisés
- \* les certificats des mélanges étalons



## 5. OFFRE FINANCIERE

### 5.1. Coût pour 1 journée d'essai

- sur la Seine : 8 325 F.HT (1 ingénieur et 1 technicien) dont 1 025 F.HT en déplacement
- sur l'Oise : 9 325 F.HT (1 ingénieur et 1 technicien) dont 2 025 F.HT en déplacement
- sur le Rhin : 16 350 F.HT (1 ingénieur et 1 technicien) dont 9 050 F.HT en déplacement

### 5.2. Détail des coûts

- Déplacement en voiture avec le matériel quel que soit le fleuve sur lequel la péniche évolue.
- Frais d'hébergement dans le cas d'essais sur l'Oise et la Seine : 400 Francs/HT par jour et par personne
- Coût horaire : 275 F.HT pour le technicien et 350 F.HT pour l'ingénieur
- Frais de matériel + gaz : 2300 F.HT par jour et par essai
- Temps de rapport : 3 heures à 350 F.HT par essai

Réduction de 10 % sur montant global si 30 jours d'essai regroupés sur 6 à 8 semaines.

### 5.3. Conditions et modalités de paiement

Les paiements seront effectués à la société *MSIS*, à 30 jours fin de mois de réception de facture, par virement bancaire, à notre compte :

BNP Orsay (91)

N° 00020987229

Code banque : 30 004

Code guichet : 00086

Clé RIB : 68

### 5.4. Validité de nos prix

Les prix indiqués sont fermes et valables pour une commande passée avant le 31.12.2000.



Siège Social : 13 à 17 rue Salneuve 75854 Paris Cédex  
 Téléphone : 01.40.54.58.00  
 Télécopie : 01.40.54.58.88  
 Télex : 651 493

Laboratoires St Ouen 97 à 103 bld Victor Hugo 93400 St Ouen  
 Téléphone : 01.40.54.58.00  
 Télécopie : 01.40.54.59.50

**TELECOPIE**

**EXPEDITEUR**

Service : LABORATOIRE  
 Nom : G.PUECH  
 Ligne directe : 01.40.54.58.93

Date : 13/06/00

**DESTINATAIRE**

Société : CITEPA  
 Nom : M.FONTELLE  
 Télécopie : 01.40.22.04.83  
 Téléphone : 01.44.83.68.83

**OBJET :** En réponse à votre demande, nous vous adressons ci-joint une proposition de contrat d'intervention pour le contrôle de la pollution atmosphérique émise par les péniches. Nous restons à votre disposition pour redéfinir, si besoin est, le contenu de cette mission, ainsi que pour tout renseignement complémentaire.

*Le Chef du Service Laboratoire*

*Gilles PUECH*

**Validité de l'offre : 3 mois à dater de la présente télécopie**

Affaire suivie par M.PUECH  
 Ligne directe : 01.40.54.58.93

**Pièces jointes :** Conditions Générales de vente de l'A.P.P.A.V.F.

**PRIX BUDJET N°00/107/507/01289**

Entre :

**La Société CITEPA ,**

**représentée par M.FONTELLE,**

et,

**L'A.P.P.A.V.E., représentée par Monsieur PUECH**

**Chef du Service LABORATOIRE**

**97 à 103, boulevard Victor Hugo**

**93400 SAINT-OUEN**

il a été convenu les prestations définies aux conditions particulières suivantes :

**I OBJET**

Contrôle de la pollution atmosphérique émise par les péniches

**II LIEU D'INTERVENTION**

A définir.

### **III CONTENU DE LA MISSION**

Dans le cadre de la présente mission, l'A.P.P.A.V.F. procédera aux déterminations suivantes :

- Mesures de la concentration en monoxyde de carbone et oxydes d'azote au moyen de capteurs électrochimiques et oxygène,
- Mesures de la teneur en hydrocarbures totaux,
- Mesure de la teneur en poussières, en s'inspirant de la norme NF X 44052.

#### **OPTION :**

Option 1 : Mesure de la teneur en poussières en continue, à partir d'une mesure triboélectrique.

Option 2 : Mesure de la granulométrie des poussières par impaction en cascade, au moyen d'un impacteur type Mark III.

### **IV LIMITES DE LA MISSION**

La mission est limitée à ce qui est défini en III.

Les mesures seront effectuées de manière à produire des résultats ramené à l'énergie consommée. Les calculs seront réalisés selon la norme ISO concernant les mesures réalisées sur les groupes électrogènes.

Cette proposition comprend une mesure de chaque paramètre séquentiel (poussières et éventuellement granulométrie des poussières), par trajet. Les autres paramètres seront mesurés en continu, sur une période maximale de 4 heures.

Les campagnes de mesures seront réalisées selon le planning suivant :

- première journée      misc en place du matériel,
- deuxième journée      mesure pour un parcours à vide,
- troisième journée      sans mesures (remplissage de la péniche)
- quatrième journée      mesure pour un parcours en charge.
- cinquième journée      repli du matériel.

Pour la réalisation de ces mesures, il sera nécessaire :

- d'avoir des sections de mesures se rapprochant le plus possible des impératifs de la norme NF X 44052,

- d'avoir une alimentation électrique 16 A, 220 V de type chantier,
- d'avoir un abri situé dans un périmètre d'environ 10 m de la section de prélèvement.

Dans le cas où l'intervention amènerait le personnel APAVE à mettre en œuvre du matériel sur des ouvrages en hauteur, il vous appartiendra de baliser les zones situées en dessous.

Toute réunion préalable ou postérieure à la mission vous sera facturée au prorata du temps passé sur place et en déplacement, sur la base des tarifs frais de séjour et déplacement de l'A.P.A.V.E.

Nous vous rappelons que, en application du décret n° 92-158 du 20/02/1992, vous devez désigner auprès du représentant de l'A.P.P.A.V.E. un technicien qualifié connaissant l'établissement, les installations, appareils et équipements mis en œuvre lors des interventions, apte à assurer les manœuvres et en diriger le commandement. Ce technicien devra leur procurer les facilités suffisantes pour leur permettre d'accomplir efficacement leur mission sans perte de temps.

#### **V INTERVENANT ET DATE(S) D'INTERVENTION**

A définir avec vos Services en fonction de vos impératifs et des disponibilités de notre planning.

#### **VI DUREE**

Sans objet.

#### **VII CONDITIONS FINANCIERES**

Le prix budget, pour une campagne d'environ 30 essais, hors option et en région parisienne serait de **930.000 FF** soit 31.000 FF par site contrôlé.

Ce(s) prix s'entend(ent) **Hors Taxes** (TVA 19,6 %), frais de déplacement, d'immobilisation du matériel et de rédaction du rapport compris, pour des horaires normaux de travail sur site et pour des jours ouvrés.

Toute modification du planning prévu, non imputable à nos services, ainsi que tout contrôle, prélèvement ou mesure demandé extemporanément par vos Services en complément de la mission définie dans le présent contrat, vous seront facturés suivant nos tarifs en vigueur au moment de l'intervention.

Adresse de facturation : (à préciser par l'adhérent)

### VIII PIÈCES CONTRACTUELLES

Conditions Générales de vente.

L'adhérent reconnaît avoir pris connaissance des statuts, du Règlement Intérieur et des Conditions générales de l'A.P.P.A.V.E. figurant en annexe du présent contrat, étant précisé qu'en cas de contradiction, les Conditions Particulières priment sur tout autre document.

**L'ADHERENT**

Date : le

Signature et Cachet