EXPERTISES

MAI 2019

EFFICACITE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DU TRANSPORT FLUVIAL DE MARCHANDISES ET DE PERSONNES

Efficacités énergétiques et émissions unitaires du transport fluvial

SYNTHESE

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

vnf Voies navigables de France

ajBD

Avertissement méthodologique

Cette étude s'appuie sur un échantillon restreint de valeurs de consommation et d'efficacité énergétique. Le caractère limité de l'échantillon, au regard du nombre très élevé de situations hétérogènes dans la navigation fluvial, induit donc des incertitudes.

Une part importante des facteurs d'émissions sont déterminés par analogie, ce qui entraine de fait une incertitude élevée. Les données collectées auprès des bateliers et des opérateurs fluviaux sont pour la plupart déclaratives, entrainant ici aussi des biais potentiels (erreurs de déclarations, arrondis, …). Ces biais sont renforcés par l'échantillon limité et le nombre de croisements gabarit / bassin de navigation importants.

Enfin, le taux de retour à vide moyen est considéré par défaut, et le type de chargement (vrac / conteneur) n'est pas considéré, ajoutant une incertitude supplémentaire sur les taux de retour à vide applicables à chaque situation de navigation.

Les valeurs présentées dans ce rapport doivent donc être traitées avec précaution et permettent surtout une vision globale sur les performances de la navigation fluviale en France.

Il existe aujourd'hui dans le secteur fluvial en France des moteurs dont les performances en termes d'émissions sont assez éloignées des normes récentes. Ce constat suffit à justifier une mobilisation importante des acteurs privés et publics pour améliorer la performance du mode fluvial sur ce plan.

1. Contexte et méthodologie

En France, le transport fluvial de marchandises représente moins de 3 % des t.km transportées. Doté d'un réseau fluvial conséquent en Europe, la France dispose pourtant d'un potentiel fluvial important. Si le transport fluvial de marchandises a décliné depuis plusieurs dizaines d'années, en faveur du transport routier qui offrait un coût bas grâce au pétrole et une grande flexibilité des conditions de transport et des délais, le fluvial retrouve un intérêt certain aux yeux des transporteurs et des acteurs publics pour ses performances énergétiques et son moindre impact environnemental. La congestion routière, les problématiques de qualité de l'air en milieu urbain ou encore le renchérissement du coût de l'énergie sont autant de facteurs entrainant ce regain d'intérêt pour le mode fluvial.

Néanmoins, il est essentiel de continuer à sensibiliser les entreprises à utiliser le transport fluvial et à promouvoir ce mode de transport, notamment par la mise à disposition de données objectives sur les efficacités énergétiques et environnementales. Ces actions s'inscrivent dans la continuité du Grenelle de l'Environnement (2009) et de la Loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (2015).

Afin de pouvoir communiquer sur le mode fluvial, l'étude de l'ADEME « Efficacités énergétiques et émissions unitaires de CO_2 du transport fluvial de marchandises » publiée en 2006 (et portant sur des données 2004) devait être actualisée.

Au cours de la dernière décennie, des changements structurels forts sont intervenus sur le transport fluvial de marchandises : augmentation de la productivité (t.km/tpl), hausse du trafic conteneurisé, diversité des marchandises transportées, diminution de l'offre de cale mais augmentation des capacités moyennes, …

En parallèle, le transport fluvial de personnes connait une forte croissance depuis plusieurs années alors que la seule donnée d'efficacité environnementale disponible est celle, par défaut, liée à l'obligation d'affichage des émissions de GES.

Comme le mode fluvial constitue un mode spécifique dans la mesure où les consommations énergétiques et émissions associées dépendent fortement de l'infrastructure (en milieu confiné) et des conditions de navigation (courant, manœuvres, …), il est donc essentiel que les valeurs d'efficacité énergétique et environnementales du mode reflètent du mieux possible cette diversité de situations de navigation.

L'ensemble des données obtenues servent ainsi de référence dans des perspectives assez larges d'accompagnement du transport fluvial (comparaison des efficacités énergétique et environnementale entre les types de bateaux et par rapport aux autres modes de transport). La mise à jour des données d'efficacité énergétique du mode fluvial s'inscrit par ailleurs dans le contexte du dispositif d'information GES des prestations de transport ou le dispositif des certificats d'économies d'énergie qui s'appuient très directement sur des valeurs moyennes d'efficacité énergétique des transports.

La mise à jour de l'étude a été réalisée en suivant le déroulé méthodologique suivant :

- Réalisation d'un bilan du transport fluvial de marchandises et de voyageurs en France
- Définition d'un panel d'opérateurs représentatif des trafics fluviaux
- Enquête auprès de ces opérateurs
- Analyse des données obtenues et définition des indicateurs actualisés d'efficacité énergétique
- Accompagnement des opérateurs à l'information GES des prestations de transport
- Détermination de facteurs d'émissions de polluants atmosphériques

La présente synthèse se focalise sur l'établissement des indicateurs d'efficacité énergétique. Le transport fluvial de voyageurs, partie intégrante de l'étude, de par ses spécificités par rapport au transport fluvial de marchandises, est traité séparément au §3.

1.1. Définition d'un panel représentatif et de cycles de navigation pertinents

Les voies de navigation intérieures européennes ont été classées selon leurs dimensions et leurs capacités à accueillir des bateaux en huit classes CEMT[1]. Le tableau ci-dessous présente les principaux types de bateaux naviguant sur le réseau fluvial français. C'est cette répartition de gabarits qui a été retenue pour l'étude et la présentation des indicateurs d'efficacité énergétique.

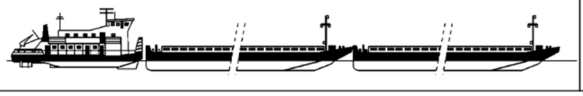
Types de bateaux fluviaux		Linéaire de voies d'eau en France
Freycinet 38,5 m x 5,05 m – 250 CV 250 T à 360 T (TE 1,80 – 2,50 m)		**Classe I** (4015 km) TE : 1,80 à 2,20 m TA : 4 m
Campinois 55 à 65 m x 6,05 à 7 m – 550 CV 650 T – 750 T (TE 2,50 – 2,60 m)		Classe II (266 km) TE 2,50 m TA 4-5 m
Bateau et convoi « Canal du Nord » 60 m + 30 m x 5,70 m – 550 CV 750 T (TE 2,50 – 2,60 m)		Canal du Nord TE : 2,50 m TA : 4-5 m
DEK (« Dortmund-Ems Kanaal ») 67-80 m x 8,20 m – 800 CV 950 – 1100 T (TE 2,50 – 2,90 m)		Classe III (568 km) TE : 2,50 m TA : 4-5 m
RHK (« Rhein-Herne Kanaal ») 80-85 m x 9,50 m – 700 à 1000 CV 1350 – 1500 T (TE 2,50 – 2,80 m)		Classe IV (137 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 – 7 m
Rhénan 95-110 m x 11,40 m – 1200 CV 2000 – 3000 T (TE 2,50 – 3,40 m)		Classe Va-Vb (247 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 (Va) – 7 m (Vb)
Grand Rhénan 135 m x 11,40 m – 1900 CV 2500 – 3500 T (TE 2,50 – 3,40 m)		Classe Vb et VI (1621 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 m (2 couches) 7,00 m (3 couches) 9,10 m (4 couches)
Convoi poussé 1 à 4 barges EUROPA II 100-185 m x 11,40 m 1 à 4 barges de 2000 à 2750 T chacune 2000 CV (4400T-2B) à 5700 CV (11000T-4B)		

Figure 1 : Les différents types d'automoteurs (VNF)

	DT Seine	Nord-Pas-De-Calais	DT Rhône-Saône	DT Nord-Est	Rhin	Freycinet et interbassin	Total
Automoteurs							
<400 t	1%	0%	0%	0%	0%	8%	**10%**
400-649 t	2%	0%	0%	0%	0%	3%	**5%**
650-999t	5%	1%	0%	0%	0%	3%	**10%**
1000-1499t	7%	5%	1%	0%	5%	0%	**18%**
1500t et +	13%	3%	9%	4%	5%	3%	**36%**
Total	**28%**	**9%**	**11%**	**5%**	**9%**	**17%**	**79%**
Pousseurs							
295-590 kw	1%	0%	0%	0%	0%	0%	**1%**
590-880kw	2%	0%	0%	0%	0%	0%	**2%**
>880 kw	8%	0%	5%	0%	5%	0%	**18%**
Total	**10%**	**0%**	**6%**	**0%**	**5%**	**0%**	**21%**
Total général	**38%**	**9%**	**16%**	**5%**	**14%**	**17%**	**100%**

Tableau 1 : T.km réalisées par bassin et par TPL[2] ou puissance de bateau, tous pavillons confondus, (en relatif), VNF 2016

[1] Conférence Européenne des Ministres des Transports
[2] Tonnes de port en lourd

En vue de définir les cycles de navigation représentatifs de l'activité fluviale française (quel type de bateau / motorisation / tonnage pour quel trajet ?), plusieurs bases de données ont été exploitées. Les recoupements entre la base de données des immatriculations (issue du MTES) et la base de données des origines-destinations fournie par VNF ne permettent pas de disposer d'une information suffisante. Seuls 20 % des trajets peuvent être rattachés à la base de données des immatriculations du MTES (cette dernière étant incomplète), et de nombreuses incohérences sont apparues dans les résultats. La vision finale de l'activité fluviale française semblait trop éloignée de la réalité pour pouvoir baser la construction du panel d'opérateurs à interroger sur celle-ci. Un croisement sur les données intra-bassin uniquement, mais **considérant l'ensemble des pavillons** permet cependant de disposer d'une vision précise des flux par bassin et par gabarit. C'est donc cette dernière approche qui a été retenue.

On observe ainsi les principaux recoupements et leur importance dans le flux global (cf. Tableau 1 en % des flux totaux). 36 % des flux sont effectués par des unités de plus de 1 500 tonnes, ce qui implique une nécessité de forte représentativité de ces acteurs dans le panel. De la même manière, les flux sur le bassin de la Seine représentent 38 % du total en t.km. Enfin, les pousseurs ayant une activité en France sont essentiellement de puissance supérieure à 880 kW, c'est donc sur eux que pourra se porter la recherche d'information.

1.2. Méthodologie d'enquête auprès des opérateurs fluviaux

En vue d'actualiser les données de référence sur les émissions des unités fluviales en France, une enquête a été réalisée auprès des opérateurs fluviaux afin de recueillir des données actualisées de consommation selon différentes conditions de navigation, et ce, pour les différents types d'unités fluviales en circulation.

1.2.1. Données recherchées

Chaque acteur identifié a été interrogé sur ses consommations de carburant, relativement aux caractéristiques techniques de son bateau et aux conditions de navigation sur des trajets types.

Les données collectées sont les suivantes :

- **Caractéristiques de l'unité fluviale**
  - Devise
  - Lieu d'attache / Bassin fluvial d'exploitation
  - Matricule
  - Type de bateau (automoteur / pousseur)
  - Catégorie de bateau
  - Citerne (oui / non)
  - Port en lourd (t)
  - Année de construction
  - Date du dernier carénage
  - Longueur (m) / Largeur (m)
  - Poids à vide (t)
  - Capacité de combustible (m3)
  - Surface de l'espace habitable (m²)
  - Tirant d'eau à vide (m)
  - Type de propulsion
  - Nombre de moteurs
  - Caractéristiques du (des) moteur(s) : marque, puissance, année de construction, de révision
- **Données annuelles d'activité**
  - Tonnage transporté par an (t)
  - Temps de fonctionnement moyen du moteur (h/an)
  - Distance parcourue par an (km)
  - Part des trajets à vide annuels
  - Consommation annuelle de carburant (L)

Il a ensuite été demandé à chaque opérateur de détailler plusieurs trajets effectués récemment et d'indiquer les données suivantes (pour chaque trajet) :

- **Caractéristiques du trajet**
  - Origine / Destination
  - Distance (km)
  - Marchandise transportée
  - Tonnage transportée
  - Consommation totale (L) sur le trajet
  - Type de voie (rivière, canal)
  - Gabarit de voie (grand, moyen, petit, mixte)
  - Bassin de navigation / Nom de la voie
  - Sens de navigation (avalant / montant / canal)
  - Tirant d'eau (m)
  - Durée du parcours (h)
  - Nombre d'écluses sur le parcours
  - Temps moyen de passage aux écluses (min)
  - Lot complet / Lot partiel
  - Ligne régulière (oui / non)
  - Autres conditions de navigation particulières impactant la consommation

1.2.2. Déroulement de la phase d'enquête

La phase d'enquête s'est déroulée in fine de novembre 2017 à fin février 2018. Le manque de disponibilité des opérateurs fluviaux a conduit à rallonger cette phase de quelques semaines afin de disposer de plus d'informations.

La quantité des données obtenues varie beaucoup selon les opérateurs. Ainsi on distingue plusieurs types de suivi des données :

- **Un suivi mensuel ou sur l'aller-retour** : pour les bateliers et les compagnies de navigation, les données de consommation de carburant ne sont pas toujours suivies au trajet. Parfois la donnée est collectée sur l'aller-retour (incluant une phase à vide et des conditions de navigation opposées – montant / avalant) ou bien mensuellement. Dans ce cas une appréciation des consommations est demandée. Les trajets étant la plupart du temps réguliers, ces approximations s'avèrent cependant très proches de la réalité. Ces données sont bien maitrisées par les bateliers puisque leur consommation de carburant représente leur principal poste de dépense.
- **Un suivi précis au trajet** : les bateliers et les compagnies de navigation suivent les données trajet par trajet, souvent au format Excel, avec des relevés périodiques des consommations en fonction des conditions de navigation. Dans ce cas l'exploitation des données est facilitée par l'informatisation et son niveau de détail.

L'ensemble des données collectées a été retravaillé et renseigné dans une base de données pour analyse.

1.2.3. Représentativité du panel

Au total 36 opérateurs ont été contactés dans le cadre de l'enquête. Outre certains refus de participation, les contacts complémentaires (30 entretiens étaient initialement prévus) sont surtout dus à certains acteurs pertinents identifiés et ajoutés au panel de par l'intérêt de leurs conditions de navigation. Les contacts pris auprès des opérateurs du transport de voyageurs (4 entretiens) sont bien représentatifs de l'activité (principaux acteurs de la croisière et du bateau-promenade).

Au total, les données de 34 unités fluviales de transport de marchandises ont pu être collectées. Ces données représentent un total de 93 trajets exploitables[3].

[3] Un trajet n'a pas été exploité dans l'analyse croisée entre gabarit et bassin de navigation car les données n'étaient pas assez précises. Ce sont donc 92 trajets qui sont analysés finement.

	Seine fleuve	Petite Seine / Oise	Rhône-Saône	Rhin	Moselle	Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Total
Automoteurs									
<400 t	-	4	-	-	-	-	3	-	7
400-649 t	2	4	-	-	-	-	-	-	6
650-999 t	-	2	-	-	-	-	7	-	9
1000-1499 t	3	7	-	2	-	1	-	-	13
1500-3000 t	11	3	6	5	2	10	-	-	37
>3000 t	-	-	9	-	-	-	-	-	9
Pousseurs									
<880 kW	4	-	-	-	-	-	-	-	4
>880 kW	8	-	-	-	-	-	-	-	8
Total général	**28**	**20**	**15**	**7**	**2**	**11**	**10**	**-**	**93**

Tableau 2 : Répartition des trajets analysés dans le cadre de l'enquête auprès des opérateurs du transport de marchandises

Cette étude s'appuie sur un échantillon restreint de valeurs de consommation. Le caractère limité de l'échantillon, au regard du nombre très élevé de situations hétérogènes dans la navigation fluvial, induit donc des incertitudes. Si les données exploitées couvrent les principaux cycles de navigation (ceux pour lesquels on observe le plus grand trafic en France), le volume de données analysées par cycles de navigation reste limité.

Les manques identifiables par rapport à la représentativité visée concernent les pousseurs, dont des données ont pu être collectées uniquement sur la Seine, et les canaux de petit gabarit, sur lesquels aucun trajet « complet » n'a été étudié. Cependant, des données disponibles sur certaines portions de trajets, effectuées sur des canaux petit gabarit permettent d'affiner la définition des indicateurs.

Les données collectées par types de marchandises transportées, principalement des vracs agricoles et des matériaux de construction, sont en adéquation avec les différents types de flux de marchandises au niveau national.

Les données du transport de voyageurs sont traitées séparément puisque les gabarits des unités fluviales, les motorisations et les conditions de navigations sont spécifiques à l'activité (cf. §3).

1.3. Conditions de détermination des indicateurs d'efficacité énergétique

1.3.1. Méthodologie générale

La phase d'analyse a pour objectif la définition des indicateurs de consommation énergétique, d'efficacité énergétique et d'émission de CO_2 pour chaque gabarit d'unité fluvial identifié, dans différentes conditions de navigation.

Les données quantitatives et les informations qualitatives obtenues lors des entretiens sont retranscrites dans une base de données permettent de définir les indicateurs suivants :

- Les consommations de carburant sur chaque trajet
- Le tonnage transporté
- Le kilométrage effectué

La consommation moyenne sur un trajet en L/t.km est calculée selon la formule suivante :

$$L/tkm = \frac{consommation\ totale\ de\ carburant\ [L]}{tonnage\ moyen\ transporté\ [t] * kilométrage\ du\ parcours\ correspondant\ [km]}$$

Les données de consommations énergétiques permettent de calculer d'autres indicateurs tels que :

- Les tonnes.kilomètres parcourues par kg d'équivalent pétrole (t.km/kgEP)
- Les kilos d'équivalent pétrole consommés par tonnes kilomètres parcourue (kgEP/t.km)
- Les kilojoules par tonne.kilomètre transportés (kJ/t.km)
- Les émissions de CO_2 par tonne.kilomètre parcourue (gCO_2/t.km)

Ces indicateurs sont calculés par correspondance des unités de mesure.

Ainsi les unités utilisées se réfèrent à un carburant de type Gazole Non Routier (GNR) :

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

- **Contenu CO_2** : 2,49 kg de CO_2 par litre de GNR consommé pour la phase de combustion et 0,58 kg par litre consommé pour la phase amont. On retient donc un facteur d'émission de 3,07kg/L[4]. Pour le CO_2 équivalent, on retient un facteur d'émission de 3,17 kg/L.
- **Contenu en équivalent pétrole** : 1 kg de GNR équivaut à 1 kg d'EP, soit 1,19 L de GNR.
- **Pouvoir calorifique** : 42,7 MJ/kg soit 36 MJ/L.

1.3.2. Définition des données manquantes

De nombreux croisements (couple gabarit / bassin de navigation) ne font pas l'objet de données recueillies durant la phase d'entretien et donc d'indicateurs directement calculés. Ces croisements, moins représentatifs de l'activité fluviale française font cependant l'objet d'une analyse fine afin de déterminer les indicateurs correspondants.
Ces indicateurs « manquants » sont déterminés à travers une analyse par analogie avec :

- Les relations consommation / bassin sur des unités de gabarit différents
- Les relations consommation / gabarit sur des unités navigant sur les mêmes bassins
- Les relations en charge / à vide identifiés sur des unités de gabarit similaire
- Les relations montant / avalant identifiées sur des unités de gabarit similaire et/ou les mêmes bassins de navigation

[4] ADEME, Base Carbone, 2013.

- Les relations entre les valeurs montantes / avalantes / en charge / à vide de la précédente étude (TL&A 2006).

Les ratios ainsi obtenus permettent de vérifier la cohérence de l'analyse par analogie et de déterminer des indicateurs relatifs pour les couples gabarit / bassin non renseignés.

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.

1.3.3. Définition des indicateurs

Les indicateurs de consommation déterminés sont détaillés **par bassin** afin de mettre en avant les spécificités de chaque zone de navigation.

Les indicateurs globaux sont déterminés à partir des indicateurs spécifiques (croisement bassin / conditions de navigation / gabarit d'unité fluviale). En vue de définir des indicateurs englobant, plusieurs éléments sont à considérer :

- **Le taux de remonte** : le pourcentage de remonte permet d'ajuster l'indicateur global (montant/avalant) à partir des données de consommations en conditions montantes et avalantes :
  - Bassin de la Seine : 49 % de remonte
  - Bassin du Rhône : 50 % de remonte
  - Bassin de la Moselle : 49 % de remonte
  - Bassin du Rhin : 56 % de remonte
- **Le taux de voyage à vide** : afin de déterminer un indicateur global (en charge / à vide), les trajets à vide doivent être inclus. Un taux de voyage à vide de **31 %** a été retenu au niveau national[5] pour les automoteurs et les pousseurs.

Le bilan par bassin est effectué sur la base des données de navigation annuelles (2016).
En vue de définir des indicateurs nationaux, une agrégation des indicateurs par bassin et type de bateau est effectuée sur la base de la répartition des trafics par bassin et gabarit (en t.km). Cette agrégation permet de disposer d'indicateurs globaux plus facilement communicables et comparables, sans pour autant se priver de données très détaillées, plus à destination des professionnels du fluvial.

[5] La précédente étude considérait un taux de voyage à vide de 31 % sur l'ensemble des bassins. Les données collectées dans le cadre de cette étude ne permettent pas d'ajuster ce taux plus précisément. Il a donc été décidé de la conserver, celui-ci apparaissant toujours cohérent.

La définition des indicateurs, par bassin et au niveau national, permet l'établissement du bilan énergétique du transport fluvial présenté selon différents indicateurs :

- Tep totales consommées par le secteur fluvial marchand
- tCO_2 totales émises par le secteur fluvial marchand

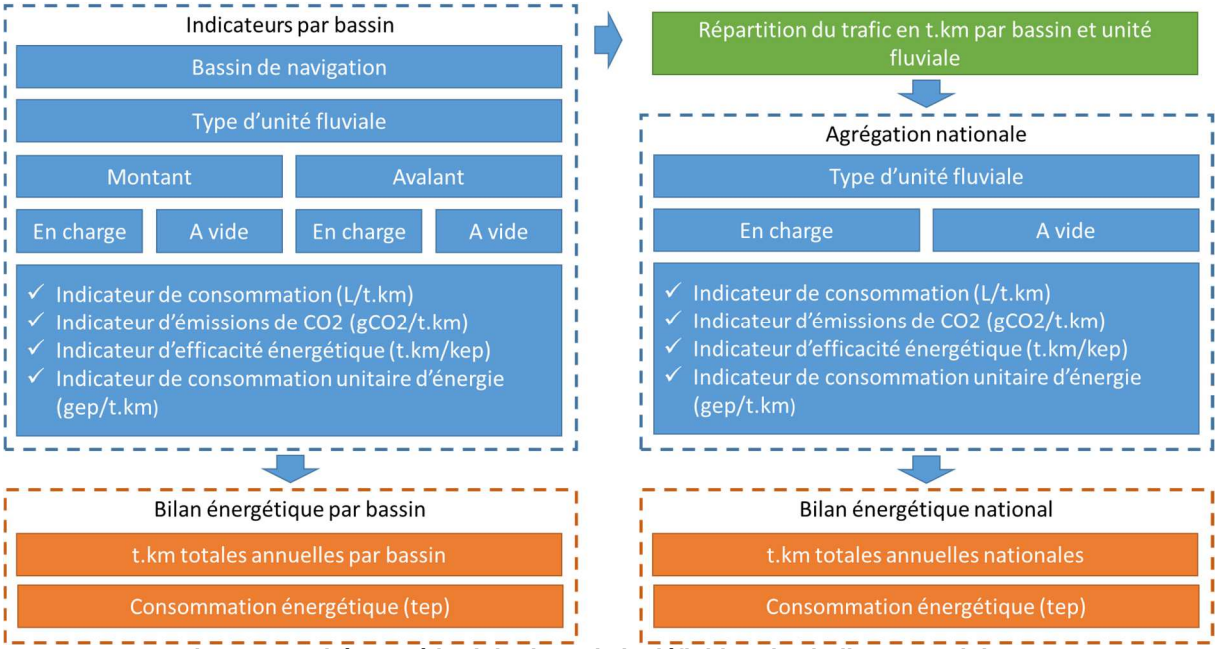


Figure 2 : Schéma méthodologique de la définition des indicateurs globaux

En vue de pondérer les indicateurs nationaux par les trafics de chaque bassin, la répartition des trafics 2016 est utilisée.

1.3.4. Incertitudes des indicateurs déterminés

Les incertitudes autour des indicateurs de consommation déterminés portent sur différents points :

1/ La taille du panel

92 trajets ont été analysés, 70 en charge et 22 à vide. Ces trajets, bien que représentatifs des trafics nationaux ne représentent qu'un panel réduit de l'activité fluvial. Une incertitude inhérente à la taille du panel existe donc et doit être considérée dans les résultats.

Certains croisements entre un bassin de navigation et un gabarit ne dispose ainsi que d'une seule donnée, ce qui rend de fait le risque d'erreur important. Ces données ont donc été vérifiées avec attention afin de s'assurer de la cohérence des résultats. Certaines données aberrantes ont été corrigées (voir plus loin).

Pour illustrer les incertitudes liées à la taille du panel[6] :

- Navigation des 1500-3000 t sur la Seine : 8% des trafics nationaux / 11 trajets du panel
- Navigation tous gabarits sur la Seine et petit Seine : 38 % des trafics nationaux / 48 trajets du panel
- Navigation des 1000-1499 t sur le Rhin : 6% des trafics nationaux / 2 trajets du panel
- Navigation des 1000 -1499 t sur les canaux grands gabarit : 6% des trafics nationaux / 1 trajet du panel
- Navigation des 1500-3000 t sur les canaux grands gabarit : 4% des trafics nationaux / 10 trajets du panel

Ces biais quant à la représentativité des trajets analysés sont donc à considérer dans les incertitudes associées aux résultats de l'étude.

[6] Trafics nationaux exprimés en t.km pour 2016.

2/ La définition des indicateurs par analogie

La définition des indicateurs par analogie apporte des incertitudes aux résultats car ces analogies se basent sur des relations de proportions. Cette méthodologie est présentée en partie 1.3.2.

La cohérence des données obtenues est vérifiée à travers les études existantes, les résultats de l'étude TL&A et les ratios entre gabarit des données de la base carbone de l'ADEME.

Seuls des entretiens avec des acteurs de toutes les gammes d'unités déterminées permettraient de confirmer ces évaluations.

2. Présentation des indicateurs retenus

Les tableaux suivants présentent l'ensemble des indicateurs calculés à partir des analysées effectuées. Ces tableaux reprennent à chaque fois le croisement entre gabarit de voie fluviale, gabarit d'unité fluviale, conditions de navigation (montant / avalant / mixte). Les indicateurs s'appliquant à des voyages en charge et à vide sont différenciés. Des indicateurs globaux intégrant la part de voyages à vide ont également été déterminés.

2.1. Consommations de carburant

Ce premier tableau présente pour chaque croisement entre un gabarit d'unité fluviale et un bassin de navigation ou gabarit de voie fluviale, les consommations unitaires en L/t.km pour une unité en charge. Ces consommations sont à considérer sur l'ensemble du trajet en charge (en considérant donc les temps d'arrêts aux écluses et les phases d'accélération / décélération). Les taux de chargement considérés sont propres à chaque bassin et fonction des unités fluviales analysées. Des ratios de correspondances ont été déterminés au sein de chaque bassin fluvial pour définir des consommations moyennes pour chaque croisement gabarit / voie fluviale.

Pour chaque croisement gabarit[7] / bassin de navigation, une donnée de consommation est déterminée en conditions avalante, montante et mixte, là où des trafics existent (i.e. hors cases grises). La condition de navigation mixte considère un taux de remonte propre à chaque bassin (voir §1.3.3 Définition des indicateurs).

L/t.km (hors vide)	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**
<400 t	0,014	0,014	0,014	0,010	0,010	0,010	0,015	0,013	0,014				0,016	0,014	0,015		0,008	0,006
400-649 t	0,012	0,012	0,012	0,010	0,010	0,010	0,013	0,010	0,012				0,013	0,011	0,012		0,008	
650-999 t	0,008	0,008	0,008	0,005	0,005	0,005	0,009	0,007	0,008				0,009	0,007	0,008		0,007	
1000-1499 t	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003	0,003	0,007	0,006	0,006	0,012	0,004	0,008	0,007	0,006	0,007	0,010		
1500-3000 t	0,004	0,002	0,003	0,005	0,002	0,004	0,007	0,005	0,006	0,007	0,003	0,005	0,004	0,004	0,004	0,006		
>3000 t	0,003	0,002	0,002				0,004	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,003	0,006		
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**
<880 kW	0,009	0,007	0,008				0,010	0,007	0,009								0,005	
>880 kW	0,003	0,001	0,002				0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002		

Tableau 3 : Consommations moyennes des unités fluviales en charge par gabarit et bassin de navigation (en L/t.km)

Les valeurs sur fond bleu ont été directement déterminées à partir de données réelles de consommation issues de la présente enquête. Les autres valeurs, sur fond blanc, ont été déterminées par analyse et analogie.

[7] Grand gabarit : > 1000 t de tpl ; Moyen gabarit : entre 400 et 1000 t de tpl ; petit gabarit < 400 t de tpl

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs de consommation en L/t.km, en intégrant un taux de voyage à vide. Le taux de 31 % de voyages à vide a été retenu pour l'ensemble de la flotte fluviale (automoteurs et pousseurs), cf. 1.3.3, les nouvelles données collectées ne permettant pas d'affiner cette valeur.

L/t.km	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Mixte
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<400 t	0,017	0,017	0,017	0,013	0,013	0,013	0,020	0,016	0,018				0,021	0,017	0,019		0,011	0,009	0,010
400-649 t	0,015	0,014	0,014	0,014	0,013	0,013	0,017	0,013	0,015				0,018	0,013	0,015		0,010		0,011
650-999 t	0,010	0,010	0,010	0,007	0,006	0,007	0,012	0,009	0,010				0,012	0,009	0,010		0,010		0,008
1000-1499 t	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,009	0,007	0,008	0,015	0,005	0,011	0,010	0,007	0,008	0,014			0,009
1500-3000 t	0,005	0,003	0,004	0,006	0,003	0,005	0,009	0,006	0,007	0,010	0,003	0,007	0,006	0,004	0,005	0,009			0,006
>3000 t	0,003	0,002	0,003				0,005	0,004	0,005	0,006	0,002	0,004	0,006	0,002	0,004	0,009			0,004
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<880 kW	0,013	0,009	0,011				0,013	0,009	0,011								0,007		0,010
>880 kW	0,003	0,002	0,003				0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,003	0,003			0,003

Tableau 4 : Consommations moyennes des unités fluviales par gabarit et bassin de navigation intégrant le taux de voyages à vide (en L/t.km)

Une **valeur « mixte » totale** est calculée dans ce tableau. Elle correspond à la moyenne des indicateurs par bassin, en considérant le poids de chaque gabarit dans les t.km parcourues en 2016 au sein de ce bassin. Les différences de consommations moyennes entre les différents gabarits doivent donc être regardées en considérant une répartition différenciée des gabarits en fonction des voies de navigation, devant impacter l'indicateur global. Il est préférable, dans le cadre d'une analyse précise d'une unité fluviale, de se référer aux indicateurs détaillés et non pas à cet indicateur global, représentatif de la flotte, mais pas d'une unité fluviale dans des conditions spécifiques de navigation.

2.2. Indicateurs d'efficacité environnementale

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs d'impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre sur le même modèle que les tableaux précédents. Les facteurs d'émissions de CO_2 pour la combustion du gazole non routier sont appliqués aux indicateurs de consommation moyenne en t.km intégrant les voyages à vide.

gCO_2/t.km	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Mixte
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<400 t	52,9	51,7	52,3	40,6	38,7	39,6	61,2	49,5	55,9				63,1	51,0	57,0		32,9	26,6	31,9
400-649 t	44,9	44,0	44,4	42,2	38,5	40,3	52,3	38,7	45,9				53,9	39,9	46,7		31,3		34,7
650-999 t	30,8	30,1	30,5	21,1	19,5	20,3	35,9	26,5	31,5				36,9	27,3	32,0		29,7		24,9
1000-1499 t	17,8	17,4	17,6	14,9	14,0	14,5	28,5	21,4	25,2	47,4	15,5	33,3	29,4	22,0	25,6	43,2			28,7
1500-3000 t	16,4	9,5	12,9	18,3	10,2	14,2	26,3	18,7	22,5	29,3	9,6	20,6	18,2	13,6	15,9	26,9			18,8
>3000 t	10,0	5,8	7,8				16,0	12,0	14,0	17,9	5,8	12,5	17,9	5,8	11,6	26,9			13,5
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<880 kW	38,8	27,7	33,2				40,2	26,6	33,4								20,6		31,5
>880 kW	10,4	5,2	7,7				11,8	7,2	9,5	11,8	7,2	9,8	11,8	7,2	9,5	9,9			8,8

Tableau 5 : Emissions moyennes de CO_2 des unités fluviales par gabarit et bassin de navigation (en gCO_2/t.km)

Le tableau ci-dessous permet une comparaison avec les précédentes études proposant des indicateurs moyens par gabarit d'unité fluviale :

	Emissions du transport fluvial en gCO2/t.km							
Rapport Explicit (2000)	37,7							
Etude TL&A (2006)	Convois poussés			Automoteurs				
	>880kW	590-880kW	<590kW	>1500t	1000-1500t	650-1000t	400-650t	<400t
	21,5	24,4	27,1	30	36,3	38,8	43,4	44,3
Enerdata (2002)	Convois poussés (1320kW-4400t)			Grand Rhénan	RHK	DEK		Freycinet
	11,3			18	18,3	21,1		24,2
AJBD (2018)	Convois poussés			Automoteurs				
	>880kW	<880kW		>3000t	1500-3000t	1000-1500t	650-1000t	400-650t	<400t
	8,8	31,5		13,5	18,8	28,7	24,9	34,7	31,9

Tableau 6 : Comparaison des émissions moyennes de CO_2 par gabarit d'unité fluviale

Ces évolutions s'expliquent d'une part par un plus grand nombre de données exploitées dans l'étude actuelle, permettant d'affiner les indicateurs préalablement définis et d'autre part par l'évolution des moteurs par renouvellement et donc des consommations plus faibles.

Les facteurs d'émissions (phase amont et combustion) retenus dans le cadre de cette étude sont :

- 1 L de gazole non routier = 3,07 kg de CO_2
- 1 L de gazole non routier = 3,17 kg de CO_2 équivalent pour l'approche GES

$gCO_2e/t.km$	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Mixte
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<400 t	54,6	53,4	54,0	42,0	39,9	40,9	63,2	51,1	57,8				65,1	52,7	58,9		34,0	27,5	32,9
400-649 t	46,4	45,4	45,9	43,6	39,8	41,6	54,0	40,0	47,4				55,6	41,2	48,2		32,3		35,8
650-999 t	31,8	31,1	31,5	21,8	20,1	20,9	37,0	27,4	32,5				38,1	28,2	33,1		30,7		25,8
1000-1499 t	18,3	17,9	18,1	15,4	14,5	14,9	29,4	22,1	26,0	48,9	16,0	34,4	30,3	22,8	26,5	44,7			29,7
1500-3000 t	16,9	9,8	13,3	18,9	10,5	14,6	27,1	19,3	23,3	30,3	9,9	21,3	18,8	14,1	16,4	27,8			19,4
>3000 t	10,3	6,0	8,1				16,5	12,4	14,5	18,4	6,0	13,0	18,4	6,0	11,9	27,8			13,9
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<880 kW	40,1	28,6	34,3				41,5	27,4	34,5								21,3		32,6
>880 kW	10,7	5,4	8,0				12,2	7,5	9,8	12,2	7,5	10,1	12,2	7,5	9,8	10,2			9,1

Tableau 7 : Emissions moyennes de GES des unités fluviales par gabarit et bassin de navigation (en $gCO_2e/t.km$)

Le tableau ci-dessus présente les émissions de GES (en $gCO_2e/t.km$) pour chaque croisement de gabarit d'unité fluviale et de bassin de navigation.

2.3. Indicateurs d'efficacité énergétique

Les deux tableaux suivants présentent la traduction des indicateurs de consommation en L/t.km intégrant les voyages à vide, en kJ/t.km et en kWh/t.km.

kJ/t.km	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Mixte
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<400 t	620	607	613	477	453	465	718	581	656				740	598	669		386	312	374
400-649 t	527	515	521	495	452	473	613	454	538				632	468	548		367		407
650-999 t	361	353	357	247	228	238	420	311	369				433	321	376		349		293
1000-1499 t	208	204	206	174	165	170	334	251	295	556	182	390	345	258	301	507			337
1500-3000 t	192	112	151	215	119	166	308	219	264	344	112	241	213	160	186	316			221
>3000 t	117	68	92				188	141	165	209	68	147	209	68	136	316			158
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<880 kW	455	325	389				472	312	392								242		370
>880 kW	122	61	91				139	85	112	139	85	115	139	85	111	116			103

Tableau 8 : Consommations énergétiques moyennes des unités fluviales par gabarit et bassin de navigation (en kJ/t.km)

Wh/t.km	Seine fleuve			Petite Seine / Oise			Rhône-Saône			Rhin			Moselle			Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit	Mixte
Automoteurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<400 t	172	169	170	132	126	129	199	161	182				206	166	186		107	87	104
400-649 t	146	143	145	137	125	131	170	126	149				175	130	152		102		113
650-999 t	100	98	99	69	63	66	117	86	102				120	89	104		97		81
1000-1499 t	58	57	57	48	46	47	93	70	82	154	50	108	96	72	84	141			94
1500-3000 t	53	31	42	60	33	46	86	61	73	95	31	67	59	44	52	88			61
>3000 t	32	19	26				52	39	46	58	19	41	58	19	38	88			44
Pousseurs	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Montant**	**Avalant**	**Mixte**	**Canal**	**Canal**	**Canal**	**Mixte**
<880 kW	127	90	108				131	87	109								67		103
>880 kW	34	17	25				39	24	31	39	24	32	39	24	31	32			29

Tableau 9 : Consommations énergétiques moyennes des unités fluviales par gabarit et bassin de navigation (en Wh/t.km)

Les facteurs de conversion utilisés dans les tableaux ci-dessus sont les suivants :

- 1 L de gazole non-routier = 36 000 kJ
- 1 kWh = 3 600 kJ

3. Emissions de polluants atmosphériques des unités fluviales

L'analyse des émissions de polluants atmosphériques des unités fluviales a reposé sur une analyse bibliographique exhaustive intégrant les études publiées en France et en Europe sur le sujet ainsi que les différentes campagnes de mesures effectuées sur les unités fluviales françaises.

La méthodologie retenue pour la définition des facteurs d'émissions de polluants atmosphériques des unités fluviales de transport de marchandise repose sur la méthodologie et les facteurs d'émissions de l'étude EMS Protocol, actualisée par TNO et PBL et appliqué à la flotte française. Les facteurs d'émissions proposés sont en effet déterminés par classe d'âge et gabarit des unités fluviales. En vue de déterminer des facteurs d'émission français par classe d'âge, ceux-ci ont été ajustés à l'état du parc naviguant, suivi par le Ministère de l'Environnement.

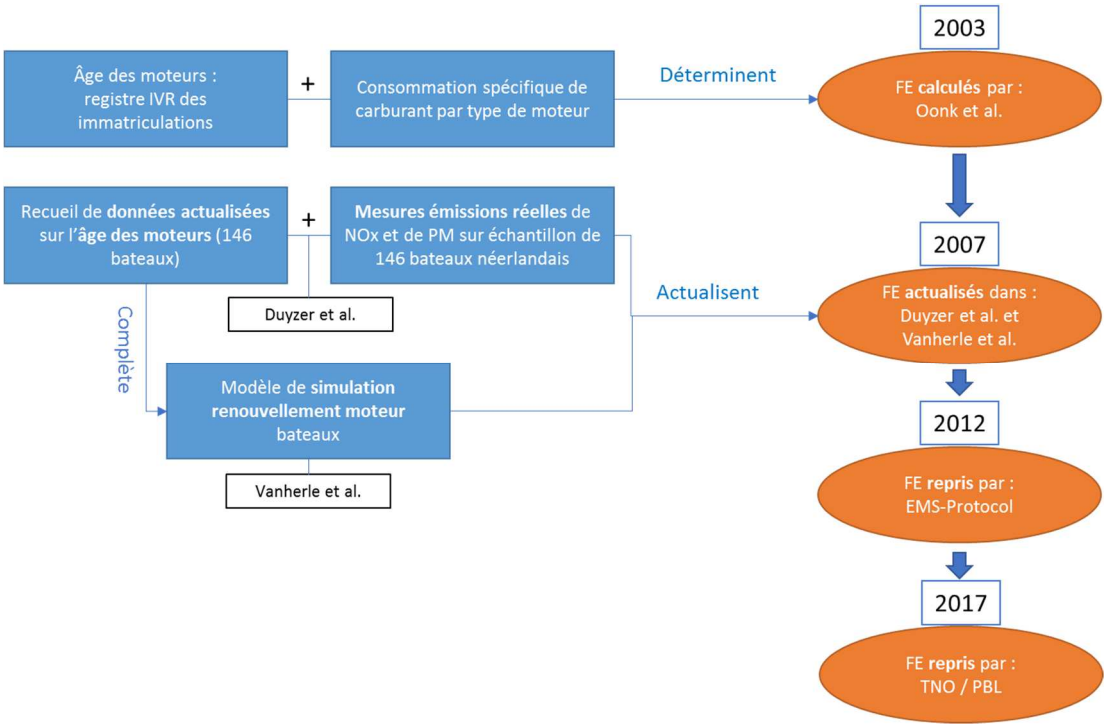


Figure 3 : Chronologie du processus de détermination des facteurs d'émissions du projet EMS

Les différentes études et sources mobilisées proposent des valeurs en général assez variables, qui sont présentées ci-dessous :

	Facteurs d'émissions (g/kWh)				
	CITEPA OMINEA 2017	**EMS Protocol, 2009-2011**	**Mesures IFSTTAR (automoteur IMO Tier 1 ~ CCNR 1)**	**CERTAM Moyenne pousseurs**	**CERTAM Moyenne automoteurs**
NOx	3,02	6,00	14,10	6,74	4,38
CO	1,64	1,30	3,90	2,11	0,84
TSP/PM	0,33	0,20	0,06	0,11	0,08

Tableau 10 : Comparaison des facteurs d'émissions identifiés sur plusieurs polluants

Les données IFSTTAR présentées ci-dessus ont été obtenues par mesure sur des unités équipés de très vieux moteurs et ne sont donc pas représentative de la flotte en circulation (ce qui explique les écarts constatés).

Les facteurs d'émission retenus (EMS Protocol) et ajustés à la flotte française sont ainsi présentés ci-dessous :

	FE Flotte (g/kWh)			
Automoteurs	**CO**	**NOx**	**PM**	**COV**
<400 t	1,53	8,60	0,27	0,30
400-649 t	1,53	8,60	0,27	0,30
650-999 t	1,53	8,60	0,27	0,30
1000-1499 t	1,53	8,70	0,26	0,30
1500-3000 t	1,48	8,16	0,24	0,28
>3000 t	1,48	8,16	0,24	0,28
Pousseurs	**CO**	**NOx**	**PM**	**COV**
<880 kW	1,53	8,60	0,27	0,30
>880 kW	1,53	8,60	0,27	0,30

Tableau 11 : Facteurs d'émissions en g/kWh par catégorie de bateau

Les facteurs d'émissions par bassin de navigation ont été obtenus en croisant ces données avec les consommations moyennes de carburant à la tonne.kilomètre en fonction des bassins de navigation et des gabarits des unités fluviales. Les facteurs d'émissions sont présentés ci-dessous (en g/t.km) :

g/t.km (NOx)	Seine fleuve	Petite Seine / Oise	Rhône-Saône	Rhin	Moselle	Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit
Automoteurs								
<400 t		0,46	0,65		0,66		0,38	0,31
400-649 t		0,47	0,53		0,54		0,36	
650-999 t		0,23	0,36		0,37		0,34	
1000-1499 t	0,21	0,17	0,29	0,39	0,30	0,51		
1500-3000 t	0,14	0,16	0,25	0,23	0,17	0,29		
>3000 t	0,09		0,15	0,14	0,13	0,29		
Pousseurs								
<880 kW	0,38		0,39				0,24	
>880 kW	0,09		0,11	0,11	0,11	0,11		

Tableau 12 : Emissions moyennes de NOx par gabarit et par bassin (en g/t.km)

g/t.km (PM)	Seine fleuve	Petite Seine / Oise	Rhône-Saône	Rhin	Moselle	Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit
Automoteurs								
<400 t		0,014	0,020		0,020		0,012	0,009
400-649 t		0,014	0,016		0,017		0,011	
650-999 t		0,007	0,011		0,011		0,011	
1000-1499 t	0,006	0,005	0,009	0,012	0,009	0,015		
1500-3000 t	0,004	0,005	0,007	0,007	0,005	0,009		
>3000 t	0,003		0,005	0,004	0,004	0,009		
Pousseurs								
<880 kW	0,012		0,012				0,007	
>880 kW	0,003		0,003	0,003	0,003	0,004		

Tableau 13 : Emissions moyennes de PM par gabarit et par bassin (en g/t.km)

g/t.km (COV)	Seine fleuve	Petite Seine / Oise	Rhône-Saône	Rhin	Moselle	Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit
Automoteurs								
<400 t		0,016	0,023		0,023		0,013	0,011
400-649 t		0,016	0,018		0,019		0,013	
650-999 t		0,008	0,013		0,013		0,012	
1000-1499 t	0,007	0,006	0,010	0,013	0,010	0,017		
1500-3000 t	0,005	0,005	0,008	0,008	0,006	0,010		
>3000 t	0,003		0,005	0,005	0,004	0,010		
Pousseurs								
<880 kW	0,013		0,013				0,008	
>880 kW	0,003		0,004	0,004	0,004	0,004		

Tableau 14 : Emissions moyennes de COV par gabarit et par bassin (en g/t.km)

g/t.km (CO)	Seine fleuve	Petite Seine / Oise	Rhône-Saône	Rhin	Moselle	Canal grand gabarit	Canal moyen gabarit	Canal petit gabarit
Automoteurs								
<400 t		0,08	0,11		0,12		0,07	0,05
400-649 t		0,08	0,09		0,10		0,06	
650-999 t		0,04	0,06		0,07		0,06	
1000-1499 t	0,04	0,03	0,05	0,07	0,05	0,09		
1500-3000 t	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05		
>3000 t	0,02		0,03	0,02	0,02	0,05		
Pousseurs								
<880 kW	0,07		0,07				0,04	
>880 kW	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02		

Tableau 15 : Emissions moyennes de CO par gabarit et par bassin (en g/t.km)

4. Analyse des consommations énergétiques des unités de tourisme fluvial

Cette partie réalise une analyse ciblée sur le transport fluvial de voyageurs (hors plaisance), qui correspond principalement à l'activité des bateaux de croisière fluviale et de bateaux promenades.

L'enquête a également été réalisée auprès d'opérateurs du transport fluvial de voyageurs.

	Nb d'entreprises interrogées	Bassin de navigation
Croisièriste	2	Seine, Rhin, Rhône, Loire, fleuves européens
Bateau promenade / restaurant	1	Seine
Navette fluviale	1	Seine

Tableau 16 : Panel d'entreprises de tourisme fluvial interrogées dans le cadre de l'étude

La concentration des acteurs du tourisme fluvial est telle que le panel couvre la majorité des trafics considérés.
Le type de transport et les opérateurs ici considérés peuvent se répartir en trois catégories distinctes présentées ci-après.

La croisière fluviale

La croisière fluviale en France regroupe un petit nombre d'opérateurs, agissant principalement à l'échelle européenne. Une croisière fluviale se définit comme un séjour de plusieurs jours le long d'un fleuve, ponctué de plusieurs étapes (visites de villes ou de lieux remarquables).
Les unités utilisées pour ce type de séjour sont généralement des unités de grand gabarit (de 110 à 134 m de long, pour environ 1 500 tonnes).
La plupart des unités visitées dans le cadre de l'enquête sont des bateaux de type hybride, c'est-à-dire avec une motorisation électrique couplée à des groupes électrogènes thermiques, ce qui assure un meilleur rendement à la propulsion.

Les groupes électrogènes assurent la production d'énergie qui est principalement utilisée pour les services à bord (chauffage, cuisines, …). La consommation liée à la propulsion est estimée à 20 % du total (le bateau passe un temps important à quai). En navigation, le bateau de croisière de type hybride peut dédier jusque 75 % de sa consommation énergétique à la propulsion (au moins 60 % en navigation). Le fonctionnement de type hybride permet de mieux redistribuer l'énergie entre les différents consommateurs et d'assurer une consommation constante du groupe électrogène. Ce fonctionnement garantit une disponibilité maximale des systèmes de propulsion en toutes circonstances : par exemple, en cas de manœuvre d'urgence, le système électrique centralisé peut éventuellement délester les consommateurs secondaires (buanderie, cuisine) pour faire face à l'appel de puissance instantané des propulseurs électriques.

Il est difficile de disposer de données précises sur la consommation de la propulsion des bateaux puisque les opérateurs suivent principalement les données de consommation totales. Les données obtenues permettent cependant d'estimer la consommation d'un bateau hybride en navigation entre 60 et 70 L par heure, et entre 12 et 14 L par kilomètre parcouru (consommations totales, intégrant les consommations annexes à la propulsion). Si l'on isole les consommations uniquement dues à la propulsion, on peut estimer qu'elles représentent une consommation de 7.2 à 10,5 L par kilomètre parcouru.

Des analyses plus fines pourraient être menées sur ce type de bateau en effectuant un monitoring sur une croisière, en considérant les différentiels de consommation énergétique à quai et en navigation.

Les bateaux promenades

Les bateaux promenades sont principalement constitués des bateaux naviguant sur la Seine à Paris sur des parcours touristiques. Ces bateaux sont opérés par deux entreprises qui utilisent un matériel navigant similaire. Ils se répartissent entre bateaux promenade uniquement et bateaux restaurants (intégrant une prestation de repas).

Les dimensions des bateaux promenades varient de 27 à 47,8 m de long, les bateaux restaurants étant généralement plus longs (de 40 à 60 m de long). Les largeurs restent comprises entre 6 et 10,3 m.

Les bateaux promenades de grande dimension (47,8 m de long par 10,3 m de large) ont des consommations de carburant comprises entre 45 et 50 L/h de fonctionnement moteur (environ 7 L/km parcouru). Les plus petites unités (27 à 30 m de long pour 6 à 9 m de large) ont des consommations très variables, de 20 à 40 L/h (soit 3 à 6 L/km), dépendant en grande partie de la taille de l'unité, mais également de l'âge du moteur.

Pour ce qui concerne les bateaux restaurants, les consommations de carburant sont à relativiser fortement puisqu'une part importante est due au fonctionnement des cuisines. Ainsi, au total, on comptabilise des consommations bien plus importantes que pour les bateaux promenades. On peut différencier deux gabarits de bateaux restaurants :

- 55 à 60 m de long par 10 m de large : consommations de 71 à 77 L/h, soit 15,5 à 17 L/km (considérant dans cette consommation totale le temps passé à quai en fonctionnement) ;
- 40-45 m de long par 6,5 m de large : 34 à 60 L/h, soit de 7,5 à 13 L/km (dans les mêmes conditions de mesure que le gabarit supérieur).

Des analyses spécifiques pourraient être menées sur certaines unités, afin d'isoler les consommations uniquement dues à la propulsion.

Les navettes fluviales

L'analyse a été menée sur la navette fluviale à Paris comptabilisant 8 bateaux. Le service « Batobus » s'adresse principalement aux touristes souhaitant visiter la ville tout en profitant d'un transport original et d'un principe de « Hop On – Hop Off ». Les bateaux considérés regroupent 2 modèles distincts :

- 25 m de long par 9 de large, de motorisation hybride (deux générateurs de 132 kW). Ces bateaux constituent le cœur de la flotte de Batobus. Ils naviguent de 2 600 à 3 500 heures par an. Ils consomment de 23 à 26 L par heure, soit 0,2 L/km.
- 23,95 de long par 5,6 de large, de motorisation traditionnelle (deux moteurs de propulsion de 88 kW et un moteur annexe de 21 kW). Ces deux unités sont des bateaux de secours, permettant un remplacement en cas de panne d'un des bateaux hybrides. Ils naviguent donc beaucoup moins. Ils consomment de 12 à 20 L/h, soit de 0,2 à 0,4 L/km.

Synthèse

Les consommations des différents types d'unités considérés peuvent être synthétisées dans le tableau ci-dessous :

				Consommation totale		
	Longueur (m)	Largeur (m)	Type de motorisation	L/h	L/km	Part propulsion
Bateau de croisière	110 à 135	11,4	Hybride	60 à 70 L	12 à 14 L	75%
Bateaux promenades	27	6	Hybride ou traditionnelle	20 à 40 L	3 à 6 L	100%
	47,8	10,3	Hybride ou traditionnelle	45 à 50 L	7 L	100%
Bateaux restaurants	40 à 45	6,5	Hybride ou traditionnelle	34 à 60 L	7,5 à 13 L	~60%
	55 à 60	10	Hybride ou traditionnelle	71 à 77 L	15,5 à 17 L	~60%
Bateaux navette	24	5,6	Traditionnelle	12 à 20 L	0,2 à 0,4 L	100%
	25	9	Hybride	23 à 26 L	0,2 L	100%

Tableau 17 : Synthèse des consommations constatées des unités fluviales de transport de voyageurs

Ces consommations regroupent l'ensemble des consommations, et non uniquement la propulsion, c'est-à-dire, la part à quai, la consommation due aux équipements de l'unité fluviale (chauffage, cuisines, …) et la part dédiée à la propulsion. Les acteurs fluviaux n'étant pas en mesure d'isoler la consommation due à la propulsion, une estimation de celle-ci (par les acteurs fluviaux) a été effectuée.

Avertissement méthodologique

Cette étude s'appuie sur un échantillon restreint de valeurs de consommation et d'efficacité énergétique. Le caractère limité de l'échantillon, au regard du nombre très élevé de situations hétérogènes dans la navigation fluvial, induit donc des incertitudes.

Une part importante des facteurs d'émissions sont déterminés par analogie, ce qui entraine de fait une incertitude élevée. Les données collectées auprès des bateliers et des opérateurs fluviaux sont pour la plupart déclaratives, entrainant ici aussi des biais potentiels (erreurs de déclarations, arrondis, …). Ces biais sont renforcés par l'échantillon limité et le nombre de croisements gabarit / bassin de navigation importants.

Enfin, le taux de retour à vide moyen est considéré par défaut, et le type de chargement (vrac / conteneur) n'est pas considéré, ajoutant une incertitude supplémentaire sur les taux de retour à vide applicables à chaque situation de navigation.

Les valeurs présentées dans ce rapport doivent donc être traitées avec précaution et permettent surtout une vision globale sur les performances de la navigation fluviale en France.

Il existe aujourd'hui dans le secteur fluvial en France des moteurs dont les performances en termes d'émissions sont assez éloignées des normes récentes. Ce constat suffit à justifier une mobilisation importante des acteurs privés et publics pour améliorer la performance du mode fluvial sur ce plan.

EXPERTISES

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS
DE L'ADEME

ILS L'ONT FAIT
L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

EXPERTISES
L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.

FAITS ET CHIFFRES
L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

CLÉS POUR AGIR
L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

HORIZONS
L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr