

## 4 DETERMINATION DES INDICATEURS DE CONSOMMATION ENERGETIQUE ET D'EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

### 4.1 METHODOLOGIE

La méthodologie employée est décomposée en trois étapes :

#### 1. Entretiens avec les professionnels du secteur et recueil des données brutes.

La phase d'entretiens a permis de rencontrer une vingtaine de professionnels du secteur en face-à-face et de recueillir auprès d'eux les renseignements utiles à la détermination d'indicateurs de consommation énergétique.

Les questionnaires sont composés de cinq parties distinctes mais complémentaires :

- La première consistait concernant des données générales sur l'entreprise (nom, nombre de salariés, nombre de bateaux...).
- La seconde entendait donner la **description technique** (*longueur, largeur, puissance, port en lourd ...*) du ou des bateaux propriétés de l'interlocuteur et la description de la zone géographique sur laquelle il exerce son activité.
- La troisième partie consistait à décrire le plus précisément et le plus fidèlement possible des **voyages types** que les acteurs rencontrés sont amenés à réaliser et à en spécifier le maximum de détails (*tirant d'eau, durée, tonnage...*).
- Il a ensuite été question d'aborder les principaux **paramètres** qui peuvent impacter la consommation de carburant (*vent, crue...*). Au vu des résultats des premiers entretiens "tests", il a été mis en lumière que la quantification des impacts était très difficile. Ceux-ci ont donc été estimés qualitativement au cours de l'entretien.
- La fin de l'entretien était réservée à la collecte des **données annuelles** (*trafics, consommation de carburant, part des trajets à vide, consommation d'énergie liée à l'habitat...*).
- Enfin, les bateliers étaient invités à fournir des remarques ou des observations qui leur paraissaient importantes dans le cadre de l'étude.

En parallèle, une collecte de données « papier » a permis d'obtenir des données complémentaires à partir d'études ou de bases de données existantes.

Ainsi :

- des données brutes recueillies par questionnaires nous ont été fournies par le Consortium pour la modernisation du réseau navigable Nord-Pas-de-Calais et la promotion du transport fluvial, dans le cadre de l'étude « Dispositif régional en faveur d'une meilleure maîtrise de l'énergie dans le transport fluvial »,
- des données de consommation ont été apportées par la CFT, via le CAF,
- des rapports environnementaux et techniques fournissant certains premiers résultats quant aux indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> et aux paramètres susceptibles d'impacter la consommation,
- des rapports sur le secteur fluvial ont été étudiés afin de déterminer les données disponibles relatives au secteur fluvial en terme d'organisation (*part des voyages à vide, distance moyenne, temps de fonctionnement moteur...*),
- les données de trafic, entre autres, ont été fournies par VNF...

Cette première étape est détaillée au paragraphe 4.2.

## **2. Analyse du niveau et des déterminants de consommations unitaires en carburant**

Décomposée en deux phases, cette tâche a permis :

- de déterminer des indicateurs de consommations unitaires d'énergie, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub>, en conditions réelles d'exploitation pour chaque catégorie de bateau représentatif de la flotte française par bassin fluvial, en charge et à vide,
- d'étudier les paramètres d'influence de la consommation en carburant.

Lorsque l'étude des voyages types ne permettait pas de déterminer directement les indicateurs de consommation sur les voies considérées, une estimation a été réalisée en fonction des consommations des autres unités sur la même voie ou en fonction de la consommation de l'unité considérée sur d'autres voies.

Ces indicateurs sont tout d'abord présentés sous forme de tableaux regroupant, pour des trajets avalant et montant, les différents indicateurs de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub>, en charge et à vide.

Ils sont ensuite agrégés pour obtenir, pour chaque type d'équipement, des indicateurs simplifiés intégrant directement les paramètres avalant/montant et en charge/à vide, pour n'obtenir qu'un seul indicateur par équipement et par bassin.

## **3. Détermination des consommations par grande catégorie significative d'après la segmentation**

Cette troisième étape a pour objet d'associer les données "micro" de consommation aux données "macro" de trafic afin d'en déduire une mesure globale cohérente de la consommation énergétique du secteur et de son efficacité énergétique.

Il s'agit de proposer une extrapolation des indicateurs de consommation unitaire aux données significatives du trafic fluvial, représentatives de la situation de la flotte française actuelle et de son activité.

Les estimations de consommation réalisées pour chaque bassin et chaque type d'unité fluviale sont ainsi rapprochées de la répartition globale des trafics nationaux.

Ces analyses permettent de conclure quant au niveau de consommation à la fois par bassin et au niveau national.

Les résultats finaux expriment :

- la consommation de carburant (*en l./t.km*),
- la consommation énergétique unitaire (*en gep/t.km*),
- l'efficacité énergétique (*en t.km/kep*),
- les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> (*en g CO<sub>2</sub>/t.km*).

## 4.2 ENTRETIENS AVEC LES PROFESSIONNELS DU SECTEUR ET RECUEIL DES DONNEES BRUTES

### 4.2.1 METHODOLOGIE

La collecte de données « terrain » repose sur la mise en œuvre d'un processus d'interviews en face-à-face des professionnels de la voie fluviale, mené sur la base de questionnaires.

Pour ce faire, il s'est agi :

- de sélectionner le panel d'acteurs à contacter, en identifiant les principaux acteurs représentatifs du secteur fluvial et de ses trafics (artisans bateliers, compagnie de navigation...). La composition du panel des acteurs à contacter a été déterminée sur la base de critères de représentativité en terme de trafic. La liste nominative des acteurs a été élaborée en étroite collaboration avec des membres du comité de pilotage.
- d'élaborer les questionnaires qui seront utilisés au cours des entretiens : ces questionnaires permettront de déterminer, avec les acteurs rencontrés, des données précises et fiables qui pourront être exploitées dans la suite de l'étude.
- de lancer le processus et de réaliser les entretiens en trois opérations successives :
  - Prise de contact téléphonique, afin de présenter l'objet du projet et de choisir une date de rendez-vous,
  - Diffusion du questionnaire par mail ou fax selon la préférence,
  - Réalisation de l'entretien au cours d'un face-à-face.

### 4.2.2 DEFINITION DU PANEL D'ACTEURS INTERROGES

#### 4.2.2.1 LES UNITES FLUVIALES REPRESENTATIVES

Les unités fluviales intéressées par l'étude sont exclusivement les unités motorisées : automoteurs et pousseurs.

Le panel d'unités représentatives déterminé est basé sur les données de trafics 2004 réalisés par les unités françaises, pour les différents bassins, fournies par VNF.

Pour rappel, nous considérons par hypothèse que les trafics des automoteurs sont réalisés sans barges, celles-ci étant exclusivement rattachées aux trafics pousseurs. Le trafic par barges est donc considéré comme égal au trafic réalisé par les pousseurs.

D'autre part, pour des raisons pratiques, seuls ont été rencontrés des acteurs français de la voie fluviale.

Bassin	Automoteurs				Barges (pousseurs)				Trafic total (Mt.km)	% du trafic total
	Trafic (Mt.km)	% du trafic par bassin	% du trafic total	Panel	Trafic (Mt.km)	% du trafic par bassin	% du trafic total	Panel		
Interbassin	1386	87,28%	31%	31	202	12,72%	4%	4	1588	35%
Rhin/Moselle	34	39,08%	1%	1	53	60,92%	1%	1	87	2%
Seine	714	38,68%	16%	16	1132	61,32%	25%	25	1846	41%
Nord	137	83,54%	3%	3	28	17,07%	1%	1	164	4%
Rhône	524	65,09%	12%	12	281	34,91%	6%	6	805	18%
<b>Total</b>	<b>2795</b>	<b>62,25%</b>	<b>62%</b>	<b>62</b>	<b>1696</b>	<b>37,77%</b>	<b>38%</b>	<b>38</b>	<b>4490</b>	<b>100%</b>

Tableau 40 - Répartition du trafic 2004 réalisé par les unités fluviales françaises (Source : VNF) et définition du panel d'acteurs à rencontrer

Sur une base de 100 unités et en fonction du trafic par bassin, le panel représentatif par bassin est donc de :

- 35 pour l'interbassin (31 automoteurs, 4 pousseurs),
- 41 pour la Seine (16 automoteurs, 25 pousseurs),
- 18 pour le Rhône (12 automoteurs, 6 pousseurs),
- 4 pour le Nord (3 automoteurs, 1 pousseur) et
- 2 pour les bassins Rhin/Moselle (1 automoteur, 1 pousseur).

#### 4.2.2.1.1 Les pousseurs

La répartition entre pousseurs et automoteurs est réalisée en fonction de la répartition trafics automoteurs/trafics barges et fournit donc un panel de pousseurs de 37 unités, répartis en :

- 4 pour l'interbassin,
- 1 pour les bassins Rhin/Moselle,
- 25 pour la Seine,
- 1 pour le Nord,
- 6 pour le Rhône.

Compte tenu du manque d'information sur la répartition géographique des pousseurs, le panel a été défini sur les 123 pousseurs pour lesquels des informations ont pu être recueillies auprès des compagnies de navigation, de la CNBA et des informations disponibles auprès de VNF.

Le critère de segmentation utilisé dans le cas des pousseurs est la puissance.

#### 4.2.2.1.2 Les automoteurs

D'après la répartition en trafics réalisée précédemment, le panel d'automoteurs représentatifs du trafic national se compose de 63 unités (sur une base de 100 unités représentatives) réparties comme suit :

- 31 en interbassin,
- 16 sur la Seine,
- 12 sur le Rhône,
- 3 sur le bassin du Nord,
- 1 sur les bassins Rhin/Moselle.

Les données fournies par VNF sur les trafics réalisés en 2004 par les automoteurs ont permis de caractériser les automoteurs en fonction de leur port en lourd, critère de segmentation le plus adapté.

La répartition en port en lourd a été réalisée en utilisant les classes correspondant aux gabarits des voies fluviales.

	< 250t	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t	Panel
INTERBASSIN	0	17	4	5	2	2	31
NORD	0	1	1	0	1	0	3
RHIN/MOSELLE	0	1	0	0	0	0	1
RHONE	0	0	0	1	2	8	12
SEINE	0	1	2	4	4	5	16
Total	0	20	7	11	8	15	62

Tableau 41 - Répartition du panel d'acteurs à rencontrer pour les automoteurs (sur une base de 100 unités représentatives)

#### 4.2.2.2 PANEL D'ACTEURS A RENCONTRER

Le nombre d'entretiens à réaliser a été fixé à 20. Les acteurs à rencontrer sont identifiés en fonction des unités représentatives définies dans le chapitre précédent.

Sur 20 entretiens et sur la base des trafics réalisés sur chacun des bassins, les entretiens ont été répartis de la manière suivante :

- 7 en interbassin,
- 13 en intrabassin grand gabarit dont :
  - 8 sur la Seine,
  - 4 sur le Rhône,
  - 1 sur le bassin du Nord.

Pour rappel, le trafic interbassin ne représente ici pas les trajets réalisés entre 2 bassins à grand gabarit via une voie à petit gabarit, mais un trajet effectué entre 2 régions administratives de VNF.

Les trafics réalisés par des unités françaises sur les bassins Rhin/Moselle ne sont pas assez représentatifs pour être inclus dans les entretiens à réaliser. Les résultats des autres bassins seront extrapolés pour définir des indicateurs de consommation cohérent avec la nature des bassins.

Dans chaque bassin, la répartition des entretiens à mener a été réalisée en fonction des trafics effectués par les automoteurs et pousseurs.

La répartition des automoteurs s'est basée sur leur représentativité par tonnage. Dans le cas des pousseurs, les trafics associés aux différentes classes de puissance ne pouvant être déterminés, la répartition a été réalisée par puissance en fonction du nombre de pousseurs dans chacune de ces classes.

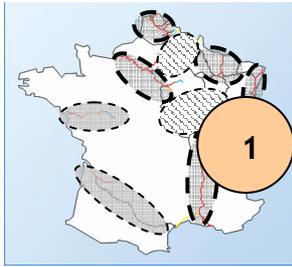
Les tableaux suivants décrivent, par bassin, la répartition des entretiens.

Rhin/Moselle		Pousseurs			
Puissance		< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW
Nombre d'entretiens		0	0	0	0
		Automoteurs			
Port en lourd		250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t > 1500t
Nombre d'entretiens		0	0	0	0

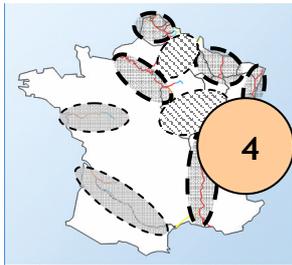
Seine		Pousseurs			
Puissance		< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW
Nombre d'entretiens		1	1	1	2
		Automoteurs			
Port en lourd		250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t > 1500t
Nombre d'entretiens		0	0	1	1 1

### Nord



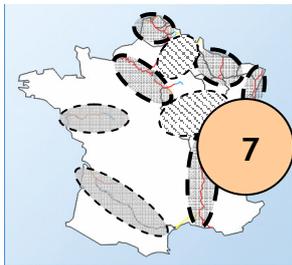
Pousseurs					
Puissance	< 295kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens	0	0	0	0	
Automoteurs					
Port en lourd	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens	1	0	0	0	0

### Rhône



Pousseurs					
Puissance	< 295kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens	0	1	0	2	
Automoteurs					
Port en lourd	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens	0	0	0	1	1

### Interbassin



Pousseurs					
Puissance	< 295kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens	0	0	0	0	
Automoteurs					
Port en lourd	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens	5	1	1	0	0

### 4.2.3 ELABORATION DES QUESTIONNAIRES

Les questionnaires (*annexes 4 et 5*) ont été réalisés de manière à être pratiques, concrets et personnalisés en fonction de l'interlocuteur (*compagnie de navigation ou artisan batelier*).

Ils ont été élaborés pour permettre, si les données sont disponibles, d'analyser en détail la consommation des unités fluviales, et, dans le cas contraire, autoriser un traitement plus global des informations recueillies.

Les questionnaires sont composés de 5 parties distinctes :

#### 1. Données générales sur l'entreprise

Cette première partie permet de présenter rapidement les effectifs de l'entreprise et sa flotte :

- Nom de l'entreprise
- Nom du propriétaire
- Nombre de salariés
- Nombre de bateaux (*automoteurs et pousseurs*)
- Bassins fluviaux empruntés par la flotte

#### 2. Description des caractéristiques techniques des bateaux

Ce volet, véritable fiche technique, présente les grandes caractéristiques des unités fluviales afin de pouvoir les catégoriser :

- Type de bateau (*automoteur, pousseur*)
- Année de construction
- Dimensions (*longueur, largeur*)
- Poids à vide
- Capacité de chargement et de combustible
- Tirant d'air et d'eau à vide
- Moteurs (*nombre, puissance, année de construction, de pose et de révision, type*)
- Groupe électrogène (*puissance, consommation, alimentation*)
- Forme de l'étrave
- Produits transportés et bassins d'exploitation
- Ajout d'adjuvant au sein du combustible.

L'objectif est de prendre en considération un panel de bateaux représentatifs de la flotte, en fonction de leurs caractéristiques techniques et de leur localisation géographique. Les données collectées au sein de ce volet permettront d'étudier l'impact des caractéristiques techniques sur les consommations de carburant.

#### 3. Descriptions de voyages types

Ce volet permet de mieux cerner les déplacements sur 2 ou 3 voyages types représentatifs de l'activité de l'acteur :

- Origine et destination
- Bassin fréquenté
- Temps de navigation
- Tonnage transporté
- Tirants d'eau et d'air
- Parcours en charge et à vide
- Consommation de carburants
- Nombre d'écluses, temps de passage moyen
- Contraintes environnementales, habitudes de conduite et impacts sur la consommation
- Régime moteur
- Sens du courant

L'entretien doit permettre d'obtenir des données de consommation sur les différentes portions du trajet (*petit gabarit, grand gabarit*) afin de distinguer au maximum les consommations associées aux différentes typologies de tronçons utilisés. Le but de cette étape est de collecter, si possible, plusieurs données de consommation pour un même voyage, afin de mettre en évidence les éventuelles évolutions et tenter de discerner les paramètres qui ont pu interférer (*crue, urgence de l'acheminement, vent...*).

Une évaluation qualitative de l'influence de certains paramètres, pour lesquels une quantification est difficile, a été effectuée auprès des différents interlocuteurs. Leur influence étant fonction de la charge du bateau, cette évaluation a été fractionnée en deux parties : en charge et à vide.

Paramètres		--	-	0	+	++
Vent	A vide					
	En charge					
Type de moteur	A vide					
	En charge					
Crue avalant	A vide					
	En charge					
Crue montant	A vide					
	En charge					
Forme du bateau	A vide					
	En charge					
Présence d'adjuvant de combustible	A vide					
	En charge					
Date de dernière révision du moteur	A vide					
	En charge					
Date de dernier carénage	A vide					
	En charge					
Autres : .....	A vide					
	En charge					

La problématique des convois types réalisés par les différents acteurs a été aussi abordée au sein du questionnaire.

#### 4. Données annuelles d'exploitation

Le quatrième volet de l'étude concerne des données annuelles d'exploitation en terme de tonnage, de distance parcourue et de consommation de carburants :

- Consommation de carburants
- Distance annuelle parcourue
- Temps fonctionnement moteur
- Part des trajets à vide
- Tonnage annuel
- Nombre de voyages

#### 5. Remarques et commentaires

Cette dernière partie regroupe les remarques, les commentaires et les compléments d'information que les acteurs ont jugé utile d'ajouter dans le cadre de l'entretien.

Un guide d'entretien (*annexe 6*), destiné à être transmis aux interlocuteurs avant la rencontre, a été créé dans le but de leur en faire découvrir le déroulement et de préparer au mieux les informations nécessaires.

#### 4.2.4 REALISATION DES ENTRETIENS ET COHERENCE AVEC LE PANEL PREDETERMINE

20 entretiens ont été réalisés entre le 1<sup>er</sup> mars et le 12 juillet 2005.

Le nombre d'entretiens est cohérent avec le panel prévu. Certains acteurs ont en revanche du être remplacés.

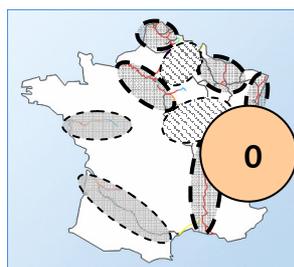
Les tableaux ci-dessous représentent la répartition sur les différents bassins des entretiens prévus. Les entretiens réalisés en cohérence avec le panel déterminé apparaissent ci-dessous sur fond vert.

Il a semblé, au vu des différents contacts avec les professionnels du secteur, que les pratiques en Seine et en interbassin tournaient plus autour de convois automoteur et moins de convois pousseur. Cette pratique ne semble au contraire pas très développée au sein du bassin Rhône.

Il a donc été décidé de se reporter vers l'étude de certains convois poussés par des automoteurs en lieu et place des convois poussés par des pousseurs. Les entretiens remplacés par des convois automoteurs sont indiqués sur fond mauve.

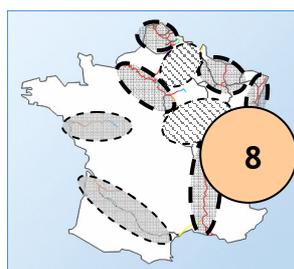
- Panel complété
- Entretien remplacé par un convoi automoteur

##### Rhin / Moselle



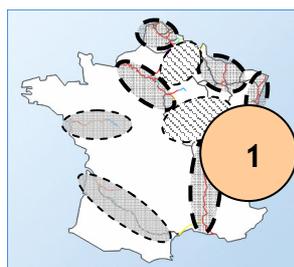
		Pousseurs				
Puissance		< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens		0	0	0	0	
		Automoteurs				
Port en lourd		250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens		0	0	0	0	0

##### Seine



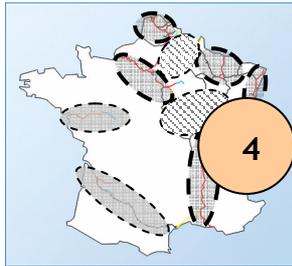
		Pousseurs				
Puissance		< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens		1	1	1	2	
		Automoteurs				
Port en lourd		250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens		0	0	1	1	1

##### Nord Pas de Calais



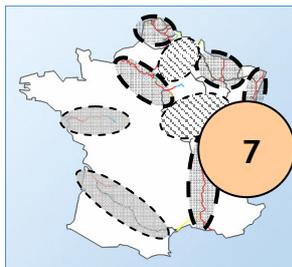
		Pousseurs				
Puissance		< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens		0	0	0	0	
		Automoteurs				
Port en lourd		250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens		1	0	0	0	0

### Rhône



Pousseurs					
Puissance	< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens	0	0	0	2	
Automoteurs					
Port en lourd	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens	0	0	0	1	1

### Interbassin



Pousseurs					
Puissance	< 295 kW	295-590kW	590-880kW	> 880kW	
Nombre d'entretiens	0	0	0	0	
Automoteurs					
Port en lourd	250-400t	400-650t	650-1000t	1000-1500t	> 1500t
Nombre d'entretiens	5	1	1	0	0

4 entretiens ont été menés auprès de propriétaires de convois poussés par un automoteur dont la répartition est donnée dans le tableau suivant :

Bassin	Convois Automoteurs			
	Seine		Interbassin	
Port en lourd	1000-1500t	> 1500t	650-1000t	1000-1500t
Nombre d'entretiens	1	1	1	1

Tableau 42 - Répartition des entretiens avec les acteurs propriétaires de convois poussés par un automoteur

#### 4.2.5 DESCRIPTION DU PANEL RENCONTRE

Le panel d'acteurs rencontrés est détaillé ci-dessous. Sont ainsi présentés les caractéristiques principales des unités fluviales étudiées :

- Bassins d'exploitation,
- Longueur et largeur,
- Port en lourd,
- Nombre, puissance, année de construction et type de système d'injection (classique ou haute pression) du ou des moteurs,
- Type de marchandises transportées.

Type	Bassins	Gamme	Port en lourd (t)	Nombre de moteur	Puissance totale (kW)	Type d'injection	Année de construction du moteur	Marchandises
Automoteur	Interbassin Seine	250-400t	378	1	300	Classique puis Haute pression	- 2004	Vrac solide
	Rhône	650-1000t	910	1	650	Classique	-	Vrac solide
	Rhône	> 1500t	2200	2	920	Classique	2000	Gaz liquéfiés
	Rhône	> 1500t	1596	1	660	Classique	1990	Gaz liquéfiés
	Interbassin Seine	250-400t	375	1	233	Classique	-	Vrac solide
	Interbassin Seine Rhin Nord	650-1000t	970	2	600	Classique	2001	Vrac solide
	Rhône	> 1500t	2300	1	920	Classique	1997	Vrac solide
	Interbassin Rhône Seine Rhin Nord	250-400t	397	1	301	Injection haute pression	2003	Vrac solide
	Interbassin Seine Rhin Moselle Nord Pas de Calais	250-400t	377	1	375	Classique	1996	Vrac solide
	Interbassin Seine	250-400t	375	1	233	Classique	-	Vrac solide
Interbassin Nord	250-400t	380	1	350	Classique	2000	Vrac solide	
Pousseur	Rhône	> 880kW	-	2	1890	Classique	2002	Vrac solide Conteneur
	Rhône	> 880kW	-	2	1380	Classique	-	Vrac liquide
	Seine	> 880kW	-	4	986	Classique	1998	Vrac solide
	Seine	295-590kW	-	2	580	Classique	2002	Vrac solide
	Seine	590-880kW	-	2	750	Classique	1996	Vrac solide
Convoi poussé (automoteur)	Seine	> 1500t	1540	1	440	Classique	2002	Vrac solide
	Seine	1000-1500t	1440	1	295	Classique	2000	Conteneur
	Seine	650-1000t	720	1	183	Classique	1992	-
	Interbassin Seine Nord	1000-1500t	1012	1	270	Classique	1984	Vrac solide

Les bateaux Freycinet rencontrés au cours de l'étude ont une puissance comprise entre 233 et 380kW.

Cet exemple de disparité entre les unités fluviales des acteurs rencontrés entraîne obligatoirement une importante différence au niveau des consommations.

Dans le cas des bateaux Freycinet, où le nombre d'acteurs rencontrés a été suffisant pour couvrir, a priori, la gamme de puissances possibles, cette différence a pu être correctement moyennée.

Au contraire, dans les cas où les unités fluviales étaient les seules de la gamme de puissance ou de tonnage considérées, le fait que celles-ci aient une motorisation puissante ou non a pu intervenir dans les données de consommation recueillies.

Ainsi, certaines données de consommation émanant des professionnels rencontrés peuvent être supérieures ou inférieures au regard des puissances « moyennes » rencontrées pour les équipements étudiés.

#### 4.2.6 LIMITES DU PROCESSUS DE COLLECTE

Le niveau de détail des données disponibles auprès des acteurs rencontrés est relativement hétérogène.

Dans la plupart des cas, les données au voyage étaient accessibles. La majorité des acteurs rencontrés possède en effet des informations sur leur consommation au voyage et les tient à jour de manière relativement précise et continue.

En revanche, dans le cas des trafics en interbassin, les consommations sur les différents tronçons des voyages types étudiés (changement de voie, de gabarit, rupture de charge...) n'ont pas toujours pu être obtenues.

En effet, les interlocuteurs interrogés n'ont pas d'idées précises sur leur consommation sur ces différents tronçons.

Les caractéristiques physiques et environnementales (*distance, nombre d'écluses, tirant d'eau, type de voie, gabarit, tonnage...*) des voyages ont pu être déterminées précisément.

Il est à noter, cependant, que certains des acteurs rencontrés n'ont qu'une idée globale de leur consommation et ne la suivent pas de manière précise.

## 4.3 DETERMINATION DES INDICATEURS DETAILLES PAR EQUIPEMENT

### 4.3.1 METHODOLOGIE

#### 4.3.1.1 APPROCHE GENERALE

Il s'agit ici de construire des indicateurs de consommation énergétique, d'efficacité énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour chacune des gammes d'unité fluviales déterminées.

Pour ce faire, les données qualitatives et quantitatives brutes collectées durant les entretiens ont été transférées au sein de bases de données Excel.

Ces données regroupent les données de consommation en charge et à vide pour des trajets avalant (dans le sens du courant) et montant (à contre-courant).

Les données de consommation sont en général connues pour les trafics en intrabassin mais inconnues pour l'interbassin, pour lequel les acteurs rencontrés n'ont pu indiquer les consommations effectives sur les différents tronçons (petit gabarit/grand gabarit).

Cependant, sur la base des entretiens et de différents contacts, l'hypothèse d'un régime constant sur les différents tronçons étudiés a été émise, afin de déterminer les consommations associées.

Une fois les consommations sur les différents tronçons obtenues, les indicateurs de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> ont pu être calculés.

Les données recueillies ne recouvrent pas l'ensemble des gammes d'unités fluviales présentes en France. Une évaluation des données manquantes, via l'étude des autres bassins, des autres unités sur les autres bassins ou des indicateurs obtenus pour des coefficients de chargement inférieur, a donc dû être opérée afin de compléter les données manquantes.

Ainsi, en charge, sont fournis des indicateurs de :

- Consommation de carburant :
  - En L/t.km
  - En L/km
- D'efficacité énergétique (*en t.km/kep*),
- De consommation unitaire d'énergie (*gcp/t.km*),
- D'émissions de dioxyde de carbone :
  - En g CO<sub>2</sub>/t.km,
  - En g CO<sub>2</sub>/km.

A vide, les indicateurs délivrés sont :

- Les consommations de carburant en L/km
- Les émissions de CO<sub>2</sub> en g CO<sub>2</sub>/km.

Ces indicateurs sont fournis pour des coefficients de chargement (*exprimés en pourcentage des tonnages maximum*) compris entre 80 et 100%.

Enfin, les données ci-dessous correspondent à une motorisation à injection classique, pris comme référence, ce type de moteur étant encore majoritairement répandu dans la profession.

Les indicateurs présentés au paragraphe 4.3.5 représentent les indicateurs construits directement via les informations fournies par les différents interlocuteurs.

Certaines données n'ont pas pu être exploitées directement (*coefficient de chargement inférieur à 80% pour les voyages types étudiés, absence de voyages types réalisés dans certains des cas de figure (en charge/à vide, montant/avalant), système d'injection haute pression...*).

Afin de combler ces manques et de déterminer d'autre part les indicateurs pour les unités fluviales dont la gamme de puissance ou de tonnage n'a pas été retenue dans le panel d'enquête, des estimations ont dû être effectuées (cf. chapitre 4.3.7).

Pour ce faire, il s'est auparavant agi d'étudier l'influence de certains paramètres susceptibles d'impacter plus ou moins fortement la consommation énergétique des unités fluviales.

#### **4.3.1.2 AGREGATION DES DONNEES**

Les bases de données regroupant les différentes informations recueillies lors des entretiens contiennent :

- Les données techniques des différents bateaux étudiés (*devise, port en lourd, longueur, largeur, nombre, type et puissance des moteurs, profil du bateau...*),
- La localisation géographique des trafics réalisés (*voyages uniquement sur des voies à grand gabarit, trafics interbassin...*),
- Les informations quant aux chargements effectués (*type de marchandises transportées*),
- Le détail des voyages types effectués accompagné d'informations précises relatives aux différents tronçons, en fonction du niveau de disponibilité des informations (*origine/destination, point de rupture de charge, point de changement de gabarit, consommation de carburant, sens du courant, distance, tonnage transporté, durée du parcours, nombre d'écluses et temps de passage associé...*),
- Les données annuelles (*consommations, tonnages transportés, distance parcourue, part des trajets à vide, temps de fonctionnement moteur...*),
- Le ressenti des acteurs quant à l'impact de certains paramètres sur la consommation de carburant et leur quantification éventuelle (*crue, forme du bateau, vent, temps depuis le dernier carénage...*).

Les informations relatives aux détails des voyages types, aux données annuelles et aux paramètres impactant la consommation ont été exploitées au sein de trois fichiers distincts afin de faciliter leur utilisation dont un extrait est présenté en annexes 7, 8 et 9.

#### **4.3.1.3 DETERMINATION DES CONSOMMATIONS DE CARBURANT A PARTIR DES DONNEES BRUTES**

Les consommations de carburant sur les trajets en intrabassin grand gabarit sont connues des acteurs rencontrés.

Dans le cas de l'interbassin, ces données sont accessibles sur l'ensemble du trajet mais l'information sur chacun des tronçons (petit gabarit/grand gabarit) n'est pas disponible.

Tous les acteurs rencontrés ont soutenu qu'ils gardaient un régime moteur constant sur la totalité des tronçons. Les changements de régime moteur, notamment liés aux dépassements, aux passages de pont, à l'urgence de la livraison ou d'un passage d'écluse, sont considérés comme très sporadiques.

Le régime moteur choisi lors de leur transport est fonction de nombreux paramètres :

- Caractéristiques du moteur. Les acteurs rencontrés connaissent la gamme de régime pour laquelle leur moteur a un rendement optimal. Les caractéristiques d'un moteur utilisé sur un bateau Freycinet sont présentées en annexe 10. Elles présentent notamment la courbe décrivant la consommation de carburant en fonction du régime moteur. Cette courbe présente, dans le cas particulier du moteur décrit, un minimum pour un régime de 1500 tours/minutes. Cette caractéristique est connue des acteurs de la voie fluviale qui, lorsque la voie le permet, essaieront de se placer à ce régime.
- Caractéristiques de la voie empruntée. Le type de voie empruntée et ses caractéristiques physiques (*tirant d'eau, largeur de la voie, courant...*) jouent un rôle important dans le choix du régime moteur. Les personnes interviewées sont ainsi conscientes de l'inutilité de tourner à des régimes trop importants dès lors, par exemple, que le tirant d'eau est faible.
- Caractéristiques environnementales (périodes de crue...).
- Caractéristiques d'exploitation (trafic en charge / à vide...).

Le profil de régime moteur au cours d'un parcours (*incluant les différents passages d'écluses*) est typiquement de la forme suivante :

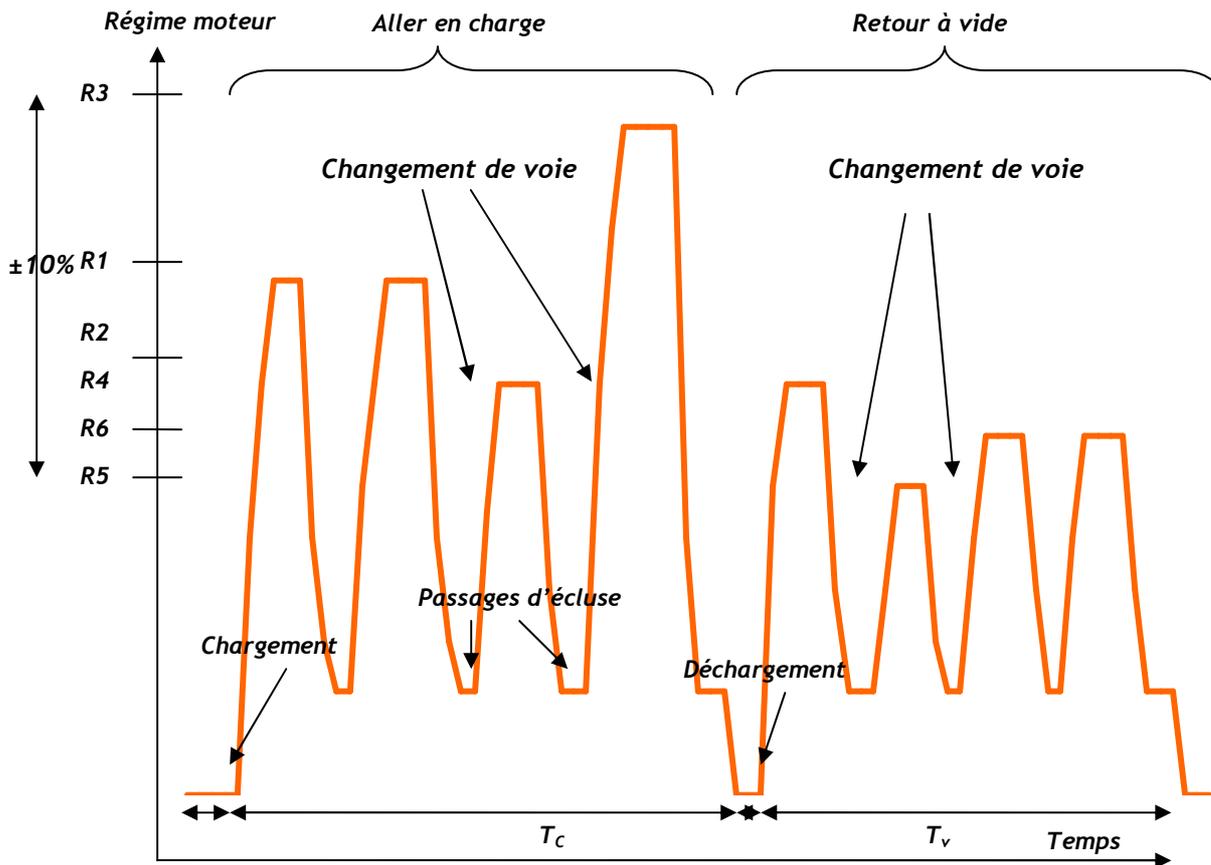


Figure 13 - Schématisation des régimes moteur utilisés lors d'un voyage

Afin de les rendre plus facilement exploitables, il est « approximé » de la manière suivante :

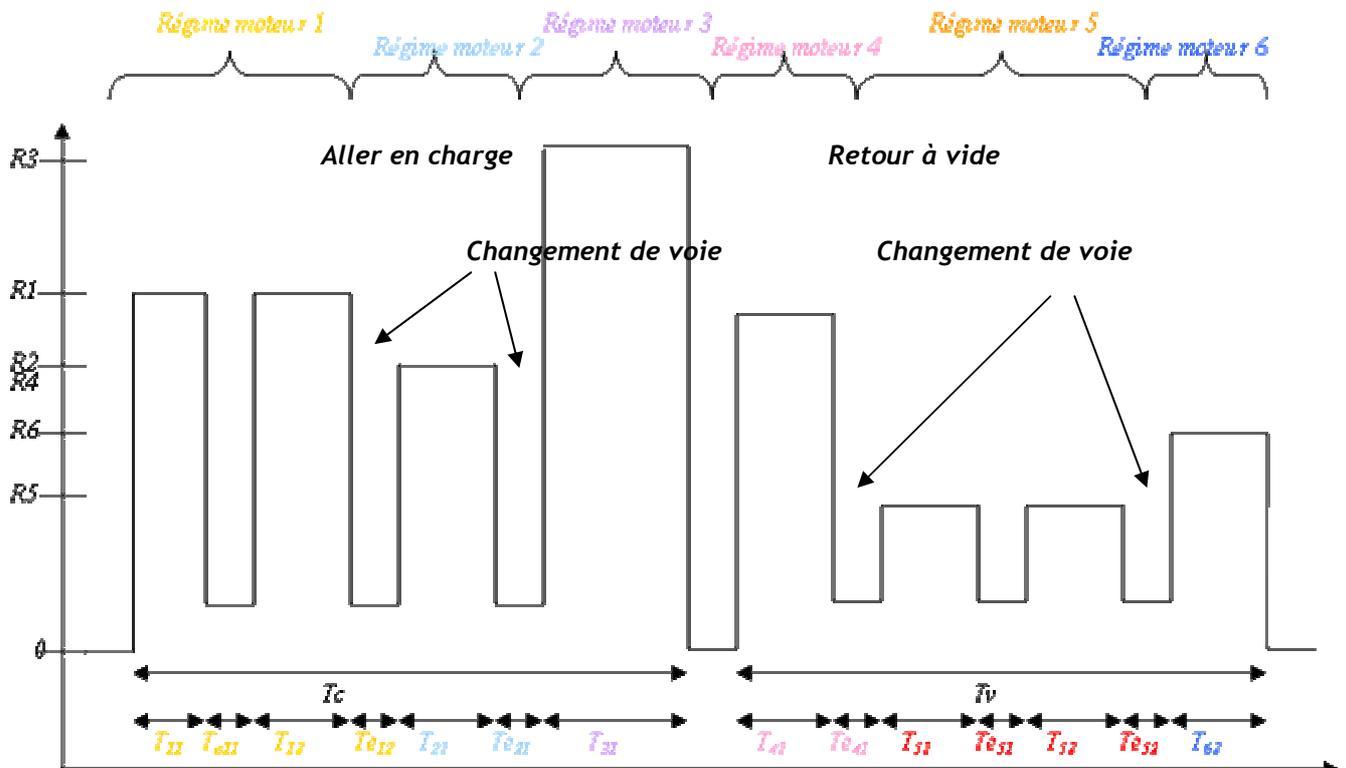


Figure 14 - Modélisation des régimes moteur utilisés lors d'un voyage type

Les consommations liées aux passages d'écluses sont considérées comme négligeables par rapport aux consommations liées aux voyages. En effet, les personnes rencontrées ont tous dit rester au point mort lors des passages d'écluses, voire arrêter leur moteur lorsque le temps de passage de l'écluse leur paraissait trop long.

#### **4.3.1.3.1 Cas des trajets types en intrabassin**

Les voyages types réalisés en intrabassin sont composés exclusivement d'un seul tronçon.

Les données de consommation de carburant sur ces voyages permettent donc directement d'obtenir la consommation unitaire du trafic.

#### **4.3.1.3.2 Cas des trajets en interbassin**

Dans le cas des trajets en interbassin, les voyages types ont été découpés en tronçons, de gabarits différents, l'objectif étant de déterminer la consommation liée à ces différents tronçons.

La consommation globale sur un voyage type est la somme des consommations sur les différents tronçons.

$$C_{FODt} = \sum C_{FODn}$$

Où :

- $C_{FODn}$  est la consommation de carburant pour le tronçon n,
- $C_{FODt}$  la consommation totale sur le voyage type.

##### **4.3.1.3.2.1 Voyage en charge**

Après contact avec des bateliers, des motoristes et le CETMEF, il a été émis l'hypothèse que, dans les gammes de régime moteur utilisées par les professionnels de la voie d'eau pour des trafics en charge, la consommation de carburant pouvait être considérée comme directement liée au régime moteur.

De plus, tous les acteurs rencontrés nous ont assuré naviguer en charge à des régimes moteur optimum pour la consommation de carburant. La gamme de régime moteur utilisée pour les voyages en charge varient ainsi, sur les différents tronçons, d'environ 10% autour du régime optimal.

Nous considérerons donc dans la suite de l'étude que les voyages en charge sont réalisés à des régimes moteur optimum et que la relation entre consommation de carburant et régime moteur peut être considérée comme linéaire :

$$C_{FODn} = K \times RM_n \times t_n$$

Où :

- $C_{FODn}$  est la consommation de carburant pour le tronçon n,
- $RM_n$  le régime moteur utilisé pour le tronçon n,
- $t_n$  le temps mis pour parcourir le tronçon n,
- K le facteur, constant dans la gamme de régime moteur considéré, liant consommation, régime moteur et temps de fonctionnement.

La modélisation des régimes moteur utilisés au cours des trajets en interbassin ci-dessus est utilisée ici afin de déterminer les consommations de carburant pour chacun des tronçons, dans le cas où les données de consommation intermédiaires ne seraient pas connues.

En prenant comme exemple, le trajet schématique type précédent, la consommation de carburant totale sur le trajet en charge est donc de :

$$C_{FODt} = \sum C_{FODn} = C_{FOD11} + C_{FOD12} + C_{FOD21} + C_{FOD31}$$

$$CFOD = K \times RM_1 \times T_{11} + K \times RM_1 \times T_{12} + K \times RM_2 \times T_{21} + K \times RM_3 \times T_{31}$$

Le facteur K est donc dès lors égal à :

$$K = C_{FODt} / ((RM_1 \times T_{11}) + (RM_1 \times T_{12}) + (RM_2 \times T_{21}) + (RM_3 \times T_{31}))$$

$$K = C_{FODt} / (RM_1 \times (T_1 - T_{e11} - T_{e12}) + RM_2 \times (T_2 - T_{e21}) + RM_3 \times (T_3 - T_{e31}))$$

Une fois le facteur K déterminé, il est dès lors possible de connaître les différentes consommations sur les différents tronçons par le formule :

$$C_{FODn} = K \times RM_n \times T_n$$

#### 4.3.1.3.2.2 Voyage à vide

De même que pour les voyages en charge, nous considérerons dans la suite de l'étude que les professionnels se positionnent à des régimes optimum pour les voyages à vide.

La relation entre consommation de carburant et régimes moteur est ici aussi considérée comme linéaire et de la forme :

$$C_{FODn} = K \times RM_n \times t_n$$

Où :

- $C_{FODn}$  est la consommation de carburant pour le tronçon n,
- $RM_n$  le régime moteur utilisé pour le tronçon n,
- $t_n$  le temps mis pour parcourir le tronçon n,
- K le facteur, constant sur la gamme de régime moteur considérée, liant consommation, régime moteur et temps de fonctionnement.

Par le même cheminement que pour les voyages en charge, les consommations sur les différents tronçons d'un voyage à vide sont déterminées par la formule :

$$C_{FODn} = K \times RM_n \times T_n$$

Où K est déterminé comme précédemment.

#### **4.3.1.4 CALCUL DES INDICATEURS D'EFFICACITE ENERGETIQUE, DE CONSOMMATION ENERGETIQUE ET D'EMISSION DE CO<sub>2</sub>**

A la fin de l'étape précédente, toutes les consommations sur les différents tronçons étudiés avec les bateliers ont pu être déterminées. Celles-ci permettent dès lors de calculer les indicateurs de consommation énergétique, d'efficacité énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> :

- La **consommation unitaire d'énergie** (*exprimée en gramme équivalent pétrole par tonne.kilomètre [gep/t.km]*). Cet indicateur fournit une information sur l'énergie nécessaire par unité de trafic, exprimé en tonne.kilomètre.
- L'**efficacité énergétique**, en t.km/kep, d'un mode de transport est définie comme le trafic pouvant être réalisé (*en t.km*) grâce à un kilogramme équivalent pétrole de carburant.
- Les **émissions unitaires de CO<sub>2</sub>** (exprimées en gCO<sub>2</sub>/t.km) sont directement liées à la consommation de carburant et fonction du carburant utilisé.

##### **4.3.1.4.1 Consommation unitaire d'énergie**

La consommation unitaire d'énergie fournit une information sur l'énergie nécessaire par unité de trafic (exprimé en tonne.kilomètre) et est exprimé en gramme équivalent pétrole par tonne.kilomètre.

La consommation d'énergie est généralement connue à partir des poids de carburant brûlé s'il s'agit de combustibles fossiles, et des kWh électriques utilisés s'il s'agit d'électricité.

Chaque combustible dispose d'un pouvoir calorifique propre : lorsque l'on brûle une tonne de combustible, cela dégage une certaine quantité d'énergie, sous forme de chaleur. Pour comparer deux combustibles, une unité a été établie : la tonne équivalent pétrole (*ou tep*), qui vaut par définition, d'après la DGEMP, 41,6 gigajoules.

Ainsi une tonne de pétrole dégage, par sa combustion, 1 tonne équivalent pétrole de chaleur, et les autres combustibles ont une mesure avec cette unité qui se présente comme suit :

Nature de combustible	Énergie dégagée par la combustion d'une tonne ( <i>en Gj</i> )	1 tonne de ce combustible vaut ( <i>en tep</i> )...
Lignite	17	0,405
Houille	26	0,619
Pétrole brut, gazole	42	1,000
Essence	44	1,048
GPL	46	1,095

Tableau 43 - Equivalence en tep de l'énergie libérée par la combustion de certains carburants (Source : DGEMP)

Dans le cas du transport fluvial, le carburant utilisé est le Fuel Oil Domestique (*FOD*), mélange d'hydrocarbures d'origine minérale ou issus de procédés de raffinage, et éventuellement d'ester méthylique d'huile végétale (*EMHV*).

La combustion d'une tonne de FOD fournit l'énergie d'1tep.

**Dans le cas des voyages en charge, la consommation unitaire d'énergie est donc calculée en évaluant la consommation d'énergie (*en gramme équivalent pétrole - gep*) nécessaire au transport d'une tonne.kilomètre de marchandises.**

#### 4.3.1.4.2 Efficacité énergétique

Exprimée en t.km/kep, l'efficacité énergétique d'un mode de transport est définie comme l'inverse de la consommation énergétique par tonne.kilomètre.

#### 4.3.1.4.3 Emissions de CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub>, exprimées en gramme de CO<sub>2</sub> par tonne.kilomètre (gCO<sub>2</sub>/t.km), sont directement liées à la consommation de carburant et fonction du carburant utilisé.

Les caractéristiques du FOD sont les suivantes :

Couleur	Rouge
Masse volumique à 15 °C	0,845 kg/L
Viscosité	compris entre 3 et 7,5 mm <sup>2</sup> /s
Pouvoir Calorifique Supérieur (PCI)	11,85 kWh/kg
Point éclair	≥ 55 °C
Teneur en eau	≤ 200mg/kg
Teneur en eau et en sédiment	≤ 0,1%
Indice de cétane	≥ 40
Teneur en soufre	≤ 0,20%

Tableau 44 - Caractéristiques du FOD (Source : CPDP - Comité Professionnel du Pétrole)

La masse volumique du FOD est, dans la suite de l'étude et au sein des calculs, prise comme égale à 845g/L.

Le facteur d'émissions, reliant consommation de carburant et émissions de CO<sub>2</sub>, utilisé dans l'« étude sur les pollutions de l'air par les moteurs de bateaux de la navigation intérieure » du CITEPA, publiée en 2000, pour l'année 1997, est de :

$$a=3150 \text{ gCO}_2/\text{kg de carburant}$$

La méthodologie utilisée pour déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> consiste donc simplement à multiplier les consommations de carburant obtenues au travers des divers questionnaires et synthétisées, par le facteur d'émission défini ci-dessus.

$$E_{CO_2} = a \times C_{FOD}$$

Où C<sub>FOD</sub> est la consommation de carburant (en kg) et E<sub>CO<sub>2</sub></sub> la quantité de CO<sub>2</sub> émise.

## 4.3.2 INDICATEURS PAR EQUIPEMENT ISSUS DES DONNEES BRUTES

### 4.3.2.1 SEINE

Les informations sur les débits de la Seine sont présentées en annexe 11.

#### A noter :

Les pratiques en Seine semblent plus tourner autour de convois automoteur et moins de convois pousseur. Il a donc été décidé de se reporter, dès lors, vers l'étude de convois poussés par des automoteurs en lieu et place des convois poussés par des pousseurs.

#### 4.3.2.1.1 En charge

##### 4.3.2.1.1.1 Montant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Consommation unitaire d'énergie	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gep/t.km)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	0,0137	4,4	86	11,6	36	12 510
	400-650t						
	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t	Données de consommation non disponibles <sup>1</sup>					
	> 1500t	Unité fluviale remplacée par un convoi automoteur > 1500t					
Convoi automoteur	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t	Données disponibles pour des coefficients de chargement compris entre 0 et 20%					
	> 1500t	0,0059	8	199	5,0	16	21 261
Pousseurs	< 295 kW	Unité fluviale remplacée par un convoi automoteur de 650-1000t					
	295-590kW	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 40-60%					
	590-880kW	0,0077	17,3	154	6,5	20	46 119
	> 880kW	0,0045	18,4	264	3,8	12	48 865

Tableau 45 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Seine montant

<sup>1</sup> Les objectifs et la méthode de l'étude ont été présentés au batelier avant rencontre. Le batelier n'avait pas accès aux données chiffrées de consommation.

#### 4.3.2.1.1.2 Avalant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Consommation unitaire d'énergie	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gep/t.km)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	0,0120	4,5	99	10,1	31,8	11 940
	400-650t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t	Données de consommation non disponibles *					
	> 1500t	Unité fluviale remplacée par un convoi automoteur > 1500t					
Convoi automoteur	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t	0,0047	5,2	254	3,9	12,4	13 940
	> 1500t	0,0045	8,8 <sup>1</sup>	263	3,8	12,0	23 493
Pousseurs	< 295 kW	Unité remplacée par un convoi automoteur de 650-1000t					
	295-590kW	0,0053	8	223	4,5	14,11	21 294
	590-880kW	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	> 880kW	0,0045	14,3	263	3,8	12	38 143

Tableau 46 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Seine avalant

<sup>1</sup> La donnée de consommation supérieure, pour cette catégorie, pour un trafic en charge avalant par rapport à un trafic montant a été expliquée par l'acteur rencontré par le fait qu'il existe, d'après lui, une différence notable, en eaux calmes, entre la conduite sur Seine aval et sur Seine amont. En effet, d'après lui, il est possible que la consommation énergétique soit plus importante dans le cas d'un trafic avalant sur Seine amont que pour un trafic montant sur Seine aval. C'est ce cas de figure qui transparait ici.

#### 4.3.2.1.2 A vide

##### 4.3.2.1.2.1 *Montant*

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	3,5	9 185
	400-650t		
	650-1000t	Pas de voyage type réalisé par le batelier à vide montant	
	1000-1500t	Données de consommation non disponibles <sup>1</sup>	
	> 1500t	Unité fluviale remplacée par un convoi automateur > 1500t	
Convoi automateur	650-1000t	3,1	8 274
	1000-1500t	3,3	8 746
	> 1500t	Pas de voyage type réalisé par le batelier à vide montant	
Pousseurs	< 295 kW	Unité fluviale remplacée par un convoi automateur de 650-1000t	
	295-590kW	6,6	17634
	590-880kW	10,2	27237
	> 880kW	Unité fluviale remplacée par un convoi automateur > 1500t	

Tableau 47 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Seine montant

##### 4.3.2.1.2.2 *Avalant*

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	1,90	5 067
	400-650t		
	650-1000t	Pas de voyage type réalisé à vide avalant	
	1000-1500t	Données de consommation non disponibles *	
	> 1500t	Unité fluviale remplacée par un convoi automateur > 1500t	
Convoi automateur	650-1000t	2,7	7 266
	1000-1500t	Pas de voyage type réalisé à vide avalant	
	> 1500t	5,5	14 669
Pousseurs	< 295 kW	Unité fluviale remplacée par un convoi automateur de 650-1000t	
	295-590kW	Pas de voyage type réalisé à vide avalant	
	590-880kW	Pas de voyage type réalisé à vide avalant	
	> 880kW	14,33	38 139

Tableau 48 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Seine avalant

<sup>1</sup> Les objectifs et la méthode de l'étude ont été présentés au batelier avant rencontre. Le batelier n'avait pas accès aux données chiffrées de consommation.

#### 4.3.2.2 RHONE-SAONE

Nous considérons dans ce chapitre, une donnée globale de consommation liée au bassin Rhône-Saône. Celle-ci englobe les trafics réalisés sur le Rhône et sur la Saône grand gabarit.

Les caractéristiques minimales des voies navigables et les dimensions des bateaux, convois poussés et matériels flottants autorisés sur ce bassin sont présentées en annexes 12 et 13. Les informations sur les débits du Rhône et de la Saône sont fournies en annexes 14 et 15.

Il n'a pas paru indispensable, sur le bassin Rhône, de s'intéresser aux convois poussés par un automoteur. En effet, les différents contacts pris sur le bassin n'ont pas indiqué la présence déterminante de ce genre de convois sur le bassin.

D'après les acteurs rencontrés au cours de l'étude, les pousseurs de puissance comprise entre 295 et 590kW sont utilisés comme pousseurs de manœuvre. Il a donc été décidé de s'intéresser à une puissance comprise entre 590 et 880kW.

##### 4.3.2.2.1 En charge

###### 4.3.2.2.1.1 Montant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)			(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t						
	400-650t						
	650-1000t	0,0109	8,2	108	9,2	29,1	21826
	1000-1500t	0,0055	8,3	214	4,7	14,7	21970
	> 1500t	0,0058	11,6	204	4,9	15,5	30 904
Pousseurs	< 295 kW						
	295-590kW	Données de consommation non disponibles					
	590-880kW						
	> 880kW	0,0052	20,2	229	4,4	13,8	53 740

Tableau 49 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Rhône montant

###### 4.3.2.2.1.2 Avalant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)			(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t						
	400-650t						
	650-1000t	0,0085	6,4	139	7,2	22,7	17035
	1000-1500t	0,0044	6,5	272	3,68	11,6	17 322
	> 1500t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
Pousseurs	< 295 kW						
	295-590kW	Données de consommation non disponibles					
	590-880kW						
	> 880kW	0,0036	13,9	331	3	9,5	37 074

Tableau 50 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Rhône avalant

#### 4.3.2.2.2 A vide

##### 4.3.2.2.2.1 Montant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emissions de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t		
	400-650t		
	650-1000t		
	1000-1500t	Pas de voyages types à vide réalisé	
	> 1500t	8,7	23 258
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW	Données de consommation non disponibles	
	590-880kW		
	> 880kW	13,8	36 758

Tableau 51 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Rhône montant

##### 4.3.2.2.2.2 Avalant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emissions de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t		
	400-650t		
	650-1000t		
	1000-1500t	Pas de voyages types à vide réalisé	
	> 1500t	Pas de voyages types à vide réalisé	
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW	Données de consommation non disponibles	
	590-880kW		
	> 880kW	11,2	29 744

Tableau 52 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Rhône avalant

### 4.3.2.3 NORD-PAS DE CALAIS

#### 4.3.2.3.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Consommation unitaire d'énergie	Emissions de CO <sub>2</sub>		
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gep/t.km)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)	
Automoteurs	250-400t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%						
	400-650t							
	650-1000t	0,0104	9,4	114	8,8	27,7	24 911	
	1000-1500t							
	> 1500t							
Convoi automoteur	650-1000t	0,0074	4,7	159	6,3	19,8	12 477	
	1000-1500t	0,0059	6,7	199	5,0	15,82	17 831	
Pousseurs	< 295 kW							
	295-590kW							
	590-880kW							
	> 880kW	0,0050	15,0	237	4,2	13,3	39 821	

Tableau 53 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur le réseau grand gabarit Nord Pas de Calais

#### 4.3.2.3.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	Pas de voyages types à vide réalisé	
	400-650t		
	650-1000t	Pas de voyages types à vide sur cette voie	
	1000-1500t		
	> 1500t		
Convoi automoteur	650-1000t	Pas de voyages types à vide sur cette voie	
	1000-1500t	Pas de voyages types à vide sur cette voie	
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW	11,5	30 619

Tableau 54 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur le réseau grand gabarit Nord Pas de Calais

#### 4.3.2.4 INTERBASSIN

Pour figurer l'interbassin, il est apparu indispensable non seulement d'établir un indicateur pour les canaux Freycinet, mais aussi de particulariser certaines voies, au vu de l'importance de certains trafics en interbassin (*interbassin Seine-Nord et interbassin Centre notamment*). Ainsi, sont présentés ci-dessous des indicateurs relatifs :

- Au Canal du Nord (*Interbassin Seine-Nord*),
- A l'Oise (*Interbassin Seine-Nord*)

##### 4.3.2.4.1 Canal du Nord

###### 4.3.2.4.1.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)			(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	Pas de voyages types dans cette voie					
	400-650t	Unité fluviale remplacée par un convoi automoteur de 650-1000t					
	650-1000t	Pas de voyages types dans cette voie					
	1000-1500t						
	> 1500t						
Convoi automoteur	650-1000t	0,0073	4,6	162	6,17	19,4	12 244
	1000-1500t						
Pousseurs	< 295 kW						
	295-590kW						
	590-880kW						
	> 880kW						

Tableau 55 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur le Canal du Nord

###### 4.3.2.4.1.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	Pas de voyages types dans cette voie	
	400-650t	Unité fluviale remplacée par un convoi automoteur de 650-1000t	
	650-1000t	Pas de voyages types dans cette voie	
	1000-1500t		
	> 1500t		
Convoi automoteur	650-1000t	Pas de voyages types dans cette voie	
	1000-1500t		
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW		

Tableau 56 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur le Canal du Nord

#### 4.3.2.4.2 Canal Freycinet

##### 4.3.2.4.2.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Consommation unitaire d'énergie	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gep/t.km)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	0,0097	3,13	122	8,2	25,9	8337

Tableau 57 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur les canaux Freycinet

##### 4.3.2.4.2.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	Pas de données de consommation chiffrées pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	

Tableau 58 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur les canaux Freycinet

#### 4.3.2.5 OISE

##### 4.3.2.5.1.1 En charge - Montant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Emissions de CO <sub>2</sub>		
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)	
Automoteurs	250-400t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	400-650t	Pas de données de consommation chiffrées pour les voyages à vide réalisés sur cette voie					
	650-1000t	Pas de données de consommation chiffrées pour les voyages à vide réalisés sur cette voie					
	1000-1500t						
	> 1500t						
Convoi automoteur	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t						
Pousseurs	< 295 kW						
	295-590kW						
	590-880kW						
	> 880kW						

Tableau 59 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Oise montant

##### 4.3.2.5.1.2 En charge - Avalant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant		Efficacité énergétique	Consommation unitaire d'énergie	Emissions de CO <sub>2</sub>	
		(L/t.km)	(L/km)	(t.km/kep)	(gép/t.km)	(gCO <sub>2</sub> /t.km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	0,0080	2,6	147	6,8	21,4	6874
	400-650t	Pas de données de consommation chiffrées pour les voyages à vide réalisés sur cette voie					
	650-1000t	Données disponibles pour des coefficients de chargement de 60-80%					
	1000-1500t						
	> 1500t						
Convoi automoteur	650-1000t	0,0046	2,9	256	3,91	12,3	7753
	1000-1500t						
Pousseurs	< 295 kW						
	295-590kW						
	590-880kW						
	> 880kW						

Tableau 60 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités en charge sur Oise avalant

#### 4.3.2.5.1.3 A vide - Montant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	2,1	5689
	400-650t	Pas de données de consommation chiffrés pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	
	650-1000t	Pas de données de consommation chiffrés pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	
	1000-1500t		
	> 1500t		
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW		

Tableau 61 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Oise montant

#### 4.3.2.5.1.4 A vide - Avalant

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant	Emissions de CO <sub>2</sub>
		(L/km)	(gCO <sub>2</sub> /km)
Automoteurs	250-400t	Pas de données de consommation chiffrés pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	
	400-650t	Pas de données de consommation chiffrés pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	
	650-1000t	Pas de données de consommation chiffrés pour les voyages à vide réalisés sur cette voie	
	1000-1500t		
	> 1500t		
Pousseurs	< 295 kW		
	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW		

Tableau 62 - Indicateurs de consommation, d'efficacité énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour des unités à vide sur Oise avalant

#### 4.3.2.6 RHIN/MOSELLE

Comme indiqué lors de l'établissement du panel, les trafics réalisés par des bateaux français sur les bassins du Rhin et de la Moselle sont trop faibles pour avoir pu être inclus dans le panel d'entrevues.

Certaines données de consommation recueillies pour le Rhin et la Moselle, sur des trajets Rotterdam/Thionville, sont présentées ci-dessous :

Unité fluviale	Automoteur		Automoteur		Pousseur		Convoi automoteur	
	1000-1500t		> 1500t		> 880kW		> 1500t	
Origine	Rotterdam	Thionville	Rotterdam	Thionville	Rotterdam	Thionville	Rotterdam	Thionville
Destination	Thionville	Rotterdam	Thionville	Rotterdam	Thionville	Rotterdam	Thionville	Rotterdam
Avalant (A) / Montant (M)	M	A	M	A	M	A	M	A
Consommation (L)	11000	5500	18000	9000	25740	12870	20310	10155
Tonnage (t)	1200	1200	2300	2300	4500	4500	4500	4500
Distance (km)	650	650	650	650	650	650	650	650
Consommation (L/km)	16,9	8,5	27,7	13,8	39,6	19,8	31,2	15,6
Efficacité énergétique (t.km/kep)	83,9	167,8	98,3	196,6	134,5	269,0	170,4	340,9
Consommation (L/t.km)	0,0141	0,0071	0,0120	0,0060	0,0088	0,0044	0,0069	0,0035
Rapport Consommation Montant / Consommation Avalant	2		2		2		2	

Les données de consommation sur fond jaune sont estimées. Le rapport entre consommation montant et consommation avalant pour les automoteurs de tonnage supérieur à 1500t est, d'après les données brutes, de 2.

Ce rapport a été repris pour les autres unités afin d'estimer les consommations dans les cas manquants.

Tous les résultats bruts provenant des différents entretiens sont fournis en annexes 16 à 25. Ils présentent, en fonction de l'unité fluviale considérée :

- La voie empruntée,
- Le sens du courant,
- Le nombre de données exploitées pour chacun des cas de figure,
- Le coefficient de chargement du voyage considéré,
- Les résultats en terme de consommation (*en L/t.km et en L*), d'efficacité énergétique (*en t.km/kep*) et d'émissions de CO<sub>2</sub> (*en gCO<sub>2</sub>/t.km et en gCO<sub>2</sub>/km*).

## 4.4 ETUDE DE L'INFLUENCE DE CERTAINS PARAMETRES SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Cette partie recense les différents paramètres susceptibles d'impacter la consommation de carburant des unités fluviales pour lesquels des données ont pu être collectées. Cette partie ne prétend pas être exhaustive, d'autres paramètres étant susceptibles d'impacter la consommation.

L'impossibilité pour les bateliers d'estimer quantitativement l'impact de ces paramètres a conduit à en mener une analyse qualitative. Pour chacun de ces paramètres, cinq classes étaient proposées aux bateliers :

- -- : réduit fortement la consommation de carburant,
- - : réduit la consommation de carburant,
- 0 : n'impacte pas la consommation,
- + : augmente la consommation,
- ++ : impacte fortement à la hausse la consommation de carburant.

### 4.4.1 SYSTEME D'INJECTION

La motorisation joue un rôle important dans la consommation de carburant. Sans aller dans les détails techniques des motorisations rencontrées, la motorisation des unités fluviales a été étudiée au travers de leur puissance et des caractéristiques de leur système d'injection (*classique ou haute pression*).

L'étude d'un bateau en particulier a permis de définir et de quantifier précisément l'influence de la technologie de motorisation sur la consommation de carburant. Cette étude a en effet été menée sur différents voyages, pour lesquelles de nombreuses données de consommation étaient disponibles, et ce, pour deux motorisations différentes, la première à système d'injection classique et la seconde, à haute pression, le moteur du bateau ayant été changé.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Système d'injection	Distance	En charge			A vide		
		Consommation de carburant (L)	Durée (h)	% de réduction	Consommation de carburant (L)	Durée (h)	% de réduction
Classique	197	591	29	14,04%	371	22	18,87%
Haute pression		508	30		301	22	
Classique	131	388	20	15,98%	249	15	12,85%
Haute pression		326	20		217	15	

Tableau 63 - Evaluation du gain de consommation de carburant du à un passage en motorisation à injection haute pression

Comme le montrent les données ci-dessus, le passage en injection à haute pression ne s'accompagne pas d'une amélioration des temps de parcours ou d'une augmentation de la vitesse.

La réduction de consommation de carburant obtenue par ce batelier grâce au passage à un système d'injection haute pression est, en moyenne, de 15% par rapport à une motorisation classique.

D'autre part, l'étude, au travers d'autres entretiens, a permis de fournir des renseignements sur les consommations de carburant des automoteurs de tonnage compris entre 250 et 400 tonnes suivant pour un système d'injection classique et un système d'injection haute pression. Ces données sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Unité fluviale	Système d'injection haute pression	Consommation de carburant (L/t.km) pour des coefficients de chargement (en tonnes) de 80 à 100%					Moyenne
		Canal Freycinet	Seine		Oise		
			Montant	Avalant	Montant	Avalant	
Automoteur 250-400t	O	0,0086	0,0104	-	-	0,0071	0,0087
	N	0,0110	0,0150	-	-	0,0084	0,0115
	% de réduction	<b>21%</b>	<b>31%</b>	-	-	<b>16%</b>	<b>24%</b>

Tableau 64 - Evaluation des gains de consommations entraînés par le passage en motorisation à système d'injection haute pression

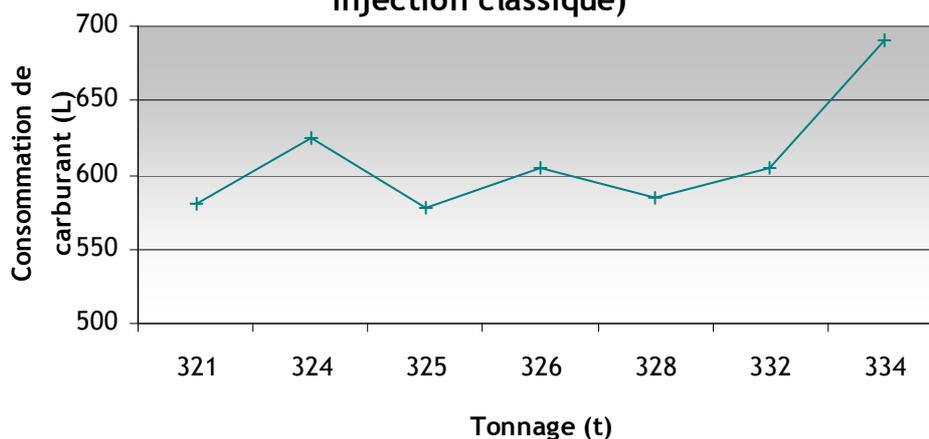
D'après les informations collectées au cours de ces analyses, l'économie réalisée par le passage en motorisation à système d'injection haute pression atteint en moyenne 20%.

#### 4.4.2 TONNAGE

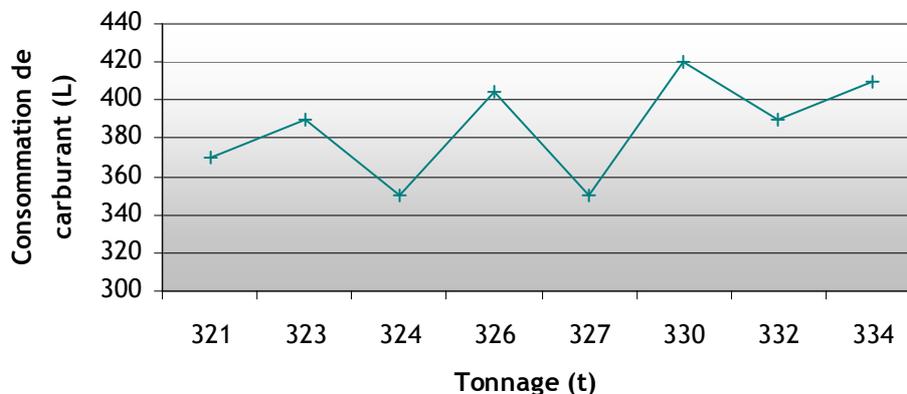
L'influence du tonnage dans la consommation de carburant des unités fluviales a pu être déterminée grâce aux données disponibles sur un grand nombre de voyages, réalisés par un même batelier, propriétaire d'un bateau Freycinet, sur des trajets réguliers et pour des coefficients de chargement variant entre 80 à 100%.

Les variations de consommation figurent dans les graphiques ci-dessous :

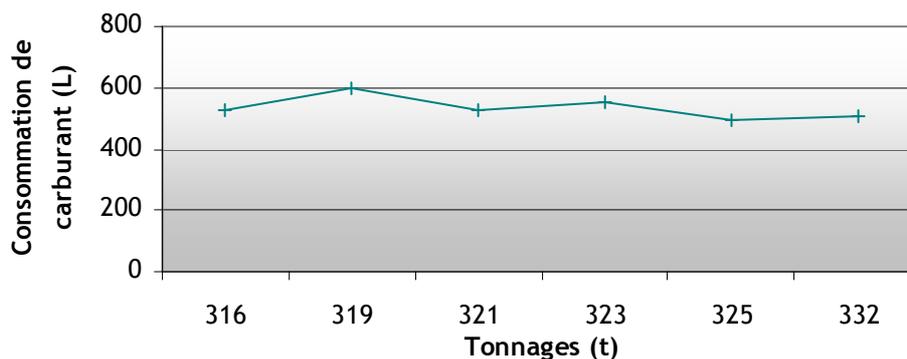
**Variation de la consommation en fonction du tonnage - La Fère/Aubervilliers (Moteur à injection classique)**



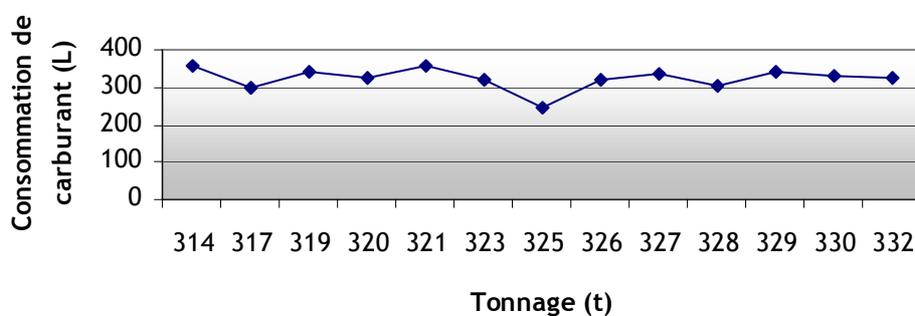
### Variation de la consommation en fonction du tonnage - La Fère / Saint Ouen l'Aumone (Moteur à injection classique)



### Variation de la consommation de carburant en fonction du tonnage - La Fère/Aubervilliers (Moteur à injection haute pression)



### Variation de la consommation en fonction du tonnage - La Fère Saint Ouen (Moteur à injection haute pression)



Ces résultats nous indiquent que, pour une gamme de bateau donnée, des variations limitées de tonnages n'impactent pas de manière significative la consommation de carburant des bateaux.

Ceci confirme la pertinence de la méthodologie fixée qui entend déterminer une consommation de carburant des automoteurs pour des gammes de port en lourd définies.

La méthodologie employée au cours de cette étude est basée sur le recueil de données de consommation concernant des voyages types que sont amenés à réaliser les bateliers. Dans le cas où les informations disponibles auprès des différents interlocuteurs se restreignent à une donnée de consommation moyenne par voyage, la méthodologie n'est valable que si cette donnée ne présente qu'une variabilité réduite dans des conditions de voyage relativement identiques.

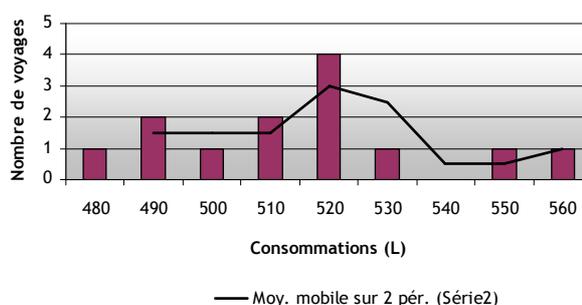
Le recueil d'un grand nombre de données pour un même voyage type réalisé par certains bateliers a permis de caractériser la variabilité des données de consommation disponibles.

Comme l'indiquent les tableaux ci-dessous, celle-ci est relativement réduite.

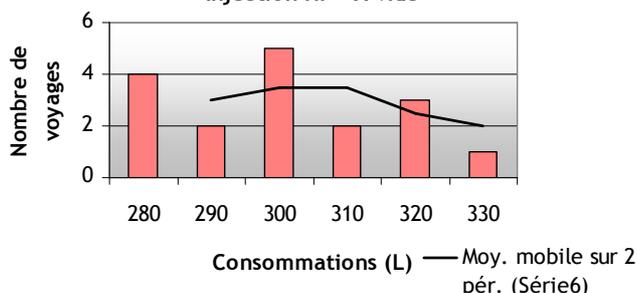
Bateau	Freycinet - 378t							
Trajet (Origine/Destination)	La Fère/Saint Ouen				La Fère/Aubervilliers			
Distance (km)	131				197			
Motorisation	Injection Classique		Système d'injection haute pression		Injection Classique		Système d'injection haute pression	
Nombre de voyages étudiés	9		47		18		17	
	En charge	A vide	En charge	A vide	En charge	A vide	En charge	A vide
Consommation moyenne (L)	388	249	326	217	591	371	508	301
Ecart type	24,39	12,86	16,43	16,79	27	10,79	27,86	15,52
Différence Maximum/moyenne	8,31%	4,46%	10,43%	24,40%	8,36%	7,95%	10,21%	9,78%
Différence Minimum/moyenne	-9,74%	-11,61%	-7,98%	-7,85%	-6,88%	-2,85%	-9,47%	-6,85%

Tableau 65 - Etude de la variabilité de la consommation de carburant pour un bateau Freycinet en Interbassin

#### Profil de consommations - La Fère Aubervilliers - Injection HP - en charge



#### Profil de consommation - La Fère Aubervilliers - Injection HP - A vide

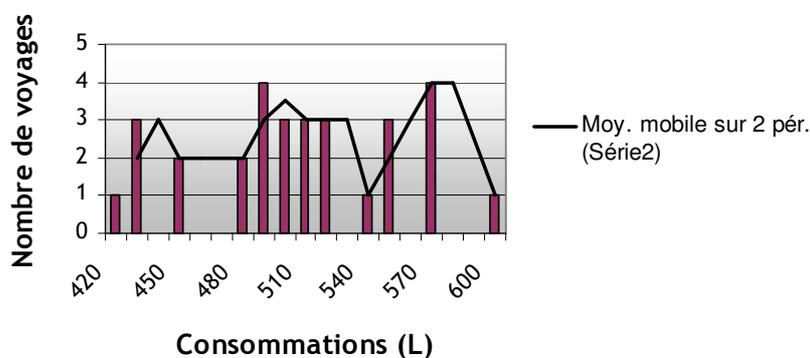


Les chiffres de la différence entre maximum et moyenne sont relativement réduits (<10%). Seul un cas fournit une différence de 24%. Cette dernière n'a pu être expliquée.

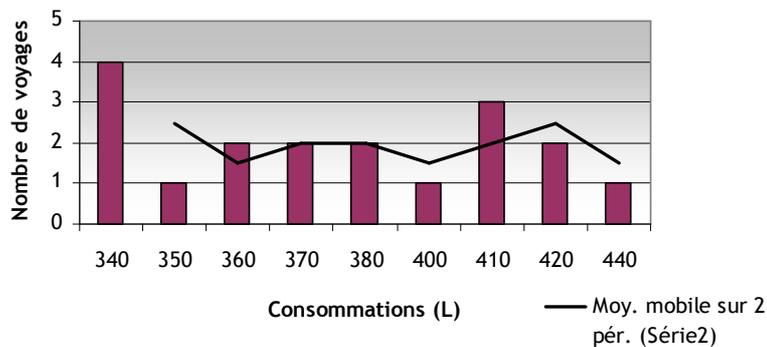
Bateau	Convoi Freycinet + Barge - 720t	
Origine	La Brosse	
Destination	Pantin	
Distance (km)	148	
Nombre de voyages étudiés	35	34
	<b>En charge</b>	<b>A vide</b>
Consommation moyenne (L)	503	397
Ecart type	45,21	43,84
Différence Maximum/moyenne	13,30%	18,40%
Différence Minimum/moyenne	-16,52%	-14,35%

Tableau 66 - Etude de la variabilité de la consommation de carburant d'un convoi automoteur pousseur en Interbassin

### Profil de consommations - En charge



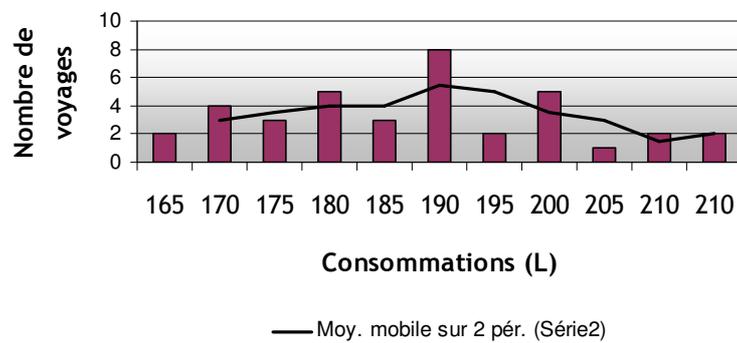
### Profil de consommation - A vide



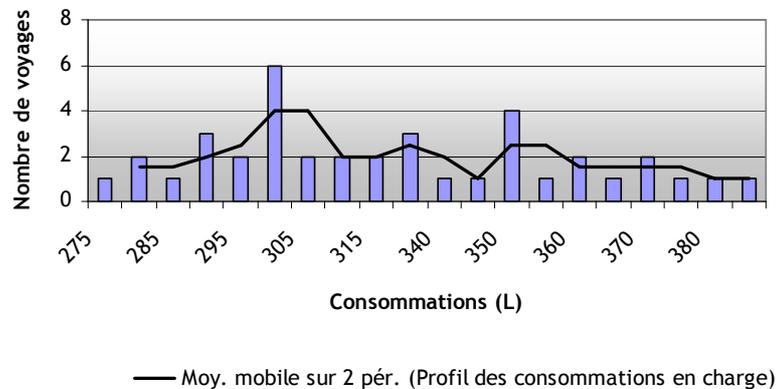
Bateau	Freycinet - 388t	
Origine	Verberie	
Destination	Masnières	
Distance (km)	140	
Nombre de voyages étudiés	41	37
	<b>En charge</b>	<b>A vide</b>
Consommation moyenne (L)	325	188
Ecart type	33,90	14,30
Différence Maximum/moyenne	18,41%	16,87%
Différence Minimum/moyenne	-15,42%	-12,35%

Tableau 67 - Etude de la variabilité de la consommation de carburant d'un bateau Freycinet en Interbassin

### Profil des consommations à vide



### Profil des consommations en charge



#### 4.4.3 COEFFICIENT DE CHARGEMENT

Lors de l'étude sur les consommations de carburant, il est apparu que les professionnels de la voie d'eau étaient amenés à réaliser des trajets avec un coefficient de chargement (*exprimé en pourcentage des tonnages maximum*) parfois inférieur à 80%.

Les informations recueillies lors des entretiens ont permis d'estimer les consommations de carburant associées à des coefficients de chargement moindres.

Les tableaux ci-dessous présentent les données brutes issues des différents entretiens durant lesquels des trafics réalisés avec des coefficients de chargement inférieur à 80% ont pu être étudiés.

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Automoteur	250-400t	Seine montant					<b>4,49</b>
		Seine avalant					<b>4,41</b>
		Oise montant				<b>3,41</b>	
		Oise avalant					<b>2,58</b>
		Canal Freycinet		<b>2,29</b>			<b>3,13</b>
		Canal Nord Pas de Calais					<b>4,39</b>

Tableau 68 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des automoteurs de port en lourd compris entre 250 et 400t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Automoteur	650-1000t	Seine avalant	<b>0,8</b>			<b>2,64</b>	
		Oise avalant				<b>2,66</b>	
		Canal Nord Pas de Calais	<b>7,42</b>				<b>9,36</b>

Tableau 69 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des automoteurs de port en lourd compris entre 650 et 1000t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Automoteur	1000-1500t	Rhône montant				<b>7,20</b>	<b>8,25</b>
		Rhône avalant					<b>6,51</b>

Tableau 70 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des automoteurs de port en lourd compris entre 1000 et 1500t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
	> 1500t	Rhône avalant				<b>9,36</b>	
		Rhône montant					<b>11,61</b>

Tableau 71 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des automoteurs de port en lourd supérieur à 1500t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Pousseur	590-880kW	Seine avalant				<b>9,56</b>	
		Seine montant				<b>11,76</b>	<b>17,33</b>

Tableau 72 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des pousseurs de puissance comprise entre 590 et 880kW (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Convoi automoteur	650-1000t	Seine avalant				<b>3,39</b>	
		Seine montant				<b>4,03</b>	
		Oise avalant					<b>2,91</b>
		Oise montant				<b>3,84</b>	
		Canal Nord Pas de Calais					<b>4,69</b>
		Canal du Nord				<b>4,60</b>	<b>4,60</b>
		Yonne avalant					<b>4</b>

Tableau 73 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des convois poussés par un automoteur de port en lourd compris entre 650 et 1000t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Convoi automoteur	1000-1500t	Seine avalant					<b>5,24</b>
		Seine montant	<b>6,95</b>				
		Oise avalant					<b>4,33</b>
		Oise montant				<b>5</b>	
		Canal Nord Pas de Calais				<b>5,5</b>	<b>6,70</b>
		Canal du Nord				<b>6,13</b>	<b>7,82</b>

Tableau 74 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des convois poussés par un automoteur de port en lourd compris entre 1000 et 1500t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Convoi automoteur	> 1500t	Seine avalant					<b>8,83</b>
		Seine montant				<b>4,89</b>	<b>7,99</b>

Tableau 75 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des convois poussés par un automoteur de port en lourd supérieur à 1500t (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Pousseur	295-590kW	Seine avalant			<b>6,89</b>		<b>8,63</b>
		Seine montant			<b>6,89</b>		

Tableau 76 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des pousseurs de puissance comprise entre 295 et 590kW (en L/km)

Unité fluviale	Gamme	Voie fluviale	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Pousseur	> 880kW	Rhône avalant					<b>13,93</b>
		Rhône montant			<b>22,80<sup>1</sup></b>		<b>20,19</b>

Tableau 77 - Evaluation de l'impact du coefficient de chargement sur la consommation des pousseurs de puissance supérieure à 880kW (en L/km)

<sup>1</sup> La donnée de consommation supérieure pour un taux de chargement compris entre 40 et 60%, par rapport à celui de 80-100%, est expliquée par le fait que les deux données proviennent de bateaux dont les puissances de motorisation sont différentes. Les données de consommation pour un coefficient de chargement compris entre 40 et 60% proviennent ainsi d'un pousseur de 1890kW, celles pour le coefficient de chargement compris entre 80 et 100%, d'un pousseur d'une puissance de 1380kW.

#### 4.4.4 VOYAGES A VIDE / VOYAGES EN CHARGE

La consommation d'un bateau en charge et celle à vide est bien évidemment très différente, l'énergie utilisée pour faire avancer un bateau complet devant être bien supérieure à celle pour un bateau vide.

Le tableau ci-dessous présente les résultats issus de données brutes obtenus lors des entretiens, lorsque celles-ci ont permis, pour une même unité, d'obtenir à la fois des informations sur les consommations en charge (pour des coefficients de chargement compris entre 80 et 100%) et sur les consommations à vide.

Voie	Sens	Unité	Gamme	A vide	En charge	Ratio consommation à vide / consommation en charge	Ratio consommation en charge / consommation à vide
Seine	Avalant	Automoteur	250-400t	1,90	4,49	0,4	2,4
		Convoi automoteur	> 1500t	5,51	7,00	0,8	1,3
	Montant	Pousseur	590-880kW	10,23	17,33	0,6	1,7
Rhône	Avalant	Pousseur	> 880kW	11,17	13,93	0,8	1,2
		Pousseur	590-880kW	12,04	18,24	0,7	1,5
	Montant	Pousseur	> 880kW	13,81	20,19	0,7	1,5

Le rapport entre consommation en charge et consommation à vide varie donc en fonction du sens du courant et du bassin emprunté.

La consommation en charge est, en fonction des cas de figure, entre 1,2 et 1,7 fois plus importante que celle à vide.

Le rapport de 2,4 pour les bateaux Freycinet sur le bassin Seine paraît important, au regard des autres résultats. Aucune explication valable n'a pu être apportée pour expliquer un tel chiffre.

#### 4.4.5 PERIODES DE CRUE

L'influence des crues est bien évidemment différente en fonction de la voie d'eau utilisée. Si elle est nulle en canal, son influence pourra être très importante sur les différents fleuves.

L'impact des périodes de crue n'a pu être déterminé que pour le Rhône et la Seine, les données de consommation fournies étant en grande partie estimée et moyennée sur l'année. Cependant, certains acteurs ont pu fournir des consommations à la fois en période de crue et en conditions normales, permettant une analyse comparative.

Le terme de crue a été employé par les différents acteurs rencontrés. Aucune définition claire et chiffrée de ce terme n'a été énoncée lors des entretiens. Il aurait été intéressant de pouvoir caractériser les crues en terme de débits et d'y attribuer un certain pourcentage d'augmentation de débit par exemple.

##### 4.4.5.1 DONNEES POUR LE BASSIN RHONE-SAONE

Le paramètre de crue est crucial pour le Rhône, vu le fort débit du fleuve (cf. annexes 14, 15 et 26).

Les différents entretiens ont démontré l'importance de l'impact de la période de crue du Rhône sur la consommation. Ainsi, pour un automoteur de 2300t, elle peut représenter une hausse de 60% dans le cas d'un trafic montant en charge et une réduction de quasiment 25% dans le cas d'un voyage avalant en charge.

Gamme d'unité fluviale	Voie	Sens du courant	En charge			A vide		
			Période normale	Crue	Ratio	Période normale	Crue	Ratio
Automoteur > 1500t	Rhône	Avalant	9,36	7,12	-24%	-	-	-
		Montant	11,61	18,73	61%	8,74	11,65	33%
Pousseur > 880kW	Rhône	Avalant	13,93	11,30	-19%	-	-	-
		Montant	20,19	27,43	36%	-	-	-

Tableau 78 - Impact des périodes de crue sur la consommation de carburant sur le bassin Rhône pour deux unités fluviales rencontrées

#### 4.4.5.2 DONNEES POUR LE BASSIN SEINE

Le paramètre de crue paraît moins important sur la Seine dont le débit est moindre, comparé au bassin Rhône-Saône (cf. annexes 11 et 26).

Les différents entretiens menés sur le bassin Seine ont permis de d'évaluer l'impact des périodes de crue sur les consommations. Ainsi, pour un convoi poussé par un pousseur de puissance comprise entre 295 et 580kW, elles peuvent représenter une hausse de près de 15% dans le cas d'un trafic montant en charge et une réduction de quasiment 15% dans le cas d'un voyage avalant en charge.

Gamme d'unité fluviale	Voie	Sens du courant	En charge		
			Période normale	Crue	Ratio
Pousseur 295-590kW	Seine	Avalant	6,89	5,91	-14%
		Montant	6,89	7,87	14%
Pousseur 590-880kW		Avalant	9,56	7,72	-19%
		Montant	16,54	19,85	20%
Pousseur >880kW		Avalant	14,33	11,64	-19%
		Montant	18,36	23,13	26%

Tableau 79 - Impact des périodes de crue sur la consommation de carburant sur le bassin Seine pour trois types d'unités fluviales rencontrées

#### 4.4.5.3 DONNEES QUALITATIVES DE L'IMPACT DE LA PERIODE DE CRUE

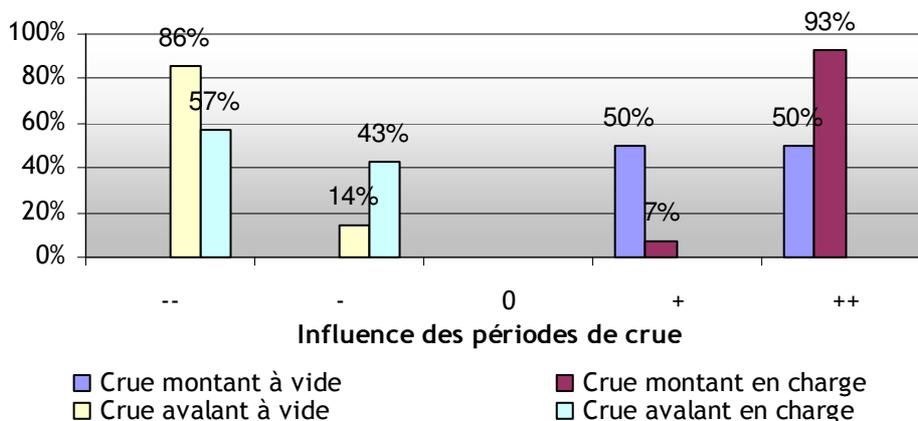
Au cours des entretiens, les interlocuteurs ont été amenés à estimer qualitativement l'influence de la période de crue sur la consommation de carburant et, si possible, d'estimer quantitativement les économies ou la surconsommation associées à ce paramètre.

Tous les acteurs rencontrés considèrent que le phénomène de crue est un paramètre important dans la consommation de carburant.

		Influence des périodes de crue sur la consommation de carburant				
		--	-	0	+	++
Montant	En charge	0%	0%	0%	7%	93%
	A vide	0%	0%	0%	50%	57%
Avalant	En charge	57%	43%	0%	0%	0%
	A vide	86%	14%	0%	0%	0%

Tableau 80 - Perception des acteurs de la voie d'eau de l'influence de la crue sur les consommations de carburant

## Perception de l'influence des périodes de crue sur les consommations de carburant



Son influence est considérée comme très importante dans le cas d'un trajet en charge montant et à vide avalant, entraînant d'un côté une hausse de la consommation et de l'autre une possibilité d'économies importante. Son impact, quoique prononcé, apparaît comme moindre dans le cas d'un voyage en charge avalant et à vide montant.

Ce paramètre est donc à prendre en considération dans l'élaboration des indicateurs par bassin et nationaux.

Les données de crue pour les principaux fleuves étudiés ici sont présentés au sein de l'annexe 26.

### 4.4.6 PRESENCE D'ADJUVANT DE COMBUSTIBLE

Aucune information n'a cependant pu être apportée par les différents acteurs rencontrés sur l'influence de la présence d'adjuvant de combustible. En effet, les interlocuteurs rencontrés soit n'avaient aucune idée sur l'impact qu'un tel produit pouvait avoir, soit ne connaissaient pas l'existence de ce genre d'adjuvant.

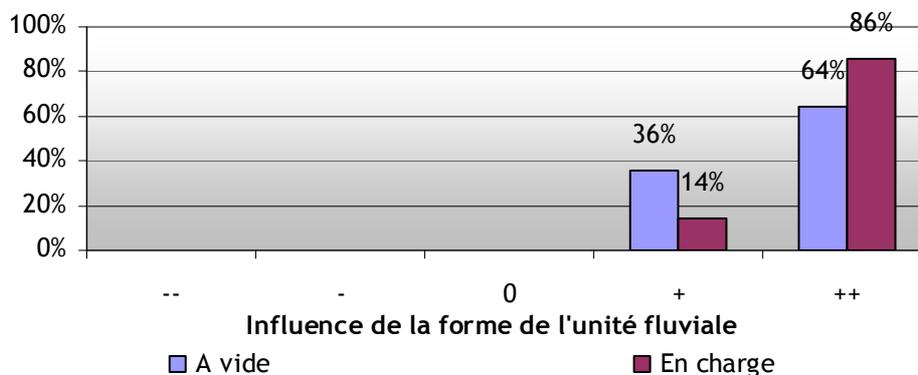
### 4.4.7 FORME DES BATEAUX

La résistance à l'eau de la carène dépend non seulement des proportions générales du navire (*longueur, largeur, tirant d'eau...*) mais aussi de ses formes et de son état de surface.

Les formes avant et arrière ont ainsi une grande influence sur la résistance de vagues et, à un degré moindre, sur la résistance visqueuse, comme le rappelle le rapport ADEME/IFN « Economies d'énergie dans le transport fluvial ».

Les acteurs rencontrés sont conscients de l'importance de la forme des bateaux puisque 86% d'entre eux considèrent qu'elle intervient très fortement sur la consommation en charge et pour 64% d'entre eux sur les consommations à vide.

## Perception des bateliers de l'influence de la forme des unités fluviales sur la consommation de carburant



D'après certains bateliers, le gain de vitesse obtenu par un bateau dont l'étrave est effilée pourrait atteindre les 3 km/h.

La forme effilée de l'avant du bateau joue donc un rôle important dans le niveau de consommation des unités. Il paraît intervenir de manière moins prononcée dans le cas de voyage à vide, puisque la partie immergée du bateau est, dans ce cas, moins importante.

### 4.4.8 CARENAGE

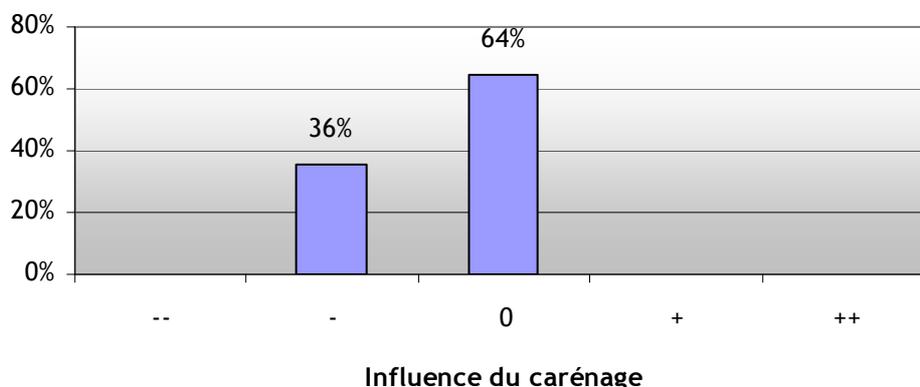
D'après le rapport « Economies d'énergie dans le transport fluvial » réalisé par l'IFN et l'ADEME, une dégradation de l'état de surface de la carène (*comme une augmentation de la rugosité, les salissures ou les déformations*) se traduit par une augmentation de la résistance visqueuse entraînant un accroissement de la puissance et de la dépense en combustible pour maintenir la vitesse.

Le rapport estime que les économies d'énergie générées par une carène propre sont de l'ordre de 5%. Des gains de vitesse de près de 1 km/h ont pu être obtenus après carénage et simple ré-application de bitume.

Cependant, il ressort des deux tiers des entretiens avec les acteurs de la voie fluviale que le carénage de leurs unités ne leur semble pas être un paramètre déterminant dans la consommation de carburant, à partir du moment où elles sont appelées à réaliser des trajets relativement fréquents.

Ce paramètre intervient dès que les unités fluviales sont appelées à rester inactive pendant quelques semaines. Dans ce cas, le développement de moules freine grandement l'avancée du bateau.

### Perception des bateliers de l'influence du carénage sur la consommation de carburant



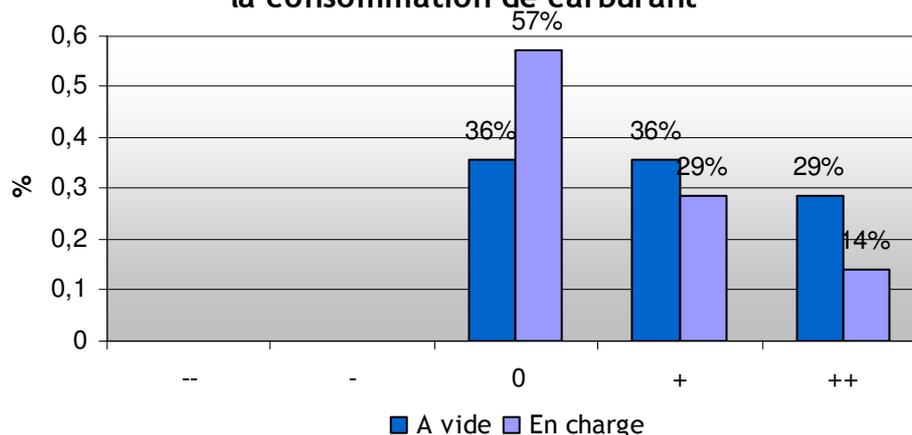
#### 4.4.9 VENT

Dans le cas d'un transport de conteneurs, l'influence du vent est considérée comme extrêmement impactant puisque la prise au vent est très importante.

Dans les autres cas, le vent ne semble cependant pas être un paramètre impactant fort lors des trajets en charge. 57% des acteurs rencontrés pensent ainsi qu'il n'a aucun impact.

Cependant, ils reconnaissent à 64% qu'il peut avoir un impact non négligeable lors des trajets à vide, où la partie émergée du bateau est plus importante et où le poids de l'unité fluviale est moindre.

### Perception des bateliers de l'influence du vent sur la consommation de carburant

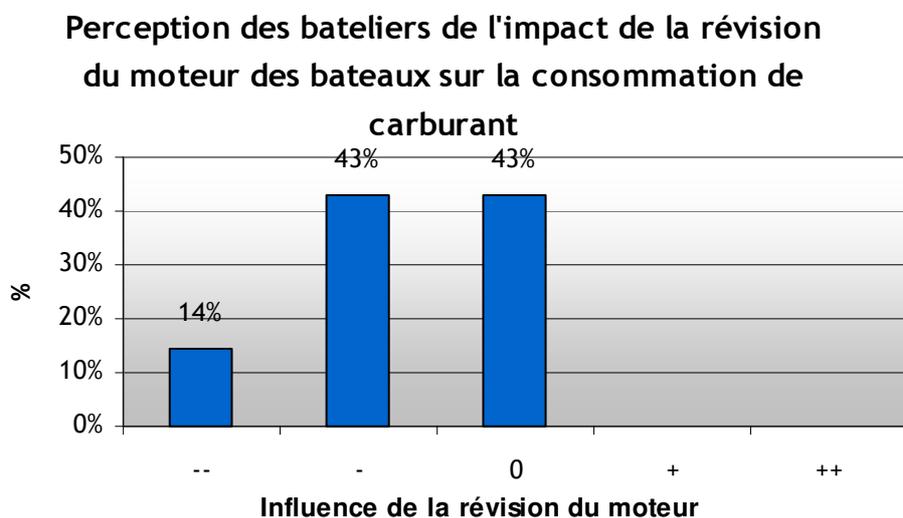


D'après certains bateliers, un vent fort peut entraîner une perte de vitesse pouvant aller jusqu'à 500m par heure.

#### 4.4.10 REVISION DU MOTEUR

Les données accessibles à aujourd'hui ne permettent pas de quantifier l'impact de la révision du moteur sur la consommation.

57% des personnes interrogées pensent cependant que celle-ci peut apporter une baisse de consommation de carburant.



#### 4.4.11 CHAUFFAGE DE L'HABITAT

Les consommations énergétiques liées au chauffage des bateaux ne sont généralement pas suivies par les différents interlocuteurs.

Ceux-ci l'ont, la plupart du temps, estimée.

Consommation moyenne de fuel destiné au chauffage des unités fluviales (L/an)

**2200 L/an**

*Tableau 81 - Estimation de la consommation énergétique liée au chauffage des unités fluviales (en LFOD/an)*

Les données de consommations énergétiques liées au chauffage de l'habitat ont été décorréliées de la consommation associée au transport de marchandises.

#### 4.4.12 AUTRES PARAMETRES

Les autres paramètres susceptibles d'impacter la consommation et cités par interlocuteurs rencontrés sont :

- La propreté des filtres à air,
- L'adaptation de l'hélice,
- La qualité du FOD,
- L'accouplement des unités (pousseur/barges, automoteur/barges) dans le cas de convois.

#### 4.5 ESTIMATION DES INDICATEURS DE CONSOMMATION MANQUANTS

Les indicateurs présentés au chapitre 4.3.2 comportent des données manquantes qui n'ont pu être recueillies lors des entretiens ou qui concernent des unités qui ne faisaient pas partie du panel d'acteurs rencontrés.

Afin de combler ce manque de données disponibles auprès des acteurs rencontrés, les indicateurs ont été estimés grâce, notamment :

- aux **ratios en charge/à vide** disponibles. Les données cohérentes de consommation en charge et à vide pour la gamme d'unité fluviale considérée ont permis de compléter les indicateurs lorsqu'il manquait une des données (*en charge ou à vide*).
- aux **ratios montant/avalant** disponibles sur la voie considérée. Lorsque les ratios montant/avalant ont pu être déterminés pour certaines unités fluviales pour un voie donnée, ce ratio a été considéré comme inhérent à la voie et a été extrapolé aux autres unités circulant sur cette même voie afin de compléter les données de consommation manquantes.
- aux **indicateurs de consommation disponibles pour les autres bassins** étudiés, en intégrant les caractéristiques particulières de la voie considérée afin de respecter les différences entre les principaux bassins (*débats...*).

Les indicateurs ainsi complétés sont présentés en annexe 28. Les données chiffrées évaluées sont indiquées sur fond bleu. Les évaluations réalisées pour obtenir ces indicateurs sont détaillées pour chacune des données estimées.

Les indicateurs sont fournis pour des coefficients de chargement (*exprimés en pourcentage des tonnages maximum*) compris entre 80 et 100%.

Les données correspondent à une motorisation à injection classique, pris comme référence, ce type de moteur étant encore majoritairement répandu dans la profession.

Les paramètres de crue, de forme des bateaux, du carénage, du vent et de révision du moteur n'ont pas été intégrés.

Les estimations réalisées ici cherchent à s'approcher au maximum de la réalité de la situation. Seuls des entretiens avec des acteurs de toutes les gammes d'unités déterminées permettraient de confirmer ces évaluations.

## 4.6 DETERMINATION DES INDICATEURS CONSOLIDES

### 4.6.1 METHODOLOGIE

#### 4.6.1.1 APPROCHE GENERALE

A partir des indicateurs de consommation obtenus au chapitre précédent, il s'agit désormais d'établir des indicateurs globaux, pour les différents équipements considérés, pour les bassins fluviaux, puis au niveau national.

Le synoptique ci-dessous résume les différentes étapes de la méthode.

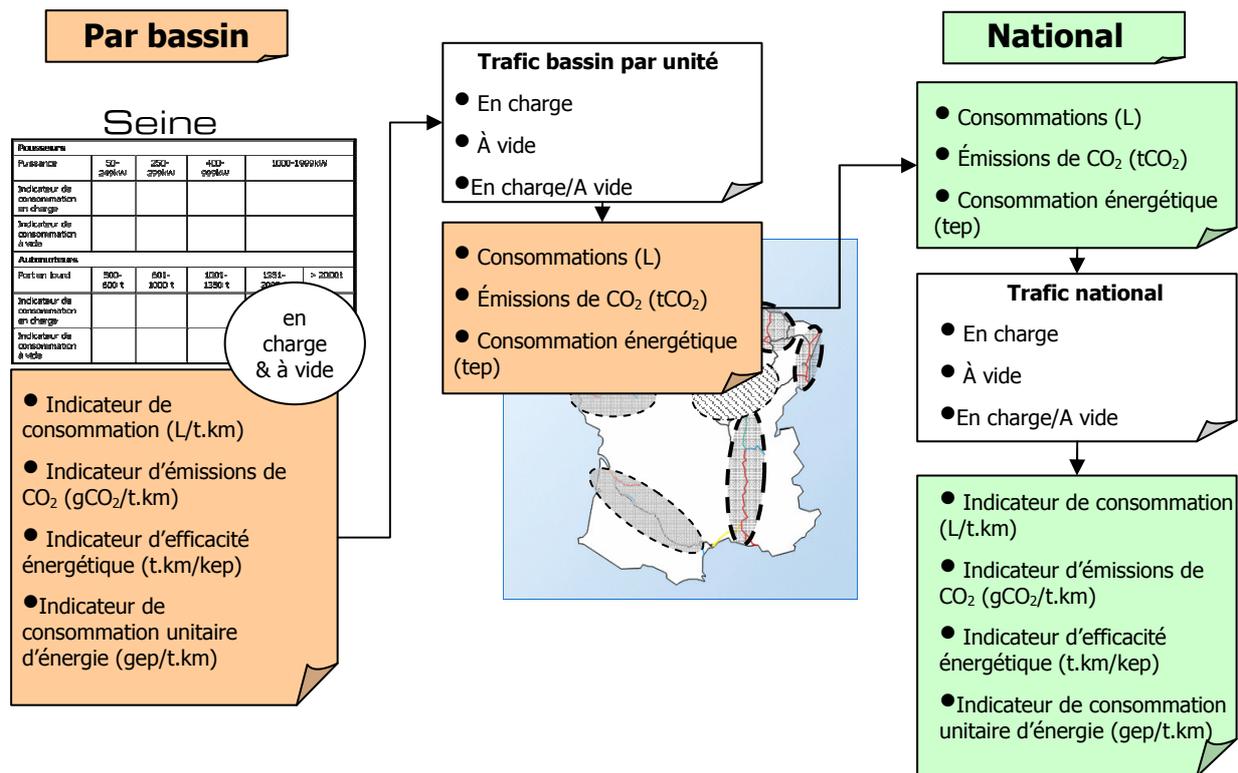


Figure 15 - Schéma méthodologique de la construction des indicateurs macro

Le recueil des données auprès des acteurs rencontrés et l'estimation des données manquantes ont permis d'obtenir des indicateurs de consommations énergétiques et d'émission de CO<sub>2</sub> mono-voie dans les cas suivants :

- Montant à vide,
- Montant en charge,
- Avalant en charge
- Avalant à vide.

Les indicateurs montant et avalant sont ensuite associés afin de n'obtenir qu'un indicateur avalant/montant, pour chaque unité fluviale et pour chaque bassin, intégrant à la fois les consommations montant et celles avalant selon les données fournies par VNF.

D'autre part, la part des voyages à vide est intégrée en fonction des résultats des entretiens.

Les indicateurs par unité présentent les consommations d'énergie, les efficacités énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> pour des trafics :

- En charge,
- A vide,
- En charge/ à vide.

Ils sont ensuite associés aux trafics des différentes unités sur les bassins français afin de déterminer les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> totales par équipement sur les différents bassins.

#### 4.6.1.2 INTRABASSIN

La méthodologie permettant de passer de données de consommations de carburant « micro » à des données d'efficacité « macro » est relativement aisée dans le cas des trafics intrabassin à grand gabarit.

La reconstruction des indicateurs de consommation par bassin à grand gabarit est réalisée en agrégeant les données « micro » aux données de répartition, en charge et à vide, des trafics montant et avalant.

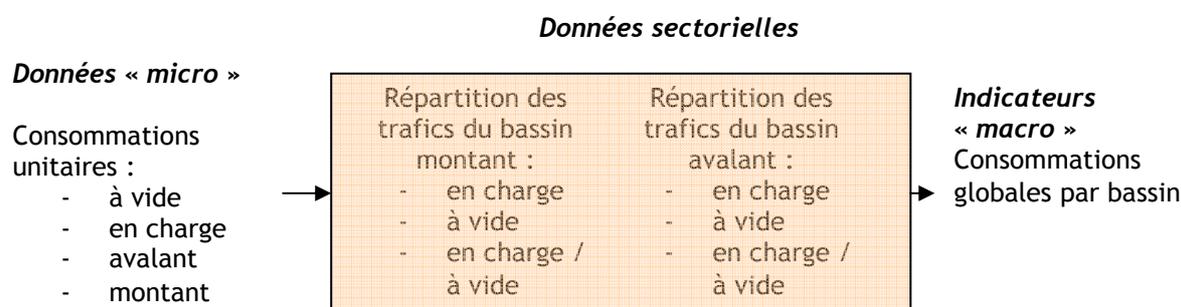


Figure 16 - Schéma méthodologique de la construction des indicateurs macro pour les trafics intrabassin grand gabarit

#### 4.6.1.3 INTERBASSIN

La méthodologie utilisée dans le cas des trafics interbassin est plus difficile à mettre en place.

En effet, les données de départ étant les mêmes, les données des trafics du secteur indispensables à la reconstruction des indicateurs macro sont plus difficilement quantifiables.

Elles reposent sur :

- Une estimation de la répartition des distances réalisées, en interbassin, sur les voies à petit gabarit et à grand gabarit,
- La répartition, sur les fleuves :
  - o Des trafics montant :
    - En charge,
    - A vide,
  - o Des trafics avalant :
    - En charge,
    - A vide.
- La répartition, sur les canaux, des trafics :
  - o En charge
  - o A vide

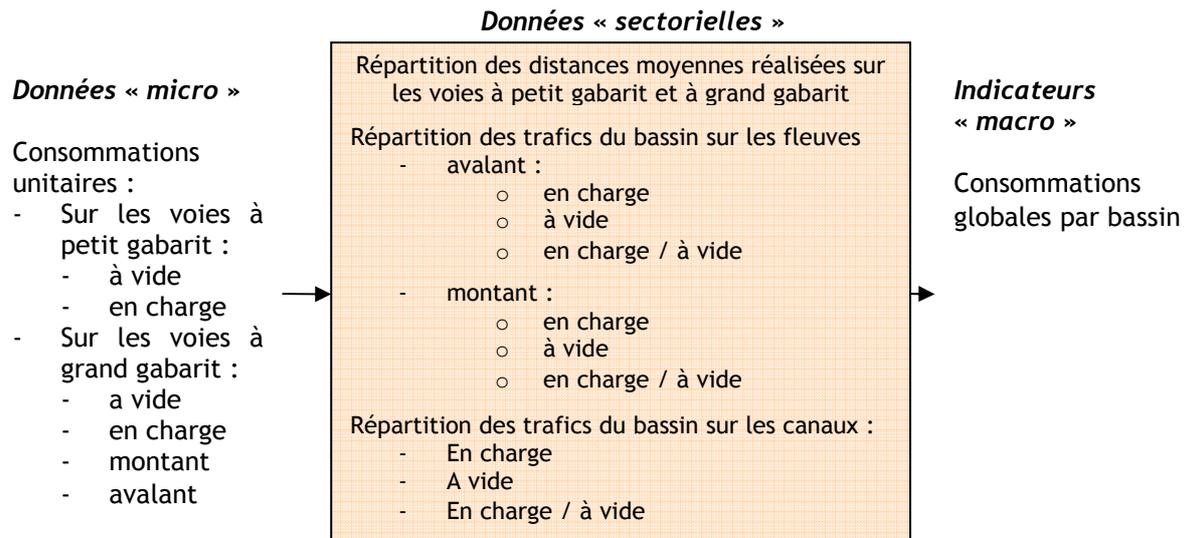


Figure 17 - Schéma méthodologique de la construction des indicateurs macro pour les trafics interbassin

Les indicateurs « interbassin » présentés ci-dessous agrègent les différents indicateurs « micro » élaborés pour l'interbassin (Oise, Canal Freycinet, Canal du Nord).

#### 4.6.1.4 APPROCHE PAR BASSIN ET NATIONALE

Les indicateurs évalués pour les différents bassins (consommation unitaire d'énergie, efficacité énergétique, émissions de CO<sub>2</sub>) seront ensuite ramenés en terme de consommations totales d'énergie et d'émissions totales de CO<sub>2</sub> sur les bassins considérés par simple multiplication des trafics totaux réalisés par les différentes unités, par les indicateurs précédemment élaborés.

Ces données globales par bassin seront ensuite ramenées à la tonne.kilomètre afin de définir des indicateurs de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> par bassin.

En ce qui concerne les données nationales, les données globales par bassin ont été sommées avant d'être ramenées à la tonne.kilomètre par division par le trafic national global.

D'autre part, il a semblé intéressant ici de s'intéresser aux indicateurs de consommation d'énergie et d'émission de CO<sub>2</sub> pour chacun des équipements étudiés, au niveau national.

Les différents indicateurs de consommation et d'émission de CO<sub>2</sub> ont donc été croisés une fois de plus avec les trafics des différentes unités afin d'obtenir des données de consommation et d'émission de CO<sub>2</sub> nationales pour chaque type d'unité fluviale étudié. Ces consommations globales ont ensuite été ramenées à l'unité (t.km) par division par les trafics réalisés au niveau national par chacune des unités considérée.

#### **4.6.1.5 HYPOTHESES ET DONNEES D'ENTREE**

##### **4.6.1.5.1 Trafics montant et avalant**

Afin d'établir les indicateurs, il est nécessaire de connaître le pourcentage de remonte permettant d'intégrer convenablement les indicateurs déterminés pour les trafics montant et avalant.

Il est fourni ci-dessous pour les différents bassins à grand gabarit considéré, excepté pour les canaux du Nord Pas de Calais, le sens de navigation n'ayant, dans ce cas, aucun impact sur la consommation de carburant.

Bassin	Moselle	Rhône	Seine	Rhin (estimation)
Pourcentage de remonte	55%	61%	56%	61%

*Tableau 82 - Pourcentage de remonte pour les trajets inter-grand gabarit sur les différents bassins grand gabarit pour l'année 2004 (Source : VNF)*

##### **4.6.1.5.2 Voyage à vide**

La connaissance de la part des voyages à vide pour les différentes unités est indispensable pour le calcul des indicateurs. Le paramètre des voyages à vide est relativement important dans le cas du transport fluvial de marchandises. Les consommations d'énergie liées aux voyages à vide représentent une consommation énergétique et des émissions de dioxyde de carbone non négligeables, qu'il est indispensable d'intégrer dans les indicateurs de consommation énergétique du secteur.

Le pourcentage de voyage à vide est très différent en fonction de la catégorie d'unité fluviale à laquelle on s'intéresse.

Les automoteurs appartenant aux artisans bateliers, qui ont, pour la plupart, une méthode de travail au voyage, sont tributaires des offres de chargement. Ceci peut ainsi augmenter la part des voyages à vide, en comparaison des compagnies de navigation qui pourront plus programmer leurs trafics de manière à minimiser les retours à vide.

Il apparaît cependant que les compagnies de navigation sont aussi parfois tributaires d'un trafic spécifique ce qui les empêche parfois de réaliser des retours en charge.

Globalement, les pousseurs réalisent théoriquement moins fréquemment des voyages à vide que les automoteurs.

Les pourcentages des distances parcourues à vide par les différents acteurs rencontrés au cours de l'étude sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le détail des données annuelles recueillies auprès des acteurs rencontrés sont présentés en annexe 27.

Unité fluviale	Gamme	Nombre de données exploitées	Distances moyennes à vide (% de la distance totale)	Maximum	Minimum	Moyenne
Automoteur	250-400t	12 <sup>1</sup>	36%	58%	7%	31%
	400-650t					
	650-1000t	2	26%	30%	23%	
	1000-1500t					
	> 1500t	2	31%	50%	12,5%	
Pousseur	295-590kW	1	50%			31%
	590-880kW	1	23%			
	> 880kW	2	20%	40%	0%	
Convoi automoteur	650-1000t					45%
	1000-1500t	3	45%	50%	35%	

Tableau 83 - Part de la navigation à vide pour les différentes unités fluviales

En moyenne, et sur la base des entretiens au cours de l'étude, le pourcentage de voyage à vide est estimé à 35% en prenant en compte les voyages à vide des automoteurs pousseurs, qui apparaissent, au vu des différents entretiens comme supérieurs à ceux des autres unités fluviales.

Ces pourcentages de voyage à vide sont sujets à caution. Ainsi, contrairement à ce qu'il est généralement admis, ils sont, d'après les informations recueillies auprès des professionnels rencontrés, proches dans le cas des automoteurs et des pousseurs. Les voyages à vide pourraient faire l'objet d'une étude complémentaire, permettant de définir, auprès d'un nombre plus important d'acteurs, le pourcentage de voyages réellement réalisés.

**Le pourcentage de voyage à vide, utilisé pour le calcul des indicateurs, sera de :**

- 31% pour les automoteurs,
- 31% pour les pousseurs.

#### 4.6.1.5.3 Notion de convoi

La reconstruction des indicateurs par bassin et nationaux doit faire appel à la répartition des trafics réalisée pour les différents types d'unités.

Comme nous l'avons vu, les données disponibles actuellement sur les trafics réalisés par les unités fluviales françaises ne permettent pas de discerner les trafics réalisés par des automoteurs seuls et ceux réalisés par un convoi poussé par un automoteur. De même, les trafics réalisés par les pousseurs ne peuvent être dissociés en fonction des tonnages ou du nombre de barges qui y sont associées.

Les trafics réalisés par les automoteurs pousseurs ne seront pas pris en compte dans la construction des indicateurs globaux par bassin et nationaux.

La construction de ces indicateurs pourra être affinée dès lors que la répartition des trafics entre ces différentes unités pourra être déterminée avec précision.

<sup>1</sup> Ont été ici intégrés des données annuelles provenant de questionnaires fournis par le Consortium pour la modernisation du réseau navigable Nord Pas de Calais et la promotion du transport fluvial, questionnaires réalisés dans le cadre de l'étude « dispositif régional en faveur d'une meilleure maîtrise de l'énergie dans le secteur fluvial »

#### 4.6.1.5.4 Trafics

Les données de trafic fournies dans la phase de définition du panel d'acteurs à rencontrer concernent exclusivement les trafics réalisés par les unités françaises. La reconstruction des indicateurs doit, au contraire, intégrer les données de trafic du secteur fluvial dans son ensemble.

Nous considérons, comme dans le début de l'étude, que les trafics barges sont imputables directement aux pousseurs. Nous mettrons de côté les automoteurs pousseurs.

Afin de rattacher les trafics barges aux trafics pousseurs, nous considérons que les trafics barges, sur les différents bassins, sont équitablement répartis entre les gammes de puissance des pousseurs considérés.

Les données statistiques de VNF ne permettent pas de faire la relation entre les trafics du Rhin et les bateaux en circulation sur ce fleuve. La répartition des trafics en fonction des unités fluviales a donc été réalisée en considérant :

- que le trafic se répartit entre barges et automoteurs à hauteurs respectives de 1/3 et 2/3,
- que les trafics automoteurs sont réalisés uniquement par des automoteurs de port en lourd important (1000-1500t et > 1500t),
- que ces trafics automoteurs sont équitablement répartis entre ces deux catégories
- que les trafics barges sont intégralement attribués aux pousseurs de puissance supérieure à 880kW.

Ces hypothèses fournissent donc la répartition des trafics français suivante entre automoteurs et pousseurs :

	Bassin	Nord Pas de Calais	Moselle	Rhône	Seine	Rhin (estimation)	Interbassin
Automoteur	< 400t	500 648 034		174 571 106	655 868 338		799602563
	400-650t	29 089 075		6 556 574	109 377 284		
	650-100t	68 005 177		86 107 904	247 719 616		
	1000-1500t	204 240 773	262 278 305	134 123 693	186 525 387	414 103 065	
	> 1500t	31 725 781	262 278 305	348 861 971	146 683 565	414 103 065	
	<b>Total</b>	<b>833 708 840</b>	<b>524 556 609</b>	<b>750 221 248</b>	<b>1 346 174 190</b>	<b>828 206 129</b>	<b>799 602 563</b>
Pousseurs	295-590kW	8 427 488		117 233 627	461 994 493		
	590-880kW	8 427 488		117 233 627	461 994 493		
	> 880kW	8 427 488	54 407 866	117 233 627	461 994 493	414 103 065	
	<b>Total</b>	<b>25 282 464</b>	<b>54 407 866</b>	<b>351 700 881</b>	<b>1 385 983 480</b>	<b>414 103 065</b>	

Tableau 84 - Répartition automoteurs/pousseurs des trafics français 2004 tous pavillons confondus (t.km) (Source : VNF)

Concernant l'interbassin, ses trafics ont été attribués aux seuls automoteurs de port en lourd inférieur à 400 tonnes.

Les trafics pousseurs pour le Nord Pas de Calais ont tous été attribués aux pousseurs de puissance supérieure à 880kW. En effet, les données recueillies ne permettent pas de conclure quant aux consommations et aux émissions de CO<sub>2</sub> des autres gammes de pousseurs.

En ce qui concerne le bassin Moselle, le trafic automoteur a été équitablement répartis entre les gammes « 1000-1500 tonnes » et « supérieure à 1500 tonnes », ceci afin de coller avec les données de consommation disponibles (considérées comme étant les mêmes que celles du bassin Rhin).

De même, le trafic réalisé par les barges a été intégralement attribué aux pousseurs de puissance supérieure à 880kW.

## 4.6.2 INDICATEURS AGREGES PAR EQUIPEMENT

Les indicateurs agrégés de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> sont présentés au sein des tableaux ci-dessous. Les formules ayant été utilisées pour les élaborer sont explicitées en annexe 29.

### 4.6.2.1 SEINE

#### 4.6.2.1.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	0,01294	5,25	10,93	91	34,43	13963
	400-650t	0,01141	6,35	9,64	104	30,36	16892
	650-1000t	0,00974	7,45	8,23	122	25,92	19821
	1000-1500t	0,00533	7,50	4,51	222	14,20	19951
	> 1500t	0,00477	10,54	4,03	248	12,70	28065
Automoteur pousseur	650-1000t	0,00648	4,47	5,47	183	17,24	11906
	1000-1500t	0,00597	5,42	5,05	198	15,89	14427
	> 1500t	0,00531	8,81	4,49	223	14,13	23454
Pousseurs	295-590kW	0,00678	9,80	5,73	174	18,06	26091
	590-880kW	0,00630	15,57	5,32	188	16,77	41437
	> 880kW	0,00415	18,75	3,51	285	11,04	49905

Tableau 85 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur le bassin Seine (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

Dans le cas du bassin Seine, sur les seuls voyages en charge, les automoteurs de tonnage important apparaissent comme plus efficaces énergétiquement que les convois automoteurs pousseurs. Cette classification s'inverse dans le cas du bassin Rhin (cf. chapitre 4.6.2.3).

L'absence d'entretiens réalisés sur ce dernier ne permet pas de conclure de manière définitive sur la meilleure efficacité de l'une ou de l'autre des unités fluviales.

Il est cependant important de souligner que l'automoteur rencontré dans le cas du bassin Seine possédait un port en lourd de 1540 tonnes. Celui dont les données ont été recueillies pour le bassin Rhin avait un port en lourd de 4400 tonnes, ce qui permettrait d'expliquer la classification différente obtenue sur le Rhin et sa meilleure efficacité énergétique.

D'autre part, les pousseurs connaissent une meilleure efficacité énergétique que les automoteurs de tonnages importants. Ce cas de figure se généralise sur les différents bassins étudiés.

#### 4.6.2.1.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	2,77	7373
	400-650t	3,87	10293
	650-1000t	4,96	13214
	1000-1500t	5,00	13301
	> 1500t	7,03	18710
Automoteur pousseur	650-1000t	2,94	7830
	1000-1500t	3,15	8396
	> 1500t	5,82	15491
Pousseurs	295-590kW	6,48	17252
	590-880kW	9,19	24471
	> 880kW	13,33	35494

Tableau 86 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur le bassin Seine

#### 4.6.2.1.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t	0,31	655 868 338	0,0176	4,5	14,9	9780,91	67	47,0	11920	30810	38,2
	400-650t	0,31	109 377 284	0,0162	5,6	13,7	1497,43	73	43,1	14846	4717	
	650-1000t	0,31	247 719 616	0,0142	6,7	12,0	2976,02	83	37,8	17773	9374	
	1000-1500t	0,31	186 525 387	0,0078	6,7	6,6	1227,58	152	20,7	17890	3867	
	> 1500t	0,31	146 683 565	0,0070	9,5	5,9	863,62	170	18,5	25165	2720	
	Total			1346174190			12,1	16345,56	82			
Pousseurs	295-590kW	0,31	461 994 493	0,0099	8,8	8,3	3856,66	120	26,3	23351	12148	22,1
	590-880kW	0,31	461 994 493	0,0089	13,6	7,5	3461,25	133	23,6	36177	10903	
	> 880kW	0,31	461 994 493	0,0062	17,1	5,2	2414,72	191	16,5	45438	7606	
	Total			1385983479			7,02	9732,63	142			
Total			2732157669					105			82146	30,1

Tableau 87 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100%, pourcentage de remonte de 56% et pourcentage de voyage à vide de 31%) sur le bassin Seine

Comme nous l'avons vu, les pousseurs sont, du point de vue énergétique, plus efficace que les automoteurs. Cette efficacité énergétique augmente d'autre part avec le tonnage (ou la puissance, liée) des unités considérées.

#### 4.6.2.2 RHONE-SAONE

##### 4.6.2.2.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	0,0137	5,1	11,6	86	36,1	13618
	400-650t	0,0117	6,3	9,9	101	30,8	16788
	650-1000t	0,0100	7,5	8,4	118	26,3	19958
	1000-1500t	0,0055	7,6	4,7	214	14,6	20157
	> 1500t	0,0050	9,9	4,2	237	13,1	26314
Pousseurs	295-590kW	0,0076	10,3	6,4	156	19,9	27345
	590-880kW	0,0071	15,9	6,0	168	18,6	42192
	> 880kW	0,0046	17,7	3,8	260	12,0	47242

Tableau 88 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur le bassin Rhône-Saône (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

##### 4.6.2.2.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	3,4	8997
	400-650t	4,5	12030
	650-1000t	5,7	15063
	1000-1500t	5,7	15163
	> 1500t	8,3	22035
Pousseurs	295-590kW	7,4	19709
	590-880kW	11,1	29538
	> 880kW	13,9	36963

Tableau 89 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur le bassin Rhône-Saône

#### 4.6.2.2.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t	0,31	174 571 106	0,0200	4,6	16,9	2946	59	53,2	12186	9278	
	400-650t	0,31	6 556 574	0,0175	5,8	14,8	97	68	46,6	15313	305	
	650-1000t	0,31	86 107 904	0,0152	6,9	12,8	1106	78	40,5	18441	3485	
	1000-1500t	0,31	134 123 693	0,0084	7,0	7,1	954	141	22,4	18609	3004	
	> 1500t	0,31	348 861 971	0,0079	9,4	6,7	2321	150	21,0	24988	7312	
	Total			750221248			9,9	7424	101			23385
Pousseurs	295-590kW	0,31	117 233 627	0,0114	9,4	9,6	1125	104	30,2	24978	3544	
	590-880kW	0,31	117 233 627	0,0105	14,4	8,9	1038	113	27,9	38269	3270	
	> 880kW	0,31	117 233 627	0,0070	16,6	5,9	694	169	18,7	44055	2187	
	Total			351700881			8,12	2857	123			9000
Total			1101922129					107			32384	29,4

Tableau 90 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100%, pourcentage de remonte de 61% et pourcentage de voyage à vide de 31%) sur le bassin Rhône

Comme pour le bassin Seine, les automoteurs présentent globalement une efficacité moindre que celles des pousseurs.

#### 4.6.2.3 RHIN

##### 4.6.2.3.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t						
	400-650t						
	650-1000t						
	1000-1500t	0,0114	13,6	9,6	104	30,2	36261,2
	> 1500t	0,0097	22,3	8,2	122	25,8	59336,6
Automoteurs pousseurs	650-1000t						
	1000-1500t						
	> 1500t	0,0056	25,2	4,7	212	14,9	66951,4
Pousseurs	295-590kW						
	590-880kW						
	> 880kW	0,0071	31,9	6,0	167	18,9	84851,3

Tableau 91- Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur le bassin Rhin (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

##### 4.6.2.3.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t		
	400-650t		
	650-1000t		
	1000-1500t	8,9	23646,6
	> 1500t	14,5	38694,4
Automoteurs pousseurs	650-1000t		
	1000-1500t		
	> 1500t	16,4	43660,1
Pousseurs	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW	20,8	55332,9

Tableau 92 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur le bassin Rhin

#### 4.6.2.3.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t											
	400-650t											
	650-1000t											
	1000-1500t	0,31	414 103 065	0,0165	12,2	13,9	5759,9	72	43,8	32350,7	18144	
	> 1500t	0,31	414 103 065	0,0141	19,9	11,9	4917,5	84	37,4	52937,5	15490	
	Total		828206129,3			12,9	10677,5	78			33634	40,6
Pousseurs	295-590kW											
	590-880kW											
	> 880kW	0,31	414103065	0,0103	28,4	8,7	3594,2	115	27,3	75700,6	11322	
	Total		414103065			8,7	3594,2	115			10617	25,6
Total		1242309194				14271,6	87			44956	36,2	

Tableau 93 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100%, pourcentage de remonte de 61% et pourcentage de voyage à vide de 31%) sur le bassin Rhin

Comme nous l'avons vu, les automoteurs pousseurs étudiés pour le bassin Rhin présentent une efficacité énergétique bien supérieure à celle des automoteurs simples et de celle des pousseurs.

Cette différence peut être expliquée par le port en lourd important du convoi automoteur étudié sur le Rhin (4400 tonnes) comparé à celui de la Seine (1540 tonnes).

Le défaut d'entretien sur le Rhin n'a pas permis de confirmer cette hypothèse.

Les consommations sur le Rhin apparaissent comme supérieures à celles recueillies sur les autres bassins. Cette différence peut être expliquée par le débit du Rhin, sensiblement plus important que celui des autres bassins français.

Cette différence entraîne à la fois une consommation supérieure sur les trajets montant mais aussi, peut-être, l'installation de moteur plus puissants, donc plus consommateurs, permettant de naviguer sur ces forts débits.

Aucun entretien n'a été mené sur le Rhin, faute de représentativité du trafic des bateaux français sur le bassin. Les données recueillies auprès d'armateurs du bassin n'ont donc pas été recueillies dans les mêmes conditions que celles des autres bassins.

#### 4.6.2.4 NORD-PAS DE CALAIS

##### 4.6.2.4.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	0,0122	7,0	97	10,3	32,6	18663
	400-650t	0,0113	8,2	105	9,5	30,0	21787
	650-1000t	0,0104	9,4	114	8,8	27,7	24911
	1000-1500t	0,0096	10,8	123	8,1	25,5	28648
	> 1500t	0,0088	12,4	134	7,5	23,5	32945
Automoteur pousseur	650-1000t	0,0074	4,7	159	6,3	19,8	12477
	1000-1500t	0,0069	6,7	173	5,8	18,3	17831
	> 1500t						
Pousseurs	295-590kW	0,0069	7,6	171	5,8	18,4	20317
	590-880kW	0,0059	10,7	202	5,0	15,6	28444
	> 880kW	0,0050	15,0	237	4,2	13,3	39821

Tableau 94 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur le bassin Nord Pas de Calais (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

##### 4.6.2.4.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	4,6	12170,5
	400-650t	5,3	14207,8
	650-1000t	6,1	16245,2
	1000-1500t	7,0	18681,9
	> 1500t	8,1	21484,2
Automoteur pousseur	650-1000t	3,1	8136,4
	1000-1500t	4,4	12170,5
	> 1500t		
Pousseurs	295-590kW	5,0	13249,1
	590-880kW	7,0	18548,7
	> 880kW	9,8	25968,2

Tableau 95 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur le bassin Nord Pas de Calais

#### 4.6.2.4.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t	0,31	500 648 034	0,0177	6,3	15,0	7508,2	67	47,2	16650	23651	43,5
	400-650t	0,31	29 089 075	0,0164	7,3	13,8	402,1	72	43,5	19438	1267	
	650-1000t	0,31	68 005 177	0,0151	8,3	12,7	866,5	78	40,1	22225	2729	
	1000-1500t	0,31	204 240 773	0,0139	9,6	11,7	2398,5	85	37,0	25559	7555	
	> 1500t	0,31	31 725 781	0,0128	11,0	10,8	343,4	92	34,1	29392	1082	
	Total			833708840			13,8	11518,7	72			
Pousseurs	295-590kW	0,31	8 427 488	0,0100	6,8	8,5	71,3	118	26,6	18126	224	578
	590-880kW	0,31	8 427 488	0,0085	9,5	7,2	60,6	139	22,6	25376	191	
	> 880kW	0,31	8 427 488	0,0072	13,3	6,1	51,5	164	19,2	35527	162	
	Total			25 282 464			7,3	183,3	138			
Total						13,6	11702,0	73			36861	36861

Tableau 96 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100% et pourcentage de voyage à vide de 31%) sur le bassin Nord

#### 4.6.2.5 MOSELLE

Aucun entretien n'a été mené sur le bassin Moselle, faute de représentativité du trafic réalisé par les unités françaises sur ce bassin. Les indicateurs présentés ici sont donc issus des chiffres recueillis pour le bassin Rhin. Les différences obtenues entre les bassins Rhin et Moselle proviennent des pourcentages de remonte différents sur les deux bassins (55% pour la Moselle, 61% pour le Rhin).

##### 4.6.2.5.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t						
	400-650t						
	650-1000t						
	1000-1500t	0,0109	13,1	9,2	108	29,1	34910
	> 1500t	0,0093	21,5	7,9	127	24,8	57125
Automoteur pousseur	650-1000t						
	1000-1500t						
	> 1500t	0,0054	24,2	4,5	220	14,3	64456
Pousseurs	295-590kW						
	590-880kW						
	> 880kW	0,0068	30,7	5,8	174	18,2	81689

Tableau 97 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur le bassin Moselle (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

##### 4.6.2.5.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t		
	400-650t		
	650-1000t		
	1000-1500t	8,55	22765
	> 1500t	14,00	37252
Automoteur pousseur	650-1000t		
	1000-1500t		
	> 1500t	15,79	42033
Pousseurs	295-590kW		
	590-880kW		
	> 880kW	20,01	53271

Tableau 98 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur le bassin Moselle

#### 4.6.2.5.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t											
	400-650t											
	650-1000t											
	1000-1500t	0,31	262 278 305	0,0158	11,7	13,4	3512,17	75	42,2	31145	11063	
	> 1500t	0,31	262 278 305	0,0135	19,1	11,4	2998,53	87	36,0	50965	9445	
	Total		524556609			12,4	6510,70	81			20509	39,1
Pousseurs	295-590kW											
	590-880kW											
	> 880kW	0,31	54407866	0,0099	27,4	8,4	454,63	120	26,3	72879	1432	
	Total		54407865			8,4	454,63	120			1432	26,3
Total			578964475				6965,33	83			21941	37,9

Tableau 99 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100%, pourcentage de remonte: 55% et pourcentage de voyage à vide: 31%) sur le bassin Moselle

#### 4.6.2.6 INTERBASSIN

##### 4.6.2.6.1 En charge

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	0,0099	2,9	8,2	122	26,2	7702,6
	400-650t						
	650-1000t						
	1000-1500t						
	> 1500t						
Automoteur pousseur	650-1000t	0,0065	3,7	5,2	192	17,2	10404,7
	1000-1500t						
	> 1500t						

Tableau 100 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge sur l'interbassin (coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

##### 4.6.2.6.2 A vide

Unité fluviale	Gamme	Consommation de carburant (L/km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)
Automoteurs	250-400t	1,9	5087,5
	400-650t		
	650-1000t		
	1000-1500t		
	> 1500t		
Automoteur pousseur	650-1000t	2,1	5511,3
	1000-1500t		
	> 1500t		

Tableau 101 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages à vide sur l'interbassin

#### 4.6.2.6.3 En charge/à vide

Unité fluviale	Gamme	Part de Trafic A vide (%)	Trafic en t.km (2004)	Energie					CO <sub>2</sub>			
				Consommation de carburant (L/t.km)	Consommation de carburant (L/km)	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Consommation totale d'énergie (tep)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (g/km)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (T CO <sub>2</sub> )	Emission unitaire globale de CO <sub>2</sub> (g/t.km)
Automoteurs	250-400t	0,31	799602563	0,0144	2,6	12,1	9699,64	82	38,2	6891,9	30554	
	400-650t											
	650-1000t											
	1000-1500t											
	> 1500t											
	Total			799602563			12,1	9699,64	82			30554

Tableau 102 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> pour des voyages en charge et à vide (coefficients de chargement en charge compris entre 80 et 100% et pourcentage de voyage à vide de 31%) sur l'interbassin

### 4.6.3 INDICATEURS AGREGES PAR BASSIN

Les indicateurs par bassin sont élaborés par calcul de la totalité des trafics et des consommations énergétiques du bassin (par produit des indicateurs agrégés par équipement par les trafics qui leur sont associés). Le rapport de la consommation totale sur le trafic total du bassin fournit l'indicateur de consommation unitaire d'énergie pour le bassin étudié.

Bassin	Automoteur				Pousseur				Tout trafic (automoteur / pousseur)				
	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)	Consommation globale (tep)	Emissions globales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)	Consommation globale (tep)	Emissions globales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Consommation globale (tep)	Emissions globales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)
Seine	12,1	38,2	16346	51489	7,0	22,1	9733	30658	26078	82146	9,5	105	30,1
Rhône	9,9	31,2	7424	23385	8,1	25,6	2857	9000	10281	32384	9,3	107	29,4
Nord Pas de Calais	13,8	43,5	11519	36284	7,3	22,8	183	578	11702	36861	13,6	73	42,9
Rhin	12,9	40,6	10677	33634	8,7	27,3	3594	11322	14272	44956	11,5	87	36,2
Moselle	12,4	39,1	6511	20509	8,4	26,3	455	1432	6965	21941	12,0	83	37,9
Interbassin	12,1	38,2	9700	30554					9700	30554	12,1	82	38,2
Total			62176	195853			16822	52989	78998	248842	10,8	93	34,0

Figure 18 - Détermination des indicateurs, par bassin et nationaux, de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> de la voie fluviale française (hypothèses : pourcentage de voyage à vide : 31%, coefficient de chargement : entre 80 et 100%)

#### 4.6.4 INDICATEURS NATIONAUX AGREGES PAR TYPE D'EQUIPEMENT

Les indicateurs par type d'équipement, au niveau national, sont obtenus en calculant l'ensemble des consommations énergétiques au niveau national pour une unité fluviale (par le produit des indicateurs agrégés par équipement et par bassin par les trafics qui leur sont associés). Le rapport de cette consommation sur le trafic réalisé au niveau national par l'ensemble de ces équipements fournira l'indicateur de consommation unitaire d'énergie.

Les indicateurs ci-dessous intègrent les voyages à vide et s'appuient sur les indicateurs agrégés par équipement en charge/à vide définis au chapitre 4.6.2.

Il est important de noter que, comme précédemment, le cas des automoteurs pousseurs a été écarté de la construction des indicateurs globaux ci-dessous pour des raisons pratiques de répartition des trafics. Ils pourront être intégrés dans la construction de ces indicateurs, via les indicateurs de consommations détaillés présentés en annexe 28 lorsque les trafics nationaux pourront être répartis entre pousseurs, automoteurs et automoteurs pousseurs.

Les indicateurs présentés ci-dessous reprennent donc :

- Les trafics automoteurs,
- Les trafics barges, attribués aux pousseurs.

Les indicateurs de consommation exprimés en L/km n'ont pu être déterminés, les distances globales parcourues par équipement n'étant pas disponibles et ne permettant pas ainsi de ramener la consommation globale du secteur à une consommation par unité de distance.

Bassin	Equipements		Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation totale d'énergie (tep)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )
Seine	Automoteur	< 400t	14,9	47,0	67,1	9780,9	30809,9
		400-650t	13,7	43,1	73,0	1497,4	4716,9
		650-1000t	12,0	37,8	83,2	2976,0	9374,5
		1000-1500t	6,6	20,7	151,9	1227,6	3866,9
		> 1500t	5,9	18,5	169,8	863,6	2720,4
	Pousseur	295-590kW	8,3	26,3	119,8	3856,7	12148,5
		590-880kW	7,5	23,6	133,5	3461,2	10902,9
		> 880kW	5,2	16,5	191,3	2414,7	7606,4
Rhin	Automoteur	1000-1500t	13,9	43,8	71,9	5759,9	18143,7
		> 1500t	11,9	37,4	84,2	4917,5	15490,3
	Pousseur	> 880kW	8,7	27,3	115,2	3594,2	11321,7

Tableau 103 - Indicateurs par unité de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> des bassins Seine et Rhin (hypothèses : pourcentage de voyage à vide : 31%, coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

Bassin	Equipements		Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation totale d'énergie (tep)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )
Nord Pas de Calais	Automoteur	< 400t	15,0	47,2	66,7	7508,2	23650,8
		400-650t	13,8	43,5	72,3	402,1	1266,6
		650-1000t	12,7	40,1	78,5	866,5	2729,3
		1000-1500t	11,7	37,0	85,2	2398,5	7555,4
		> 1500t	10,8	34,1	92,4	343,4	1081,7
	Pousseur	295-590kW	8,5	26,6	118,2	71,3	224,5
		590-880kW	7,2	22,6	139,1	60,6	190,8
		> 880kW	6,1	19,2	163,7	51,5	162,2
Moselle	Automoteur	1000-1500t	13,4	42,18	74,7	3512,2	11063,3
		> 1500t	11,4	36,01	87,5	2998,5	9445,4
	Pousseur	> 880kW	8,4	26,3	119,7	454,6	1432,1
Rhône	Automoteur	< 400t	16,9	53,2	59,3	2945,6	9278,5
		400-650t	14,8	46,6	67,6	97,0	305,4
		650-1000t	12,8	40,5	77,8	1106,2	3484,7
		1000-1500t	7,1	22,4	140,6	953,7	3004,1
		> 1500t	6,7	21,0	150,3	2321,2	7311,9
	Pousseur	295-590kW	9,6	30,2	104,2	1125,0	3543,7
		590-880kW	8,9	27,9	112,9	1037,9	3269,5
		> 880kW	5,9	18,7	168,9	694,1	2186,5

Tableau 104 - Indicateurs par unité de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> des bassins Rhône, Moselle et Nord Pas de Calais (hypothèses : pourcentage de voyage à vide: 31%, coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

Bassin	Equipements		Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Consommation totale d'énergie (tep)	Emissions totales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )
Interbassin	Automoteur	< 400t	12,1	38,2	82,4	9699,6	30553,9
Total	Automoteur	< 400t	14,0	44,3	71	29934,3	94293,0
		400-650t	13,8	43,4	73	1996,5	6288,9
		650-1000t	12,3	38,8	81	4948,7	15588,5
		1000-1500t	11,5	36,3	87	13851,9	43633,4
		> 1500t	9,5	30,0	105	11444,3	36049,7
		Pousseur	295-590kW	8,6	27,1	116	5052,9
	590-880kW		7,8	24,4	129	4559,8	14363,3
	> 880kW		6,8	21,5	147	7209,1	22708,8

Tableau 105 - Indicateurs par unité de consommation énergétique et d'émissions de CO<sub>2</sub> de l'interbassin et au niveau national (hypothèses : pourcentage de voyage à vide: 31%, coefficient de chargement compris entre 80 et 100%)

Globalement, les pousseurs apparaissent comme étant plus économes que les automoteurs.

Au niveau national, l'efficacité énergétique des automoteurs est donc comprise entre 71 t.km/kep et 105 t.km/kep, pour des ports en lourd croissants.

Celles des pousseurs est comprise entre 116 t.km/kep (pour des puissances comprises entre 295 et 590kW) et 147 t.km/kep (pour des puissances supérieures à 880kW).

#### 4.6.5 INDICATEURS AGREGES NATIONAUX

L'indicateur de consommation énergétique national est élaboré en calculant d'un côté la consommation totale des différents équipements sur tout le territoire (par le produit des indicateurs agrégés par équipement par les trafics qui leur sont associés) et de l'autre, l'ensemble du trafic national.

Le rapport consommation totale d'énergie sur trafic total fournira l'indicateur de consommation unitaire d'énergie au niveau national.

Bassin	Consommation globale (tep)	Emissions globales de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> )	Consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	Emission unitaire de CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /t.km)
Seine	26078	82146	9,5	105	30,1
Rhône	10281	32384	9,3	107	29,4
Nord Pas de Calais	11702	36861	13,6	73	42,9
Rhin	14272	44956	11,5	87	36,2
Moselle	6965	21941	12,0	83	37,9
Interbassin	9700	30554	12,1	82	38,2
<b>Total</b>	<b>78998</b>	<b>248842</b>	<b>10,8</b>	<b>93</b>	<b>34,0</b>

Tableau 106 - Indicateurs de consommation énergétique et d'émission de CO<sub>2</sub> du secteur fluvial par bassin et nationaux (pour des coefficients de chargement compris entre 80 et 100% et un pourcentage de voyage à vide de 31%)

Le calcul fournit donc une efficacité énergétique moyenne de la voie fluviale de 93 t.km/kep.

La consommation unitaire d'énergie atteint, elle, 10,8 gep/t.km alors que les émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport fluvial de marchandises est de 34 gCO<sub>2</sub>/t.km.

Comme nous l'avons vu, ces données varient de manière notable en fonction des unités fluviales considérées. Les données globales nationales présentées ci-dessus regroupent les différents bassins et les différents équipements et devront donc être utilisées avec réserve.