



**PRESENTATION le 19/05/2014**

**La voie d'eau :  
polyvalence, avantages économiques,  
perspectives et innovations**

**Pierre-Jean Pompée**

**VNF**

# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## Présentation de la voie d'eau :

- Une infrastructure polyvalente et un outil de développement
- Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions
- Avantages et retombées économiques de la voie d'eau

Un mode de transport à haute qualité environnementale

La voie d'eau aux USA, en Europe, en France

Projets sur l'infrastructure en France

La flotte, perspectives, innovations

# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## Présentation de la voie d'eau :

- Une infrastructure polyvalente et un outil de développement
- Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions
- Avantages et retombées économiques de la voie d'eau

*Un mode de transport à haute qualité environnementale*

*La voie d'eau aux USA, en Europe, en France*

*Projets sur l'infrastructure en France*

*La flotte, perspectives, innovations*

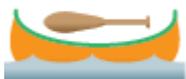
# La voie d'eau, une infrastructure polyvalente



Navigation, transport des marchandises et des passagers



Développement des territoires traversés, plates-formes multimodales, valorisation foncière



Activités touristiques et de loisirs



Protection contre les crues et les sécheresses



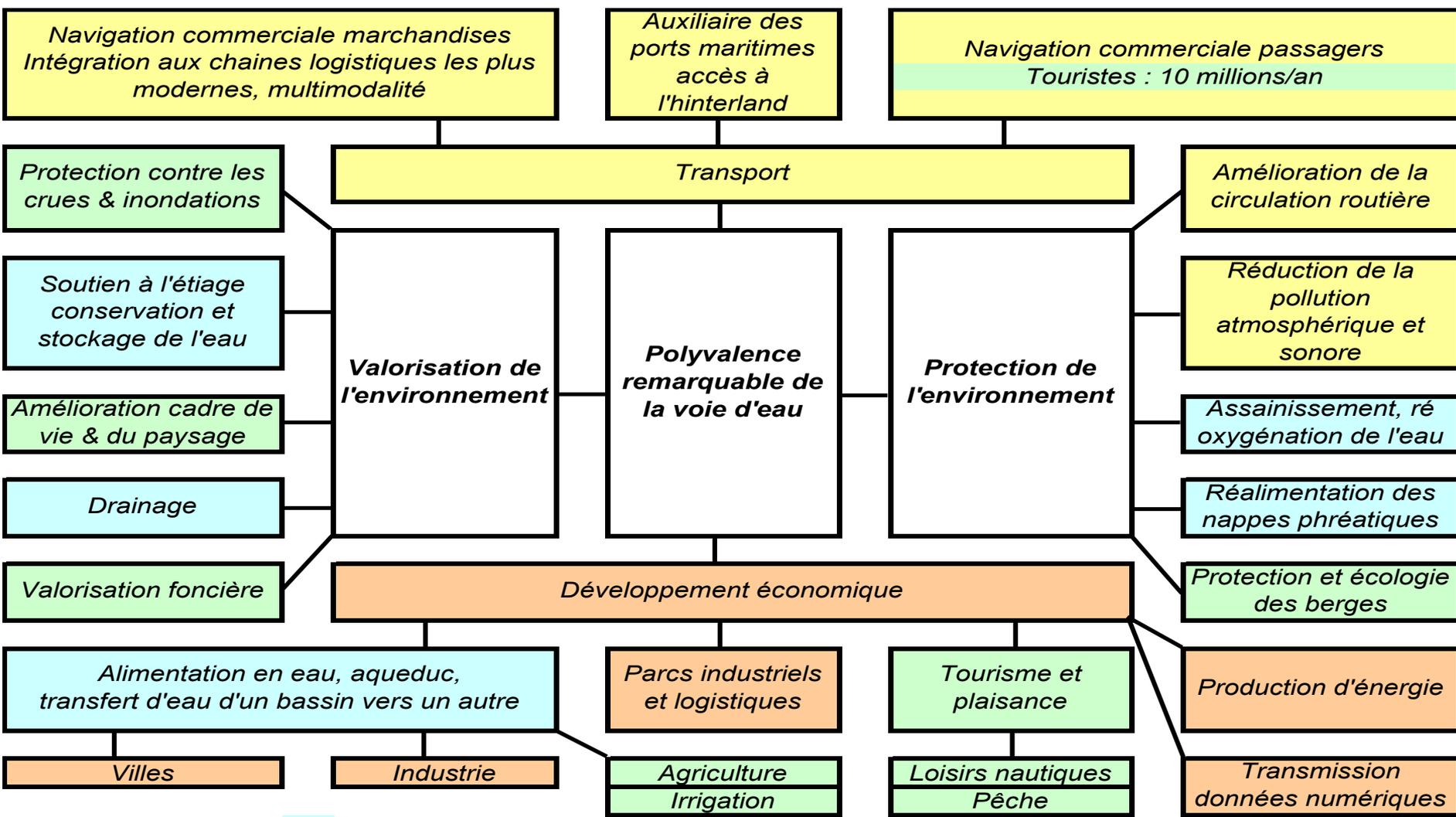
Assainissement et potabilisation de l'eau  
Approvisionnement en eau des populations, des entreprises et de l'agriculture



Production d'énergie

*(c.f. rapport CGPC Lefoulon 1993 « Polyvalence de la voie d'eau dans les calculs de rentabilité économique »)*

# Les 20 fonctions de la voie d'eau



- Eau / hydraulique
- Transport
- Domanial, foncier, tourisme
- Industrie, énergie

(c.f. rapport CGPC Lefoulon 1993 « Polyvalence de la voie d'eau dans les calculs de rentabilité économique »)

# Multiplicité des fonctions de la voie d'eau : modèle économique et financement (exemple VNF)

## RESSOURCES 2012 (M€)

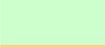
|   |              |
|---|--------------|
| Péages navigation                             | 14,0         |
| Taxe Hydraulique                              | 148,6        |
| Redevances domaniales                         | 23,9         |
| Autres  | 55,0         |
| <b>Total Recettes de fonctionnement</b>       | <b>241,5</b> |
| Financements collectivités locales            | 70,0         |
| Autres financements                           | 3,3          |
| <b>Total ressources (hors SNE &amp; SMSR)</b> | <b>314,8</b> |

environ 1/3 passager 2/3 fret

76% EDF  
0,7% Hydroélectrique  
8% Industrie  
14% Eau publique  
0,4% Agriculture

25,7% Stationnement embarcations  
0,5% manifestations nautiques  
6,2% Maisons éclusières  
40,4% Autres dont haltes nautiques  
22,9% Fibres optiques  
4,3% Concessions

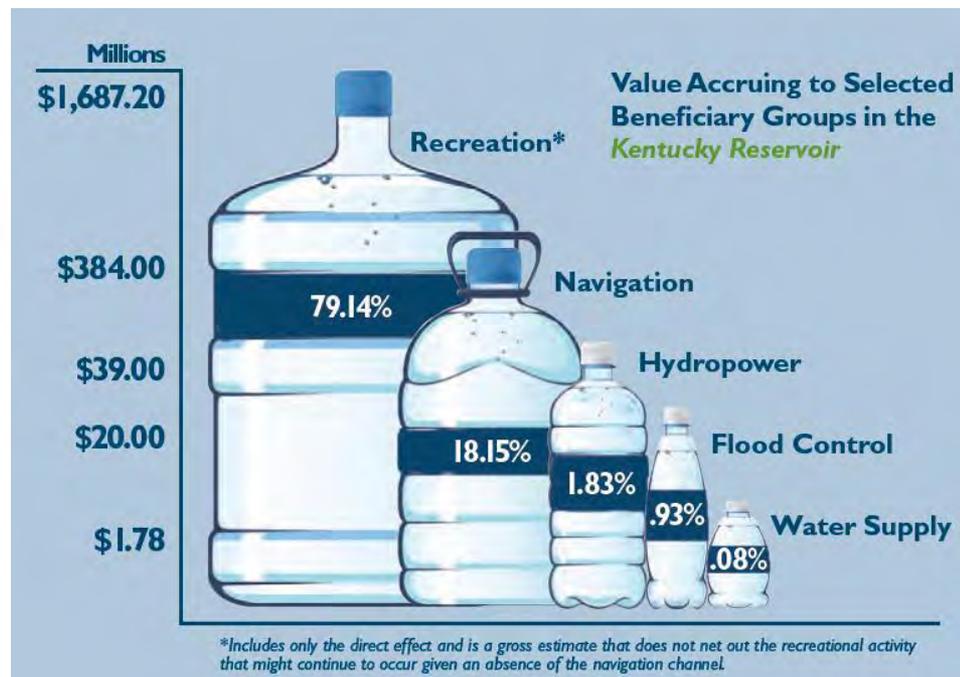
environ :  
fonction hydraulique : 33%  
fonction navigation : 61% (fonct.) - 67% (invest.)  
fonction domaniale : 6% (fonct.) - 0,4% (invest.)

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Eau et gestion hydraulique  |  |
| Transport                   |  |
| Domanial, foncier, tourisme |  |
| Industrie, énergie          |  |



# Multiplicité des fonctions de la voie d'eau : valeur économique (exemple aux USA)

Value Accruing to Selected Beneficiary Groups in the *Tennessee River reservoir above Chattanooga*

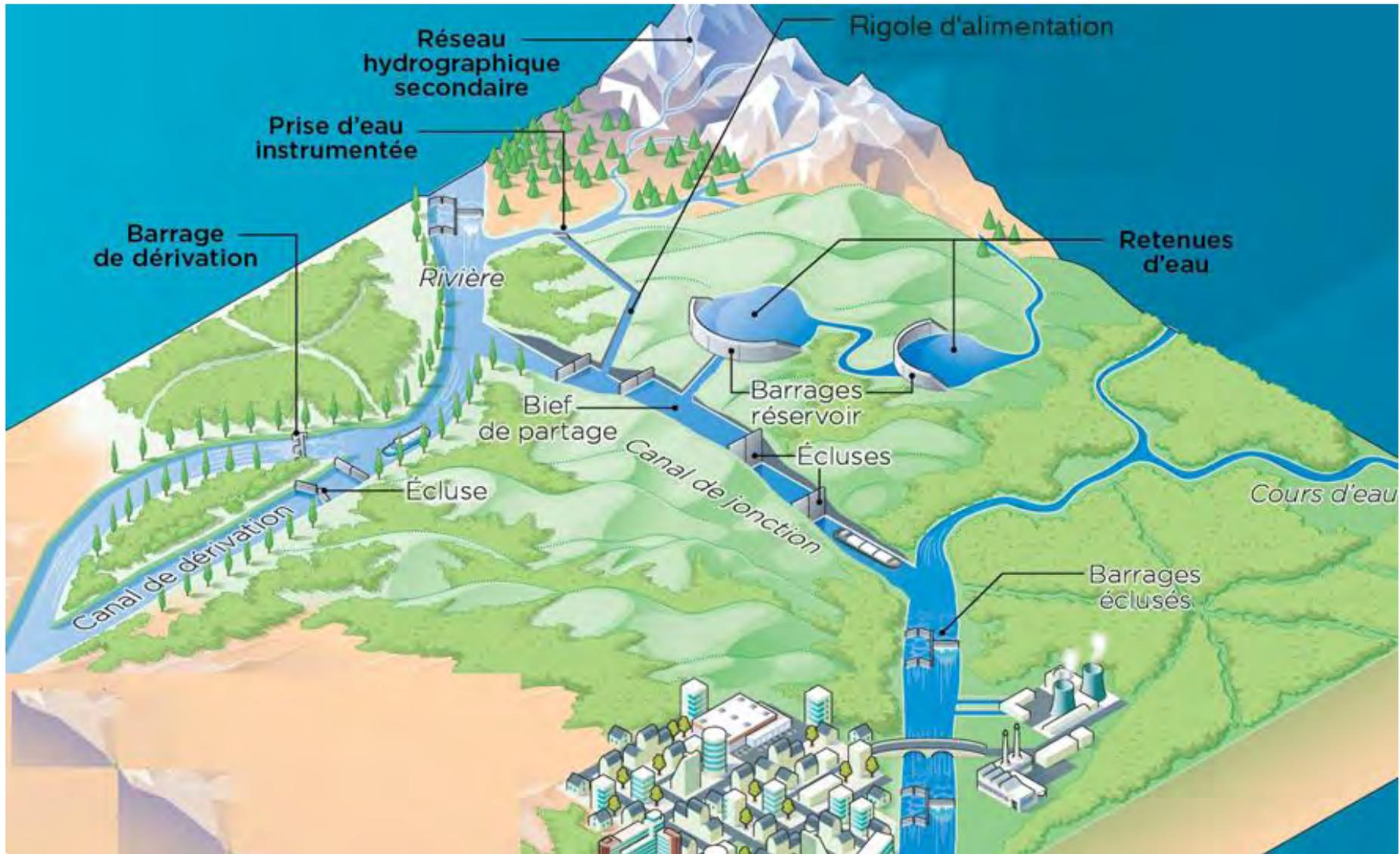


Valeur économique des retenues de Chattanooga sur la rivière Tennessee, et au Kentucky : La fonction *Tourisme* dépasse ici largement toutes les autres en valeur et ni la fonction *navigation* ni la fonction *énergie* n'ont dans ces exemples le poids économique prépondérant.

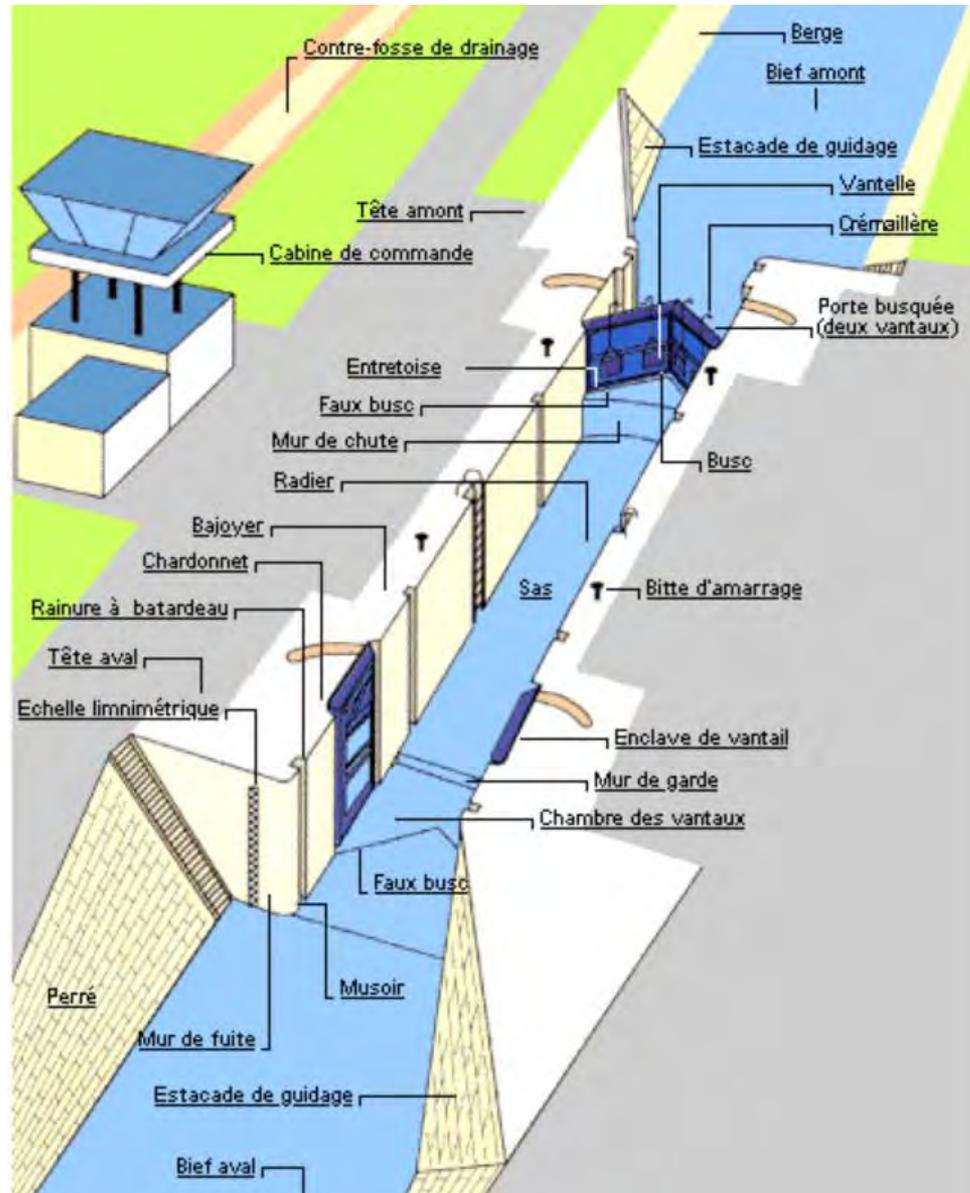
**Aux USA la voie d'eau est gérée par l'armée (US Army Corps of Engineers) pour raisons stratégiques**

(source : « Waterways : vital to the Nation », USA, Plaquette en 6 pages, National Waterways Foundation, 2011)

# Les ouvrages de la voie d'eau



# Ecluse traditionnelle (à portes busquées)



## Exemple d'écluse à grand gabarit avec bassins d'épargne (projet)

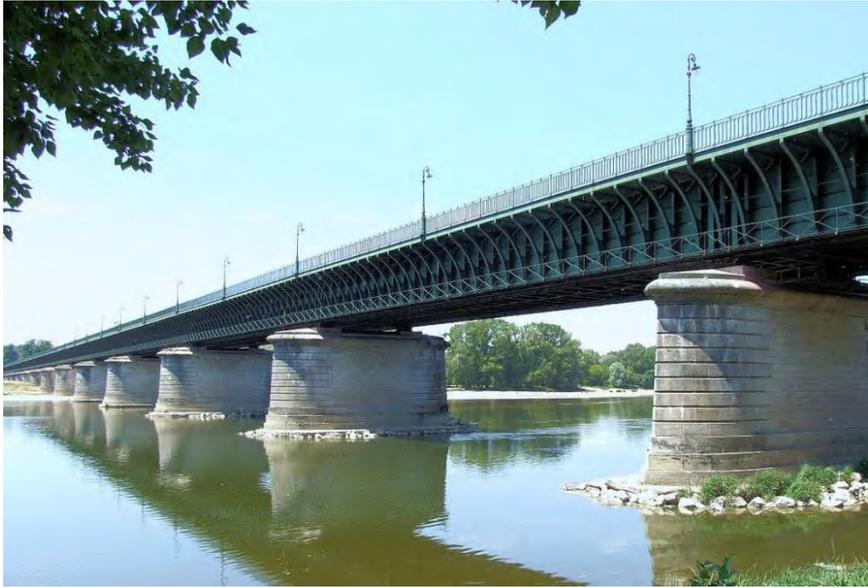


les bassins d'épargne (ici 3 bassins correspondant à 3 lames d'eau) permettent de réutiliser l'eau lors des éclusages.

*Dans cet exemple, l'écluse comporte une porte aval busquée et une porte amont coulissante.*

*(images projet Seine - Escaut)*

# Pont-Canal



Un Pont Canal permet  
de traverser un fleuve

Ici le pont-Canal en  
petit gabarit de Briare  
sur la Loire

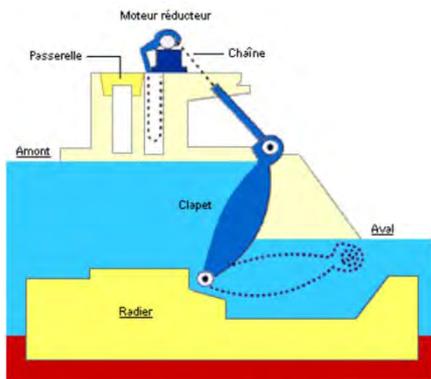


# Pont-Canal routier (projet)

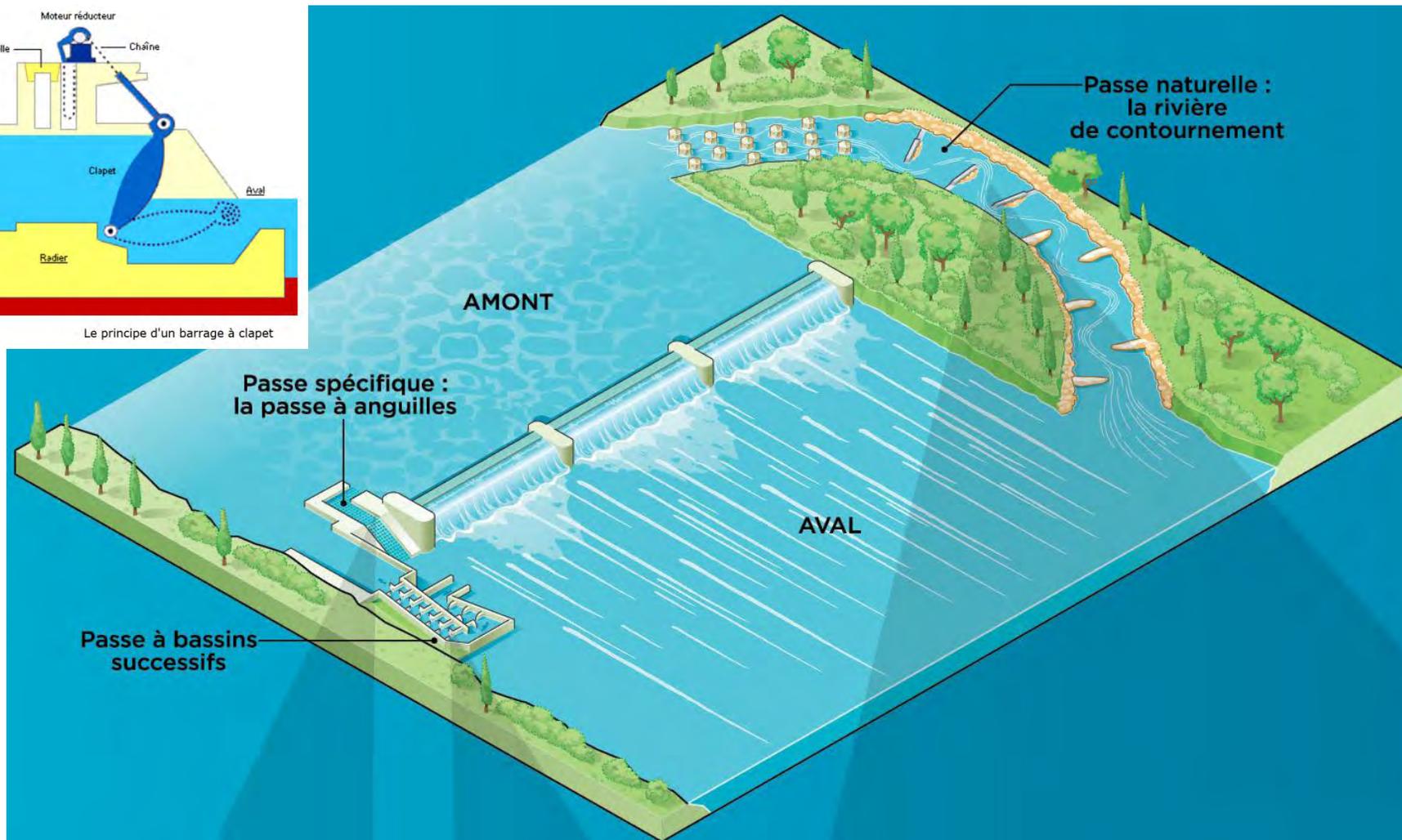


Exemple de pont-Canal routier à grand gabarit  
(section courante de canal 58x36x4,50m, section restreinte 38mx38mx4,50m)

# Barrage et passes à poisson

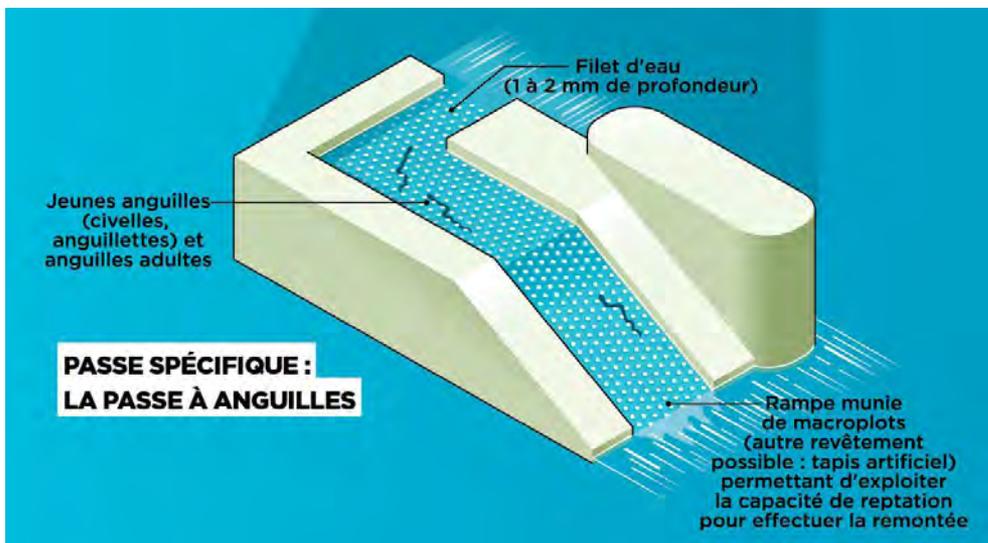
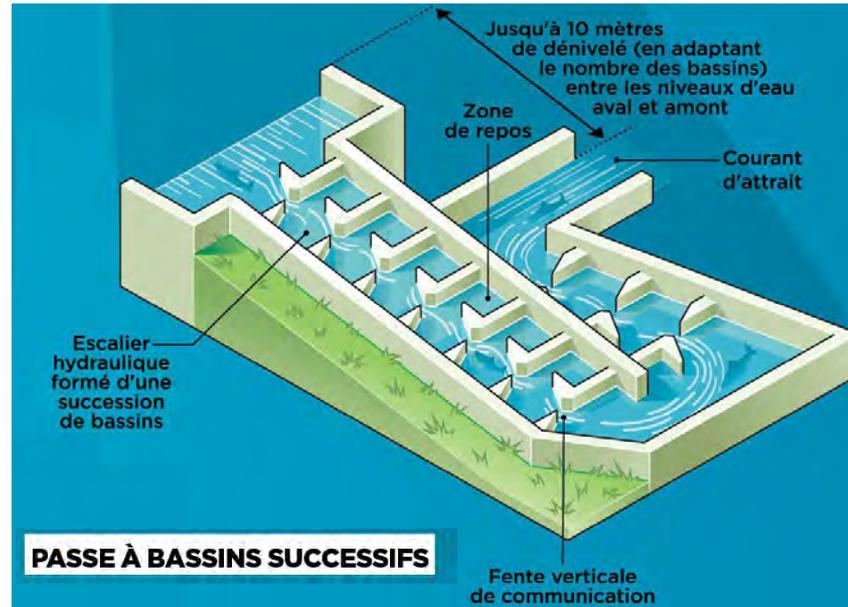
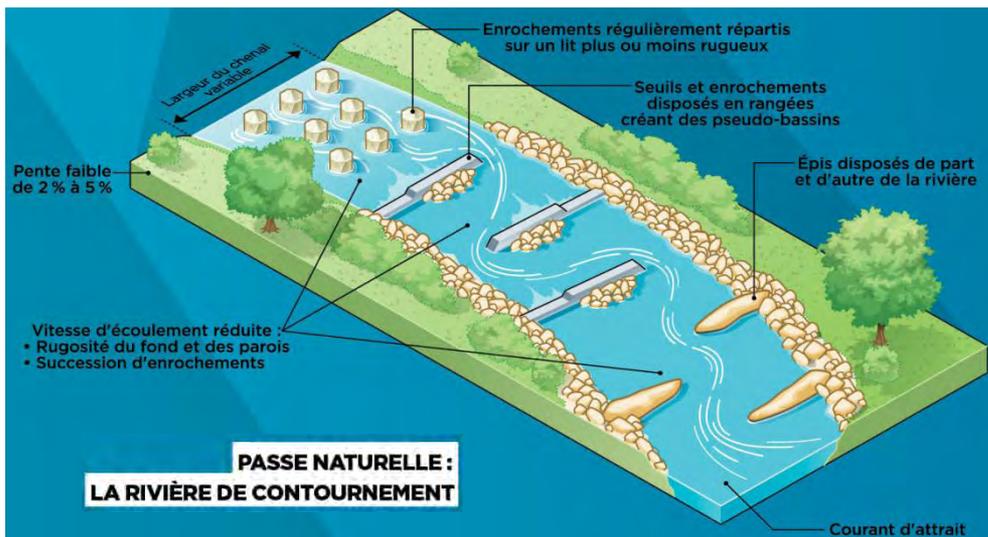


Le principe d'un barrage à clapet



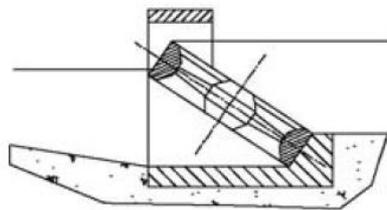
Un barrage a pour fonction de réguler le niveau d'eau selon les saisons. Ceci permet la navigation, mais aussi d'éviter de perturber l'écologie des berges par des changements brusques de niveau. Certains barrages de navigation peuvent également être équipés de turbines. En encadré : exemple d'un barrage à clapets

# Exemples de passes à poissons



Il existe différents types de passes à poissons selon les configurations du site et les espèces de poissons rencontrées

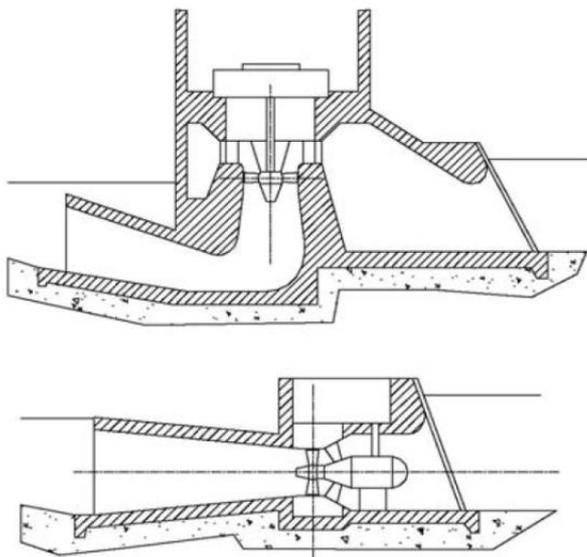
## Récupération d'énergie sur les petit barrages (Exemple VLH)



Il est possible de de produire de l'énergie sur des barrages à très faible chute (1,5 à 4,5 m) grâce à des turbines étudiées pour permettre le passage des poissons sans les blesser (<2m/s, survie 100%). L'infrastructure est très réduite.

Les puissances peuvent être aussi basses que 100-500 kW, sur des débits 10-30 m<sup>3</sup>/s (VLH)

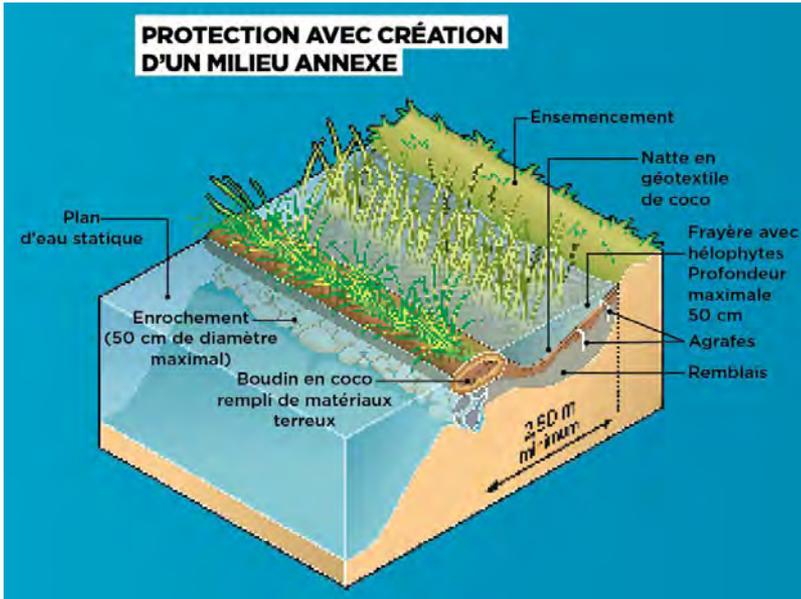
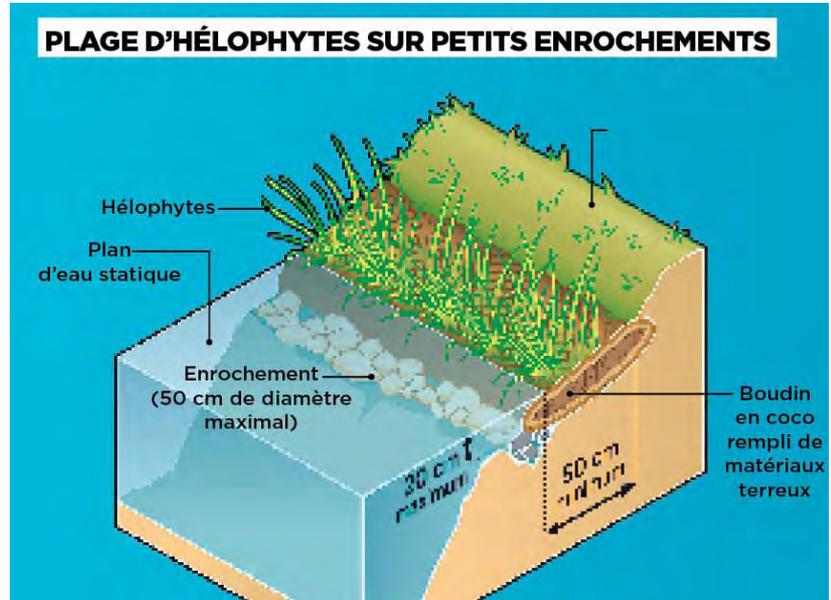
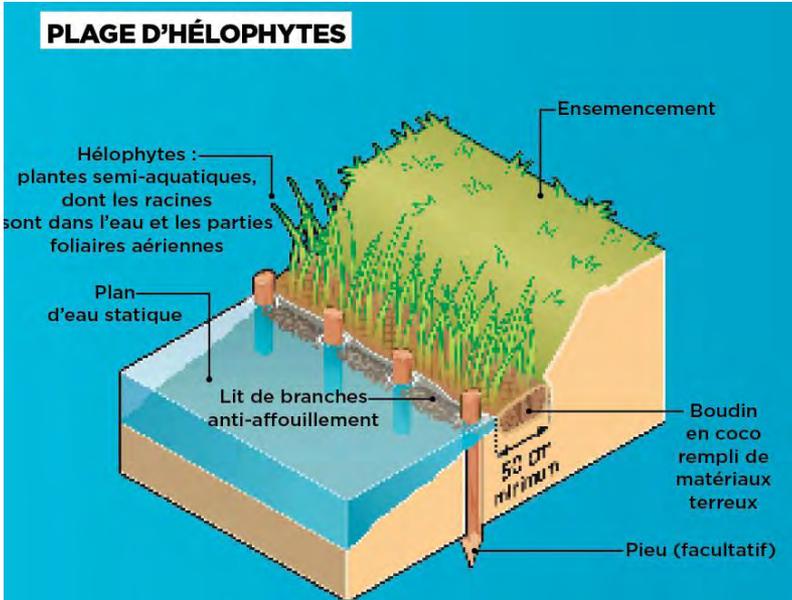
*VLH a été développé avec l'appui de l'ADEME, du ministère Français de la Recherche, et du ministère Canadien des ressources naturelles*



La turbine peut se relever pour réguler le cours d'eau et nécessite très peu de génie civil, à la différence des centrales hydroélectriques de fortes puissance qui nécessitent au contraire des chutes d'eaux conséquentes et des ouvrages de grande taille

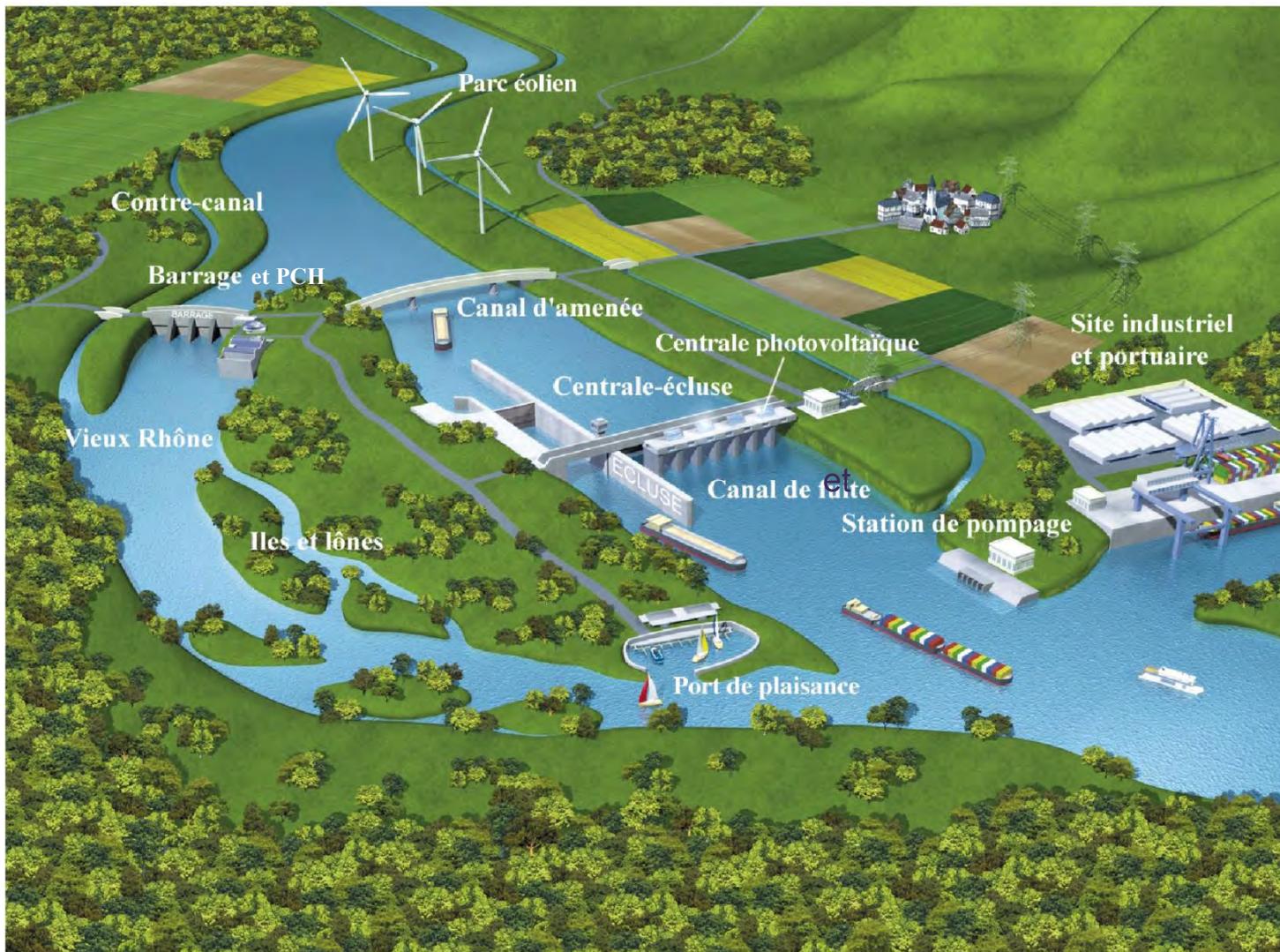


# Protection et écologie des berges - ingénierie écologique



L'objectif de l'ingénierie écologique de protection des berges est de favoriser les échanges physico-chimiques et biologiques et permet ainsi la continuité écologique entre les berges et la voie d'eau.

Elle comprend un diagnostic initial et comporte un suivi dans le temps. Initiée dans la direction Nord-Est de VNF où elle atteint plus de 80% de son réseau, cette démarche s'étend progressivement, notamment au bassin de la Seine



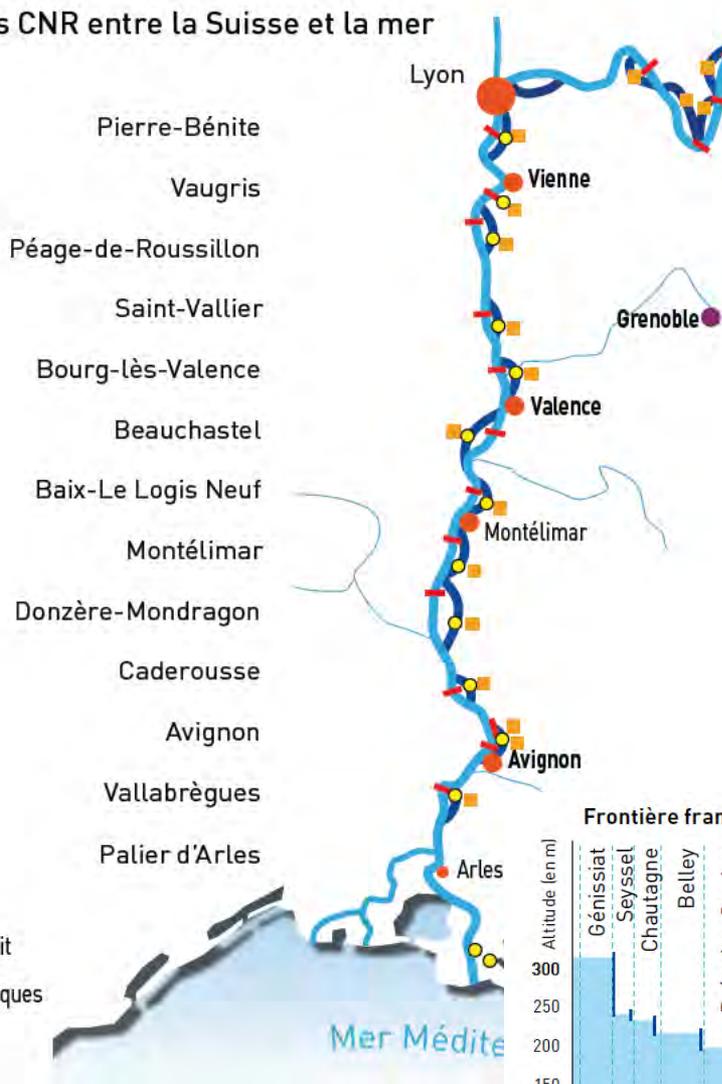
Un barrage de retenue relève le niveau du cours d'eau et crée une chute sur laquelle sont installées la centrale et l'écluse.

A partir du barrage, construit sur le cours naturel du fleuve, les eaux empruntent le canal de dérivation et sont turbinées par la centrale au fil de l'eau sans stockage dans la retenue.

Les eaux sont restituées au fleuve par le canal de fuite, à l'aval de la centrale.

*(slide, textes, et images : CNR – l'exemple initial est pris sur le Rhône)*

# 18 aménagements CNR entre la Suisse et la mer



- Génissiat
- Seyssel
- Chautagne
- Belley
- Brégner-Cordon
- Sault-Brenaz

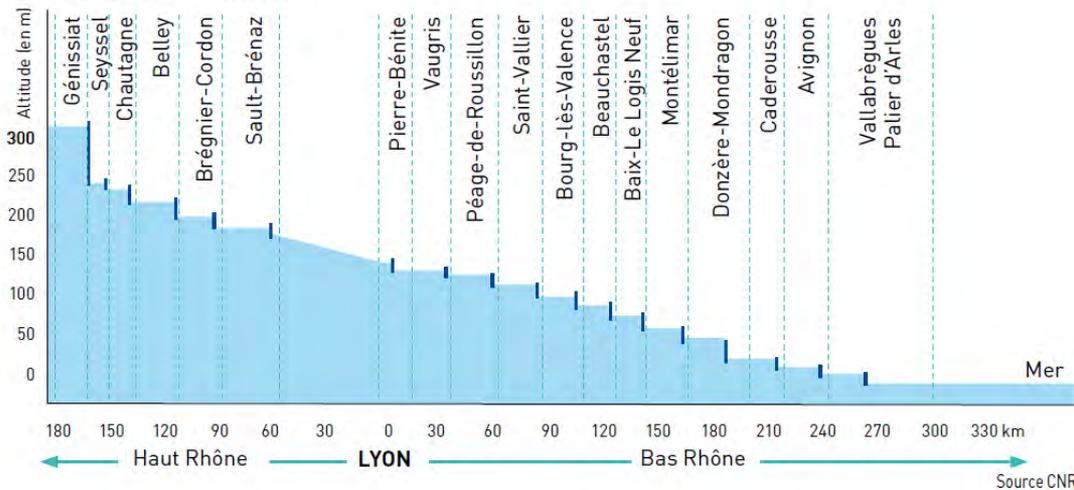
**Exemple  
d'aménagement :  
hydroélectrique :  
le Rhône**

**3000 MW Hydroélectriques  
en 19 barrages construits  
entre 1930 et 1986 (CA CNR  
2010: 1,3 Milliards d'Euros)**

*(...et plus de 1500 MW avec 10  
barrages sur le Rhin, 50 MW sur la  
Moselle...etc.)*

- 19 barrages
- 14 écluses à grand gabarit
- 19 centrales hydroélectriques
- Canaux aménagés

Frontière franco-suisse



sources : CNR

- **Drainage des terrains marécageux :**  
près de la moitié du département du Nord et une partie du Pas-de-Calais - 130 000 Ha agricoles concernés par l'irrigation et le drainage
- **Aménagement du Rhône concernant 350000 Ha de terres agricoles :**
  - ✓ Assainissement & drainage de 100000 Ha
  - ✓ Accès de 250000 Ha à l'irrigation
  - ✓ Energie à des tarifs préférentiels
  - ✓ 50000 Ha protégés totalement ou partiellement des crues

*(d'après « Les différents usages de la voie d'eau en France et leurs retombées économiques » p3, SI3, Congrès AIPCN 1990 - Osaka)*

Accès de 250 000 Ha à l'irrigation en vallée du Rhône grâce à l'aménagement du Rhône estimé à 9000 M€ en 1990 (en valeur 2013)<sup>(1)</sup>:

- Valorisation 2250 €/Ha/an soit 562 M€/an
- 25% aménagement du Rhône / 75% infrastructures d'irrigation
- Actualisés à 8% sur 25 ans (1990 - 2014) : 6480 M€
- $25\% \times 6480 \text{ M€} / 9000 \text{ M€} = 1620 / 9000 = \mathbf{18\% \text{ de l'aménagement remboursé par les bénéficiaires pour l'agriculture (140 M€/an)}}$

Protection contre les crues (périodicité 8,5 ans) de 50000 Ha région de Brangues (amont de Lyon) : valorisation 225 €/Ha/an soit **11,2 M€/an (VAN 73 M€ sur 8,5 ans)**

Drainage et assainissement 450 Ha et meilleur rendement agricole sur 660 Ha valorisés à 4500 €/Ha entre Bray et Nogent, plus value foncière = **5 M€**

((1) d'après « Les différents usages de la voie d'eau en France et leurs retombées économiques » p3, SI3, Congrès AIPCN 1990 - Osaka) – conversion monétaire 2014 selon convertisseur INSEE Francs-Euros

# Protection contre les crues : exemple du bassin de la Seine

4 ouvrages de bassin d'une capacité maximale de 830 millions de m<sup>3</sup>

La grande crue de Paris en 1910



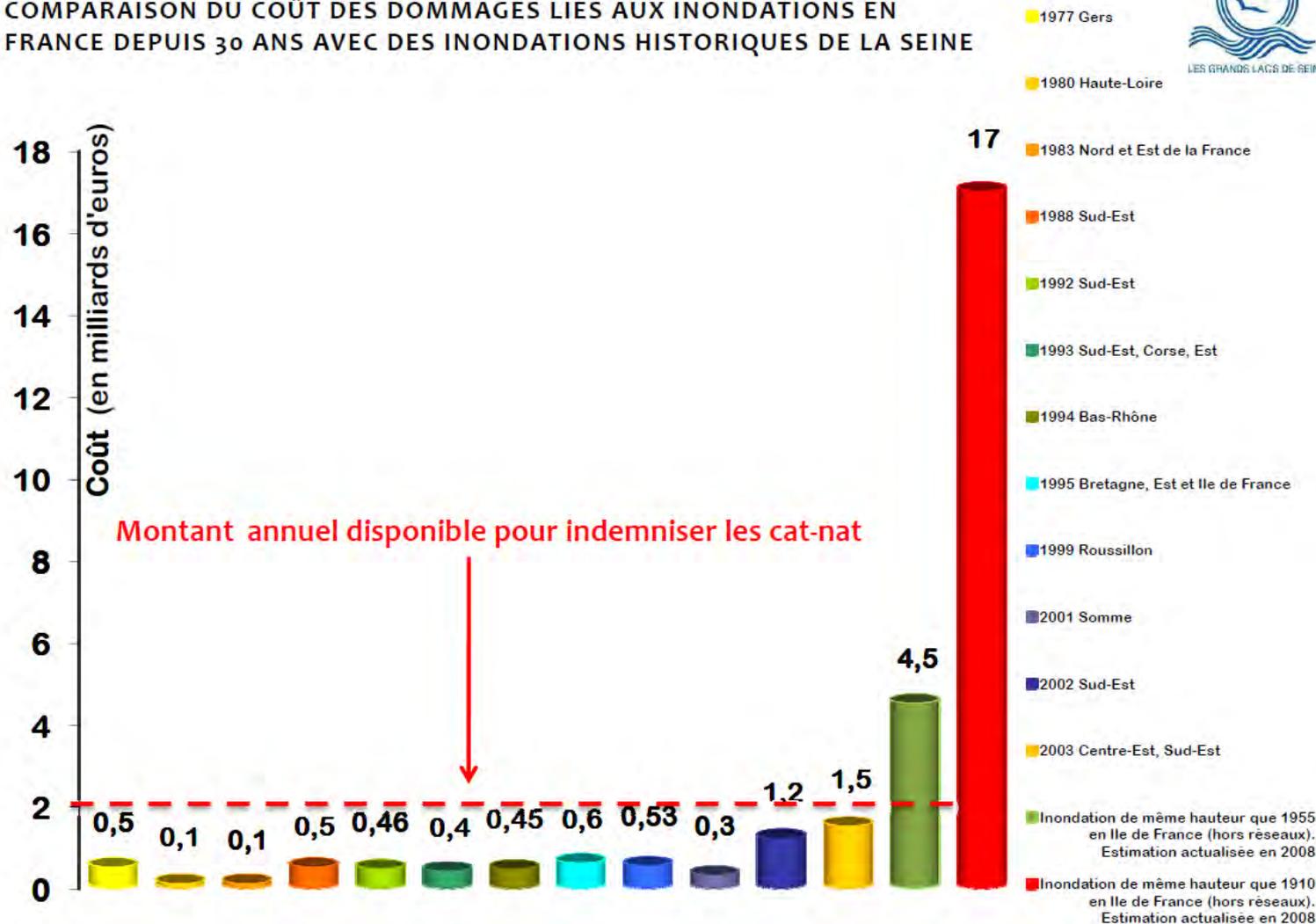
Grandes crues dans une capitale moderne : exemple Prague 2002



- 1910 : Crue Majeure et inondation de Paris
- 1924 : Conclusions de la Commission DUSUZEAU
- 1926-1928 : construction des réservoirs
- 1969 : création de l'IIBRBS pour gérer les barrages réservoirs du bassin

# Valeur de la protection contre les crues

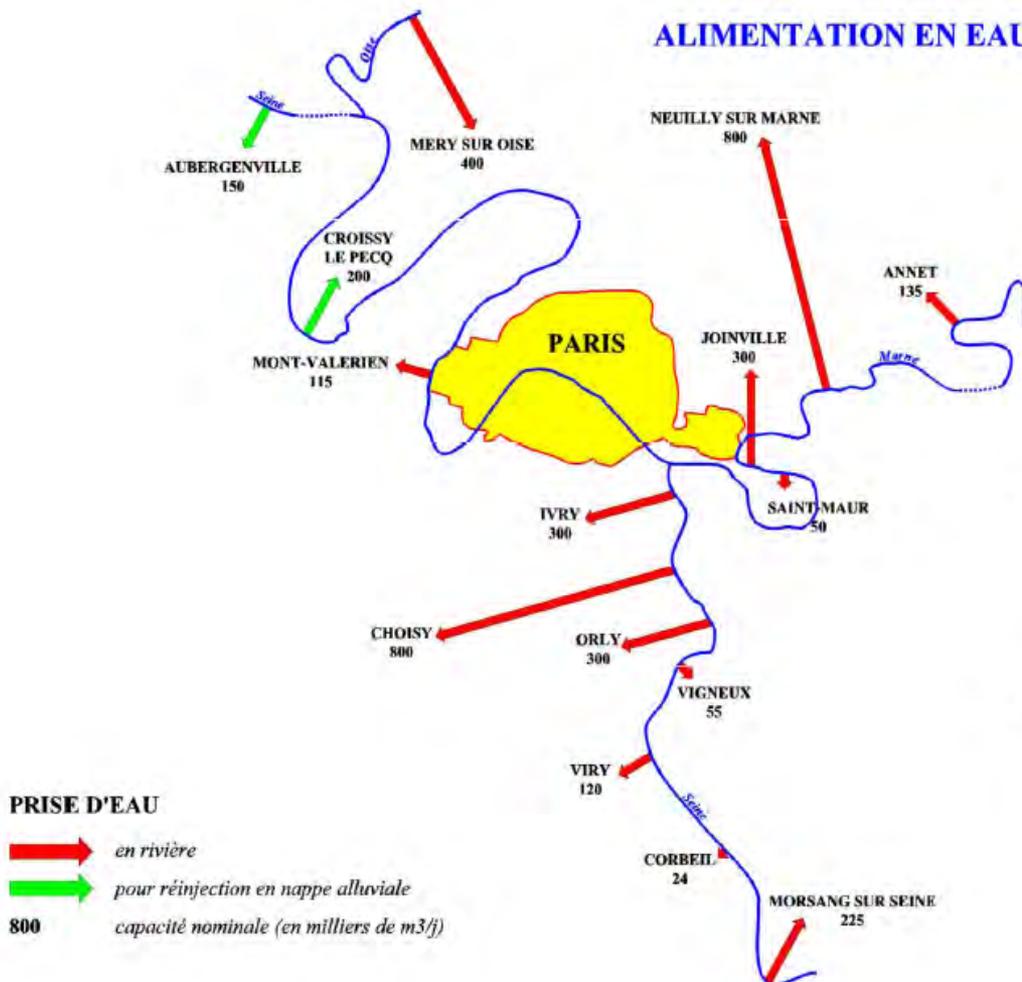
COMPARAISON DU COÛT DES DOMMAGES LIES AUX INONDATIONS EN FRANCE DEPUIS 30 ANS AVEC DES INONDATIONS HISTORIQUES DE LA SEINE



(texte et image : « Le rôle des grands lacs de Seine dans la prévention des inondations sur le bassin de la Seine » - F.Gache – IIBRBS – 2010)

# Conservation de l'eau, risque d'étiage, et assainissement

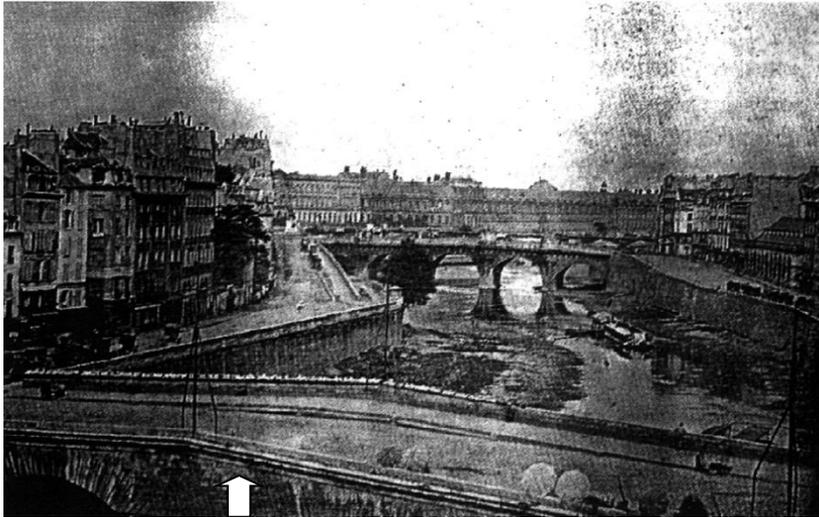
## ALIMENTATION EN EAU SUPERFICIELLE



- **70 % de l'alimentation en eau potable** de la zone la plus dense de la région parisienne s'effectue à partir de l'eau de la rivière
- Les lâchures des lacs représentent jusqu'à **70 m<sup>3</sup>/s** (de 30 à 60 % du débit observé)
- Le soutien d'étiage permet d'assurer le bon fonctionnement des stations d'épuration et ainsi d'améliorer la qualité des eaux et favorise la vie aquatique

(texte et image : « Le rôle des grands lacs de Seine dans la prévention des inondations sur le bassin de la Seine » - F.Gache – IIBRBS – 2010)

# Conservation de l'eau, risque d'étiage, et assainissement



La Seine en 1850 et en 1942 (barrages abaissés)



24



Les barrages de navigation et les bassins-réservoirs permettent, outre la navigation sur la Seine :

- de rester en eau dans Paris même à l'étiage, et de constituer ainsi un attrait touristique majeur
- d'assainir l'eau et la réoxygéner, et de diluer les rejets, qui sinon feraient de la Seine, 6 mois par an, avec moins de 0,5 à 1 m d'eau, un égout à ciel ouvert propice aux épidémies

## Valorisation du soutien à l'étiage (exemple)

Alimentation en eau potable de l'Ile de France : 500 millions m<sup>3</sup>/an

- Valeur de l'économie de pompage en rivière par rapport à d'autres procédés (captage + puits filtrants etc ) ou à niveau non garanti (décantation primaire, puissance de pompage, etc..) 0,93€/m<sup>3</sup> (\*) soit **466 M€/an ou 5,3 Milliards en valeur actualisée sur 25 ans**
- **> valeur résiduelle des barrages, > 50% de leur valeur à neuf.**

Refroidissement des centrales EDF : 1200 millions de m<sup>3</sup>/an

- Economie d'énergie de pompage par maintien à niveau: env. 0,67 c€/m<sup>3</sup> (\*) soit **8,1 M€/an ou 93 M€ en valeur actualisée sur 25 ans**
- (Valeur des bassins-réservoirs en sus)

Chiffre d'affaire (2009) des 10 premières compagnies de bateaux-mouches : **> 60 M€/an ou 636 M€ en valeur actualisée sur 25 ans**

(\*)(d'après « Les différents usages de la voie d'eau en France et leurs retombées économiques » p4, SI3, Congrès AIPCN 1990 à Osaka) – conversion monétaire 2014 selon convertisseur INSEE Francs-Euros

## Tourisme : Exemples



*Paquebot fluvial Français sur le Danube à Budapest  
(novembre 2013)*



*(image site internet Croisi Europe – Alsace croisières)*

### **Exemple de Croisi Europe :**

**Présent sur la Seine, le Rhône, le Rhin, le Danube, (mais aussi la Volga, le Mékong, et le Nil), Croisi Europe y opère des paquebots fluviaux d'une capacité de 100 à 200 lits et réalisait en 2012 un chiffre d'affaires de **126 M€**, non compris les autres retombées économiques pour les territoires.**



**Exemple des péniches - Hôtel (90 bateaux): le tourisme de grand luxe représente 1200 lits et génère environ **150 M€** de retombées annuelles sur le territoire Français**

## Assainissement et potabilisation de l'eau



*Les canaux et rivières aménagées* accomplissent naturellement et efficacement l'assainissement et la potabilisation de l'eau qu'ils contiennent (\*) :

- *L'eau calme* et *la stabilité du niveau d'eau* permettent *la décantation et l'action biologique de potabilisation* et le développement de *l'écosystème des berges*
- *Les petites chutes d'eau* aux barrages et écluses favorisent *l'oxygénation*
- *Le brassage* est assuré en partie par les hélices des bateaux

Images de l'étang artificiel d'une station de potabilisation d'eau moderne à Saint Quentin en Yvelines, avec une retenue d'eau, des chutes d'eau de faible hauteur, des plantations de berges spécifiques, et (cf. à droite au fond) un agitateur, destinés à oxygéner puis brasser l'eau retenue stagnante pour favoriser l'action biologique.

Les barrages et écluses sur les rivières et les canaux, et les hélices de bateaux qui remplacent l'agitateur, ont une action d'assainissement similaire à plus grande échelle

# Développement économique: l'exemple du Canal Albert



Le Canal Albert relie Liège au port d'Anvers sur 130 km via 6 écluses

Inauguré en 1939 avec une largeur de 50m et un gabarit pour bateaux de 2000 T, il a été élargi en 1997 à 100m avec un gabarit pour bateaux de 9000T. Le trafic est de 40 millions de T/an

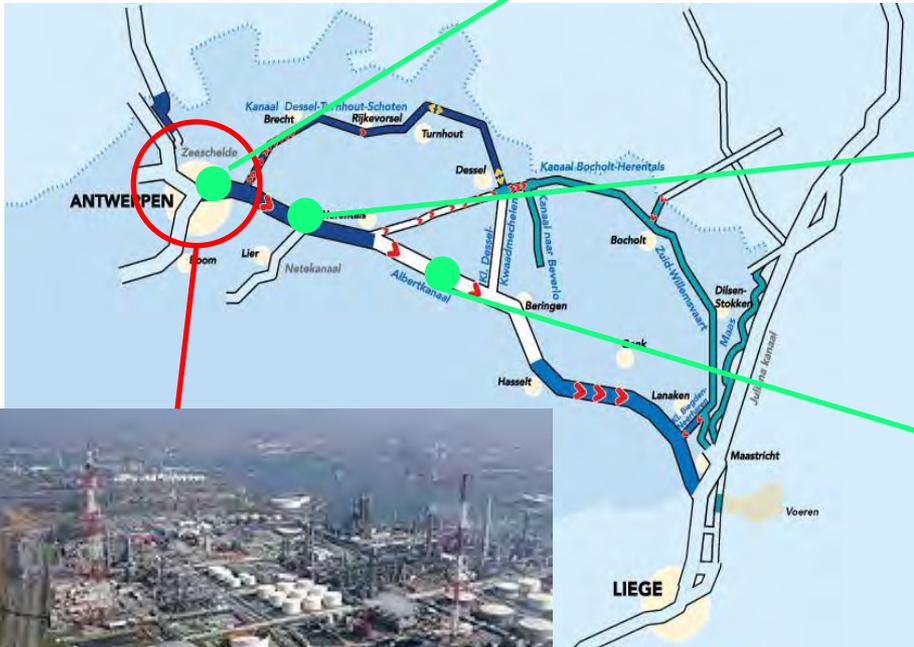


Outre un développement économique remarquable, le Canal assure l'alimentation d'Anvers en eau potable, et **participe à la potabilisation de l'eau (\*)**: En son absence, une usine de potabilisation d'environ 180 M€ et de 2 à 4 M€ de frais annuels serait nécessaire pour assurer l'action d'assainissement qu'il accompli naturellement (**cad la valeur d'une des écluses**).

(\*) AIPCN 1984 « Conséquences économiques du développement des voies navigables »

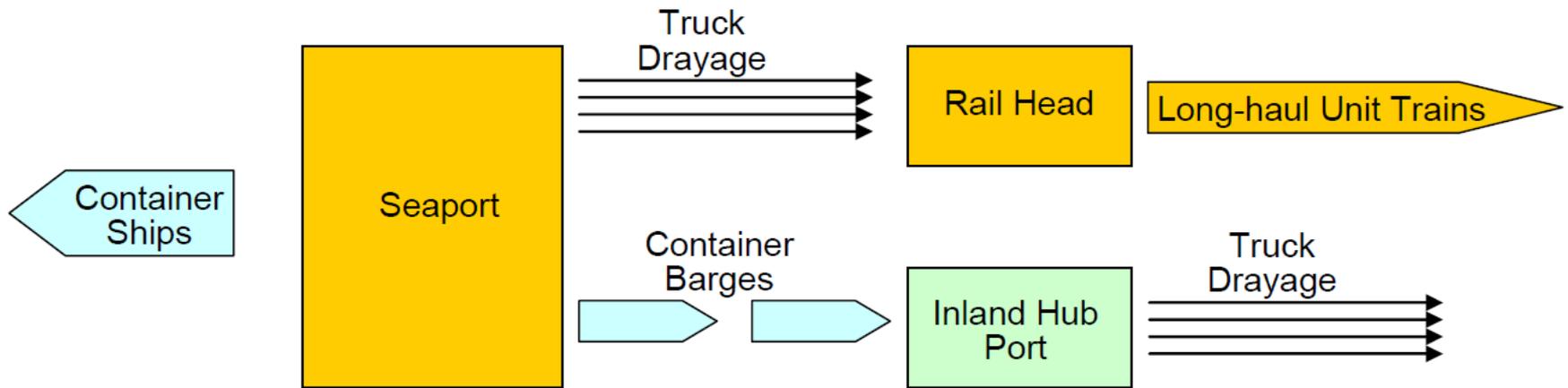
# Développement économique: l'exemple du Canal Albert

Le Canal Albert a permis l'établissement de nombreuses installations industrielles important des matières premières et exportant des produits finis, plateformes logistiques, et terminaux conteneurs reliant Anvers à son Hinterland

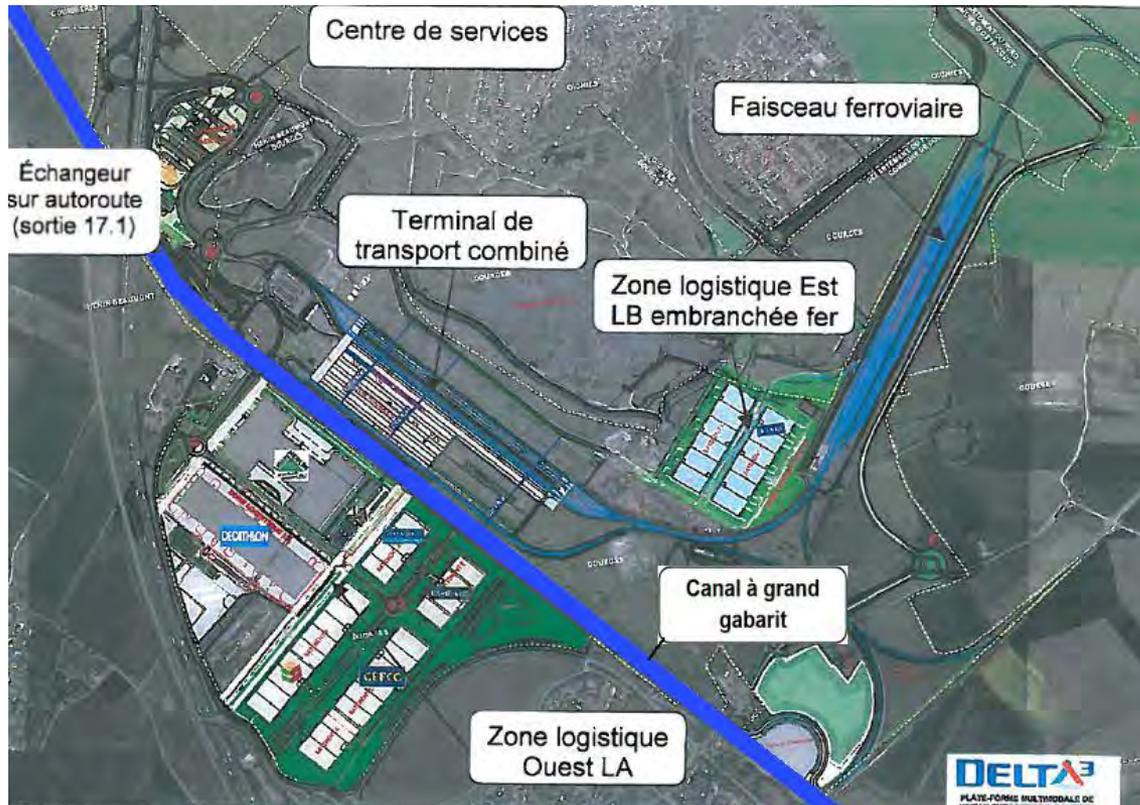


# Insérée dans la chaîne logistique multimodale moderne, la voie d'eau relie les ports maritimes à leur Hinterland pour les trafics massifiés

Trade Logistics – Typical of Europe & China



# Développement économique et multimodalité: exemple de la plateforme de Dourges Delta 3



Plateforme Multimodale, DELTA 3, reliée par voie d'eau aux ports de Dunkerque, Anvers, Rotterdam, Zeebrugge, Amsterdam, comprend :

- 1 quai de 250 m et un portique trimodal (fer/route/voie d'eau)
- 1 zone de stockage capacité 2500 EVP
- 7 voies ferrées de 750 m et 4 portiques Rail-Route
- Accès autoroute A1

Le dynamisme économique inclus:

- Centre de formation (du BEP au master)
- Le développement de logiciels
- Un centre de recherche appliquée

## Avantages et polyvalence de la voie d'eau

Outre le transport économique et multimodal fret et passagers, tout en consommant moins d'énergie et de matières premières d'origine minières (acier, carrières, bitumes...) que les autres modes pour son exploitation courante, la voie d'eau est une infrastructure qui est aussi capable de :

- Susciter directement le développement économique et touristique,
- Susciter l'entrepreneuriat,
- Assainir, drainer, et irriguer les territoires, et ainsi favoriser l'agriculture,
- Contribuer à la mise en valeur du paysage et de l'environnement,
  
- Produire plus d'énergie – renouvelable - que ne consomme l'infrastructure,
- Stocker l'eau pour éviter les inondations, puis la conserver,
- Conserver l'eau à l'étiage au lieu de la laisser perdre en partant à la mer,
- Transporter, assainir, et potabiliser l'eau,
- Permettre le développement d'écosystèmes de berges maintenues à niveau.

**Néanmoins son mode de financement ne fait pas payer toutes ces contributions à leurs bénéficiaires à hauteur de leur véritable importance**

# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## *Présentation de la voie d'eau :*

- *Une infrastructure polyvalente et un outil de développement*
- *Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions*
- *Avantages et retombées économiques de la voie d'eau*

## **Un mode de transport à haute qualité environnementale**

### *La voie d'eau aux USA, en Europe, en France*

### *Projets sur l'infrastructure en France*

### *La flotte, perspectives, innovations*

# Les performances reconnues du transport fluvial



**Coûts de transport réduits**

**Fiabilité des délais d'approvisionnement**

**Sécurité**

**Capacité à desservir / traverser les agglomérations**

**Pré-post acheminements en lien avec les ports maritimes**

**Respect de l'environnement**

## Un mode de transport massifié, sûr, économique et à haute qualité environnementale

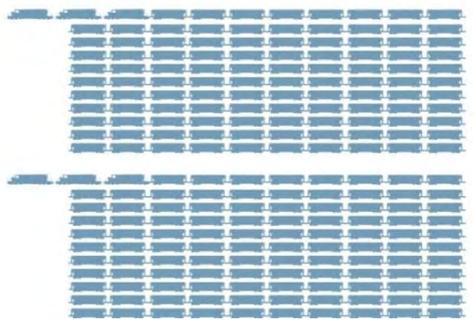
- Un mode de transport massifié pour tous types de chargement
- Un mode de transport sûr
- Un coût pour la collectivité parmi les plus faibles
- Dépenses d'énergie par tonne.km transportée compétitives
- Une pollution réduite

# Un mode de transport massifié

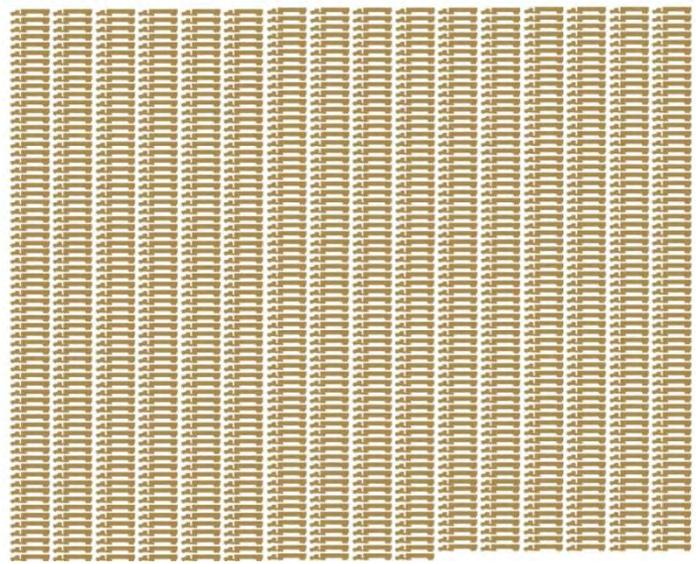
One 15-Barge Tow



216 Rail Cars + 6 Locomotives



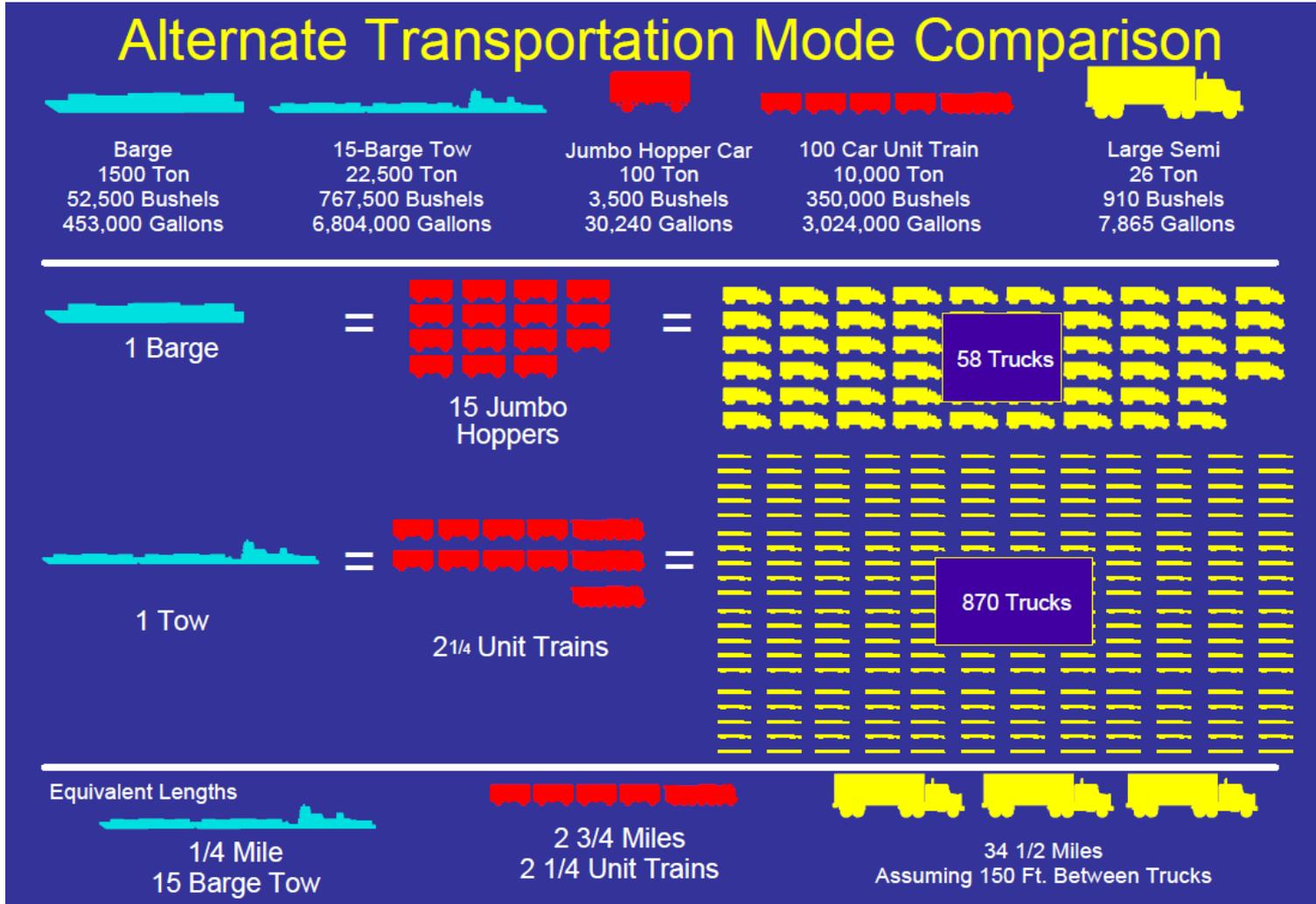
1,050 Large Semi Tractor-Trailers



Aux USA, la taille des convois grand gabarit donne le haut de l'échelle du possible en fluvial  
 "Waterways Working for America" (24 slides) National Waterways Fundation, 2012, slide 7

Photo : plaquette TOUAX

# Un mode de transport massifié



**Aux USA, la taille des convois grand gabarit donne le haut de l'échelle du possible en fluvial**

Source : " a modal comparison of domestic freight transportation effects on the general public", Texas Transportation Institute, Mars 2009

## Un mode de transport massifié



530 voitures – 2000 T – Rhénan 110mx11,40mx2m



500 EVP – 4500 T - Rhénan 135mx17mx3m



11000 Tonnes – Convoi Danubien 185mx22,80mx4m



4000 T/5175m<sup>3</sup> - Rhénan 135mx11,45mx3,50m

### Exemples de transport fluvial à grand gabarit sur le Rhin et le Danube

*images : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union - "Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"*

## Transport de masses lourdes et/ou indivisibles

La voie d'eau permet des transports difficiles ou impossibles par voie terrestre en raison de la masse ou du volume à transporter, p. ex. :

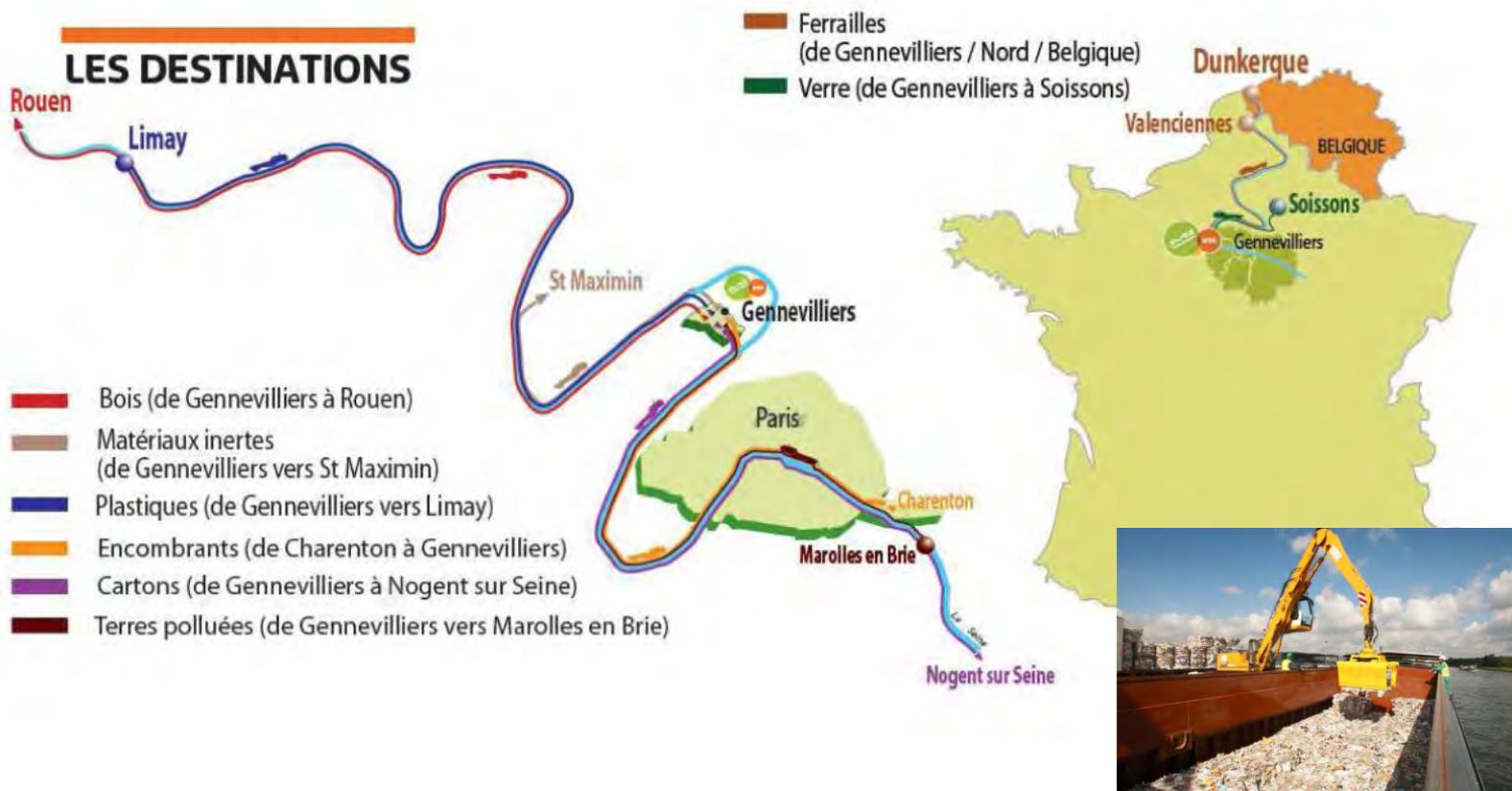
- *Eléments de fusée Ariane sur la Seine (Les Mureaux – Le Havre) et d'Airbus A380 sur la Garonne,*
- *Eléments de centrale électrique, chaudières,*
- *Pales des grandes éoliennes,*
- *Turbines (p.ex. de Lyon vers Fos)*
- *Transformateurs,*
- *Réacteurs chimiques de 300 T,*
- *Maisons préfabriquées , etc..*



Image CFT



# Favoriser le recyclage et l'économie circulaire



La voie d'eau permet, grâce à son très faible coût de transport, le transport de masse de produits à faible valeur, y compris des déchets.

Il rend dès lors possible l'existence d'une industrie du recyclage structurée en filière plutôt que la perte de matières premières récupérées puis recyclées

# Un mode de transport massifié à différentes échelles



Transport de conteneurs grand gabarit sur la Seine



Transport de vrac sur la Seine (petit gabarit)



## Exemples de transport fluvial à petit et grand gabarit sur la Seine

*images de droite : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union - "Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"*

## Capacité à desservir le cœur des villes Protection de l'environnement (exemples)



**L'approvisionnement de Paris et la région Parisienne par voie d'eau représente plus de 4000 Camions/jour évités**

**Chaque bateau représente**

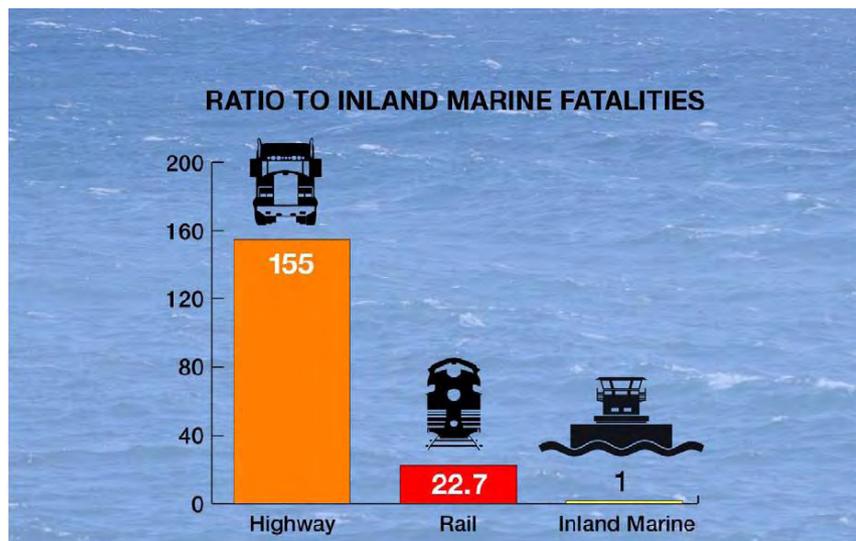
- **Un embouteillage majeur évité,**
- **La pollution qui en résulte évitée également,**

**et aussi...**

- **Un stock flottant à moindre coût !**

*(source: « Les différents usages de la voie d'eau en France et leurs retombées économiques » p3, SI3, Congrès AIPCN 1990 à Osaka)*

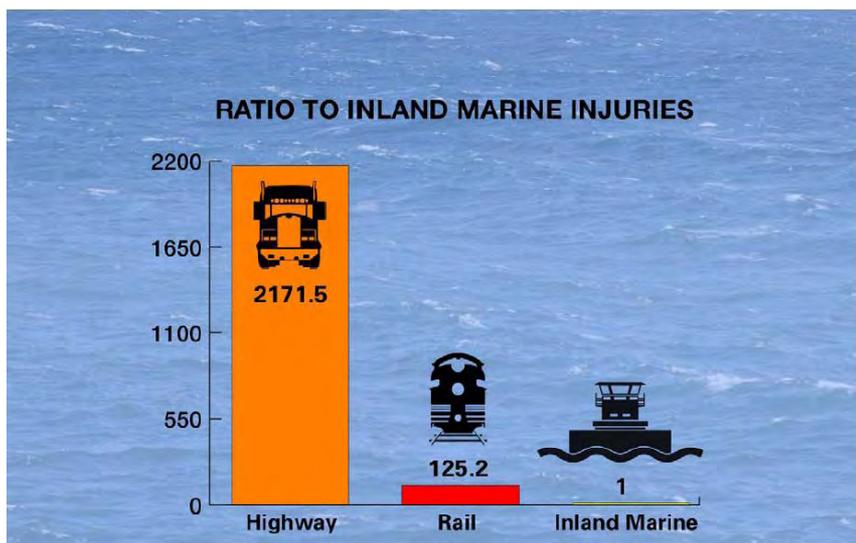
# Un mode de transport sûr



Le mode fluvial est réputé comme un des modes de transport les plus sûrs.

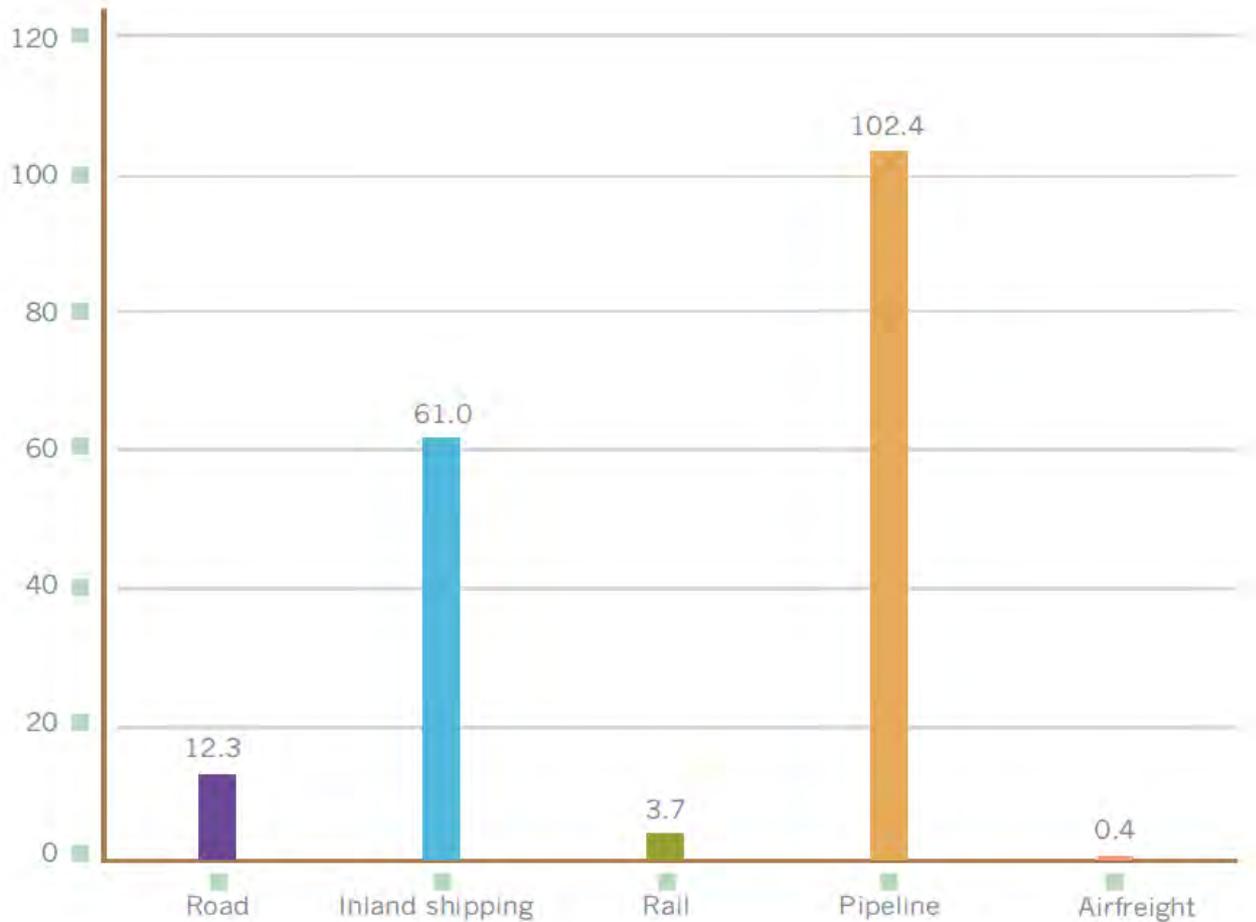
Exemples tirés des statistiques aux USA :

**valeurs en nombre de morts ou de blessés par Tonnes.miles transportés**



Source : “ a modal comparison of domestic freight transportation effects on the general public”, Texas Transportation Institute, Mars 2009

# Un mode de transport sûr



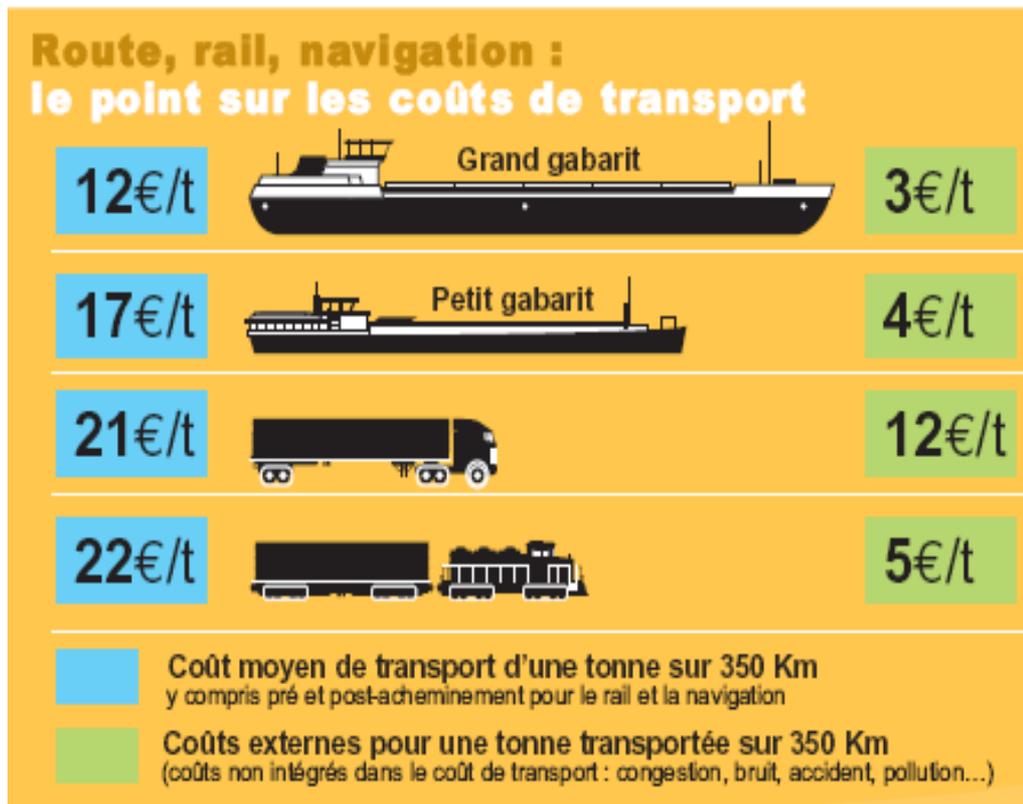
## Transport de matières dangereuses : comparaison par mode (millions de tonnes)

source : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union

"Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"

# Un mode de transport économique et à haute qualité environnementale

Un coût global pour la collectivité parmi les plus compétitifs

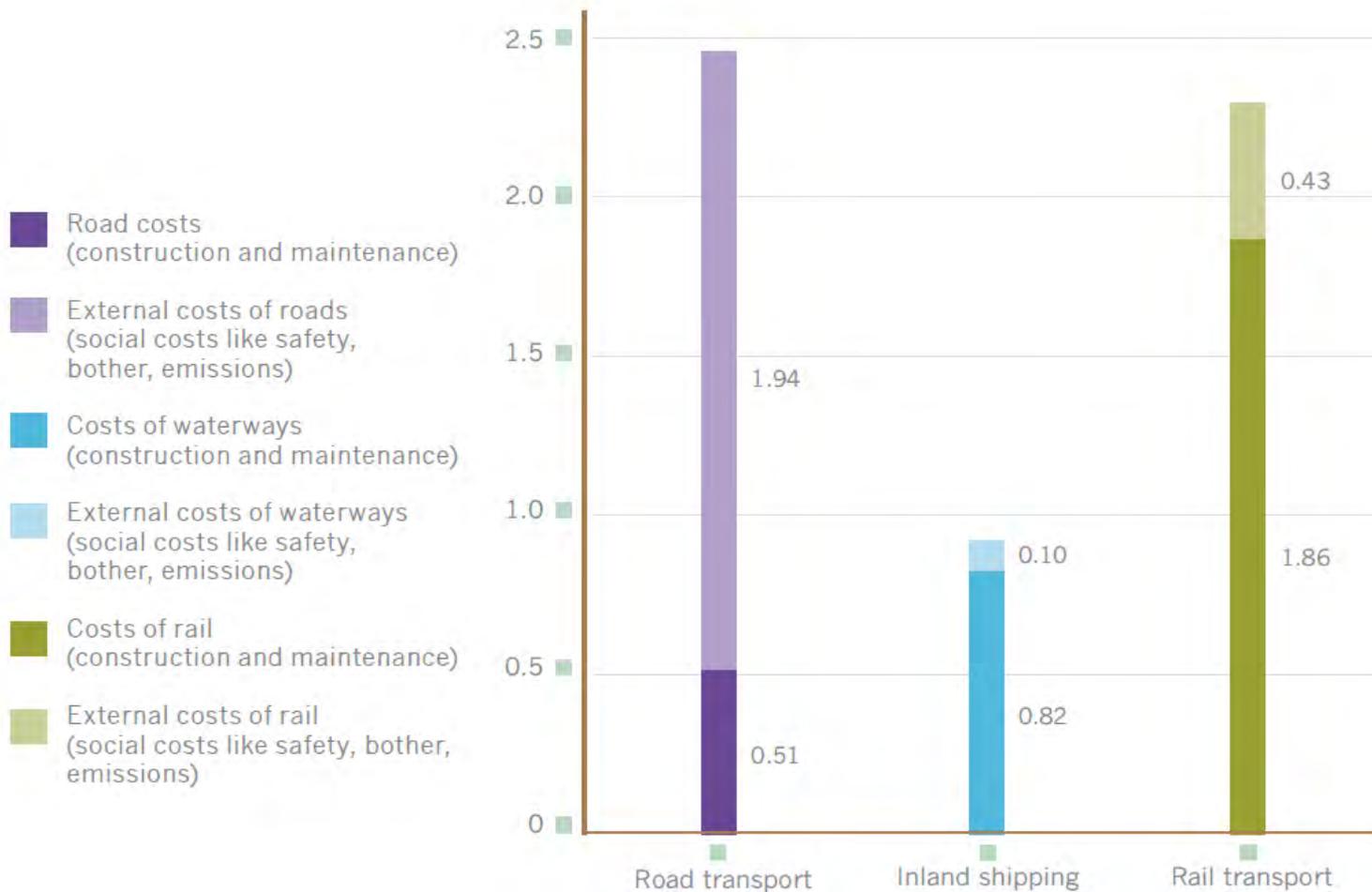


Source : «Transport et logistiques fluviaux » Marie Madeleine Damien

Le transport fluvial constitue aussi pour certains produits « un stock en route »  
et il permet par la de réduire une partie de certains frais de stockage

# Coûts du transport de fret par voie d'eau

## couts externes & infra *comparés par mode de transport en Europe*



### Coûts externes par mode de transport en Europe en €/100T.km

source : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union

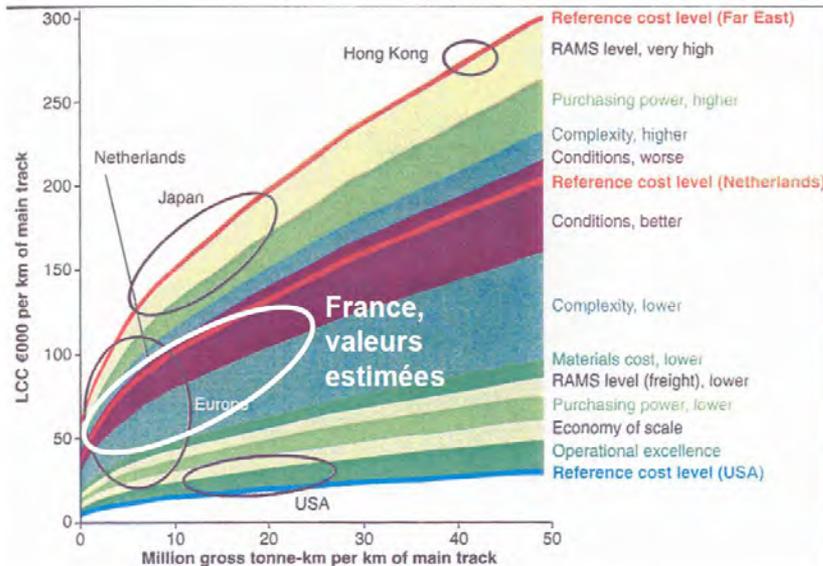
"Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"

# Usure mécanique des infrastructures routière et ferroviaire

## Consommation de matières premières minières

Les coûts d'infrastructure routiers et ferroviaires sont fortement impactés par **l'usure mécanique intense de l'infrastructure** (par l'effet sur l'infra d'une part de **l'énergie cinétique  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  des véhicules** – camions ou trains, respectivement – qui y roulent)

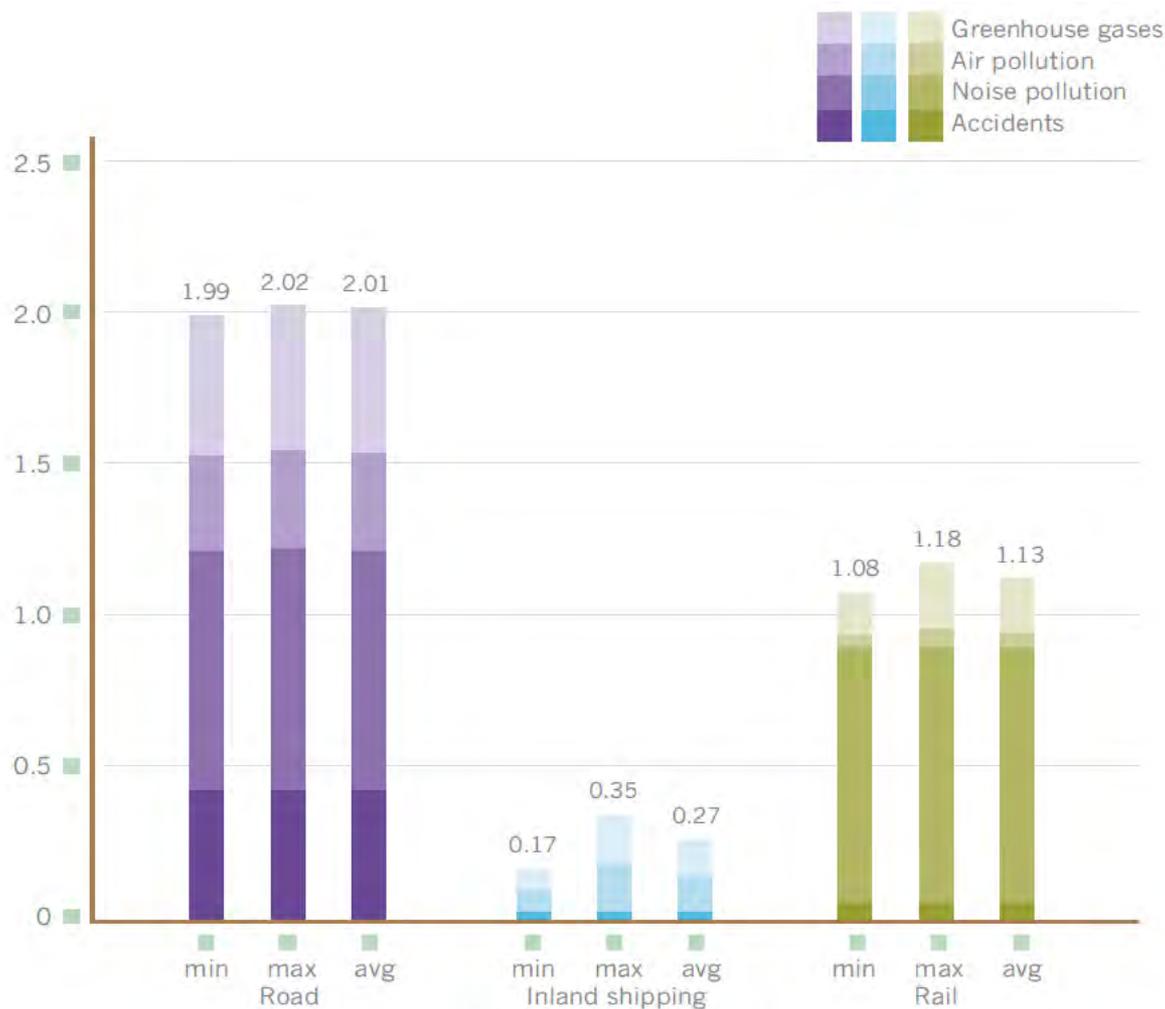
- **Autoroute** : la dégradation de l'infrastructure par les poids lourds est financée par les péages des véhicules particuliers et nécessite des ressources en matières premières – y/c hydrocarbures (bitumes)
- **Rail** : l'usure massive entraîne des renouvellements de voie périodiques (remplacement rail, ballast, traverses...) équivalents en France, en valeur actualisée et annualisée (LCC), à 1 à 2 fois le coût d'entretien (2 à 3 fois en grande vitesse). *Ainsi, près de 1/3 des trafics en France sont des trafics de ballast.*



LCC = Life cycle cost = coût opérationnel sur cycle de vie

- prend de la pente avec l'usure – donc la vitesse - et de l'ordonnée selon complexité & âge de l'infra, est fonction du tonnage total de train roulant (TKBC) y/c locomotive
- **Pays « à voyageurs » (denses - France, Europe...)** : infra sophistiquée, parfois fragile, fret rapide & trains légers; En France : 80-130 km/h, 750m, 700T-1500 T y/c Loco : Ces infrastructures ferroviaires sont adaptées au trafic léger & rapide, et inadaptées au fret lourd (usure et coût massifs)
- **Pays « à fret » (grandes étendues – USA, Afrique, ex URSS...)** : infra simple, rustique, robuste, fret lent & trains lourds (<50-80 km/h), voire très lent et très lourds pour les trains miniers (<30 km/h pleins, trains >4km et >20000 T) en Australie, Mauritanie...

# Coûts externes sociaux du transport en Europe comparé aux autres modes de transport (au mix énergétique Européen)



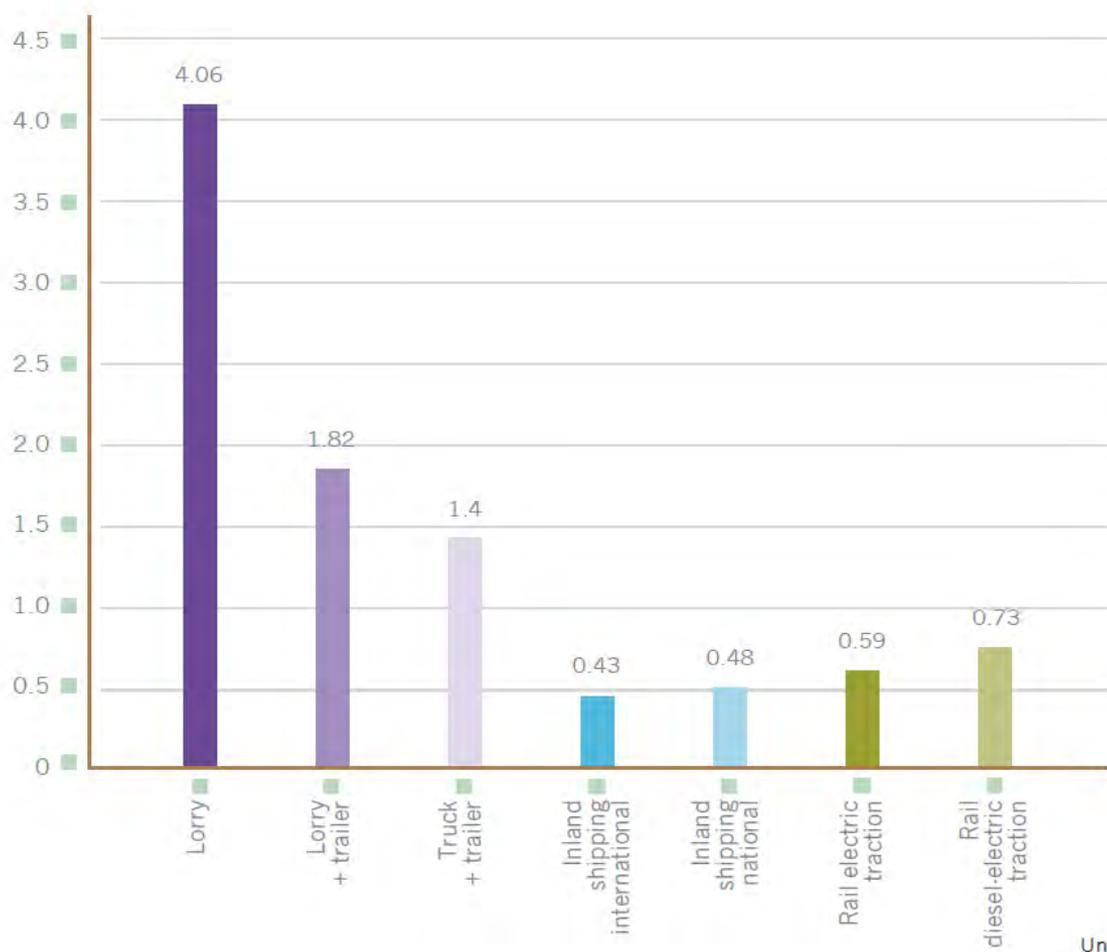
**Comparaison route, voie d'eau, rail - valeurs en centimes€/T.km**

source : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union

"Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"

# Consommation d'énergie du transport en Europe par mode de transport (et au mix énergétique Européen)

Des études convergentes et indépendantes (Etats Unis, Europe, Chine) montrent que le transport fluvial permet une réduction de la consommation d'énergie de 3 à 6 fois par rapport au transport routier

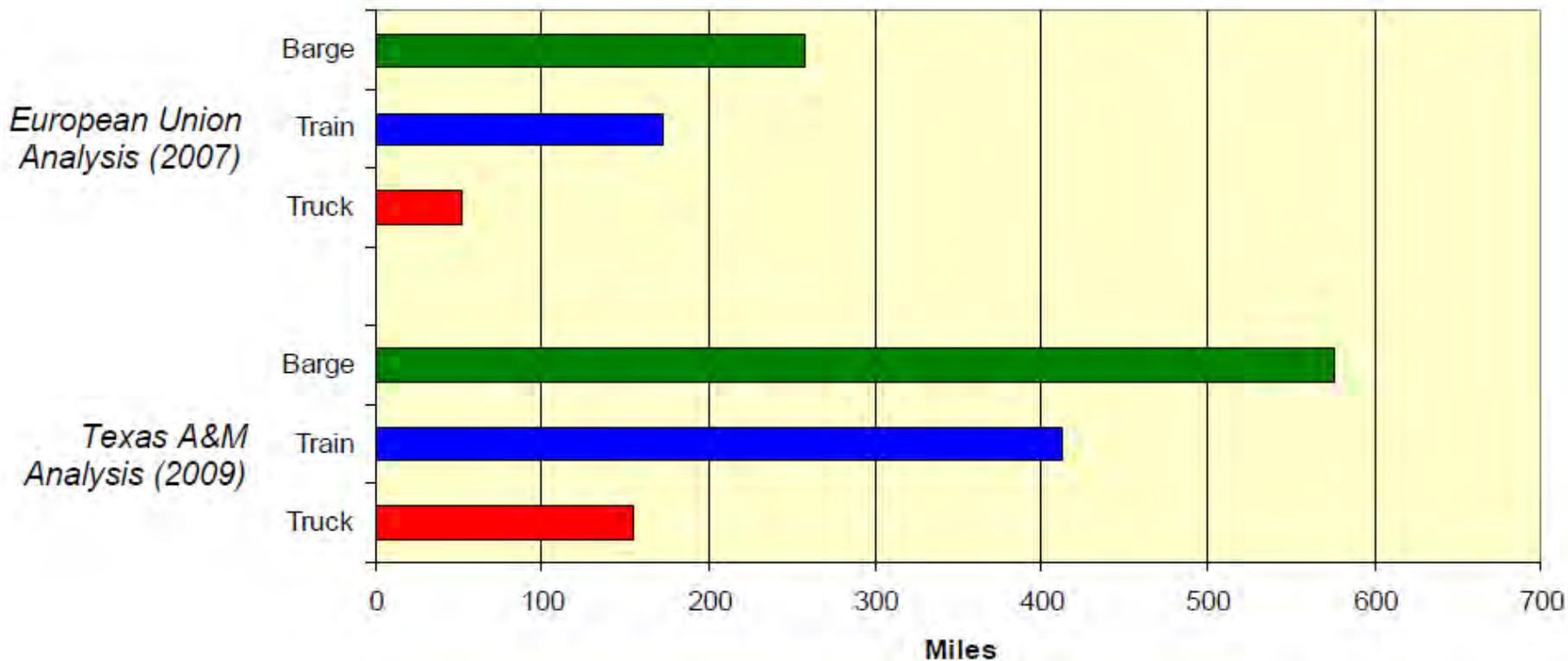


## Comparaison route, voie d'eau, rail - valeurs en MJ/T.km

source : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union

"Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011"

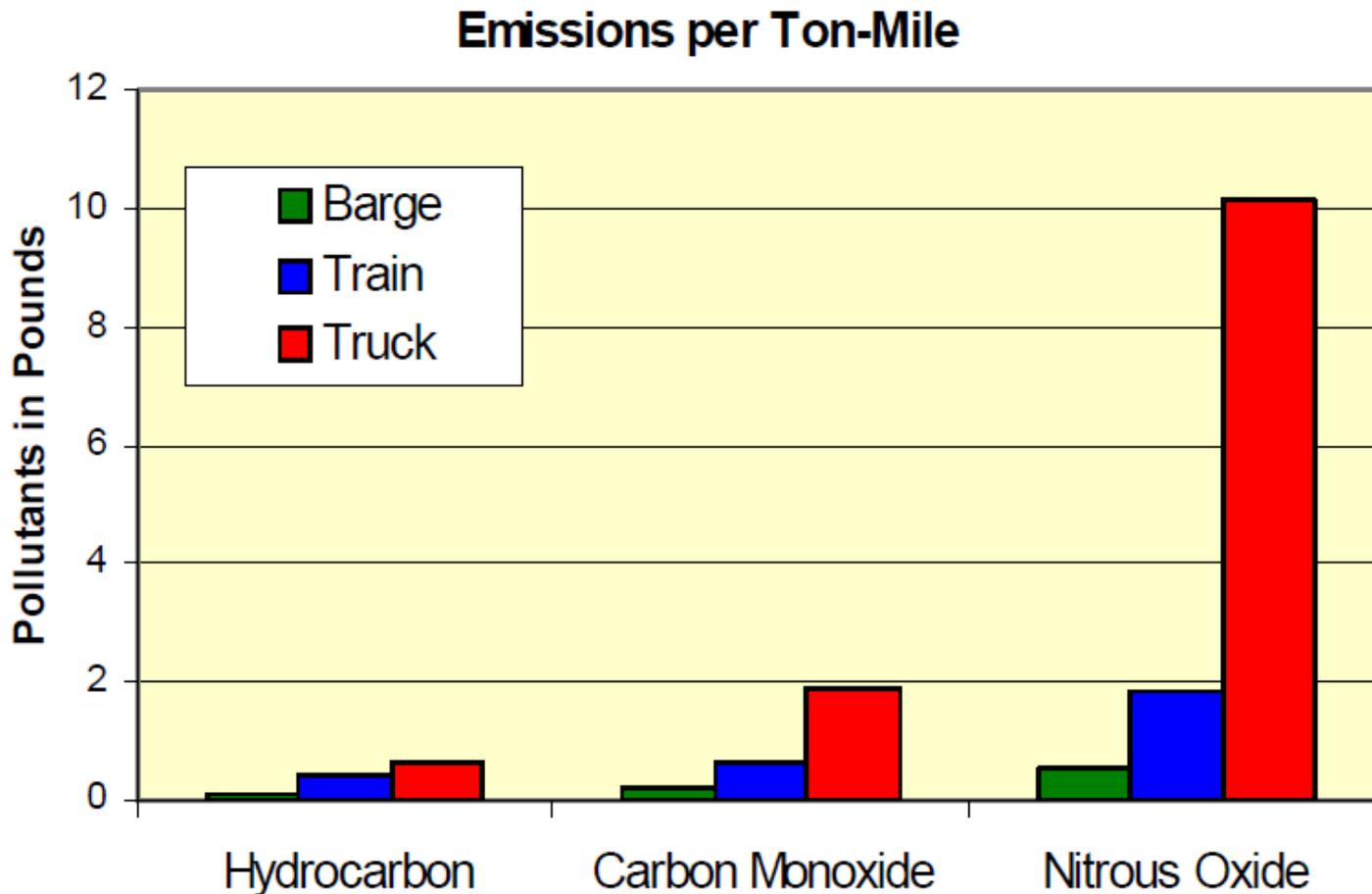
# Rendement énergétique du transport en Europe (au mix énergétique Européen) et aux USA



## Comparaison route, voie d'eau, rail - valeurs en Tonnes.Miles/Gallon de carburant

source : « New York State Canal System Modern Freight-Way final report » – New York State Energy Research and development Authority – New York State department of Transportation – Mai 2010

## Pollution aux USA *par mode de transport*

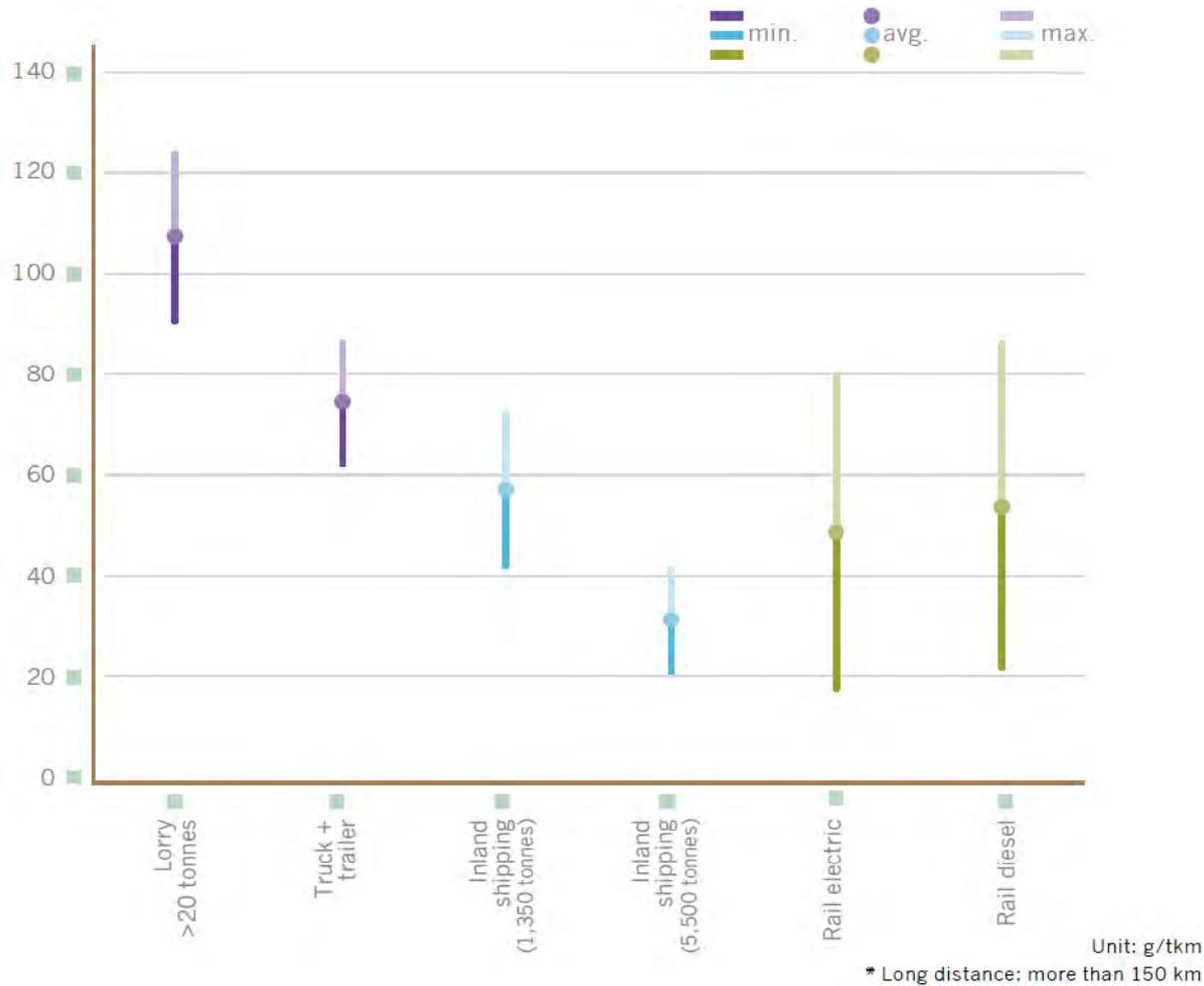


Source: US EPA in US DOT Environmental Advantages of Inland Barge Transportation p. 19

### Comparaison route, voie d'eau, rail - valeurs Pounds/Tonnes.Miles

source : « *New York State Canal System Modern Freight-Way final report* » – New York State Energy Research and development Authority – New York State department of Transportation – Mai 2010

# Production de CO2 en Europe *par mode de transport* (au mix énergétique Européen)

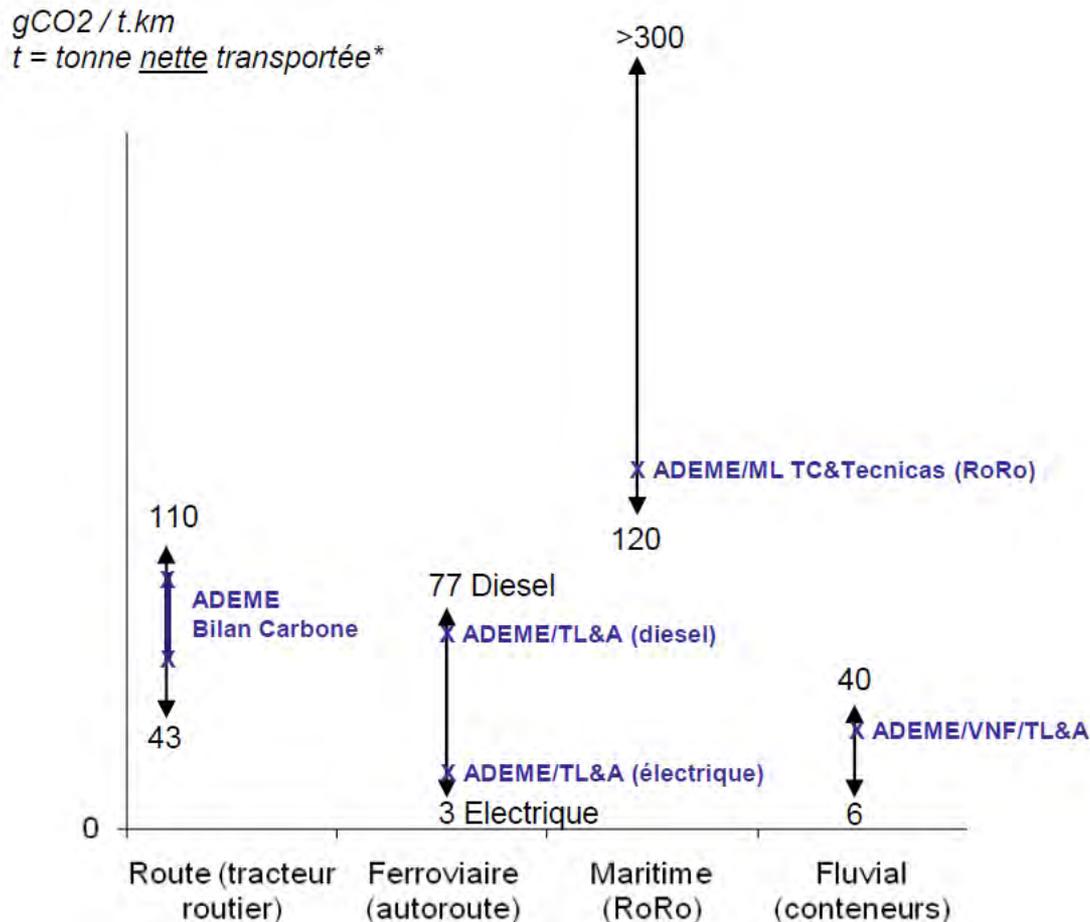


**en g/T.km sur plus de 150 km (exemples pour 2 tailles de bateau)**

source : CEE, Agence nationale du transport fluvial Hollande, European Barge Union

“Inland Shipping An Outstanding Choice – The Power of Inland Navigation 2010-2011”

# Production de CO<sub>2</sub> par mode de transport en France / en Europe

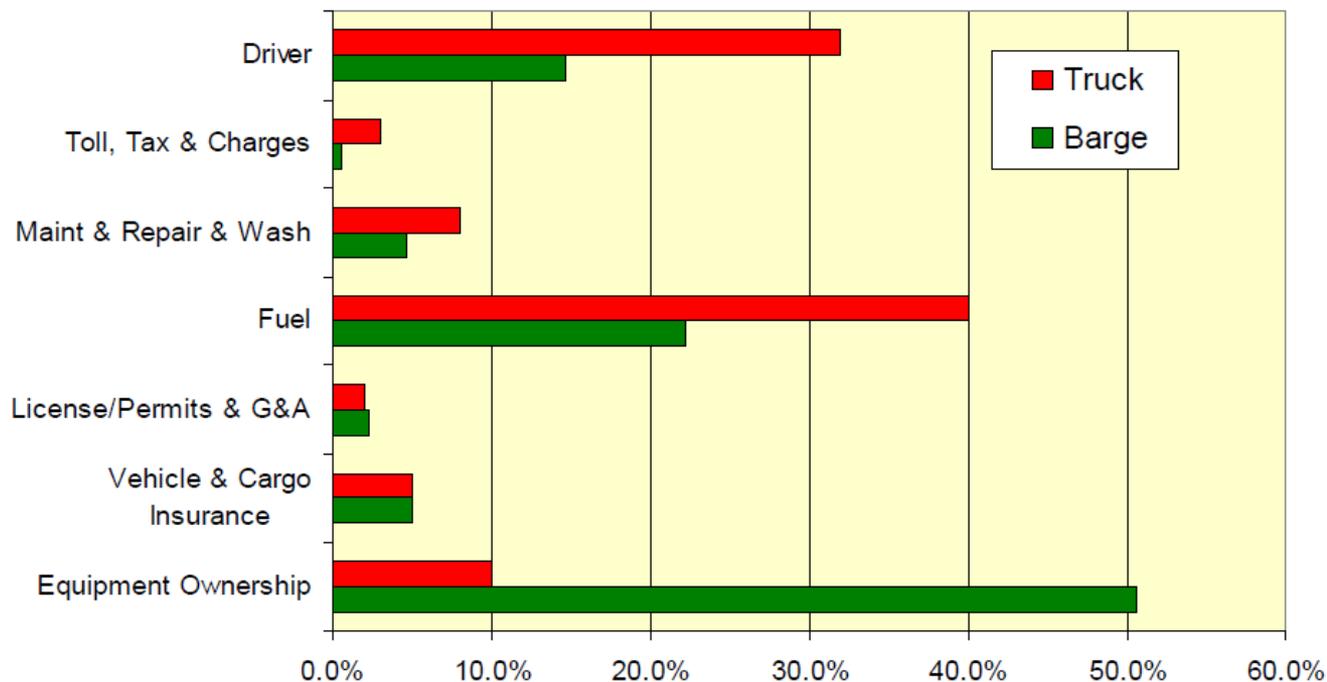


**fourchette Européenne en g/T.km (en bleu études ADEME sur la France en 2006)**

*source : Rapport de synthèse "développement de modèles innovants de financement des transports optimodaux en lien avec les réductions de gaz à effet de Serre", Cercle pour l'Optimodalité en Europe, Septembre 2010*

# Modèles économiques comparés du camionneur et du batelier (exemple USA)

Comparative Cost Sensitivity



Le batelier achète son bateau qui est aussi son lieu de vie et monte en taille jusqu'à la retraite ou la valeur du bateau devient son capital-retraite.

Noter l'importance économique du poids de l'investissement (plus important aux USA qu'en Europe ou les frais de personnel sont plus importants en proportion qu'aux USA)

source : « *New York State Canal System Modern Freight-Way final report* » – New York State Energy Research and development Authority – New York State department of Transportation – Mai 2010

# La voie d'eau, une pépinière d'entrepreneurs

- Une tradition d'artisans et d'entreprises familiales En France (60% d'artisans) mais aussi en Europe (notamment en Hollande)
- Soutenus (information, formation, financement...) en France par l'association EPF (Entreprendre pour le Fluvial)
- De belles PME - souvent familiales - de stature nationale ou internationales comme la CFT, TOUAX, CROISI EUROPE... y côtoient aussi les plus grand groupes comme Lafarge, Holcim, Sita Suez ...

# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## *Présentation de la voie d'eau :*

- *Une infrastructure polyvalente et un outil de développement*
- *Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions*
- *Avantages et retombées économiques de la voie d'eau*

## *Un mode de transport à haute qualité environnementale*

## **La voie d'eau dans le monde : USA, Europe, France**

## *Projets sur l'infrastructure en France*

## *La flotte, perspectives, innovations*

## La voie d'eau est une activité globale

### Exemple du groupe français TOUAX :

- CA 2013 350 M€
- Conteneurs maritimes, constructions modulaires, barges fluviales, et Wagons de fret en location ou leasing
- Présence activité « Touax River Barges » :

**Amérique du Nord : Mississippi**

**Amérique du Sud : Panama, Amazone, Rio de la Plata**

**Europe : Seine, Rhône, Rhin, Meuse, Moselle, Main, Danube**

**Afrique : Nil, Sénégal, Côte d'Ivoire**

**Asie : Gange, Mékong, Yang Tse, Fleuve Jaune**

## La voie d'eau est une activité globale

Dans le monde, un vaste domaine d'application à grand gabarit

- USA : 20000 km
- Europe : 20000 km
- Russie et Chine : plus de 100000 km chacun
- Amérique du Sud :  
plus de 3 fois le Mississipi (Orénoque, Amazone, Rio de la Plata)

**Le moyen de distribution massifié et écologique par excellence à partir des ports maritimes vers les territoires intérieurs**

## La voie d'eau aux USA : une dimension majeure



20000 km de voie d'eau du golfe du Mexique au Saint Laurent via le Mississipi et les grands lacs auxquels New York est relié par Canal

## La voie d'eau aux USA : une dimension majeure



Un axe et des réservoirs naturels, le Mississippi, l'Ohio (y/c Tennessee) et les grands lacs, complétés par :

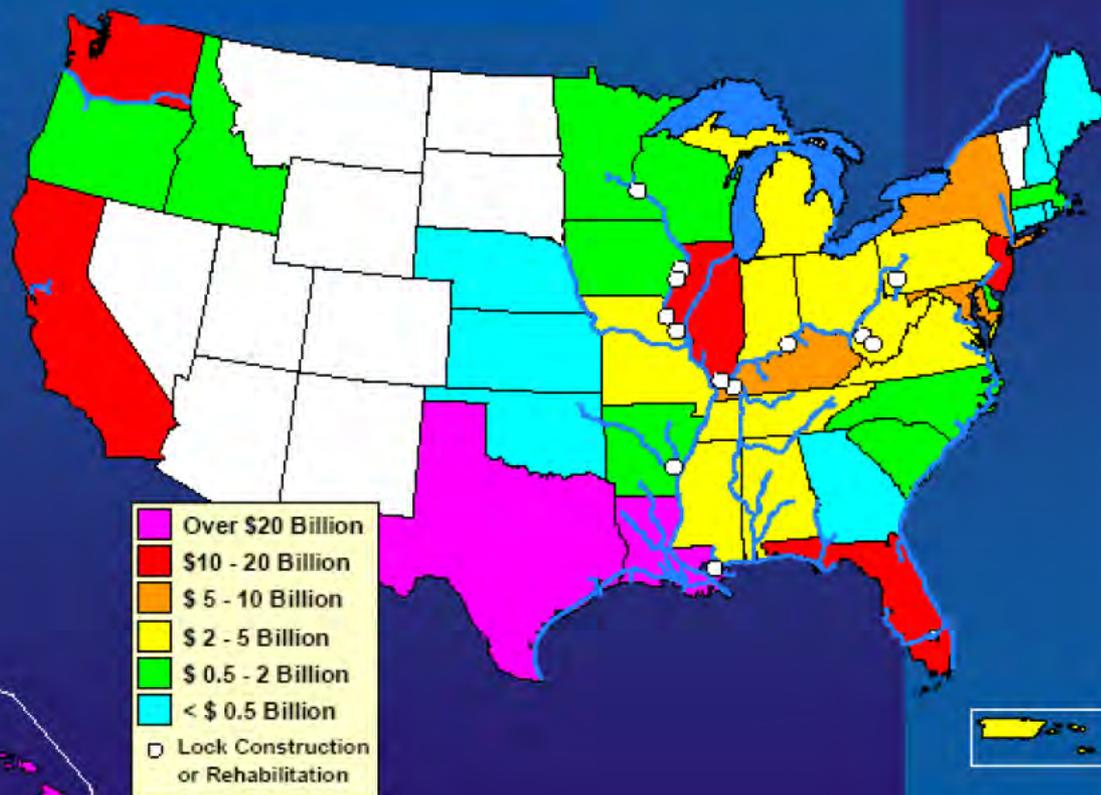
- les canaux côtiers (Intracoastal) tel l'interstate canal du Texas à la Floride (1300km, construit à partir de 1940)
- Le Canal de New York au Lac Ontario, faisant de New York un port majeur de conteneurs

# Transports par voie d'eau aux USA

L'armée est l'organisme gestionnaire d'un sujet stratégique

- More than \$312 billion in domestic cargo
- More than 1.2 billion tons
- Shipped from 40 states plus territories

Based on 2001 data developed by TVA and USACE.



**Value of IWW Cargo by State.**

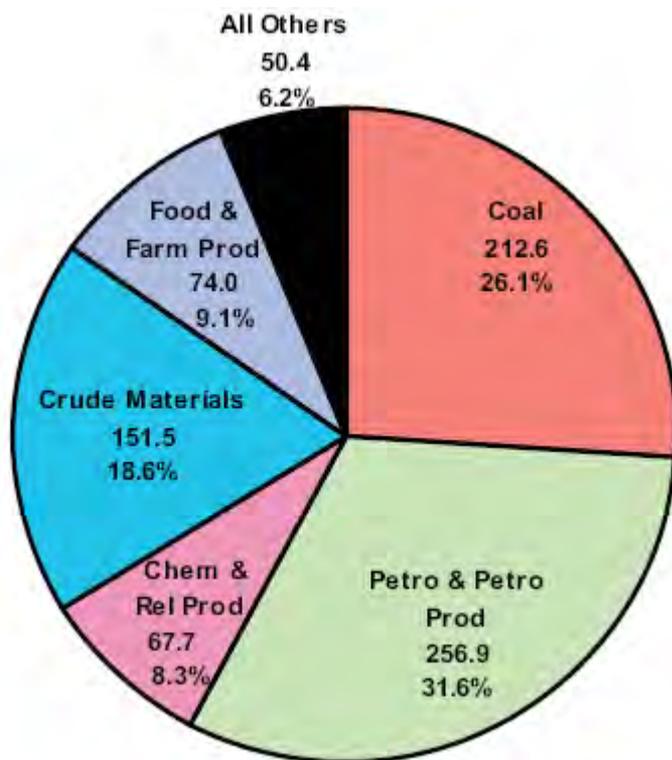
Source: U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.

Source : " a modal comparison of domestic freight transportation effects on the general public"  
Texas Transportation Institute, Mars 2009

# Canal de New York au Lac Ontario



## Produits transportés et part modale



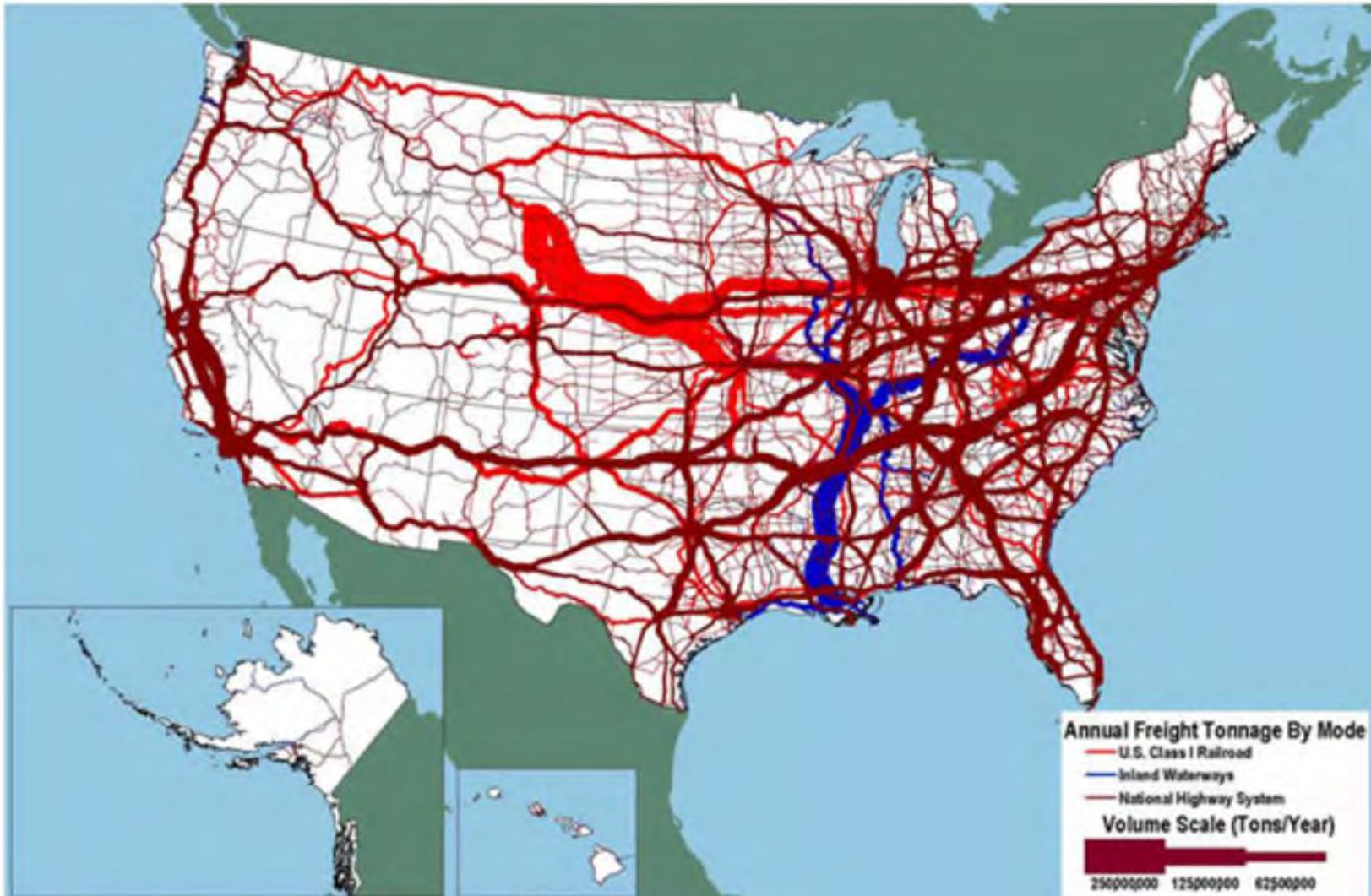
La voie d'eau aux USA transporte environ :

- 60% des céréales exportées
- 22% des produits pétroliers nationaux
- 20% de fret énergétique (charbon) destiné à produire de l'électricité

Source: 1) *Waterborne Commerce of the United States, Calendar Year 2005, Part 5–National Summaries*, U.S. Army Corps of Engineers cité par “a modal comparison of domestic freight transportation effects on the general public” Texas Transportation Institute, Mars 2009

2) “Waterways Working for America” 24 slides National Waterways Foundation, 2012, slide 7

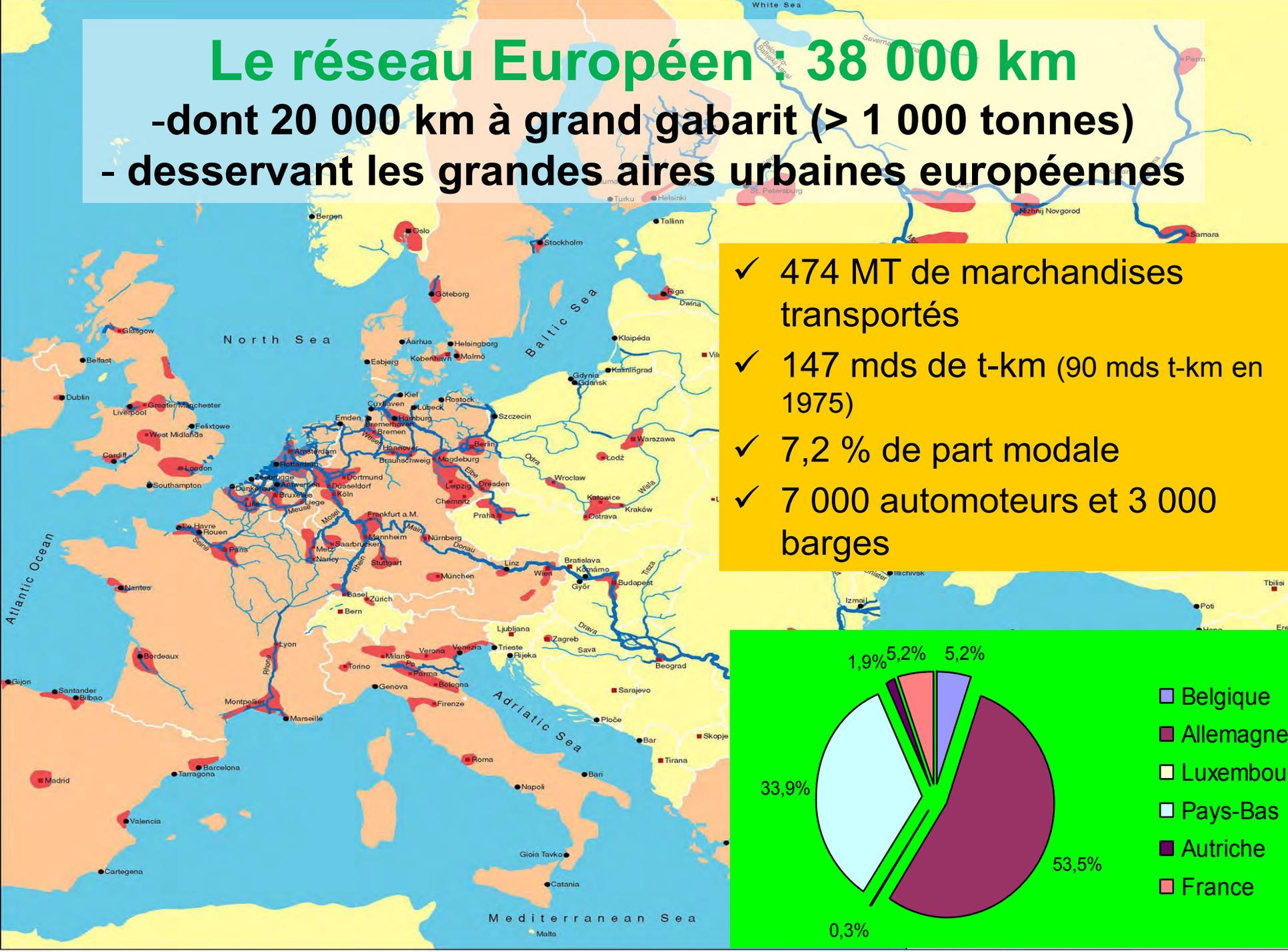
## Parts modales et multimodalité: Route, Rail, Voie d'eau



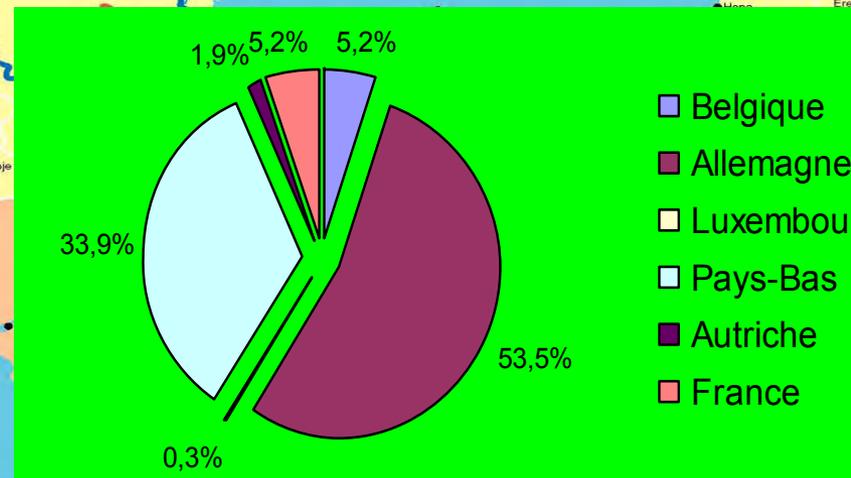
*à l'Est la voie d'eau assure les trafics Nord-Sud et l'import-export et la route les trafics Est-Ouest et la distribution, tandis que dans le MiddleWest c'est le rail qui assure le gros des trafics Est-Ouest, y/c vers la voie d'eau en multimodal*

# Le réseau Européen : 38 000 km

- dont 20 000 km à grand gabarit (> 1 000 tonnes)
- desservant les grandes aires urbaines européennes



- ✓ 474 MT de marchandises transportés
- ✓ 147 mds de t-km (90 mds t-km en 1975)
- ✓ 7,2 % de part modale
- ✓ 7 000 automoteurs et 3 000 barges



# Le réseau Européen à grand gabarit : 20000 km de la Mer du Nord à la Mer noire



## Le Transport fluvial de fret en Europe et en France

**Chiffres UE en 2010 (40 000 km de réseau) :**

**147,07 milliards de t-km**

**474,45 millions de tonnes**

**Chiffres 2013 en France :**

**7,9 milliards de t-km (+1% / 2012)**

**soit 58,2 millions de tonnes**

**Sur le 15 dernières années en France : + 25 % en t-km**

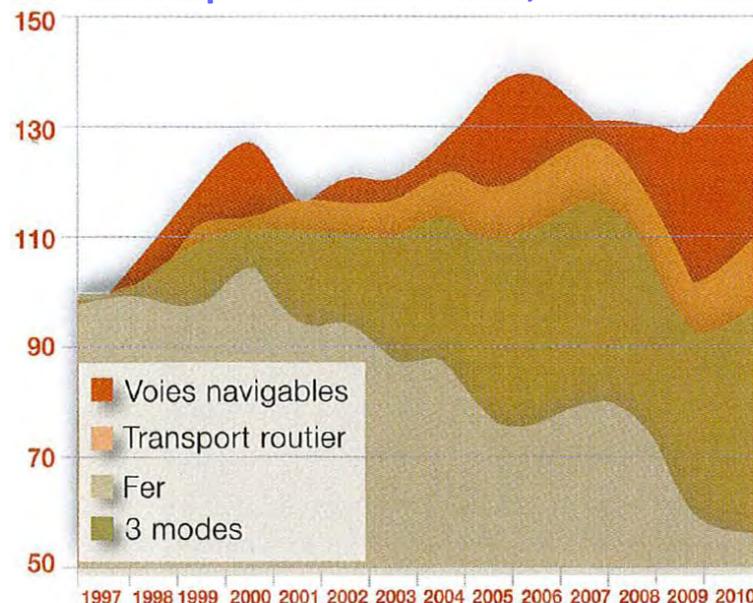
# Transport de fret par voie d'eau en France

## Trafic 2011

|                                       | Trafic cumulé en 2011<br>(en millions de t-km) |
|---------------------------------------|--|
| Filière agroalimentaire               | 2 211,2  |
| dont produits agricoles               | 1 719,8  |
| dont denrées alimentaires             | 491,4  |
| Filière énergie                       | 1 070,0  |
| dont combustibles minéraux            | 453,1  |
| dont produits pétroliers              | 616,8  |
| Filière métallurgique                 | 660,7  |
| dont minerais et ferrailles           | 311,7  |
| dont produits métallurgiques          | 349,0  |
| Filière matériaux de construction     | 2 576,1  |
| Filière chimique                      | 530,6  |
| dont engrais                          | 200,3  |
| dont produits chimiques               | 330,4  |
| Conteneurs, colis lourds et véhicules | 815,0  |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>7 863,6</b>                                 |

Sources : VNF « Memento du fluvial 2011-2012 »

## Evolution comparée des modes de transport fret en indice, base 100 en 1997



(\*) en t/km

Source : Bulletin Mensuel Statistique des transports du SoeS 2010.

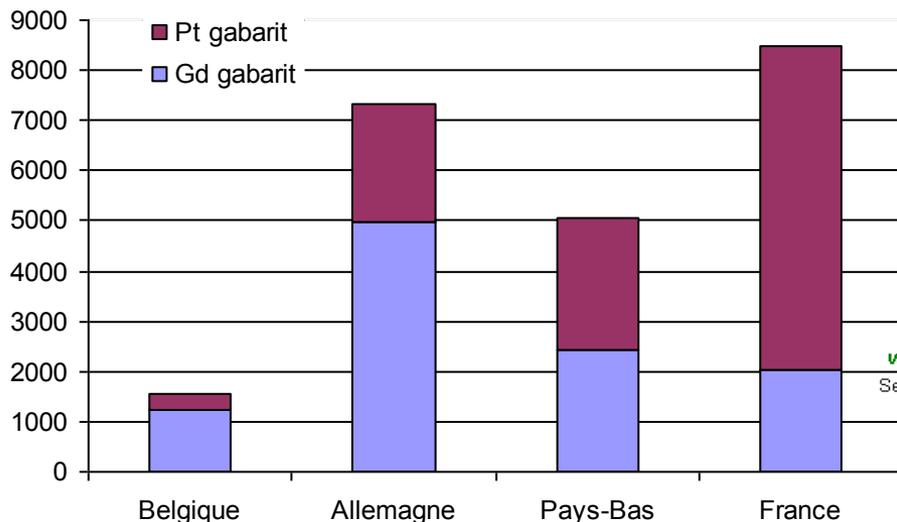
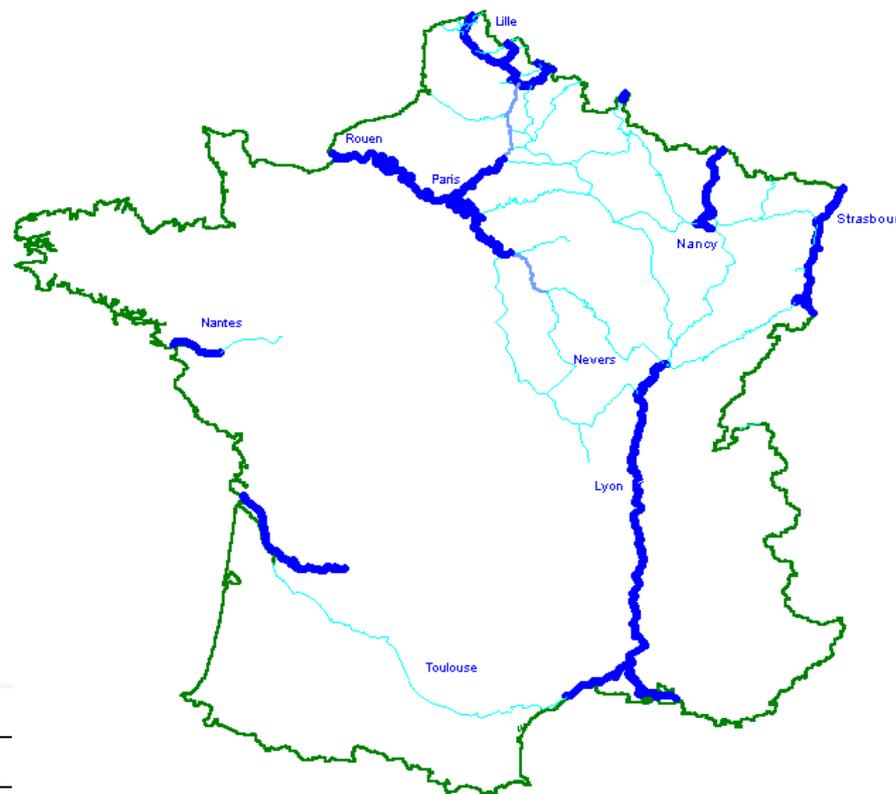
## Part modale du fluvial dans 4 ports Français

|           | Tous produits |        | Conteneurs |        |
|-----------|---------------|--------|------------|--------|
|           | 2011          | 2010   | 2011       | 2010   |
| Le Havre  | 7,0 %         | 6,9 %  | 10,4 %     | 9,2 %  |
| Marseille | 3,4 %         | 3,1 %  | 7,0 %      | 6,4 %  |
| Rouen     | 22,0 %        | 20,6 % | 61,1 %     | 50,8 % |
| Dunkerque | 5,9 %(*)      | 5,6 %  | 2,0 %      | 1,0 %  |

(\*) estimé

**En France, 8 500 km de voies navigables, dont 2 000 km à grand gabarit**

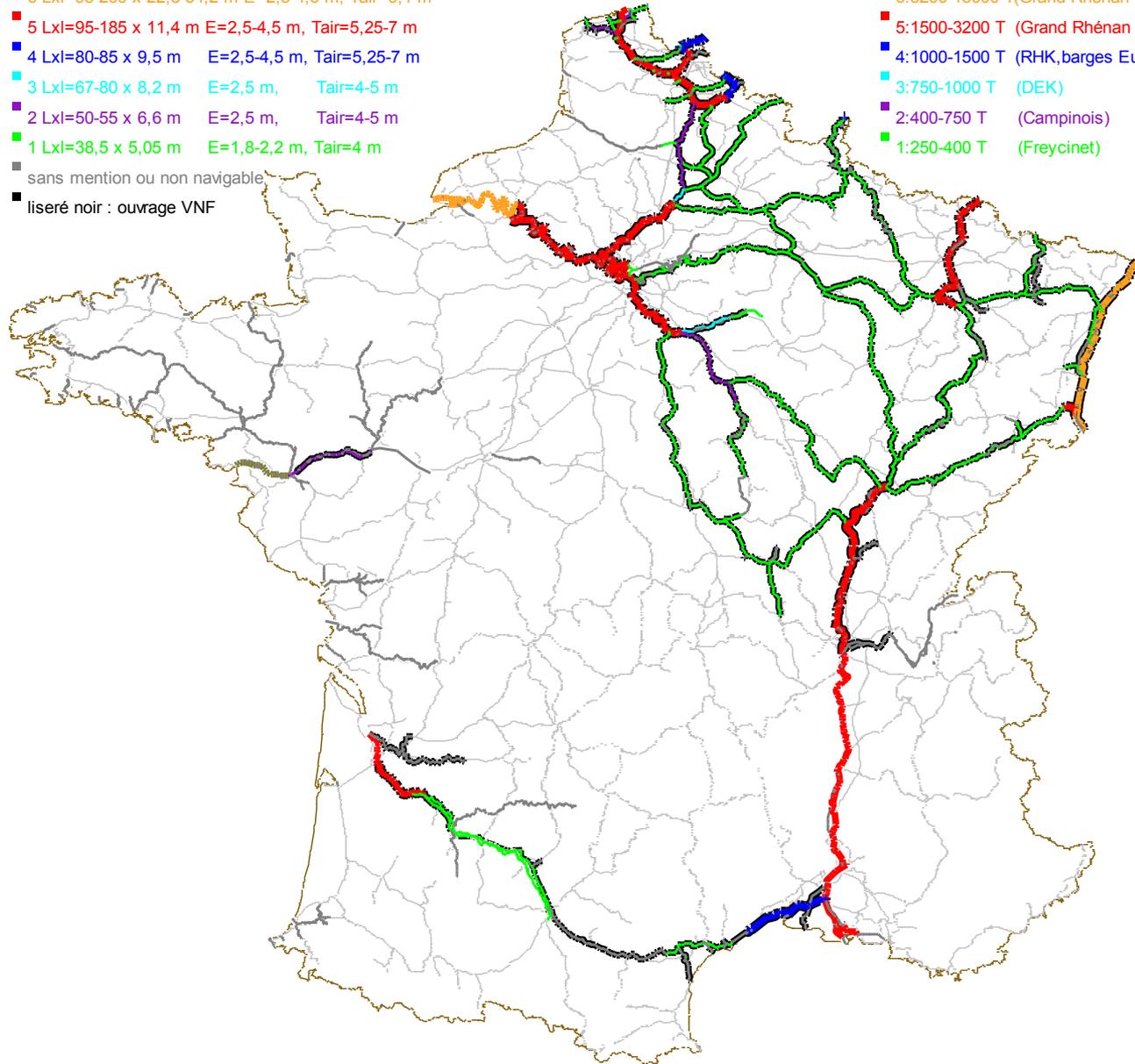
**un réseau marqué par une faible proportion de voies à grand gabarit et l'absence de connexions entre les bassins à grand gabarit**





- GABARIT CEMT DU RESEAU FLUVIAL**
- 7 Lxl=195-285 x 34,2 m E=2,5-4,5 m, Tair=9,1 m
  - 6 Lxl=95-200 x 22,8-34,2 m E=2,5-4,5 m, Tair=9,1 m
  - 5 Lxl=95-185 x 11,4 m E=2,5-4,5 m, Tair=5,25-7 m
  - 4 Lxl=80-85 x 9,5 m E=2,5-4,5 m, Tair=5,25-7 m
  - 3 Lxl=67-80 x 8,2 m E=2,5 m, Tair=4-5 m
  - 2 Lxl=50-55 x 6,6 m E=2,5 m, Tair=4-5 m
  - 1 Lxl=38,5 x 5,05 m E=1,8-2,2 m, Tair=4 m
  - sans mention ou non navigable
  - liseré noir : ouvrage VNF

- BATEAUX correspondant aux gabarits**
- 7 : 14500-27000 T
  - 6:3200-18000 T (Grand Rhénan 135 m, Grd Europa)
  - 5:1500-3200 T (Grand Rhénan 110 m, Europa 2)
  - 4:1000-1500 T (RHK, barges Europa 1)
  - 3:750-1000 T (DEK)
  - 2:400-750 T (Campinois)
  - 1:250-400 T (Freycinet)

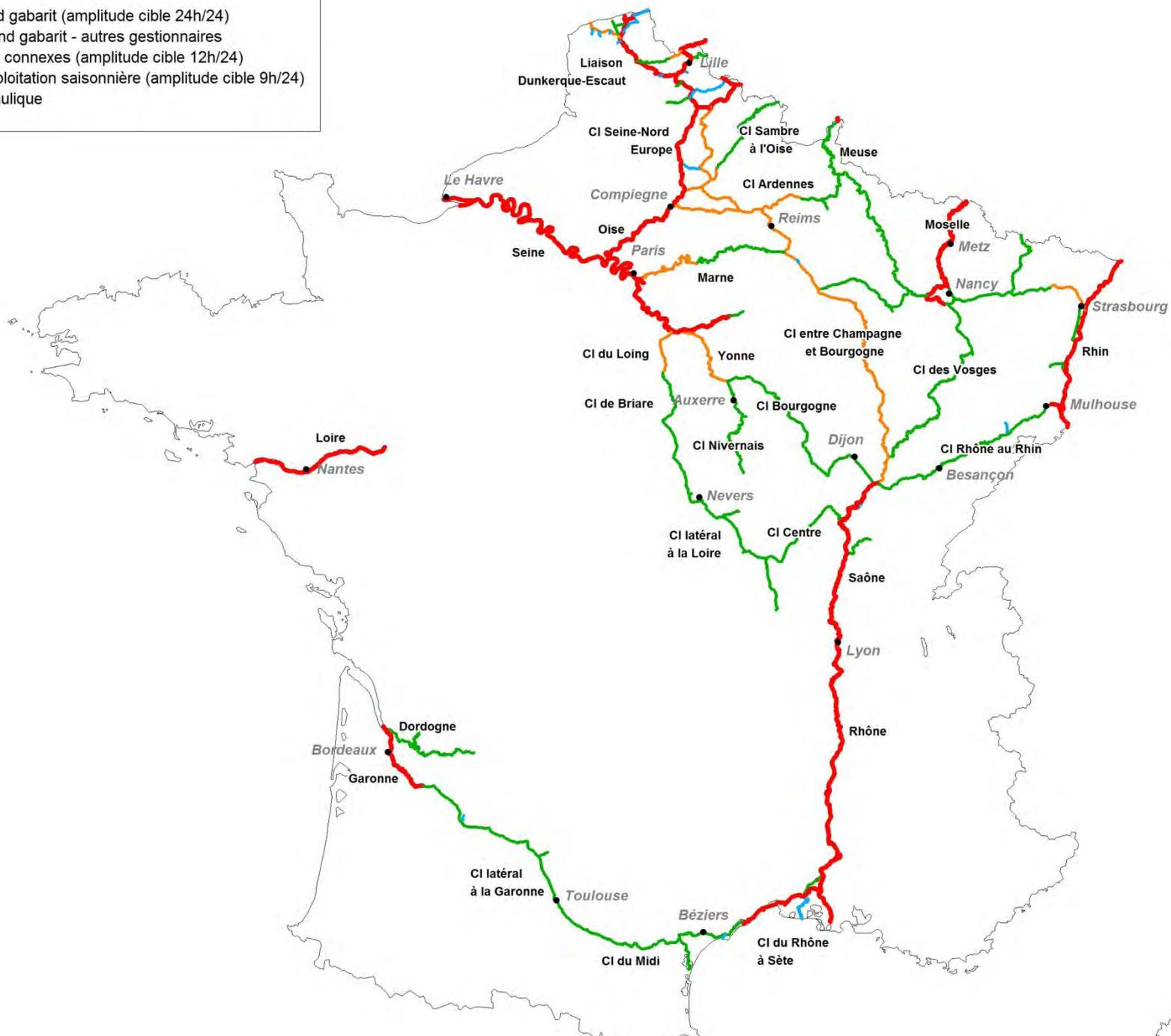


## gabarits du réseau Français

# Offre de service

-  Réseau Principal - Grand gabarit (amplitude cible 24h/24)
-  + Cohérence avec le grand gabarit - autres gestionnaires
-  Réseau Principal - Voies connexes (amplitude cible 12h/24)
-  Réseau secondaire à exploitation saisonnière (amplitude cible 9h/24)
-  Réseau en gestion hydraulique

Réalisation VNF/DIEE/DGC  
Source VNF/DIEE/DME  
réalisation : 22 novembre 2012



# L'établissement public VNF

- VNF est un opérateur de l'Etat, sous tutelle du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, créée en 1991 en remplacement de l'Office National de la Navigation,
- EPA depuis le 1er janvier 2013 par regroupement des 369 salariés de VNF et 4400 agents des services de navigation de l'Etat.
- Répartition des responsabilités :
  - un CA chargé des orientations stratégiques
  - une direction générale chargée de l'exécutif
- Un établissement légitime et responsable avec des moyens humains et financiers renforcés.

# L'établissement public VNF

**4800** agents  
**356** barrages de navigation,  
**>1600** franchissement de chutes (écluses, échelles d'écluses, pente d'eau),  
**543** ouvrages de décharge (déversoir, siphons, vannes..),  
**80** portes de garde  
**3756** km de digues,  
**316** systèmes alimentaires (barrages réservoir, rigoles, station de pompage, contournement d'écluses....),  
**27** tunnels-canaux et **117** ponts-canaux  
**674** ouvrages de franchissement (ponts roulant, tournant, aqueducs...)  
**316** systèmes alimentaires (barrages réservoir, rigoles, station de pompage, contournement  
**1868** km de voies navigables à grand gabarit ,  
**705** km de voies à gabarit intermédiaire (III&IV),  
**4281** km de voies navigables à petit gabarit (I&II),  
**1647** km de voies navigables moins de 250 T  
**40 000** ha de domaine public fluvial.

**Date de création : 1933, concessionnaire du Rhône en 1934, la CNR est une société anonyme d'intérêt général à capital majoritairement public (MURCEF) :**

GDF SUEZ : 49,97 %  
 Caisse des dépôts : 33,20 %  
 Collectivités locales : 16,83 % (dont 5,38 % CG 13)

## missions historiques :

production hydroélectrique (*aménagement du Rhône jusque 1986 et planifié dès 1930*)  
 navigation,  
 irrigation et autres usages agricoles.

**Chiffre d'affaires 2010**.....1 270 M€

**Résultat net** .....220 M€

**Rédevance de 24%**.....169 M€

## Puissance installée (100 % renouvelable):

3007 MW hydroélectriques, 124 MW éoliens, 4,1 MWc photovoltaïques

## Production d'électricité (second producteur Français) :

Elle produit en moyenne 15,7 TWh/an soit un rejet évité dans l'atmosphère de près de **14 M teqCO<sub>2</sub>** (tonne équivalent CO<sub>2</sub>), en comparaison avec une centrale à charbon qui émet **953 g de CO<sub>2</sub>** pour 1 kWh produit.

## Aménageur et ingénieur conseil (national & International), centre de recherches,

## Navigation et transport fluvial

- ✓ 1,2 milliard de t x km (dont 55000 EVP) transporté sur le Rhône
- ✓ 94 850 éclusages
- ✓ 5,4 millions de t. manutentionnés

Sources : CNR « présentation ingénierie 2010 »

PJ.Pompée - rev.B2 – 05/3/2015

# La compagnie Nationale du Rhône



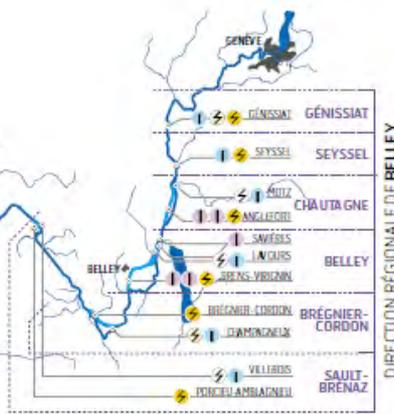
**1300** agents  
**19** barrages,  
**19** usines hydroélectriques,  
**14** écluses à grand gabarit,  
**3** écluses de plaisance  
 (à partir de l'été 2010),  
**7** Petites Centrales Hydrauliques,  
**7** mini centrales,  
**13** parcs éoliens  
 (dont 5 dans la vallée du Rhône),  
**2** centrales photovoltaïques  
 (à partir de mai 2010),  
**400** km de digues,  
**32** stations de pompage,  
**330** km de voies navigables à grand gabarit,  
**27 000** ha de domaine concédé,  
**29** sites industriels et portuaires dont le PLEH.

## EN VALLÉE DU RHÔNE

- 14 ÉCLUSES À GRAND GABARIT
- 5 ÉCLUSES DE PLAISANCE
- 19 BARRAGES
- 19 CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES
- 3 PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES (PCH)
- 7 MINI-CENTRALES HYDRAULIQUES
- 5 PARCS ÉOLIENS
- 2 CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES
- CANAUX AMÉNAGÉS

## HORS VALLÉE DU RHÔNE

- 4 PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES (PCH)
- 8 PARCS ÉOLIENS

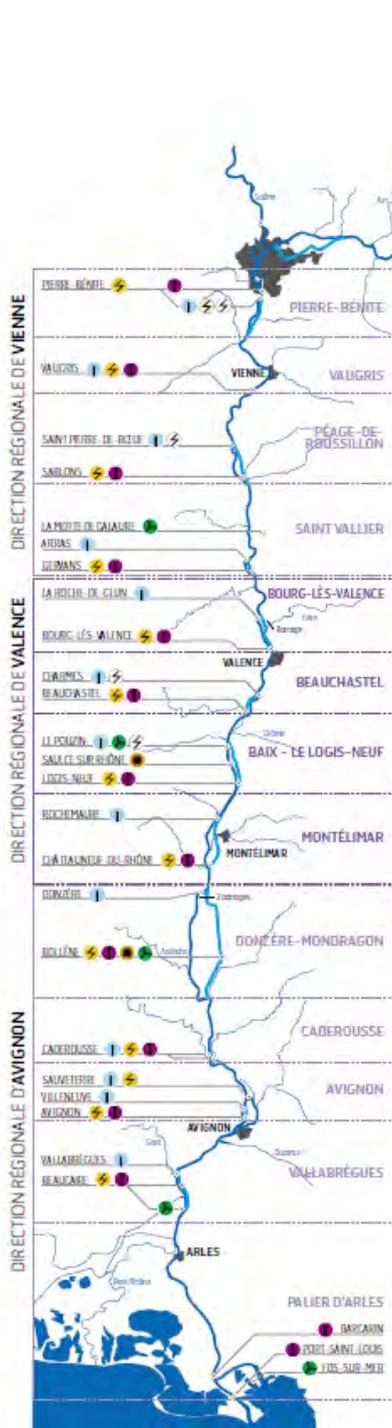


DIRECTION RÉGIONALE DE VIENNE

DIRECTION RÉGIONALE DE VALENCE

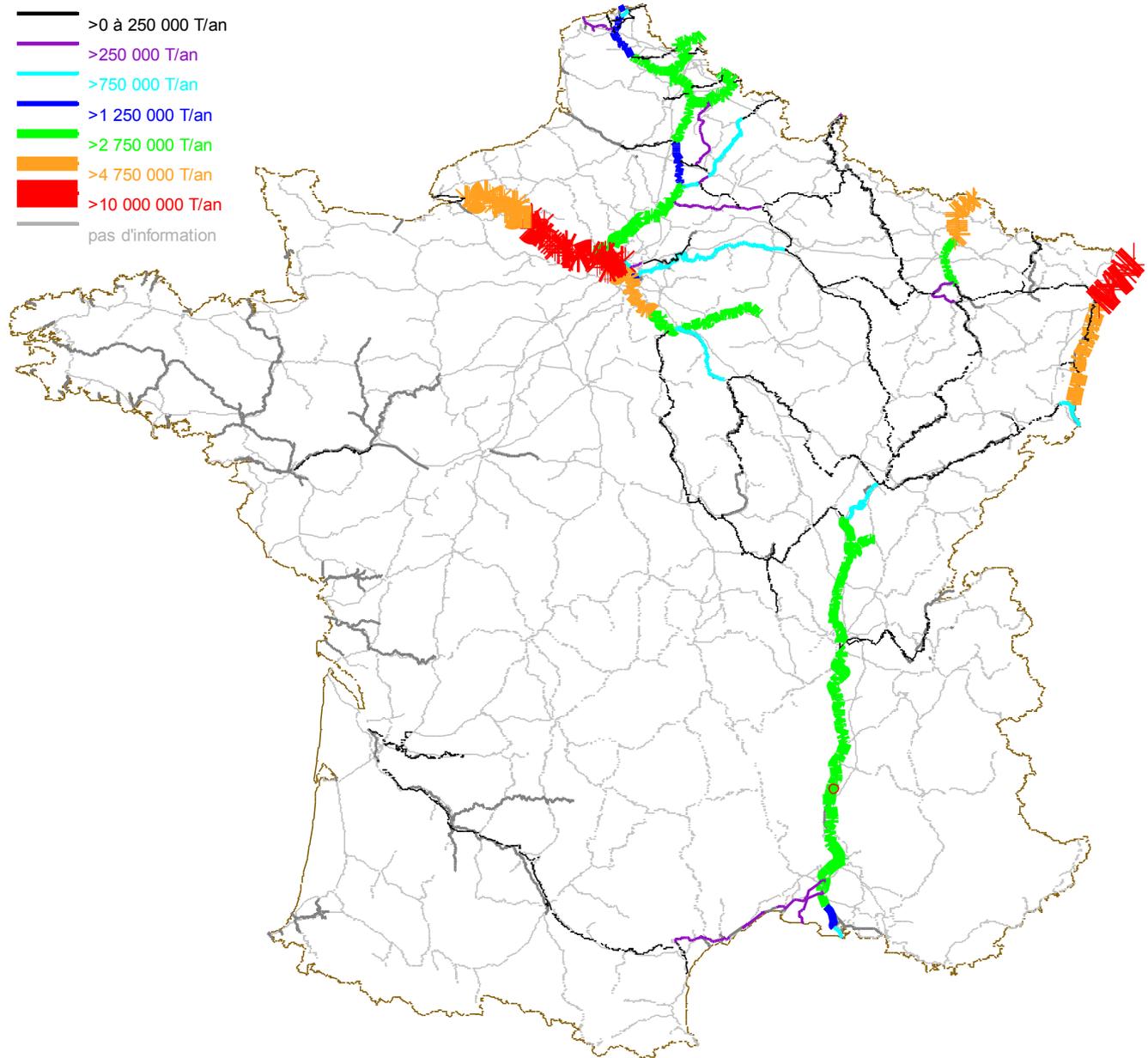
DIRECTION RÉGIONALE D'AVIGNON

1,2 milliard de t x km transportées  
 94 850 éclusages  
 5,4 millions de t. manutentionnés  
 55 000 EVP transportés sur le fleuve



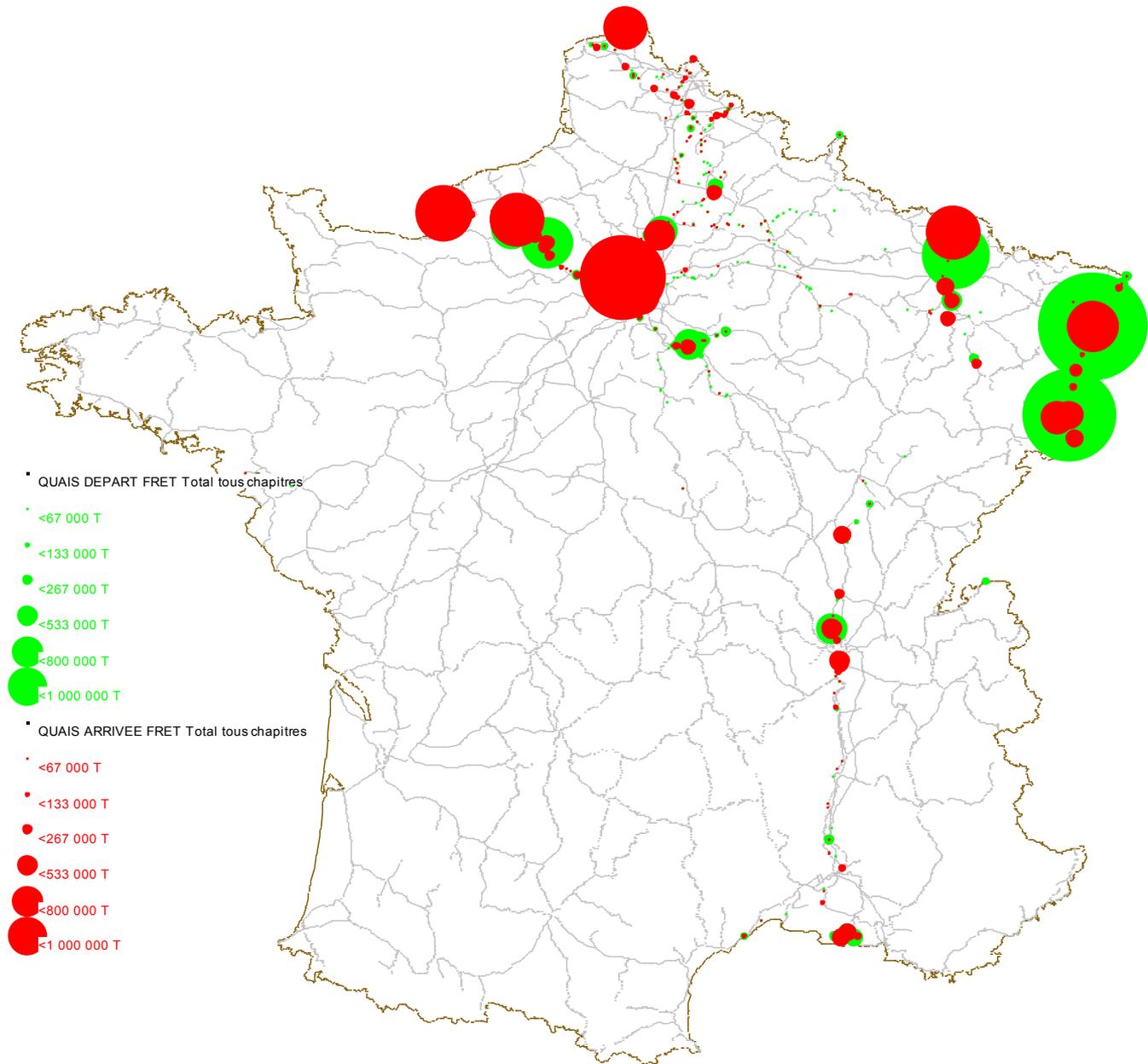
TRAFIC FRET PAR SECTIONS en tonnes

- >0 à 250 000 T/an
- >250 000 T/an
- >750 000 T/an
- >1 250 000 T/an
- >2 750 000 T/an
- >4 750 000 T/an
- >10 000 000 T/an
- pas d'information



Aperçu des volumes de fret transportés annuellement sur le linéaire (exemple 2009)

## Aperçu des principaux ports et quais (trafics 2009)



CHANTIERS DE TRANSBORDEMENT

- Rail - Route
- Rail - Route (emplacement approximatif)
- Fluvial - Route
- Fluvial - Route (emplacement approximatif)
- Rail-Route-Flleuve
- Rail-Route-Flleuve (emplacement approximatif)



Multimodalité :  
Chantiers de  
transport  
combiné

# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## *Présentation de la voie d'eau :*

- *Une infrastructure polyvalente et un outil de développement*
- *Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions*
- *Avantages et retombées économiques de la voie d'eau*

*Un mode de transport à haute qualité environnementale*

*La voie d'eau aux USA, en Europe, en France*

## **Projets sur l'infrastructure en France**

*La flotte, perspectives, innovations*

# Projets de développement du réseau

- Le Canal Seine – Nord et travaux connexes (Oise, Nord Pas de Calais, Escaut, Dêule) & l'écluse de Port 2000 (Le Havre)
- Mise à grand gabarit de Bray-Nogent
- Saône Moselle / Saône-Rhin
- Canal du Rhône à Sète

# Projets de développement du réseau fluvial



# Seine-Nord Europe

Maillon manquant de la liaison fluviale européenne à grand gabarit Seine-Escaut reliant le bassin de la Seine, à ceux de l'Escaut et du Rhin aux 20 000 km de voies européennes à grand gabarit



# structuration d'un corridor logistique massifié par un réseau de plates-formes multimodales



# Les objectifs du projet

- **Fiabiliser l'offre de service et valoriser le réseau existant pour inciter au report modal**
- **Accroître le gabarit du réseau pour développer l'hinterland des ports maritimes en renforçant ou créant des plates-formes multimodales et de terminaux à conteneurs à l'échelle régionale, nationale et européenne**
- **Favoriser la transition écologique et énergétique en réduisant la consommation énergétique du transport**
- **Accroître la performance industrielle avec une logistique plus économique et plus intégrée des filières (agriculture et agro-industrie, matériaux de construction, chimie, automobile...) et avec la mise en place d'une logistique performante et économique pour l'économie circulaire (recyclage matériaux, acier, verre, papier, automobile...)**

# Les objectifs du projet (suite)

- Stimuler l'innovation dans le domaine de la logistique portuaire, notamment avec l'émergence d'offres combinées voie d'eau/rail
- Favoriser l'investissement d'entreprises françaises, européennes et internationales sur un nouveau couloir industriel entre le Grand Bassin Parisien et le Nord - Pas-de-Calais
- Contribuer aux stratégies de développement des ports du Grand Paris et de l'axe Seine et du port de Dunkerque
- Permettre le désengorgement routier notamment dans le quart nord-ouest de la région capitale et les principales agglomérations (Paris, Lille...)
- Contribuer au déploiement d'une logistique urbaine basée sur le fleuve pour la région capitale et les grandes agglomérations

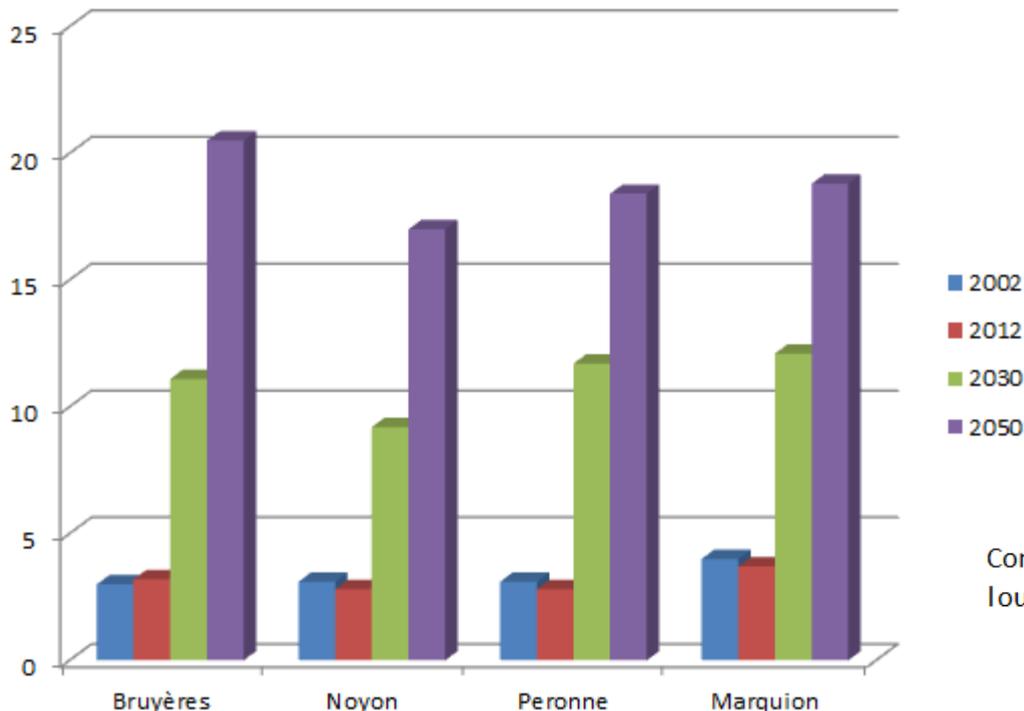
# Le projet Seine Escaut



|     |  |
|-----|--|
| 106 | km de long                                   |
| 54  | mètres de large                              |
| 4,5 | mètres de profondeur                         |
| 55  | millions de m <sup>3</sup> de terre déplacés |
| II  | 7 écluses                                    |
| III | 3 ponts canaux                               |
| 59  | ponts routiers et ferroviaires               |
|     | 4 plates-formes d'activités                  |
|     | 5 quais céréaliers                           |
|     | 2 quais de transbordement                    |
|     | 5 équipements pour la plaisance              |
|     | 2 bassins réservoirs d'eau                   |
|     | tracé du canal                               |
|     | autoroute                                    |
|     | route  |
|     | voie d'eau (fleuve, canal...)                |
|     | voie ferrée                                  |
|     | futur raccordement ferroviaire               |



# Prévisions de trafic



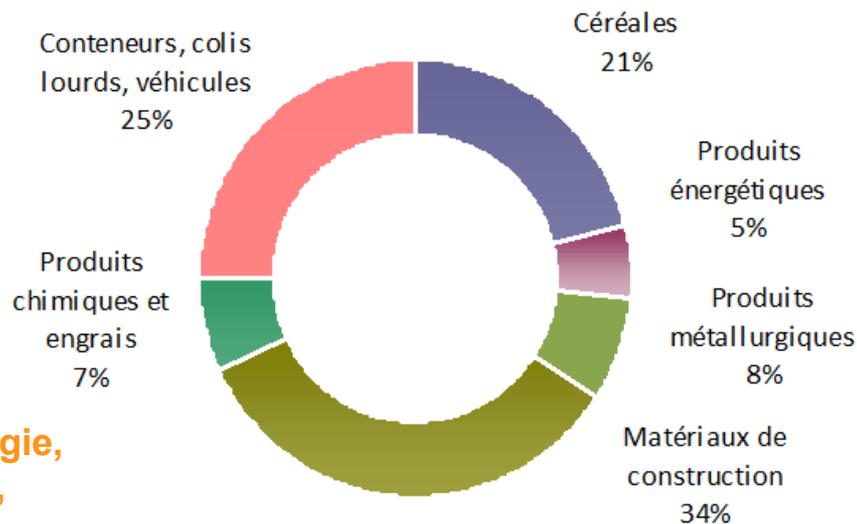
Prévisions Vrac + conteneurs en Millions de Tonnes transportées (Rapport Mission Pauvros 2013)

## 4 filières impliquées :

- . filière automobile, avec les colis lourds et la métallurgie,
- . filière matériaux de construction & produits recyclés,
- . filière agroalimentaire et grande distribution,
- . filière céréales, agro-industrie, chimie et engrais.

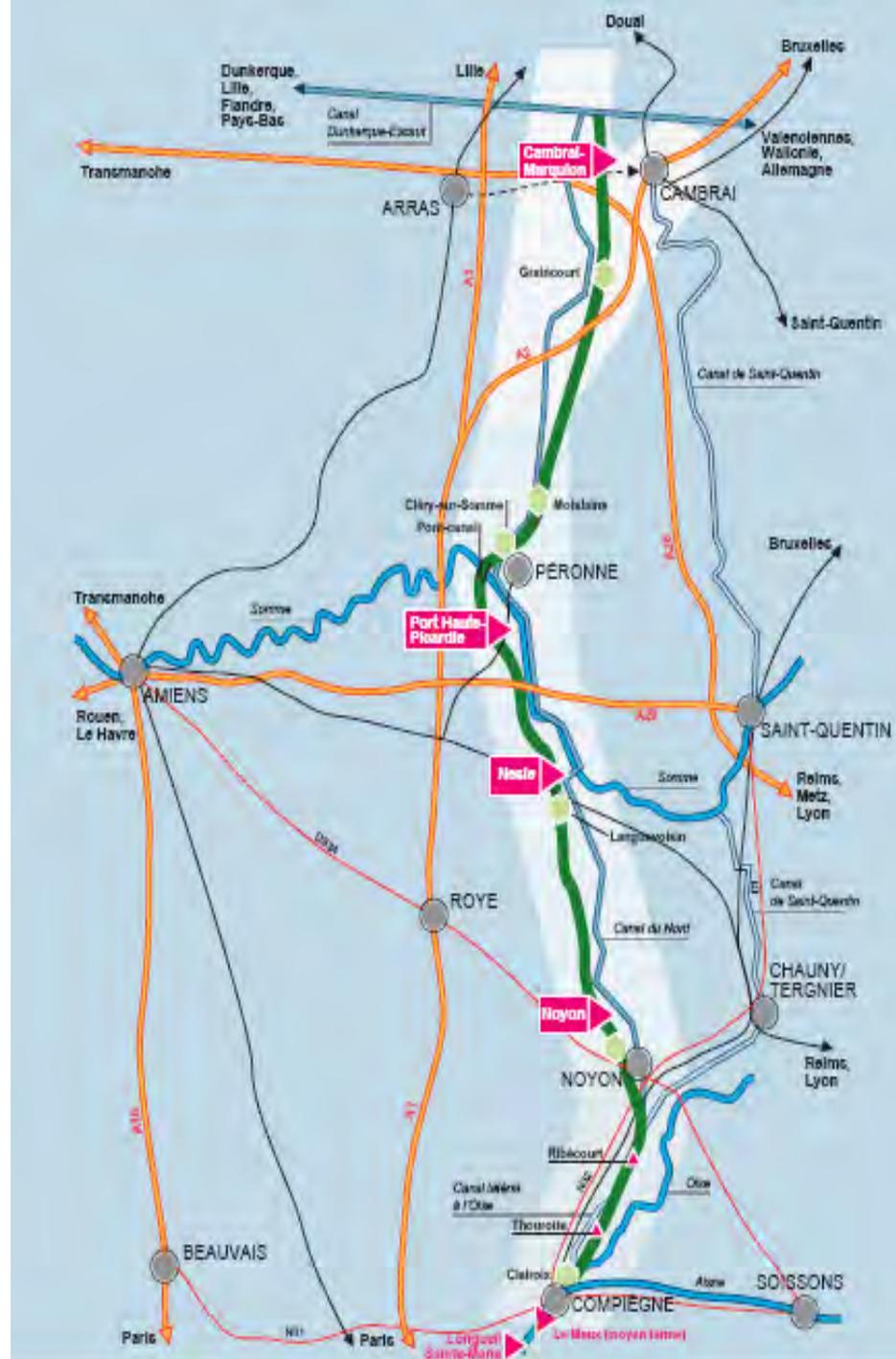
Le projet Seine Escaut permet de doubler le volume de trafic fluvial en France, en T.km, et d'augmenter de 25% le trafic sur l'axe Seine

## Nature des marchandises transportées (études DUP)



# 4 zones d'activités portuaires et logistiques dont 3 en Picardie

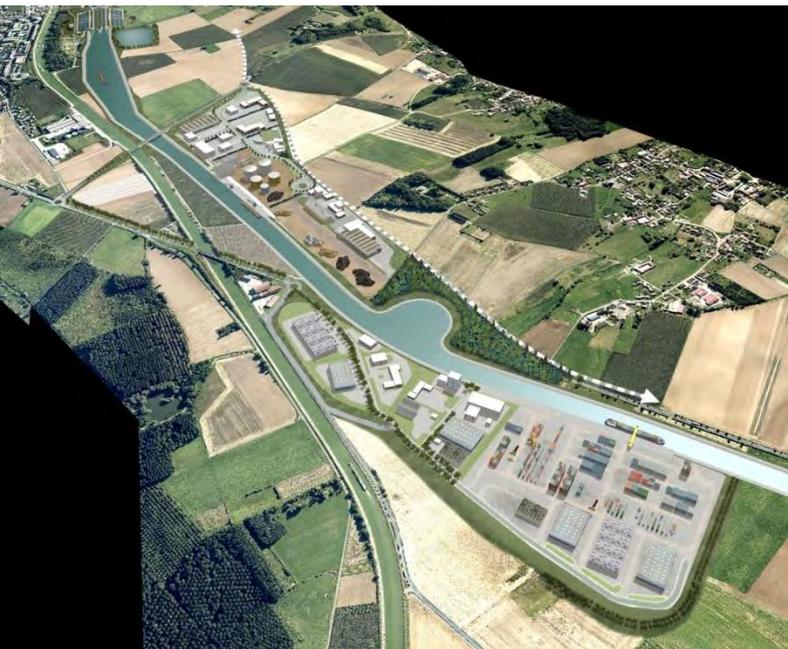
- 360 ha de zones de services portuaires, et d'activités industrielles et logistiques
- Interface entre les territoires et le système fluvial (services portuaires)
- Valoriser le potentiel agricole et industriel
- Implanter des centres logistiques de distribution
- Contribuer à la massification
- Développer l'intermodalité voie d'eau-rail-route



# Péronne-Haute-Picardie



# Cambrai-Marquion



# Noyon

# Nesle



## Dates clé du projet

- **1993** : Inscription du projet au répertoire du réseau Européen
- **2004** : Co-décision du parlement et de la commission Européenne d'inclure Seine-Escaut parmi les 30 projets Européens prioritaires
- **2005** : Déclaration ministérielle de lancement du comité Seine-Escaut (FR-NL-WL-FL)
- **2007** : Déclaration conjointe France-Flandres-Wallonie d'implémentation du projet
- **2008** : Déclaration d'Utilité Publique  
Lancement des opérations archéologiques
- **2009** : Agrément France / Flandre / Wallonie et implémentation de la commission intergouvernementale
- **2011-2012** : Dialogue compétitif pour un projet en PPP  
Développement de l'ingénierie de conception du projet
- **2013** : Reconfiguration du projet en maîtrise d'ouvrage publique  
Déclaration de Talinn: projet éligible à 40% de subventions CEE  
Corridor Européen Mer du Nord-Méditerranée

# Travaux sur les barrages & rehaussement de ponts



# Travaux barrage de Venette



# Reconstruction barrage de Chatou



# La voie d'eau : polyvalence, avantages économiques, perspectives, innovations

## *Présentation de la voie d'eau :*

- *Une infrastructure polyvalente et un outil de développement*
- *Les ouvrages de la voie d'eau et leurs fonctions*
- *Avantages et retombées économiques de la voie d'eau*

## *Un mode de transport à haute qualité environnementale*

## *La voie d'eau aux USA, en Europe, en France*

## *Projets sur l'infrastructure en France*

## **La flotte, perspectives, innovations**

# Perspectives d'évolution de la flotte et innovation

- **Présentation de la flotte : capacité, effectifs, évolution**
- **Dépollution des moteurs**
- **Utilisation du GNL**
- **Innovation d'hydrodynamique et de propulsion**

# Types de bateaux fluviaux, effectifs, et linéaire de voies d'eau en France

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| <b>Freycinet ("Péniche")</b> (nombre en 2012: 472F+196E)<br>38,5 m x 5,05 m - 250 CV<br>250 T à 360 T (TE 1,80 - 2,50m)   | <br>TE= 2,50m 360 T   | <br><b>14 X</b>  | <b>Classe I</b> (4015 km)<br>TE : 1,80 à 2,20 m<br>TA : 4m  |
| <b>Campinois</b> (nombre en 2012: 256F+94E)<br>55 à 65 m x 6,05 à 7 m - 550 CV<br>650T - 750 T (TE 2,50 - 2,60 m)   | <br>60m x 6,60m x 2,60m 655 T      63m x 7m x 2,50m 32 EVP   | <br><b>26 X</b> <br><b>16 X</b>   | <b>Classe II</b> (266 km)<br>TE : 2,50 m<br>TA : 4 - 5m   |
| <b>Bateau et convoi "Canal du Nord"</b><br>60 m + 30 m x 5,70 m - 550 CV<br>750 T (TE 2,50 - 2,60 m)  | <br>90m x 5,70m x 2,60m 750T  | <br><b>30 X</b>  | <b>Canal du Nord</b><br>TE : 2,50 m<br>TA : 4 - 5m  |
| <b>DEK ("Dortmund-Ems Kanaal")</b><br>(nombre en 2012: 222F+151E)<br>67-80m x 8,20 m - 800 CV<br>950 -1100 T (TE 2,50 - 2,90 m)   | <br>73m x 8,2m x 2,90m 1100 T   | <br><b>44 X</b>  | <b>Classe III</b> (568 km)<br>TE : 2,50 m<br>TA : 4 - 5m  |
| <b>RHK ("Rhein-Herne Kanaal")</b><br>(nombre en 2012: 142F+428E)<br>80-85m x 9,50 m - 700 à 1000 CV<br>1350 à 1500 T (TE 2,50 - 2,80 m)   | <br>85m TE= 2,50m 1350 T      85 m TE=2,50m 90 EVP   | <br><b>54 X</b> <br><b>45 X</b>   | <b>Classe IV</b> (137 km)<br>TE : 2,50 - 4,50 m<br>TA : 5,20-7m   |
| <b>Rhénan 95-110 m x 11,40 m</b><br>(nombre en 2012: 213F+456E)<br>2000T - 2500T - 3000T (110m TE 2,5-3,0-3,40m)<br>1200 CV - Vrac, Citerne, Conteneurs, Ro-Ro,...  | <br>110 m x 11,40 m x 2 m - 530 voitures      Tanker 110 m x 11,40 m x 3,50 m - 3000 T - 3500 m3<br>Porte-Conteneurs 110 m x 11,40 m x 3 m - 200 EVP      Ro-Ro 110m x 11,40m x 2,50m - 72 véhicules | <br><b>60 X</b> <br><b>120 X</b><br><br><b>100 X</b> <br><b>72 X</b>      | <b>Classe Va-Vb</b><br>(247 km)<br>TE : 2,50 - 4,50 m<br>TA : 5,20m (Va)<br>7,00m (Vb)  |
| <b>Grand Rhénan 135 m x 11,40 m</b><br>(nombre en 2012: 20F+182E)<br>2500T - 3000T - 3500T (110m TE 2,5-3,0-3,40m)<br>1900 CV - Vrac, Citerne, Conteneurs,...   | <br>135 m x 11,40 m x 2 m - 660 voitures      Tanker 135 m x 11,40 m x 3,50 m - 3500 T - 4100 m3<br>Porte-Conteneurs 135 m x 11,40 m x 3 m - 280 EVP      Vrac 135 m x 11,40 m x 3,50 m - 3500 T    | <br><b>75 X</b> <br><b>140 X</b><br><br><b>140 X</b> <br><b>140 X</b> | <b>Classe Vb et VI</b><br>(1621 km)<br>TE :<br>2,50 m - 4,50 m<br>TA:<br>5,20 m (2 couches)<br>7,00 m (3 couches)<br>9,10 m (4 couches) |
| <b>Convoi poussé 1 à 4 barges EUROPA II</b><br>100m-185m x 11,40m<br>1 à 4 barges de 2000 T à 2750 T chacune<br>2000 CV (4400T-2B) à 5700 CV (11000T-4B)<br>2020+2374T barges 76,5m+90m x 11,40m x 2,91m<br>2750T par Barge 80m x 11,40m x 4,0m | <br>Convoi 185 m x 11,40 m x 3,0m      Convoi 185 m x 11,40 m x 4,0m<br>2 barges - 4400 T      4 barges - 11000 T  | Il existe des convois porte-conteneurs, Citernes, porte voitures, vrac, etc..<br><br><b>175 X(2B)</b> <br><b>440X(4B)</b>   |   |

PJPompée - 2014

Note : Les effectifs des 60 bateaux au gabarit atypique « Canal du Nord » sont comptés ici dans les catégories adjacentes

# Types de bateaux fluviaux quelques ordres de grandeurs (\*)

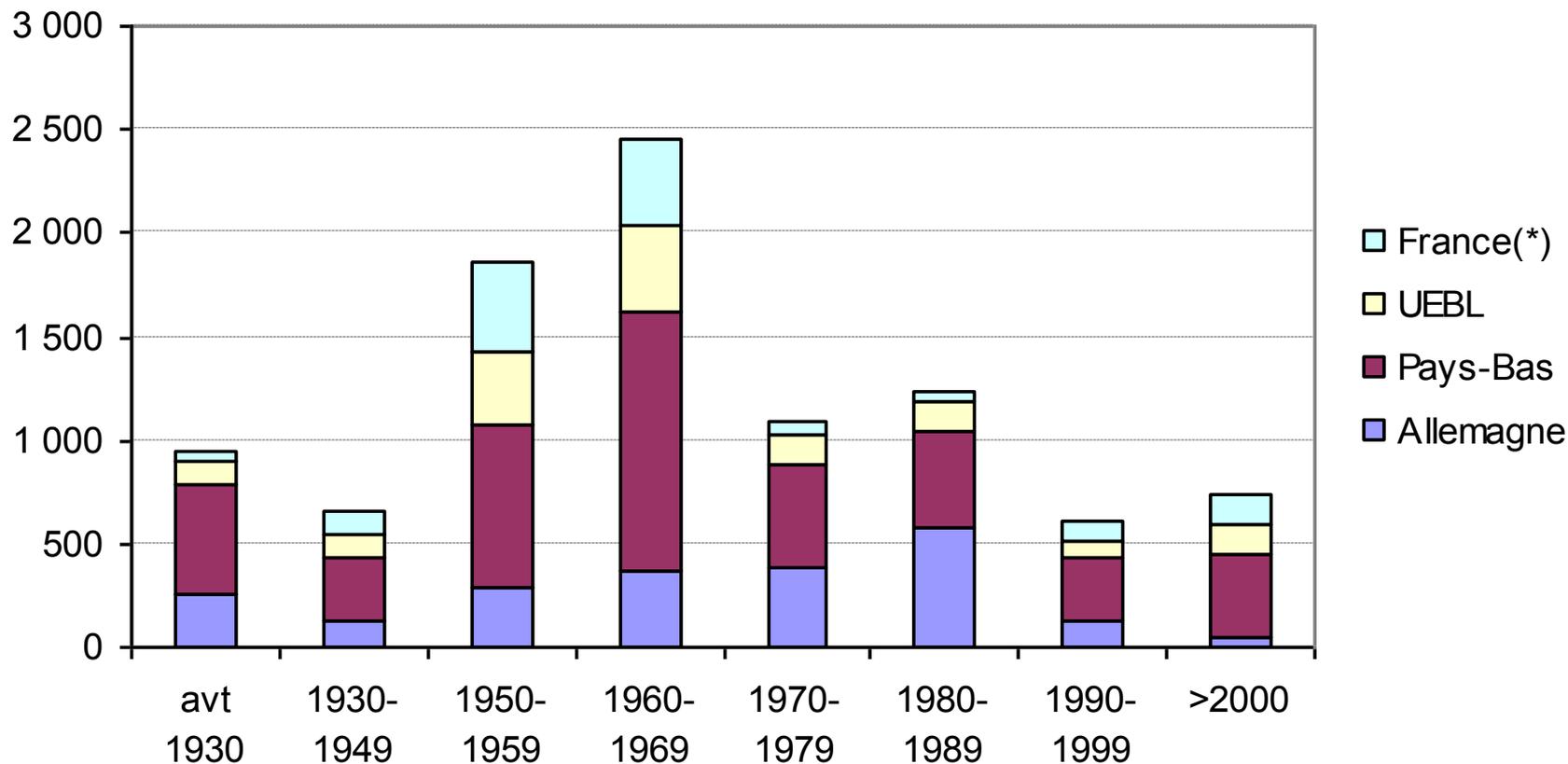
| Type              | Longueur | Largeur | Lège (T approx) | coque nue (T approx) | Puissance moteur usuelle (CV) | Charge usuelle |                 | Charge max  |                 | Estimation (M€ 2011) |                          |                                 |
|-------------------|----------|---------|-----------------|----------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|
|                   |          |         |                 |                      |                               | Tonnage (T)    | Enfoncement (m) | Tonnage (T) | Enfoncement (m) | Occasion (exemples)  | neuf à l'unité +coque FR | neuf série +coque pays de l'Est |
| Freycinet         | 38,5     | 5,05    | 70              | 55                   | 250                           | 250            | 1,8             | 380         | 2,5             | 0,08-0,15            | 0,8                      | 0,6                             |
| Canal du Nord     | 60       | 5,7     | 100             | 80                   | 500-700                       | 450            | 2,0             | 600         | 2,5             | 0,2-0,4              | 1,1-1,4                  | 0,8                             |
| Campinois         | 55       | 6,6     | 200             | 150                  | 550-650                       | 550            | 2,4             | 650         | 2,6             | 0,25-0,3             | 1,2-1,5                  | 0,8                             |
| DEK               | 70       | 8,2     | 300             | 250                  | 700                           | 880            | 2,4             | 1100        | 2,8             | 0,5-1                | 2,2-2,5                  | 1,5                             |
| RHK               | 85       | 9,5     | 500             | 430                  | 700-1000                      | 1350-1500      | 2,5             | 1500-1800   | 2,8             | 1 - 1,5              | 3,9                      | 2,9                             |
| Grand Rhénan 110m | 110      | 11,4    | 900             | 780                  | 1200                          | 2500           | 2,5             | 3000        | 3,5             | 2,5 - 3              | 5,6                      | 3,7                             |
| Grand Rhénan 135m | 135      | 11,4    | 1200            | 1030                 | 1900                          | 3000           | 3,0             | 3500        | 3,5             | 4,0                  | 7,5                      | 5,0                             |

(\*) ordres de grandeur très approximatifs, à prendre avec beaucoup de prudence pour tous les chiffres de ce tableau, valeurs 2011.

Par exemple certains Campinois atteignent 7,20 m de large et chargent presque 700 T, la motorisation des RHK varie de 700 (Seine) à 1000 Cv (Rhône), les bateaux Canal du Nord sont parfois plus longs jusqu'à 62m et plus certains sont motorisés à 1000 CV pour naviguer contre courant sur le Rhin, certains RHK font 11,40 m de large et chargent ainsi 4 rang de conteneurs, d'autres atteignent 1800 T en chargement maxi, etc..etc..

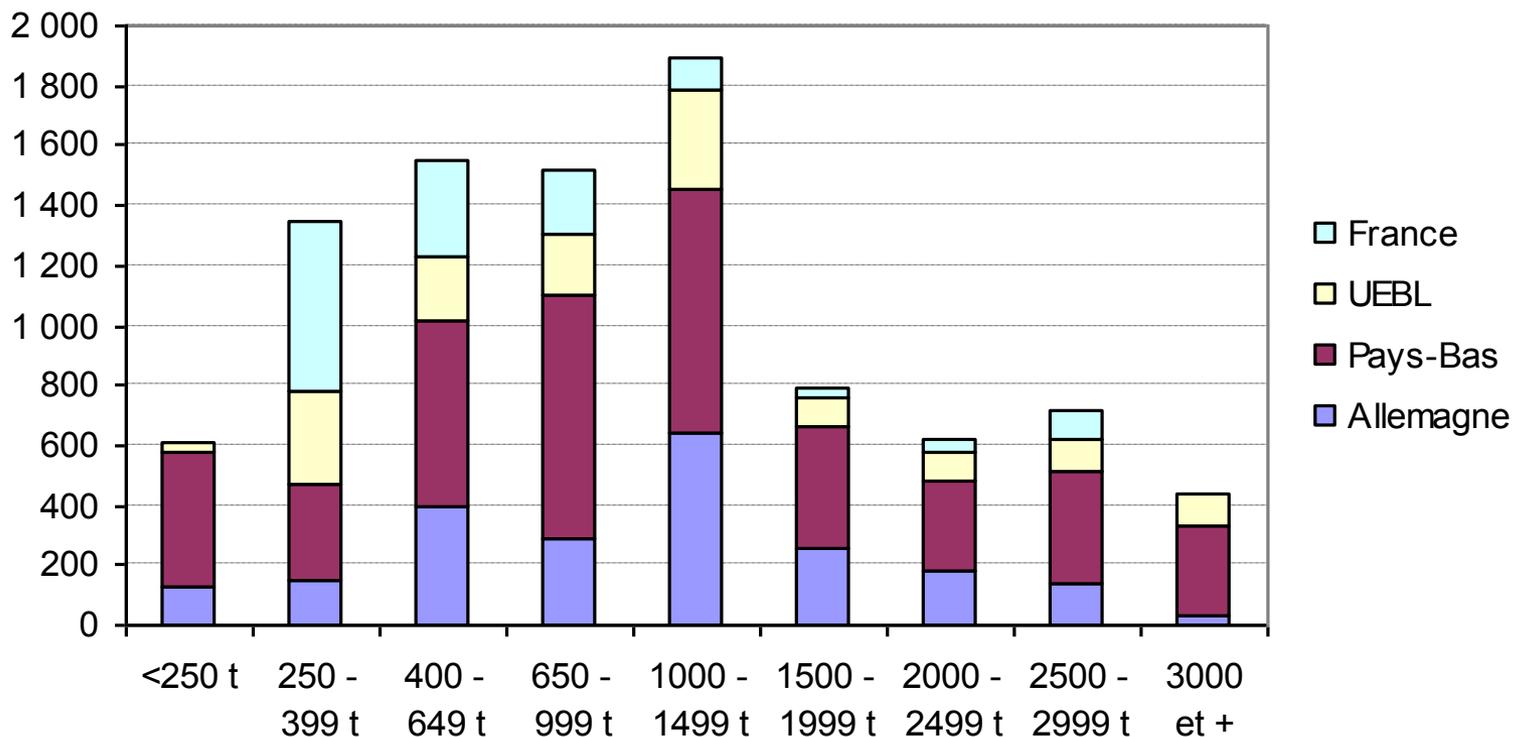
La plupart des bateaux ne se font guère en série particulièrement des Freycinets aux RHK, pourtant très demandés, et aux formes souvent obsolètes en termes de capacité de chargement de conteneurs notamment. On arrive aussi à produire des Freycinets neufs très simples sur plans éprouvés vers 600 k€ en France dans certains chantiers

## Répartition de la flotte européenne par tranche d'âge (2010)



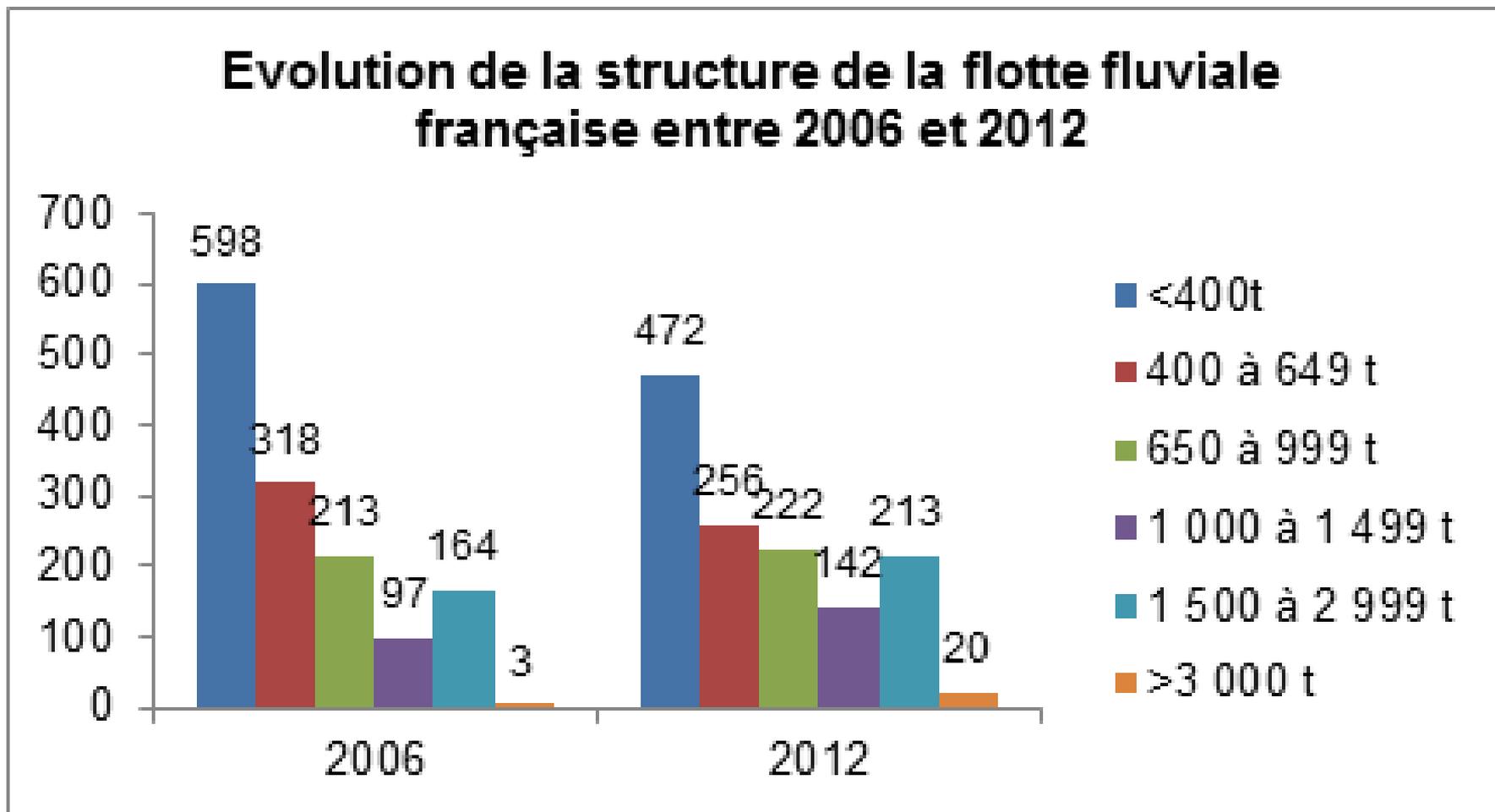
**...il y a des bateaux très anciens régulièrement « retrofités »**

# Répartition de la flotte européenne par tranche de capacité (2010)



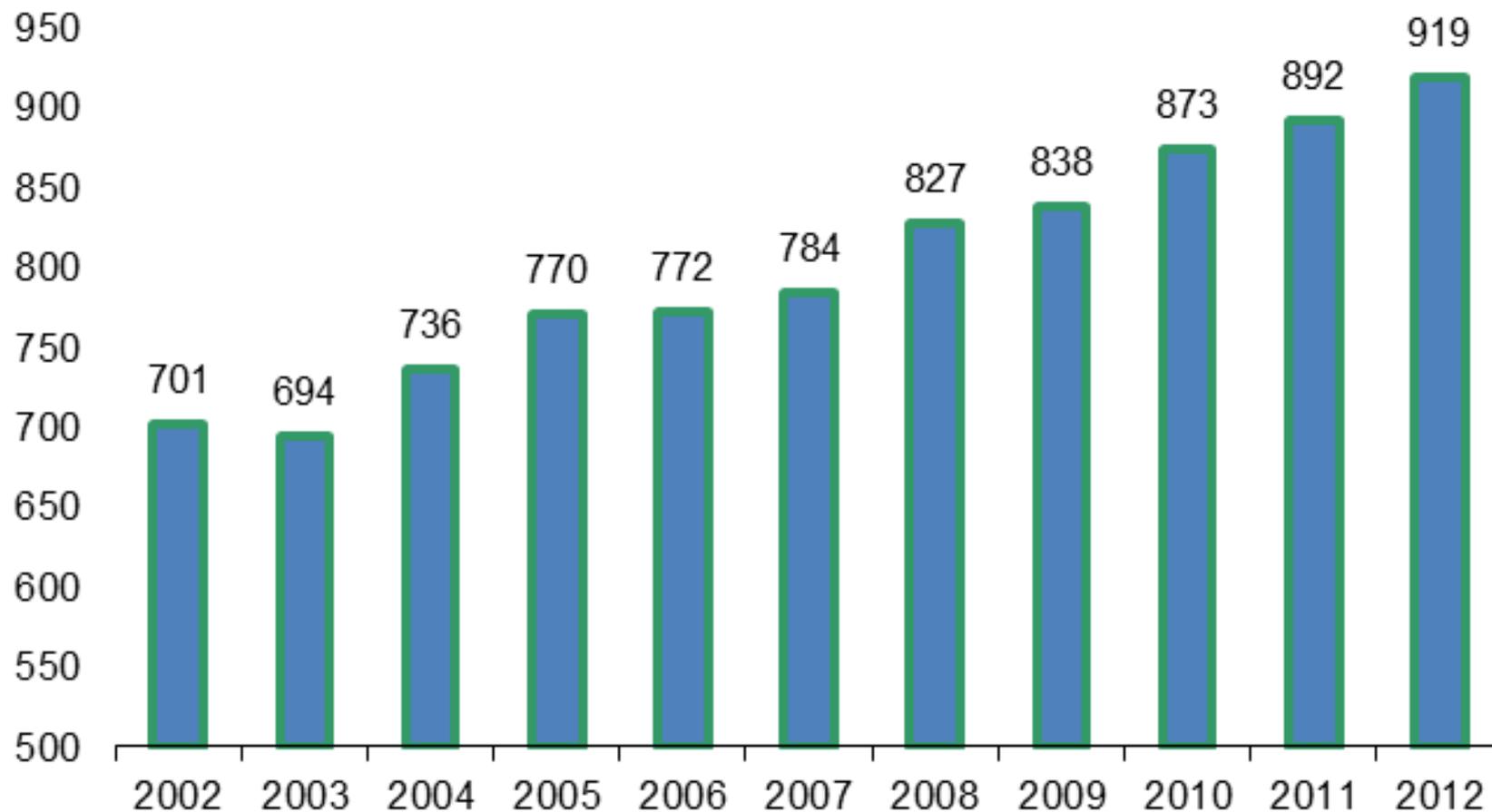
**Hollande : 50% de la flotte,  
 Allemagne : 25% de la flotte,  
 France et Belgique se partagent les 25% restant quasiment à parité**

# Evolution 2006 – 2012 de la flotte Française par taille de bateaux



*On constate une chute du nombre des petits bateaux au profit des gros*

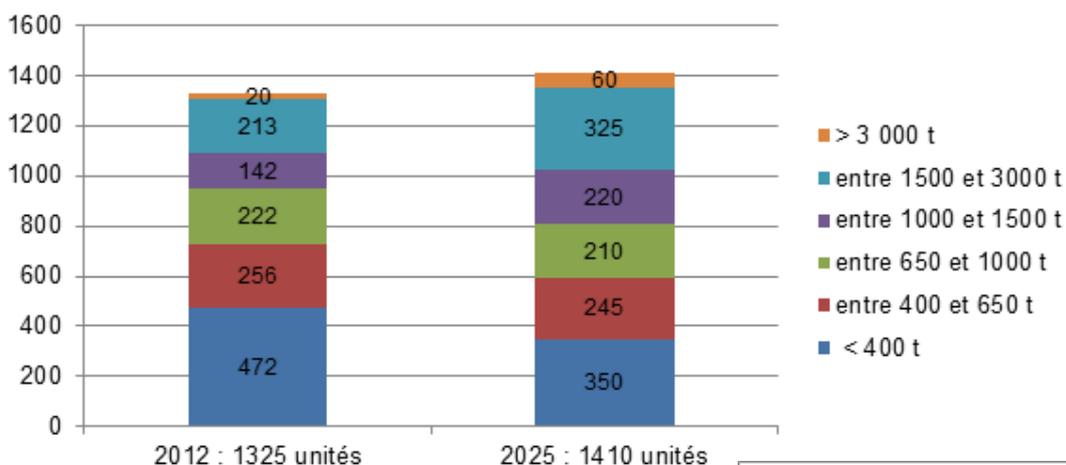
## Tonnage moyen de port en Lourd par unité (en France)



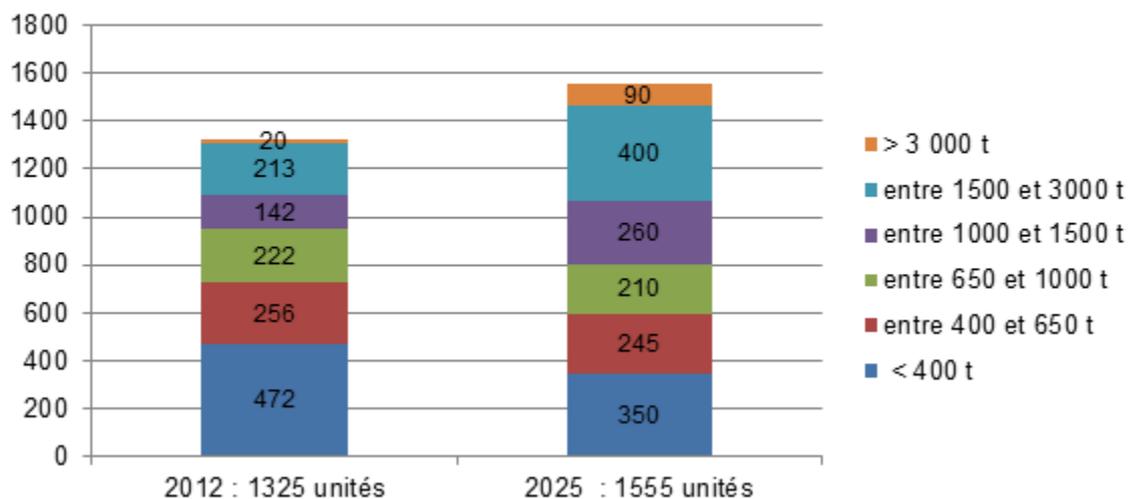
*On constate une augmentation du tonnage moyen emporté par unité*

# Evolution 2012 – 2025 de la flotte Française

**Evolution prévisionnelle de la structure de la flotte fluviale française sans rupture de tendance**



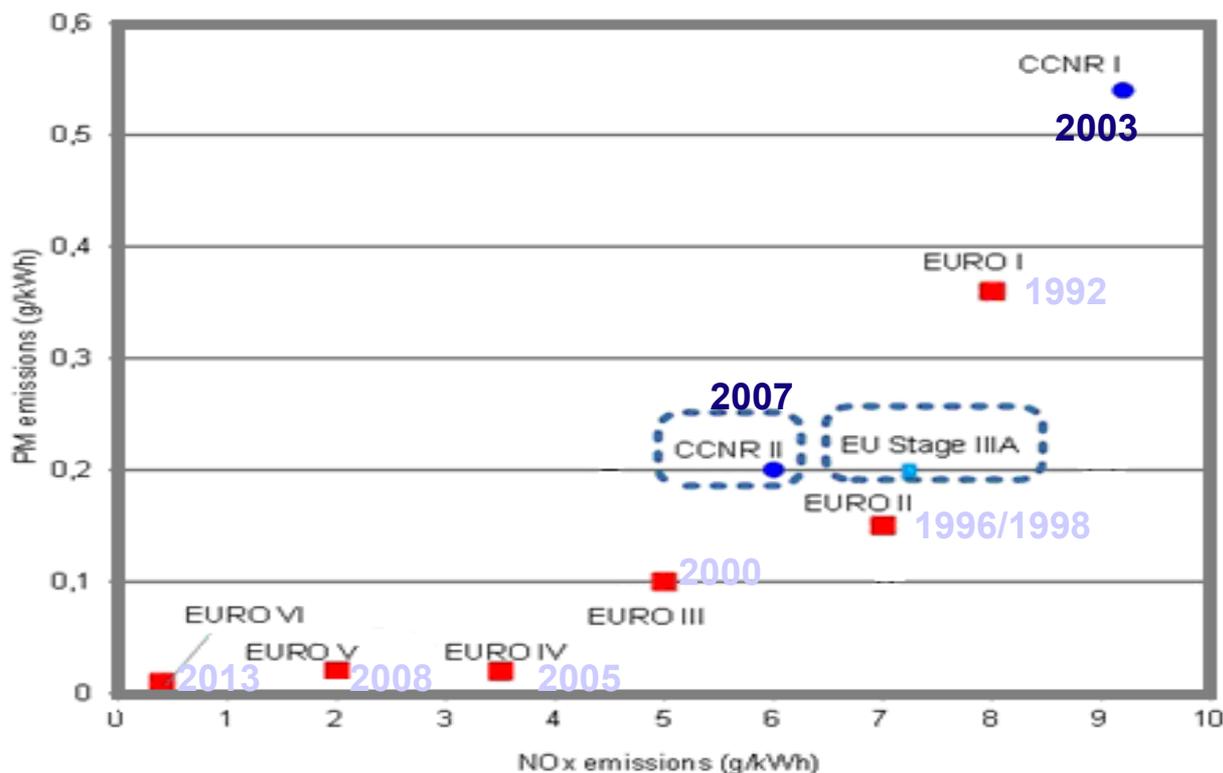
**Evolution prévisionnelle de la structure de la flotte fluviale française en 2025 avec rupture de tendance (SNE)**



# Perspectives d'évolution de la flotte et innovation

- Présentation de la flotte : capacité, effectifs, évolution
- **Dépollution des moteurs**
- Utilisation du GNL
- Innovation d'hydrodynamique et de propulsion

# Dépollution des moteurs diesel et évolution



En Europe, la dépollution des moteurs fluviaux suit les recommandations CCNR II.

La recommandation CCNR III sera probablement proche de EURO V

Depuis 2011 le carburant est dé-soufré

## Dispositifs anti pollution inspirés de la route



**Exemple d'un bateau fluvial avec  
filtre à particules, SCR, et  
injection d'urée**

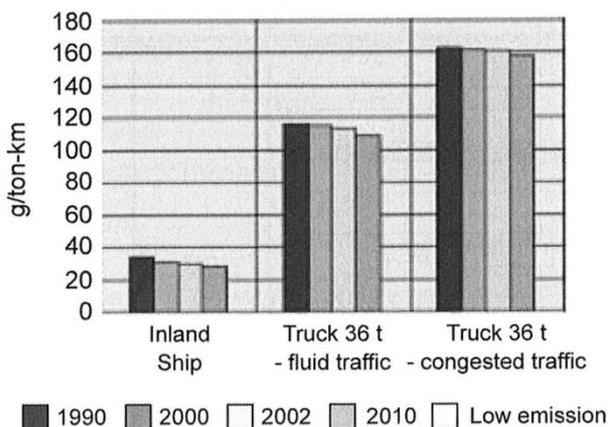
**Tanker fluvial 70mx11,40x3m – moteur 880 kW –  
1200 CV – chargement 1380 T ou 1500 m3  
d'hydrocarbures**



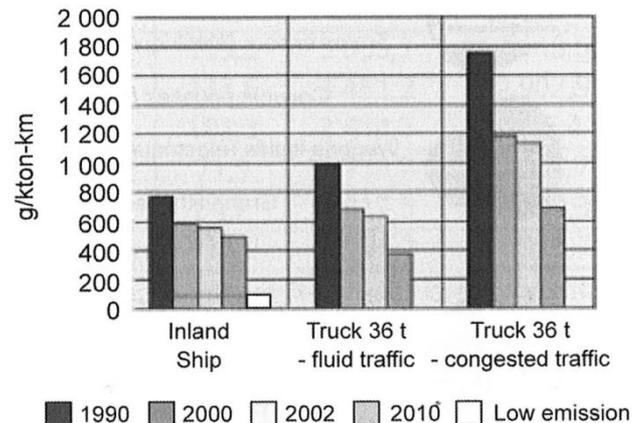
**Images : « The  
cleanest ship  
project » Final  
Report »,  
fev.2009**

# Effet des dispositifs anti-pollution inspirés de la route

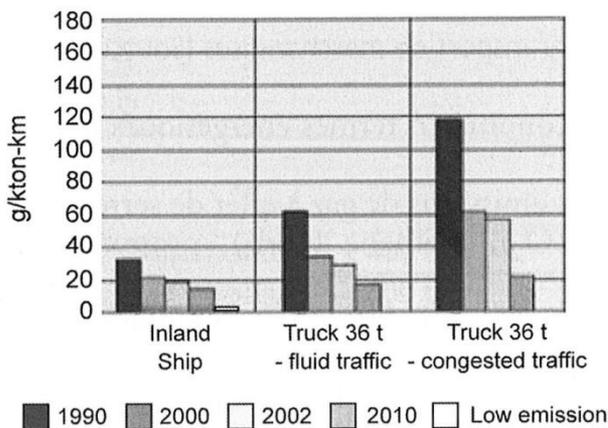
CO<sub>2</sub> per ton-km



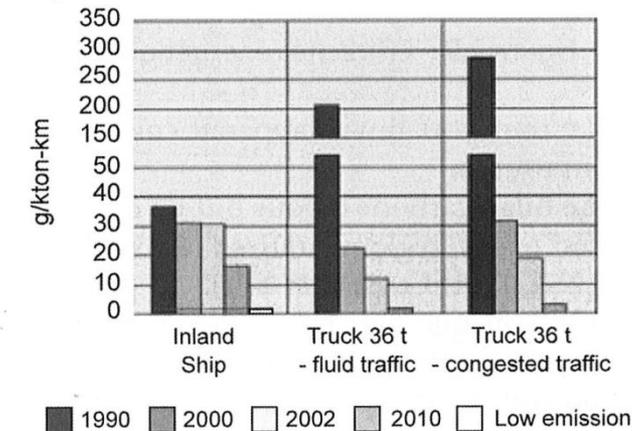
NO<sub>x</sub> per 1 000 ton-km : impact of SCR converter



PM per 1 000 ton-km : impact of PM trap



SO<sub>2</sub> per 1 000 ton-km : impact of low sulphur fuel



... ces solutions sont efficaces (exemple USA)

Source : « Transport et logistique fluviaux » Marie Madeleine Damien, INE, 2009

## Laveurs de gaz / Bacs de barbotages



*Image silencair*

Solution simple et efficace adoptée depuis 50 ans dans les engins TP en ouvrages souterrains

Elimine pratiquement :

- Les poussières et microparticules (PM)  
*(production d'un résidu boueux traitable)*
- Les hydrocarbures imbrulés (HC)  
*(production d'un résidu traitable)*
- L'essentiel du NO<sub>2</sub> empêché de se former  
*(mais pas le NO)*

(de 15 à 2200 CV)

R et D à investir pour développer des systèmes à circuit à rejet d'eau propre

on peut espérer 20-30 €/kW contre 130 €/kW pour un post-traitement FAP+SCR

(réduit si combiné avec Kit Hydrogène ?)

# Perspectives d'évolution de la flotte et innovation

- Présentation de la flotte : capacité, effectifs, évolution
- Dépollution des moteurs
- **Utilisation du GNL**
- Innovation d'hydrodynamique et de propulsion

# La tendance de fond du GNL

Dans le domaine maritime, pour des raisons de pollution, mais aussi de disponibilité et prix du GNL par opposition aux carburants liquides, on va :

- **Soit passer au GNL** (et notamment les bateaux neufs) en utilisant des réservoirs spécifiques (soit grands navires , soit pouvant embarquer de grandes citernes cylindriques) et des moteurs spéciaux (diésel « dual Fuel », moteurs à explosion, turbines à gaz), ce **qui élimine les poussières et une partie des Nox, ainsi que les composés soufrés**
- **Soit utiliser des « scrubbers »** (usines de dépollution embarquées), dans les cas où ils continueraient à utiliser du fuel lourd soufré
- Le fluvial passera par des contraintes similaires : **dépollution des diésel+FAP+SCR, ou passage au GNL+Dual Fuel (ou GNL+moteur à explosion ou GNL+Réformeur => H2+PAC)**, mais les solutions techniques de la mer ne sont pas toujours adaptables telles qu'elles pour des raisons d'échelle sur les petits bateaux.
- Le transport routier explore aussi la voie **GNL + moteurs à explosion** même si ses moteurs sont désormais bien mieux dépollués (**diésels+FAP+SCR**).

# Difficultés technique et solutions

- ***GNL : liquide diphasique à -160 oC - 130 oC à 0 –10 bars avec évaporat 0,15% à 0,5%/jour à gérer, volume double du Gazole à énergie identique***
- ***Stock compact de GNL : uniquement en citerne « type C » sous pression. Réservé aux grands bateaux avec citerne sur le pont, et porte conteneurs (avec conteneur-citernes).  
Très lourd. 3 à 8 fois le volume des réservoirs de Gazole.***
- ***Sinon, grands réservoirs « à membrane » de plus de 200 m<sup>3</sup> -162oC 0 bar, épaisseur de parois 50 cm (bateau gabarit grand Seine – 4000 T et plus, 155mx15,40m), technologie des grand méthaniers.***
- ***Volume 3 à ...8 fois (!) celui d'un reservoir Gazole, isolation et espace perdu autour des citernes compris, à autonomie identique***
- ***Pas encore de solution « standard » pour le vrac en taille « Seine » (du Rhénan au Freycinet), solutions au cas par cas avec logement reconstruit autour ou au dessus de la citerne***

# Le GNL sur les bateaux fluviaux

- L'infrastructure GNL est au stade industriel, et nécessite simplement des études économiques.
- La motorisation (dual fuel et allumage commandé, voire hydrogène) est au stade développement ; Le budget d'ingénierie est assez limité pour l'adaptation des moteurs et des périphériques
- Le stockage à bord pour les bateaux citerne, les grand bateaux (>135 m x14,40m), les grand porte conteneurs (>=135m), les grand pousseurs danubiens (>=2000 kW) suivra les techniques maritimes
- **Le reste de la flotte (vrac <= 135mx11,40m, porte conteneurs en dessous d'une certaine taille à déterminer nécessite des investissement soit en R et D, soit en ingénierie, pour reconfigurer l'organisation de l'espace à bord.**
- **Espoir d'apparition de réservoir à membrane à paroi minces on pourrait envisager des réservoirs légers de forme parallélépipédique (taille conteneur) ou épousant une tranche complète de coque de faible longueur, p.ex. 1 m – (Mais reste le sujet des appareils annexes à étudier)**

# Moyens de transfert (exemples slide GTT)



- STS
- Camion/Navire
- Port/navire

## *Systeme de transfert*



# Conversion au GNL à l'image du maritime et de la route



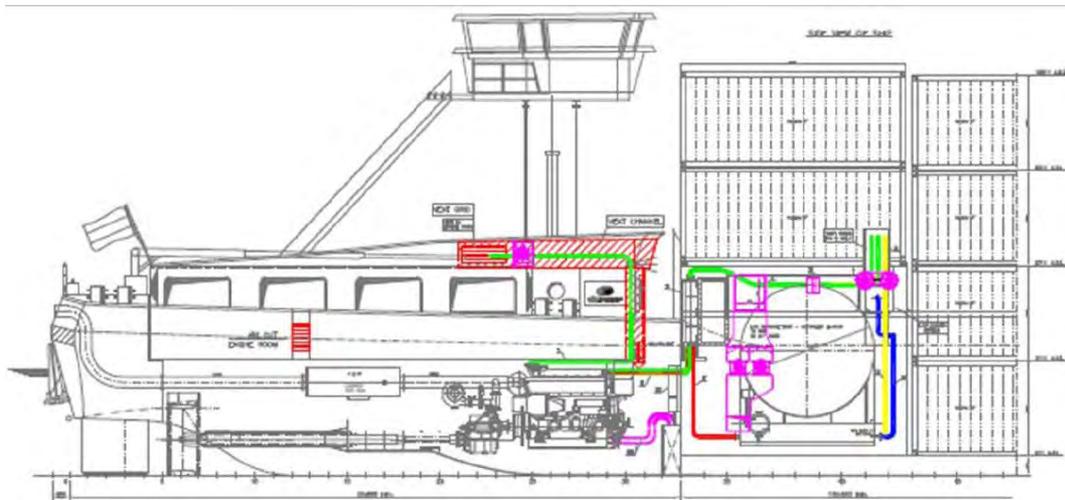
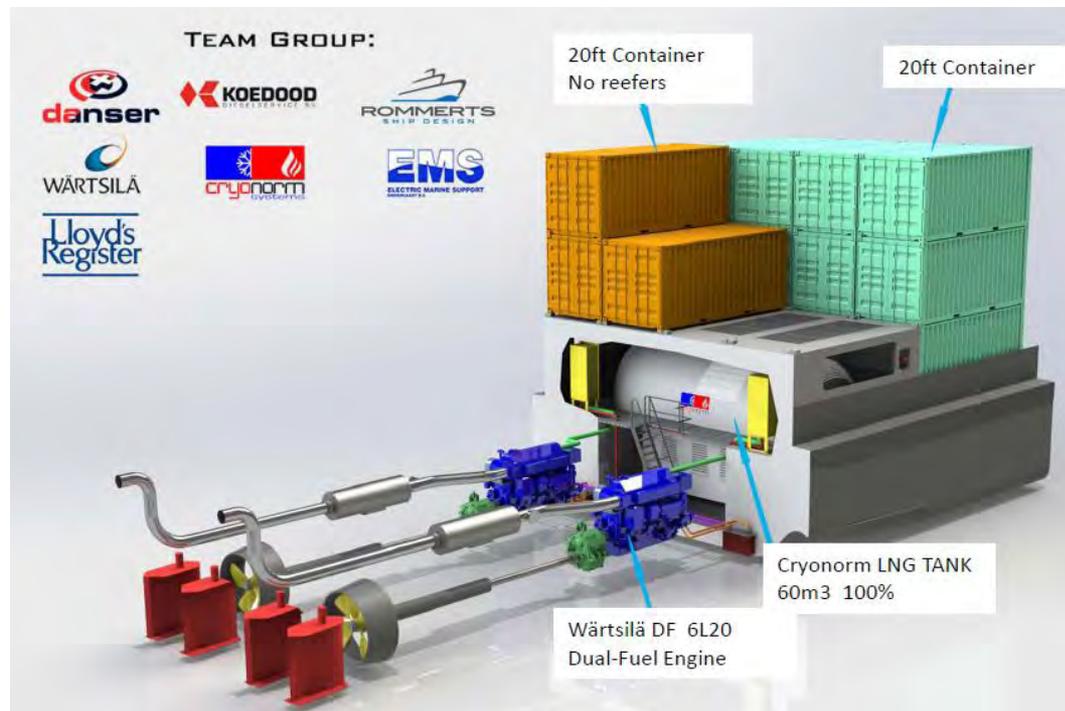
« *MTS Argonon* » (Hollande) : citerne cryogénisée sur le pont, moteurs Caterpillar 3512 DF (1200 CV environ) a alimentation Dual Fuel.

L'autonomie est suffisante pour un voyage aller retour de Rotterdam (en Hollande) jusque Bâle (en Suisse).

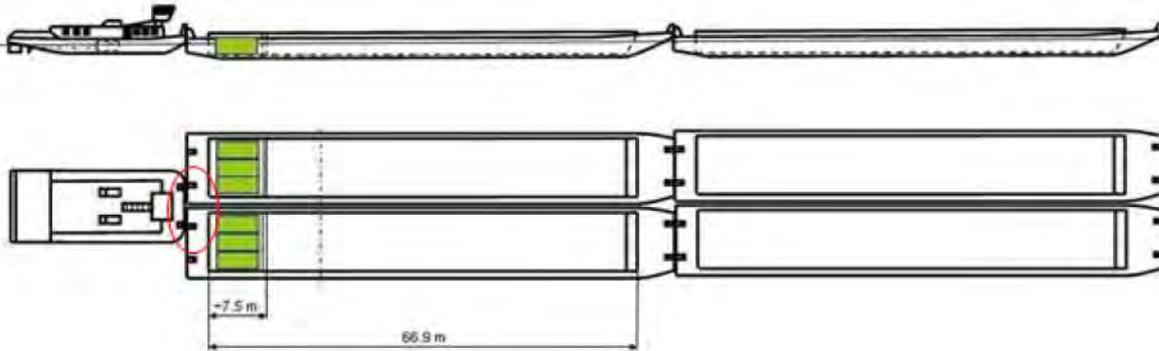
« Eiger –Norwand »  
 Convoi Rhéna 348 EVP – 5300 T  
 (90m+87m) x 11,40m x 2,56m  
 2x900 kW construit en 2000

La cuve « Type C » de 60m<sup>3</sup> sous pression de GNL occupe la place de 8 EVP (8x33 m<sup>3</sup>) et une tranche de coque complète

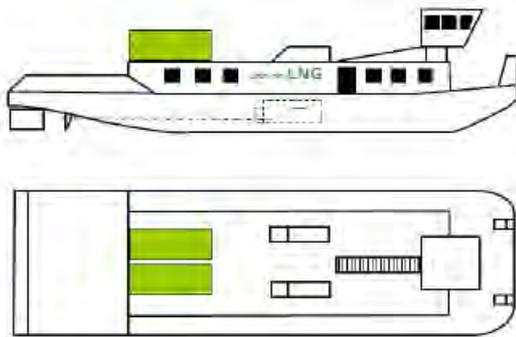
Contre 33m<sup>3</sup> pour l'ancien réservoir GNR/FOD intégré à l'espace perdu du coqeron arrière



# Mise en œuvre sur convoi poussé fluvial (exemples envisagés pour le Danube, convois de 9000 T)

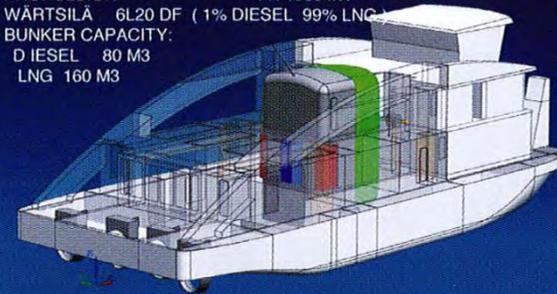


Citernes sur les barges :  
limite la flexibilité et la  
capacité de transport,  
danger éventuel en cas  
de fausse manœuvre  
durant la manutention,  
barges spécifiques



#### MAIN PARTICULARS LNG PUSH BOAT:

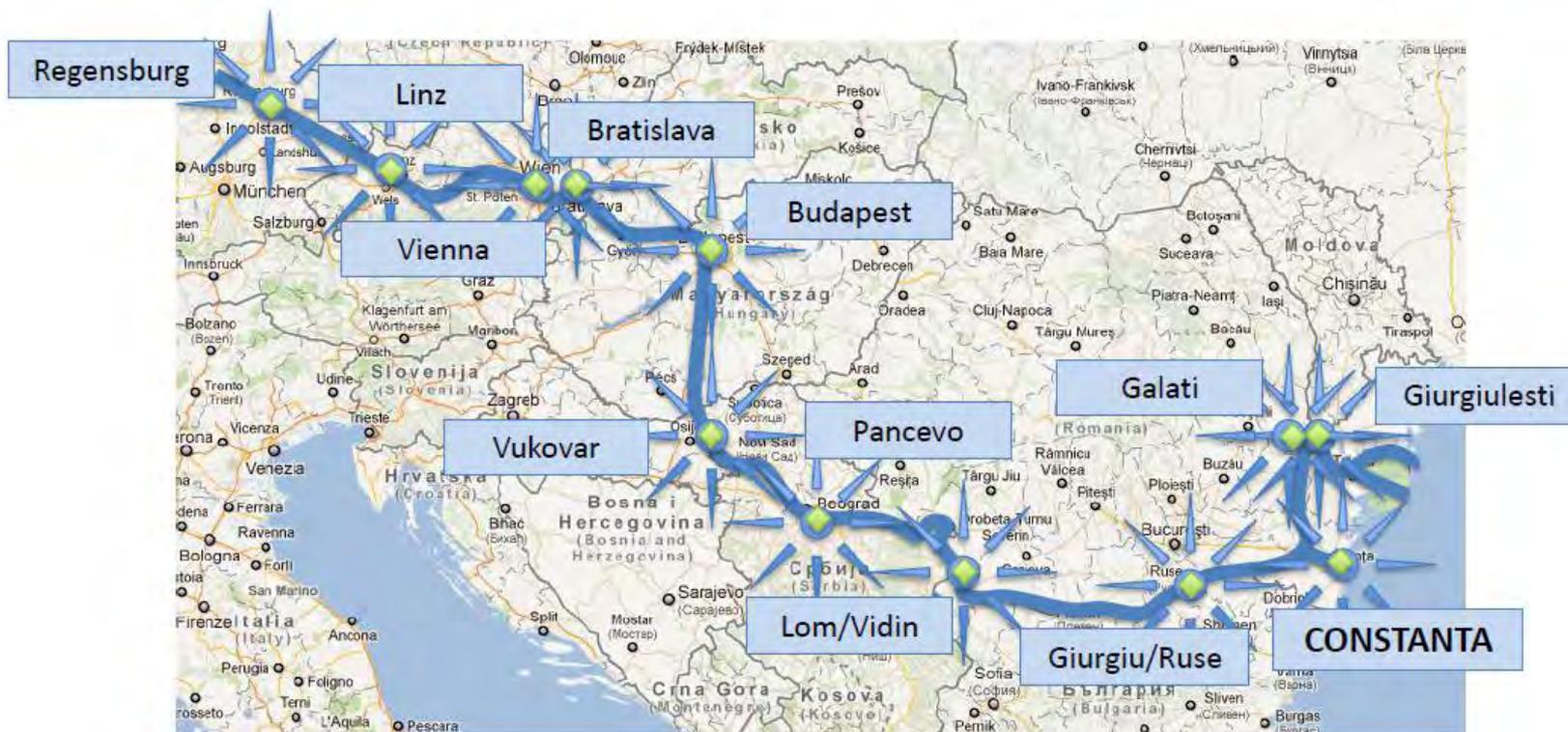
- LENGTH: 40 M
- BEAM 18 M
- DRAUGHT (WITH 30% CONSUMABLES) 1,60 M
- PROPULSION 4 X 1060 kW
- WÄRTSILÄ 6L20 DF ( 1% DIESEL 99% LNG )
- BUNKER CAPACITY:
- D IESEL 80 M3
- LNG 160 M3



Citerne sur pousseur  
ou intégrée pour les  
constructions neuves  
conçues « autour »  
de leur citerne GNL

# Projet de passage du Danube au GNL

## Danube Ports for LNG distribution to the hinterland



**Danube = GREEN „BLUE GAS CORRIDOR“**

# Perspectives d'évolution de la flotte et innovation

- Présentation de la flotte : capacité, effectifs, évolution
- Dépollution des moteurs
- Utilisation du GNL
- **Innovation d'hydrodynamique et de propulsion**

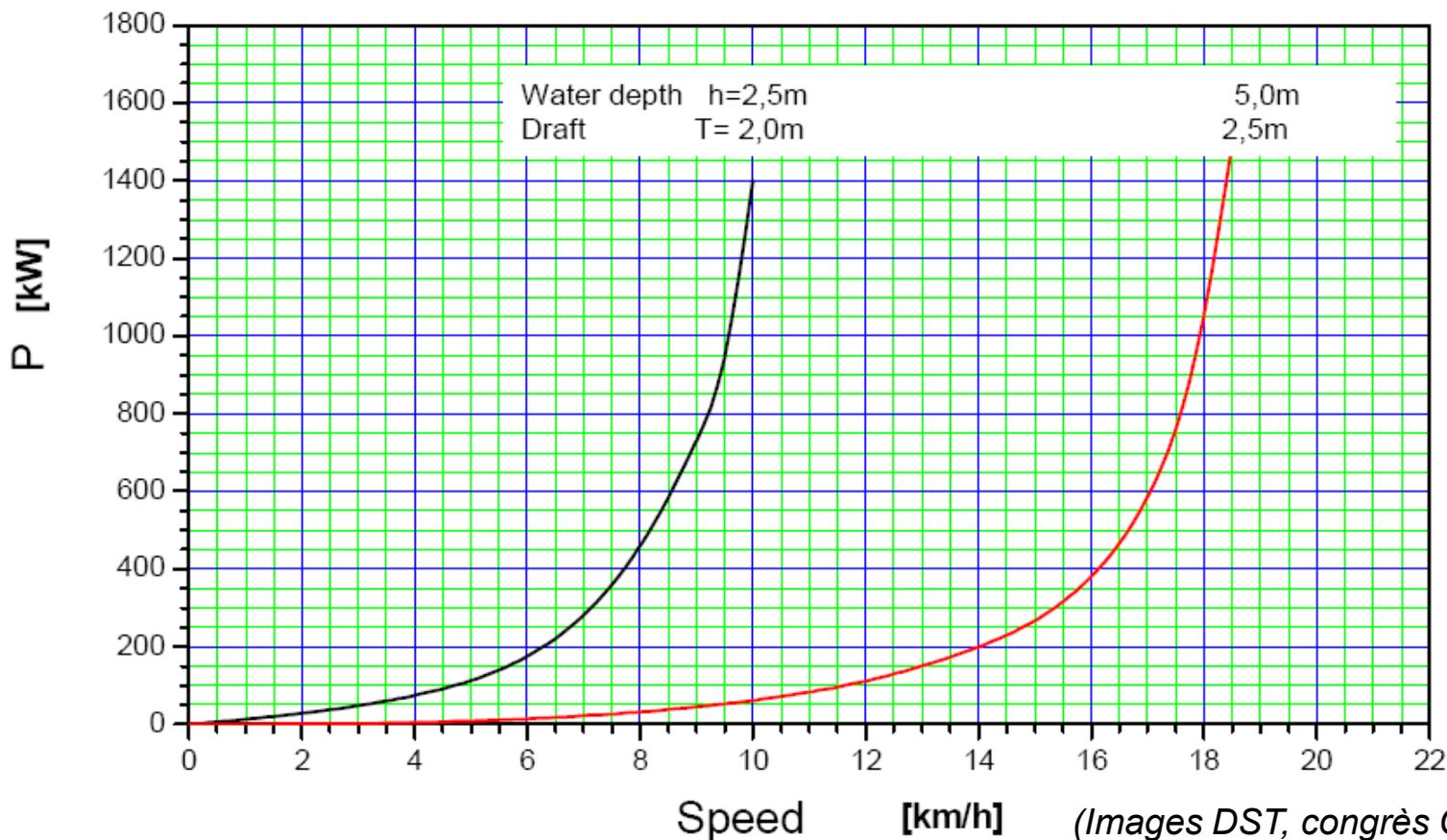
# Perspectives d'évolution de la flotte et innovation

- Présentation de la flotte : capacité, effectifs, évolution
- Dépollution des moteurs
- Utilisation du GNL
- **Innovation d'hydrodynamique et de propulsion**

# Le bateau fluvial, un bateau très spécifique

- Navigation en milieu confiné
- à résistance à l'avancement variable,
- avec une large plage de points de fonctionnement : de forts appels de puissance (85%) 5%-30% du temps, mais une moyenne annuelle faible (40-60%) en terme de puissance installée utilisée,
- des temps d'attente et de manœuvre significatifs 10 à 50% du temps,
- *(Maritime : milieu infini, résistance à l'avancement constante, un seul point de fonctionnement 99% du temps et 90% de la puissance moteur)*
- **=> une motorisation dimensionnée les extrêmes, peu efficace en régime normal**
- **=> des analogies avec le véhicule hybride adapté au cycle urbain par opposition au véhicule adapté à l'autoroute que serait le navire maritime**

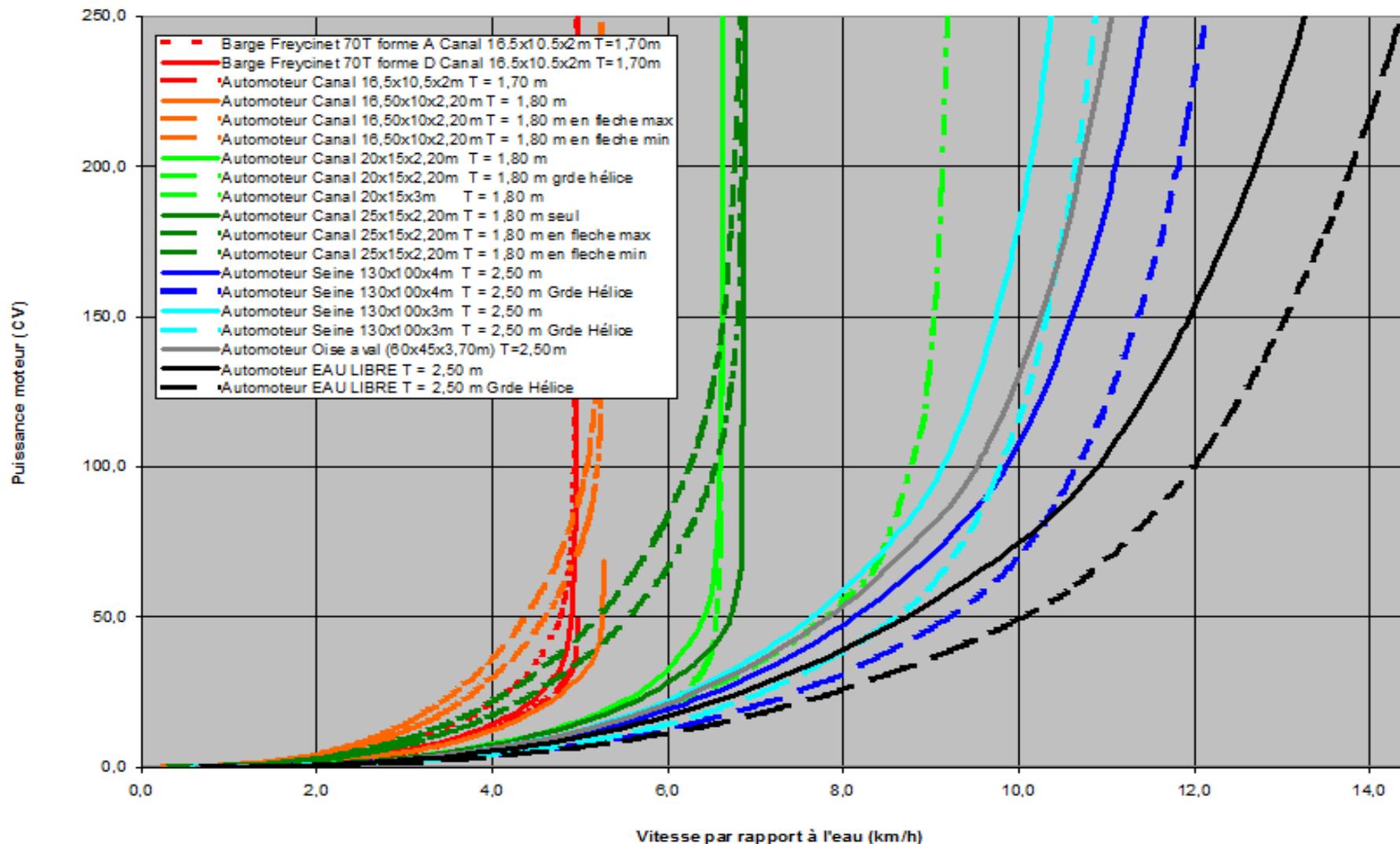
# Résistance à l'avancement VARIABLE avec la section, la profondeur, le courant:



**Pour naviguer à 8 km/h on peut avoir à fournir une puissance utile de... 40 à 450 kW !**

- et à l'inverse, on constate que pour naviguer à vitesse courante (18 km/h sur le Rhin p.ex) sur la section la plus favorable il faut plus de 1000 kw, contre 450 kw seulement sur la section la plus restreinte à la vitesse économique qui y serait de 8 km/h -

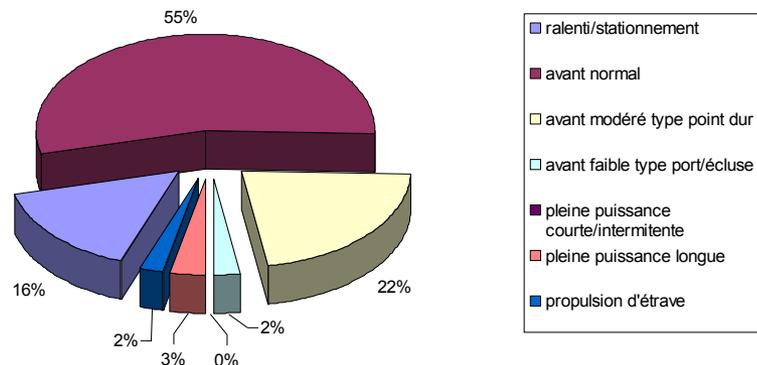
# Puissance moteur nécessaire : exemple d'un Freycinet en fonction de la voie d'eau, de la charge, du mode de navigation (seul, convoi)



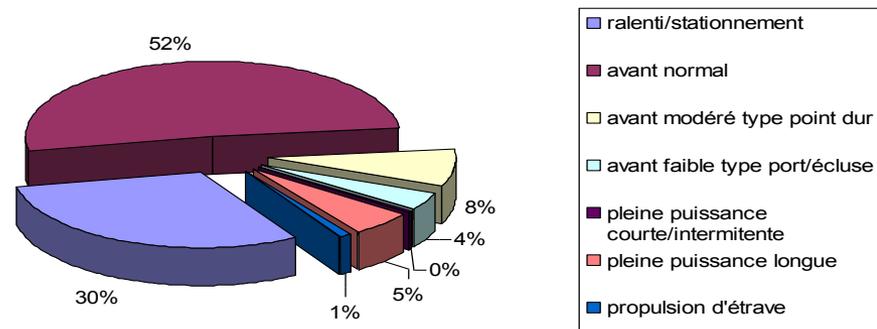
*Freycinet*  $L_{wl} = 38,5m$ ,  $B = 5,05 m$ ,  $T = 1,70 - 2,50 m$ , seul ou convoi

# Exemples de cycles d'utilisation

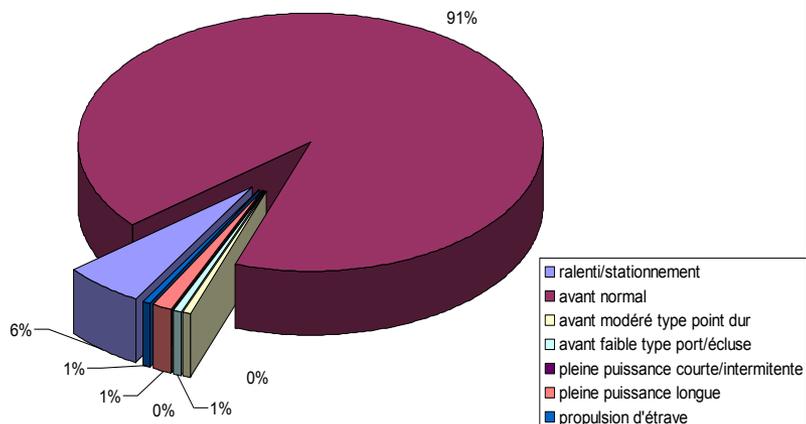
Allures sur la section Bauvin-Arleux, bateau Va



Allures sur le canal du Nord, gabarit canal du Nord



Allures sur un trajet de Radicatel à Genevilliers, convoi Vb



## Exemples de bilans de fonctionnement :

- toute la plage de puissance est toujours utilisée
- % du temps significatif consacré aux attentes en écluses et à quai, et aux manœuvres en général

(exemples sur la Seine et le Nord, avec peu ou pas de courant, à la différence du Rhin à sections plus importantes mais où il faut lutter contre le courant avec des vitesses bien plus élevées par rapport à l'eau)

# Exemples d'analyse de cycles d'utilisation

|   |             |      | En manœuvres        |                       |                          |                         |                         | En route               |              |                      |                      |                      | Total (et % appel moyen de puissance) |                      |
|---|-------------|------|---------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
|   |             |      | propulsion d'étrave | ralenti/stationnement | avant faible port/écluse | pleine puissance courte | pleine puissance longue | avant modéré point dur | avant normal | avant modéré avalant | avant normal avalant | avant modéré montant |                                       | avant normal montant |
| %Puissance moteur   |             |      | 45%                 | 4%                    | 10%                      | 85%                     | 85%                     | 33%                    | 50%          | 33%                  | 50%                  | 85%                  | 100%                                  |                      |
| 1 Canal à Grand Gabarit (Grd Rhéna 135 m 3000 T)  | temps       | %    | 2%                  | 24%                   | 2%                       | 0%                      | 3%                      | 2%                     | 68%          |                      |                      |                      |                                       | 39%                  |
| 106,0 km  | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 | 0,0                   | 0,5                      | 0,2                     | 0,4                     | 1,4                    | 2,4          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 | 0,0                   | 1,8                      | 0,7                     | 1,4                     | 5,0                    | 8,5          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 960                 | 15 271                | 1 448                    | 96                      | 1 584                   | 1 080                  | 42 689       | (*)                  |                      |                      |                                       | 63 128               |
| 2 Bauvin-Arleux (Grand Rhéna 110m 2500 T)   | temps       | %    | 2%                  | 16%                   | 2%                       | 0%                      | 3%                      | 22%                    | 55%          |                      |                      |                      |                                       | 39%                  |
| 49,0 km   | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 | 0,0                   | 0,5                      | 0,2                     | 0,4                     | 1,4                    | 2,4          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 | 0,0                   | 1,8                      | 0,7                     | 1,4                     | 5,0                    | 8,5          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 660                 | 4 565                 | 678                      | 66                      | 936                     | 6 408                  | 15 967       | (*)                  |                      |                      |                                       | 29 280               |
| 3 Radicatel Gennevilliers (Convoi 185m 4400T)   | temps       | %    | 1%                  | 6%                    | 1%                       | 0%                      | 1%                      | 0%                     | 91%          |                      |                      |                      |                                       | 48%                  |
| 301,0 km  | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 | 0,0                   | 0,5                      | 0,2                     | 0,4                     | 1,4                    | 3,1          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 | 0,0                   | 1,8                      | 0,7                     | 1,4                     | 5,0                    | 11,0         |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 720                 | 5 916                 | 720                      | 72                      | 1 290                   | 450                    | 97 161       |                      |                      |                      |                                       | 106 329              |
| 4 Canal du Nord Trafic peu dense (55m - 700 T)  | temps       | %    | 1%                  | 30%                   | 4%                       | 0%                      | 5%                      | 8%                     | 51%          |                      |                      |                      |                                       | 35%                  |
| 95,0 km   | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 | 0,0                   | 0,5                      | 0,2                     | 0,4                     | 0,8                    | 2,1          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 | 0,0                   | 1,8                      | 0,7                     | 1,4                     | 3,0                    | 7,5          |                      |                      |                      |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 800                 | 23 093                | 3 000                    | 240                     | 4 062                   | 6 000                  | 38 736       |                      |                      |                      |                                       | 75 931               |
| 5 "Magdebourg-Amsterdam" (RHK 85 m 1350 T)<br><i>(infrastructures et sections très variées)</i> | temps       | %    | 1%                  |                       | 9%                       |                         |                         |                        | 50%          | 10%                  | 30%                  |                      |                                       | 48%                  |
| 650,0 km  | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 |                       | 0,5                      |                         |                         |                        | 2,8          | 3,9                  | 4,4                  |                      |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 |                       | 1,8                      |                         |                         |                        | 10,0         | 14,0                 | 16,0                 |                      |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 5 114               |                       | 32 038                   |                         |                         |                        | 185760       | 37152                | 111456               |                      |                                       | 371 520              |
| 6 "Rhin"  | temps       | %    | 1%                  |                       | 9%                       |                         |                         |                        |              | 50%                  | 10%                  | 30%                  |                                       | 65%                  |
| 100,0 km  | vitesse/eau | m/s  | 0,0                 |                       | 0,5                      |                         |                         |                        |              | 3,6                  | 4,4                  | 5,0                  |                                       |                      |
|   | vitesse/eau | km/h | 0,0                 |                       | 1,8                      |                         |                         |                        |              | 13,0                 | 16,0                 | 18,0                 |                                       |                      |
|   | durées      | s    | 244                 |                       | 3 356                    |                         |                         |                        |              | 18000                | 3600                 | 10800                |                                       | 36 000               |

## Exemples d'ébauches préliminaires de cycles d'utilisation et de points de fonctionnement :

- **Toute la plage de puissance est utilisée**
- **Mais l'appel moyen annuel de la puissance installée totale est faible : 40% à 65%.**
- **Attentes en écluses et à quai, manœuvres fréquentes et significatives en proportion de temps passé**

(\*) vitesse prise égale à 85% de la vitesse maximum

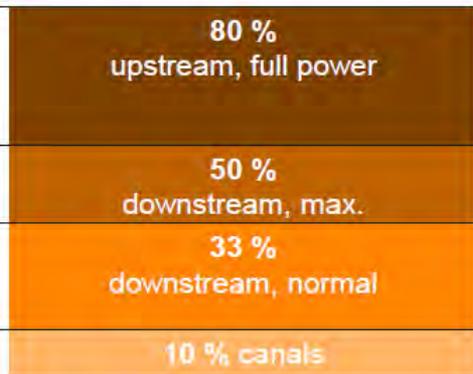
# Des composants mal adaptés aux 200-2000 kW (1)

- Moteurs diésel issus des grands navires de 15000 CV et plus – rendements max en 250-3000 Cv limités à environ 35% pour les vieux moteurs, et 39%-41% pour les moteurs à injection électronique
- Fort surdimensionnement (pour suivre la courbe de l'hélice et obtenir le couple lors des manœuvres), le taux de marche moyen étant proche de 50% de la puissance installée, voire moins encore.

Design criteria for the propulsion system

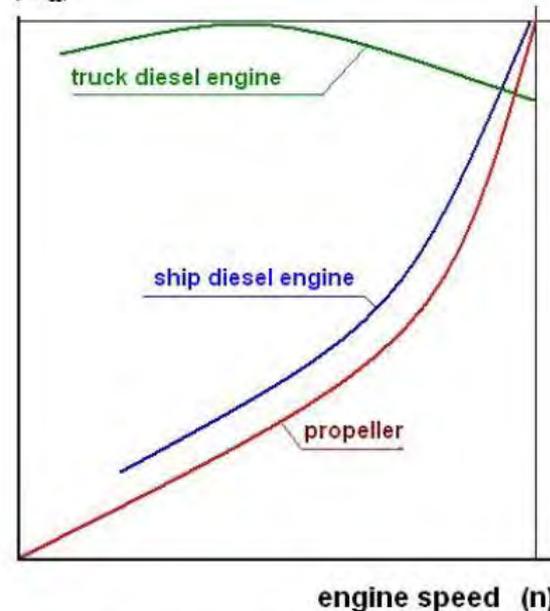


100 %  
80 %  
50 %  
33 %  
10 %



Use of available power

torque ( $M_d$ )

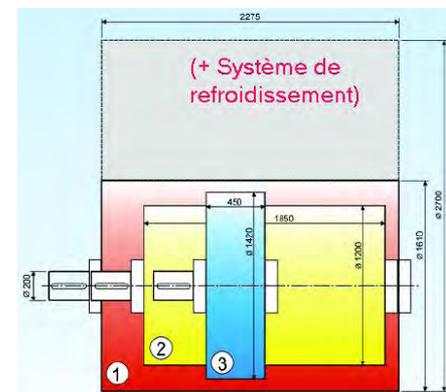
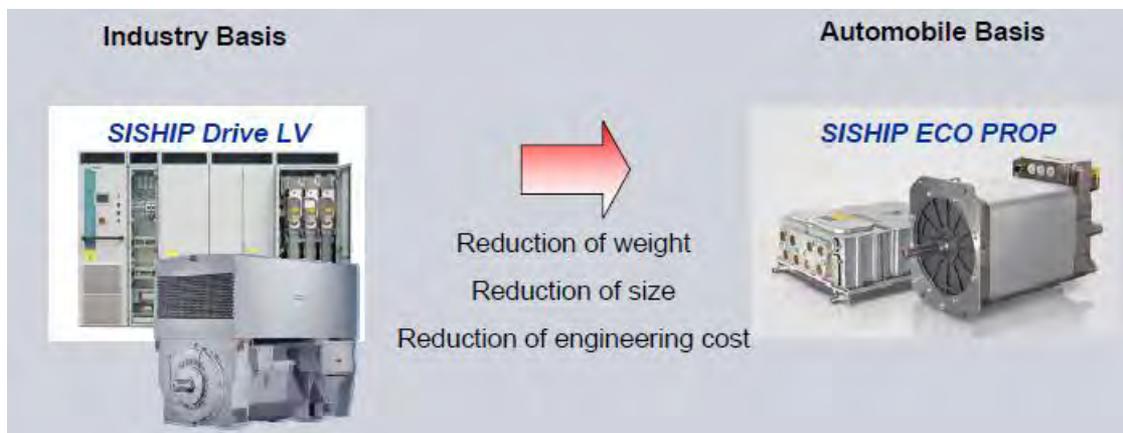


characteristic diagram of engine and propeller

(images DST)

# Des composants issus du maritime (2)

- Moteurs électriques maritimes issus des grand navires (10 MW-100 MW) et donc de l'industrie, peu efficaces et peu compacts dans les puissances 200-2000 kW
- De grosses armoires de commande la ou on pourrait avoir des boîtiers de la taille d'un attaché case, de très gros moteurs encombrants et nécessitant des réducteurs.



- (1) 970 kW, 97%, 4 pôles, 17 Tonnes
- (2) 1125 kW, 92%, 8 pôles, 8 Tonnes
- (3) 800 kW, 98%, 62 pôles, 4 Tonnes

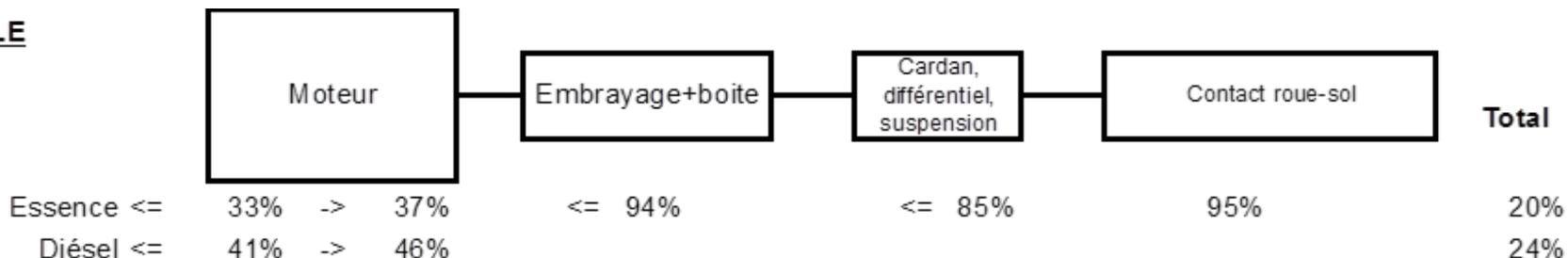
(images Siemens et Torque Marine)

# Les technologies envisagées

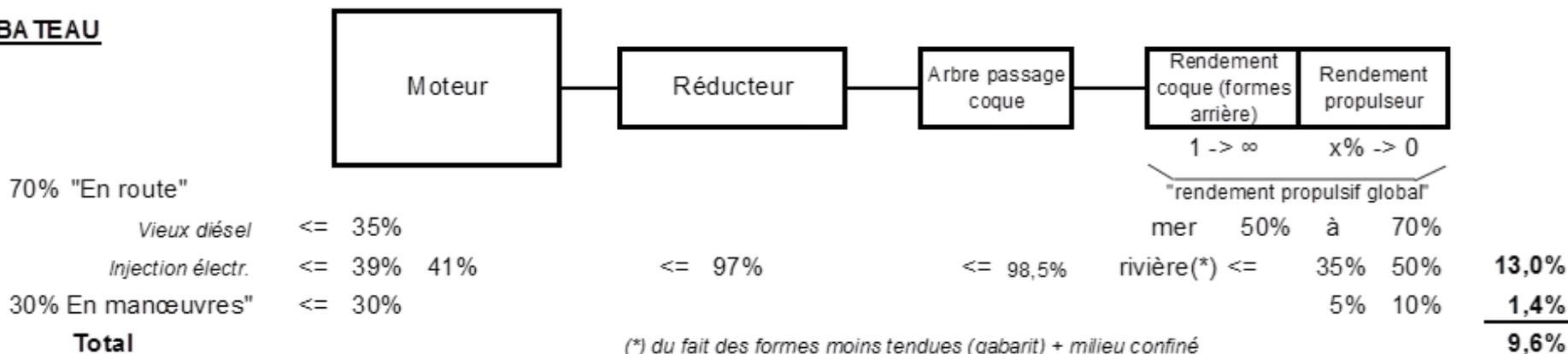
- Chaîne de propulsion performante
- Carburants du futur
- Motorisation
- Eco-pilote intelligent
- Programme d'hydrodynamique en milieu confiné
- Moyens de manutention embarqués, optimisation de la cale

# Comparaison bateau- Automobile : chaîne de rendements simplifiée

## AUTOMOBILE

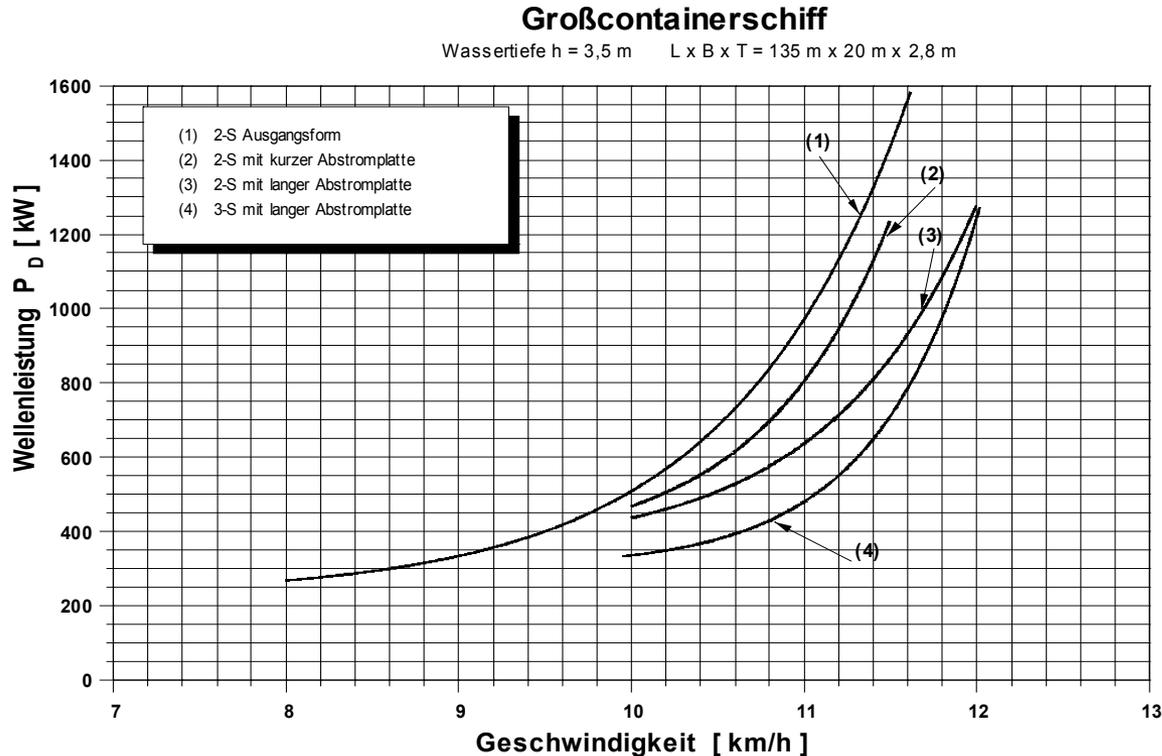


## BA TEAU



- Le rendement en manœuvres est particulièrement faible pour un bateau, et dans la mesure ou beaucoup de temps est passé en manœuvres, il y a une forte marge de progression possible...comme pour l'hybride automobile en ville
- Depuis longtemps la recherche est focalisée sur l'hydrodynamique (résistance l'avancement en mer....en rivière il faudrait regarder le propulseur et les formes arrière), on considère que la chaîne de propulsion est immuable (trop chère à changer), la chaîne hybride commence à intéresser (à travers le diesel-électrique).

# Gain sur le rendement de propulsion



- **Le rendement propulsif global** est le rapport de la puissance de halage sur la puissance moteur
- Les formes arrière du bateau peuvent le faire varier : ici la puissance moteur varie de 650 kW to 1370 kW at 11,5 km/h (du SIMPLE AU DOUBLE) selon les formes arrière (Image DST/Duisbourg)

Le rendement de propulsion « en route » d'un bateau fluvial est de 20 à 35% sans tuyère, de 45 à 55% avec tuyère (1-5% en manoeuvres), et atteint 60% et plus en maritime :

- deux hélices au lieu d'une l'améliore de 10 à 20% (meilleure alimentation en eau)
- L'usage de propulseurs sous tuyère (hélices Kaplan + tuyères N19A/ N37) l'améliore de 20 à 30% « en route », et jusqu'à 50% en manoeuvres et dans les très basses vitesses.

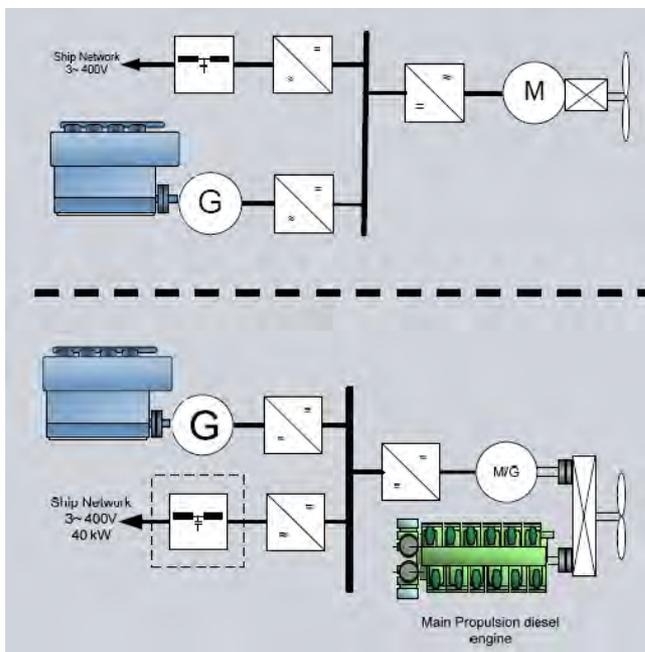
# efficacité de la propulsion plutôt que moindre résistance à l'avancement ?

- Le rendement du bateau fluvial, (et des bateaux de pêche dans le monde selon une étude de la FAO), du réservoir à l'eau, est de 10 à 20% en route, et de quelques % à peine en manœuvres, soit une moyenne de 10%
- **1% gagné sur l'efficacité de la chaîne de propulsion rapporte donc 10% de consommation de carburant en moins (11% de rendement au lieu de 10%)**
- **1% gagné sur la résistance à l'avancement ne rapporte que 1% de consommation en moins**

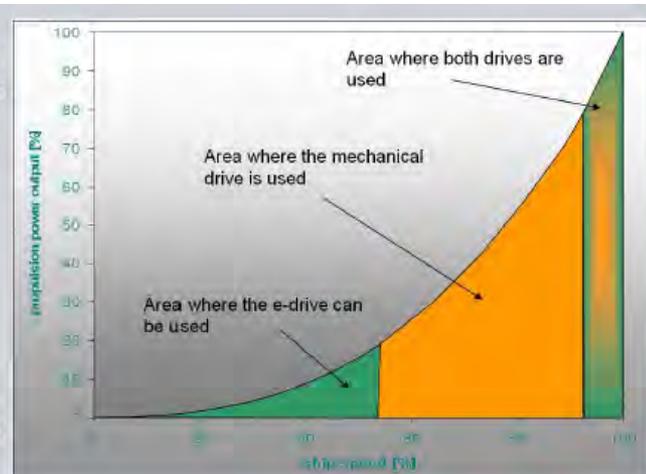
Et :

- Le domaine de l'hydrodynamique est de mieux en mieux exploré en ce qui concerne l'efficacité de la propulsion (rendement des propulseurs et rendement de coque)
- Par contre le domaine de l'efficacité de la chaîne de propulsion est encore assez peu exploré, sans vision « chaîne de propulsion » (il commence à être exploré pour chaque composant séparément) et sans aucune vision « cycle d'utilisation »

# Exemples d'Hybride Série / Hybride Parallèle



- The propulsion power is to satisfy very different operating conditions (e.g. down hill / up hill)
- Big variations in propulsion- and service power demand
- Max. power demands for prop. and service systems are not simultaneous (e.g. loading pumps)
- The max. service power demand does not justify an all electric concept



**applies all to Inland Navigation**

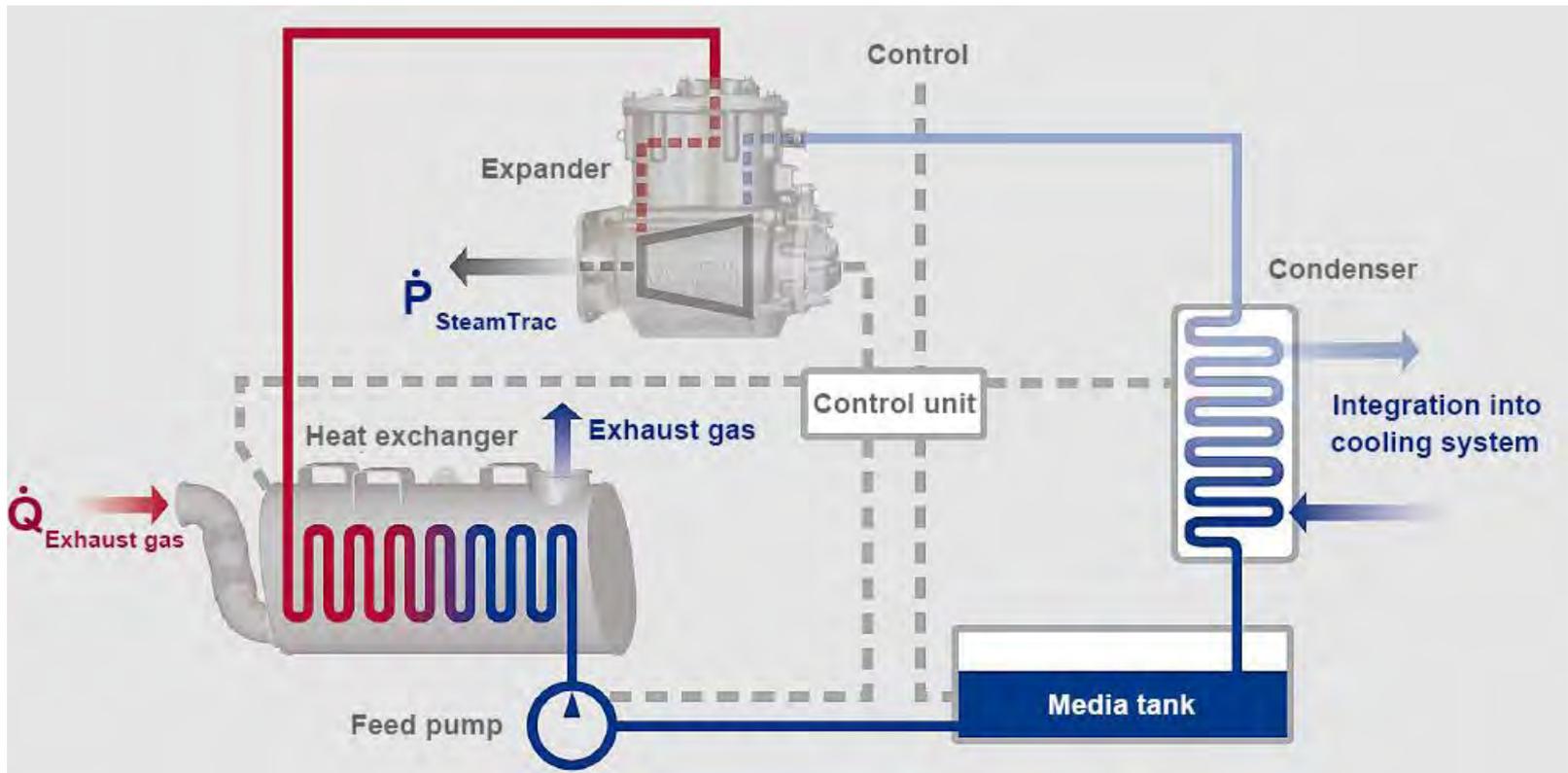
• *en haut : hybride série (cad diesel-électrique+moyen de stockage), le moteur électrique actionne toujours l'hélice*

• *en bas : hybride parallèle, l'hélice est actionnée soit par le moteur électrique, soit par le diesel, soit les deux, selon les cas.*

*le moteur électrique a plus de couple, son usage évite un diesel surdimensionné uniquement pour les extrêmes.*

(Images Siemens, base Platina)

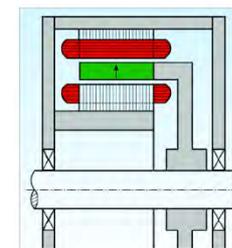
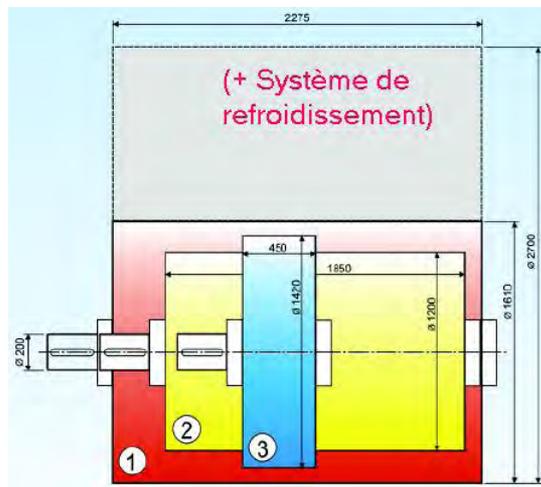
## Exemple de récupération de chaleur sur l'échappement diesel par cycle de Rankine (la chaleur récupérée sert à produire un complément de puissance mécanique qui élèverait le rendement du Diesel de l'ordre de 40% à 43%)



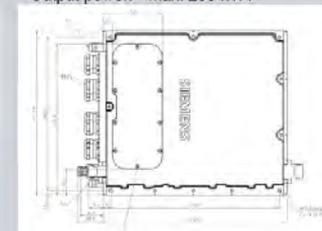
(Images Voight)

# Exemples de technologies électriques compactes, haut rendement

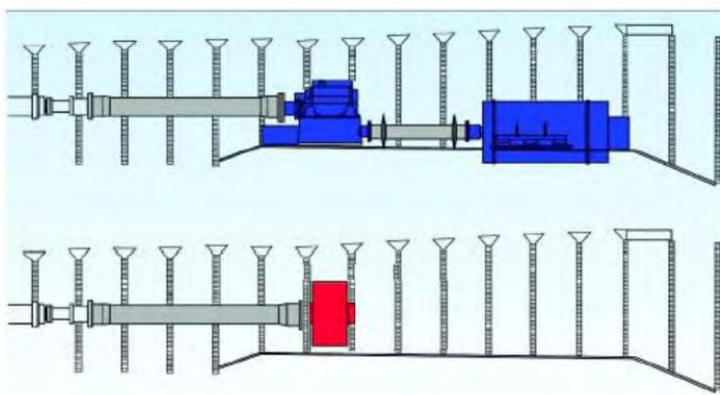
|                | 1              | 2               | 3              |
|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Puissance      | 970 <u>kWe</u> | 1145 <u>kWe</u> | 800 <u>kWe</u> |
| Pertes         | 29 kW          | 103 kW          | 16 kW          |
| Rendement      | 97%            | 91%             | 98%            |
| Diamètre       | 1610 mm        | 1200 mm         | 1420 mm        |
| Longueur       | 2275 mm        | 1850 mm         | 900 mm         |
| Poids          | 16,8 T         | 8,5 T           | 4 T            |
| Pôles          | 4              | 8               | 62             |
| Fréquence (Hz) | 8              | 16              | 116,3          |



Dimensions: 495 x 415 x 180mm  
 Weight: 30 kg  
 Output power: max. 250 kVA



## Encombremets comparés de moteurs électriques Synchrones à aimants permanents et asynchrones, avec ou sans réducteurs, exemples de références fluviales



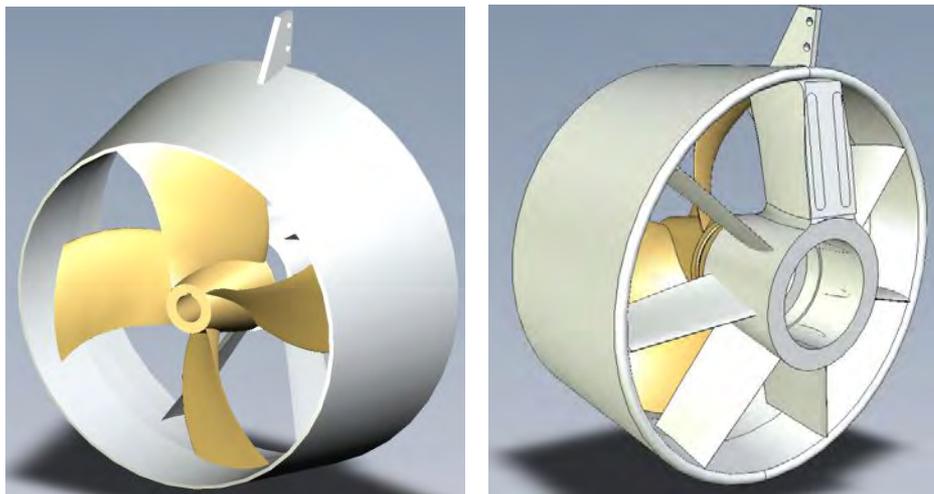
| Navire   | Puissance      | nombre | vitesse rotation | Couple (Nm) |
|--|----------------|--------|------------------|-------------|
| RHK - montage sans réducteur                     | 230 <u>kWe</u> | 2      | 330 tr/min       | 6656 Nm     |
| Navire citerne 110 m projet "green Ship" Team CO | 500 <u>kWe</u> | 2      | 400 tr/min       | 12000 Nm    |
| Porte container 196 EVP propulseurs azimuthaux   | 350 <u>kWe</u> | 3      | 1500 tr/min      | 2228 Nm     |
| Navire 90 m propulseurs azimuthaux               | 800 <u>kWe</u> | 2      | 1200 tr/min      | 6367 Nm     |

(Images Torque Marine et Siemens, Allemagne)

PJ.Pompée - rev.B2 – 05/3/2015

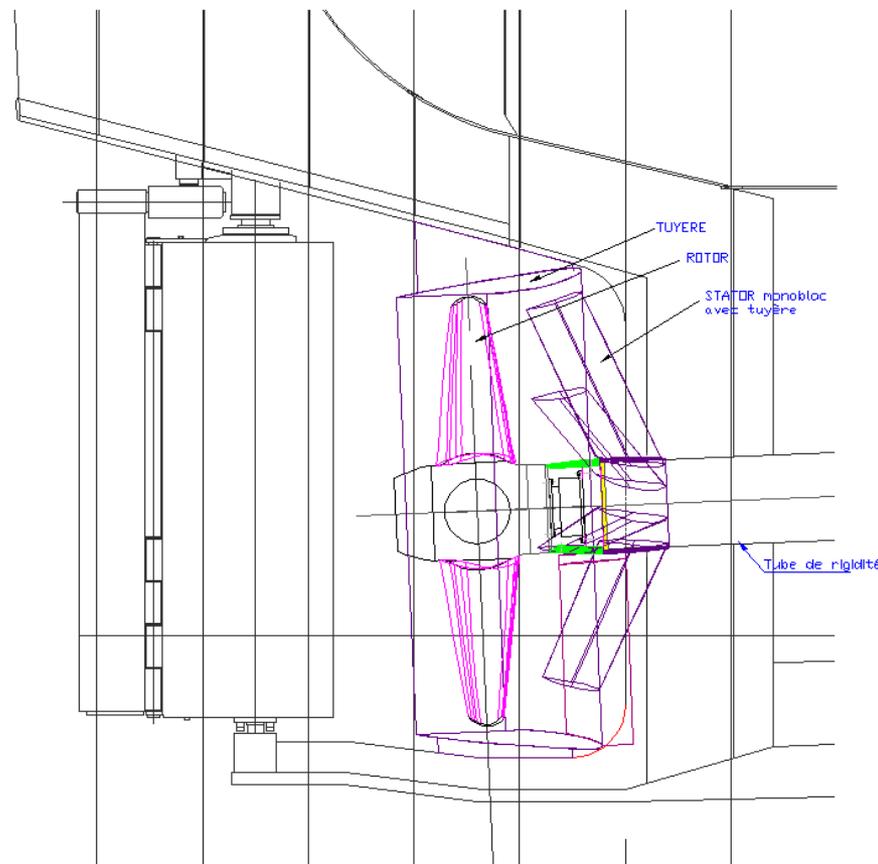
# Exemple de « Pompe Hélice » à rendement propulsif s'approchant d'une hélice contrarotative (images Masson Marine)

*Rendement propulsif  $\eta' = 1,15 \times \eta$*

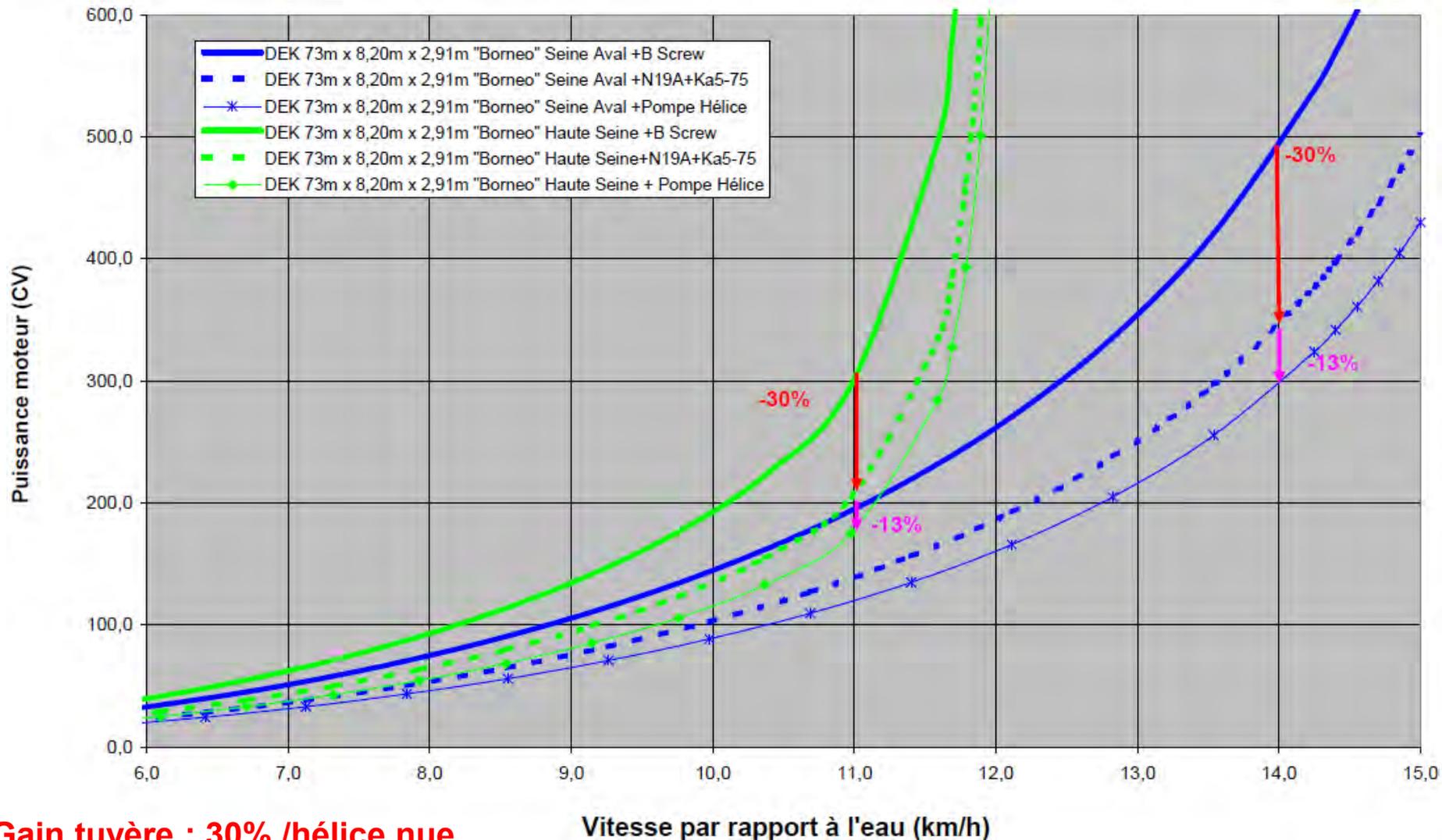


**Le stator apporte un rendement supérieur de 15% au rendement d'une hélice sous tuyère classique, et limite le risque de déchets dans l'hélice.**

**Le rendement propulsif peut atteindre 60% comme en maritime, la vitesse possible est plus élevée, la cavitation et les vibrations sont beaucoup plus faibles**



# Effets du rendement de propulsion : Hélice nue, Hélice sous tuyère, et « Pompe hélice »

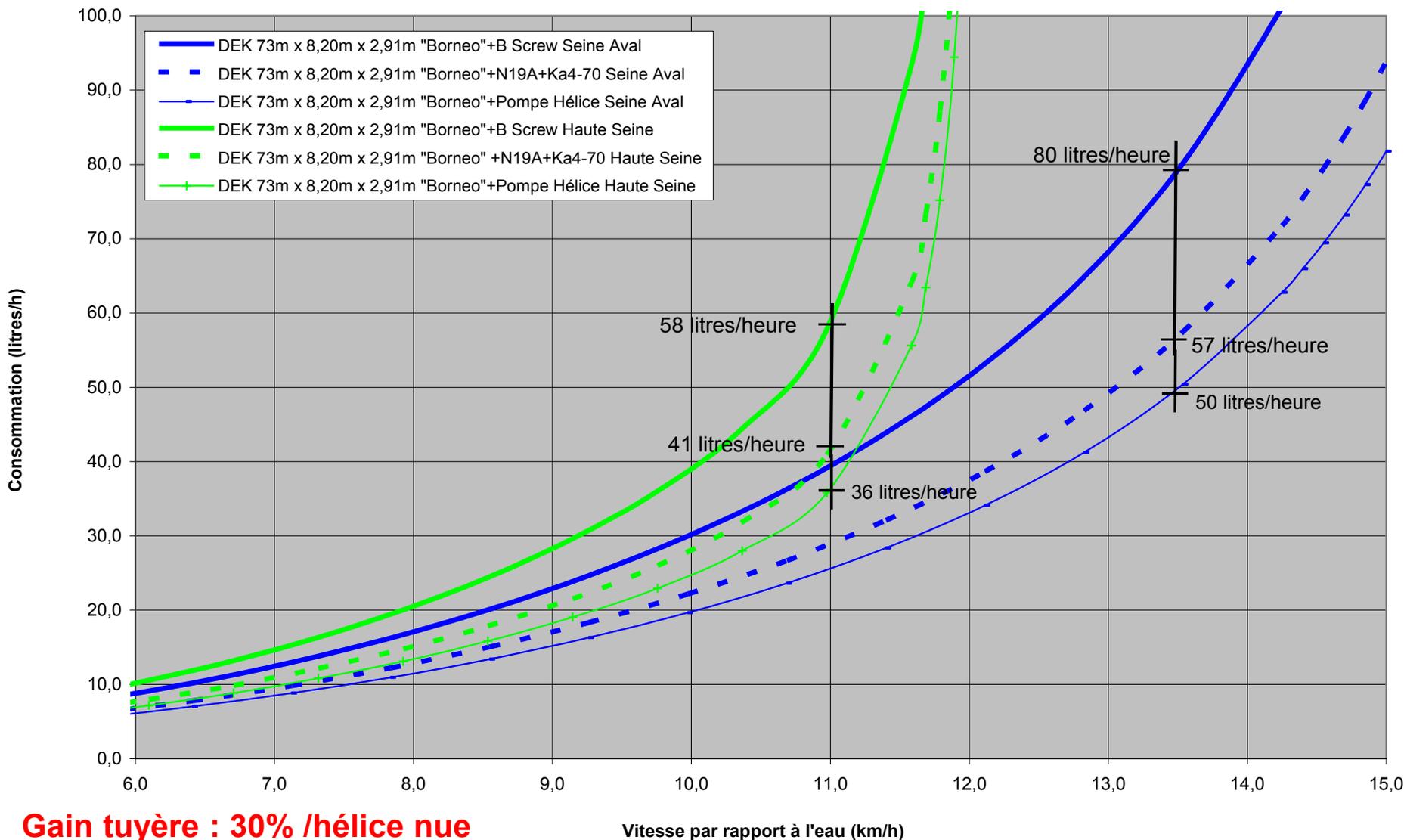


**Gain tuyère : 30% /hélice nue**

**Gain « Pompe Hélice »: 15% /tuyère**

**40% /hélice nue**

# Effets du rendement de propulsion : Hélice nue, Hélice sous tuyère, et « Pompe hélice »

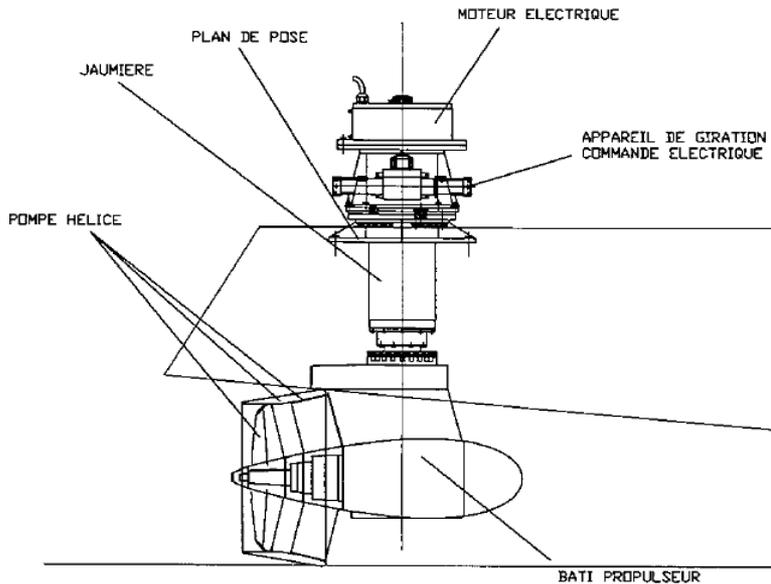


**Gain tuyère : 30% /hélice nue**

**Gain « Pompe Hélice »: 15% /tuyère**

**40% /hélice nue**

# Exemple d'innovations déjà proposées



## Permanent Magnet Wheel Motor

### Typical Applications

- In-hub wheel drives
- Medium-sized military vehicles
- Drive motors for buses and vans
- Agricultural equipment
- Specialized industrial vehicles



**Combinaison d'une pompe - hélice, d'un « Pod » directionnel, et d'un moteur-roue de char militaire hybride**

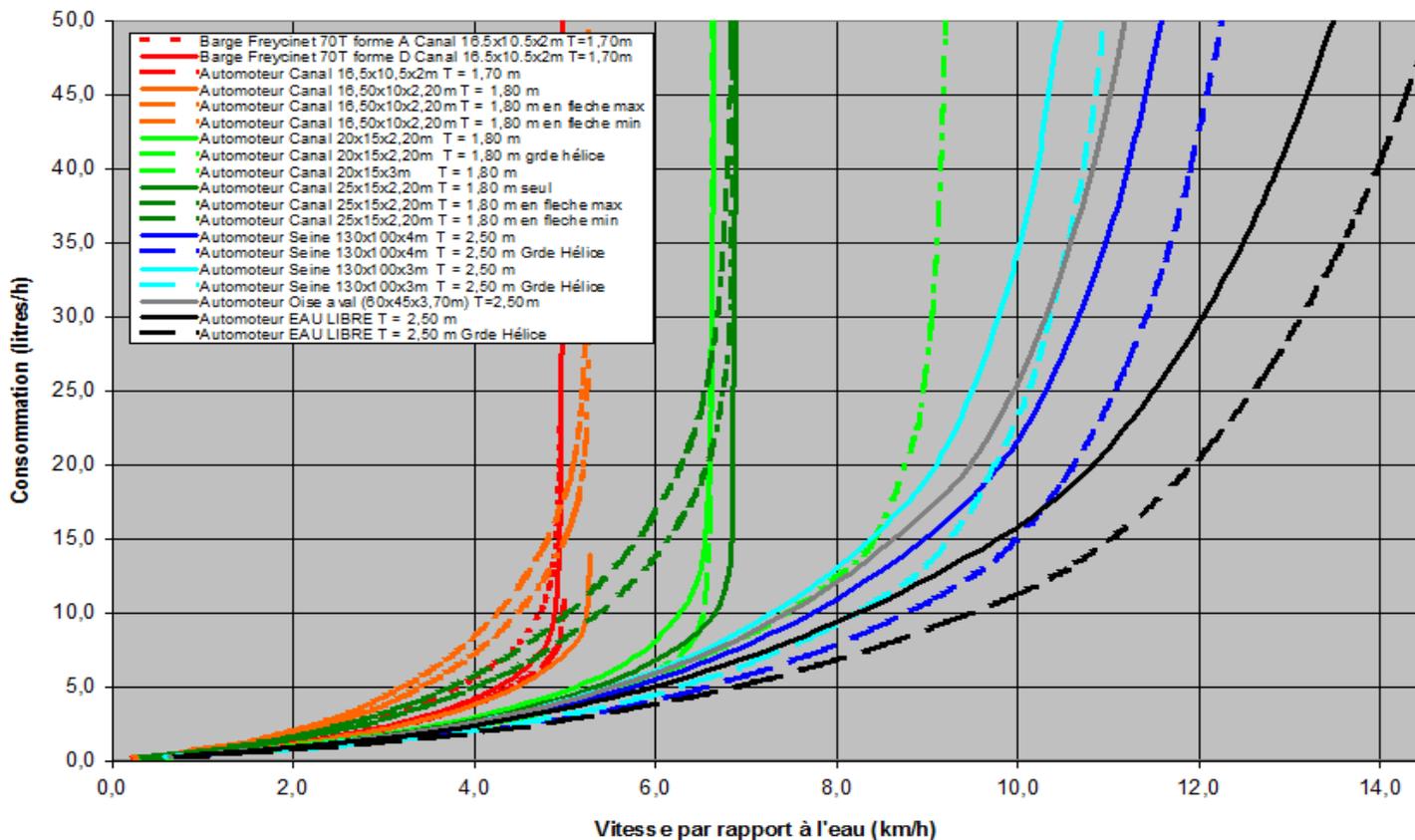
**....mais limité à des petites puissances, ici 120-150 kW**

(documentation Masson Marine)

# Ecopilote, principe

- A la vitesse limite permise par la voie d'eau, la puissance nécessaire tend vers l'infini.
- La consommation peut doubler pour un gain de vitesse négligeable
- La puissance nécessaire diminue avec la profondeur => il faut aller vite la ou on peut, sinon ralentir

**Consommation**

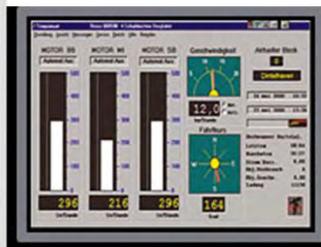


*Exemples de consommation d'un Freycinet en fonction de la vitesse, de la voie d'eau, et du convoi (différentes couleurs et traits)*

*traits bleus / noir pleins ou pointillés : effet de l'efficacité du propulseur en Seine / en eau libre.*

*Variation de 7 l/h en canal vers 5-7 km/h à 50 l/h à 10-12 km/h sur la Seine*

# Ecopilote :



| Bespaar € 12.500,-            |                              | Bespaar € 55.000,-            |                               |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Geïnstalleerd vermogen        | 800 kW                       | Geïnstalleerd vermogen        | 2200 kW                       |
| Belastingsgraad               | 85%                          | Belastingsgraad               | 75%                           |
| Aantal vaaruren               | 3500 uur                     | Aantal vaaruren               | 4000 uur                      |
| Gerealiseerde besparing       | 5 %                          | Gerealiseerde besparing       | 8 %                           |
| Absolute besparing            | 31.000 ltr/jaar              | Absolute besparing            | 137.000 ltr/jaar              |
| Brandstofprijs (oktober 2007) | € 0,40/ltr                   | Brandstofprijs (oktober 2007) | € 0,40/ltr                    |
| Besparing op jaarbasis        | € 12.400,-/jaar              | Besparing op jaarbasis        | € 54.800,-/jaar               |
| Besparing in uitstoot         | 81 ton CO <sub>2</sub> /jaar | Besparing in uitstoot         | 361 ton CO <sub>2</sub> /jaar |

Binnenvaartschip met één motor en brandstofbewust vaarpatroon

(Exemples d'écrans de logiciel Hollandais – TEMPOMAAT - capable d'intégrer tout le modèle économique jusqu'au coût de main d'œuvre – **mais pas forcément la prise en compte de la navigation en milieu confiné pour estimer la consommation**)

# Innovation : enjeux identifiés

| Dispositif   | Economie énergie                        | Coût possible                    | Commentaire   |
|--|---|----------------------------------|---|
| <b>1- Formes arrières optimales (calculs 3D + bassin carène)</b> | 50% (puissance moteur de 1 à 2)         | 50k€ à 200 k€ études/bateau      | C'est autant que le total des études d'un bateau neuf actuel!   |
| <b>2 - Diesel injection électronique</b>                         | Environ 12%                             | D (*)<br>ROI environ 8 ans       | Unités modernes équipées  |
| <b>3 – Injection hydrogène (p)</b>                               | 5-20%                                   | <0,05D                           | Pas encore assez industriel<br>R et D haut niveau à envisager   |
| <b>4 - Hélice sous tuyère ordinaire (Ka+N19, Ka+N37 ...)</b>     | 30% (20% - 50% selon vitesse)           | 0,3-0,35D<br>ROI : 2-3 ans       | Unités modernes équipées:<br>Rhin, CFT, pousseurs Lafarge...    |
| <b>5 – « Pompe Hélice »<br/>GTN - Shipstudio - Masson</b>        | 40% / hélice nue<br>15% /hélice +tuyère | 0,35-0,45 D<br>ROI : 2-3 ans     | 15% plus efficace qu'une hélice sous tuyère , coût assez proche |
| <b>6 - Diésel haut rendement (recup. chaleur échappement)</b>    | Environ 7%                              | 1,05 – 1,2 D                     | Thermoélectricité à développer (avec des motoristes routiers)   |
| <b>7 – Propulsions hybrides (y/c Diésel-Electrique actuels)</b>  | 5 – 20%                                 | 1,1 - 1,5 D<br>diésel-élec: 1,3D | Economie surtout avec des manœuvres & écluses.                  |
| <b>8 – Ecopilote</b>   | 5 – 20% jusque 30%                      | <0,1 D                           | Pour parcours varié: économies fonction du batelier!            |
| <b>9 – GNL (p)</b>   | - 30% prix Gazole                       | >2 - 2,5D<br>ex.Rhénan : 2M€     | (p) Dépollue aussi: HC, PM, Nox                                 |

(\*) D = coût d'une remotorisation Diésel complète actuelle (\*\*) **à créer, développer, industrialiser**

# Éléments à prendre en compte pour réussir l'approche industrielle

- Secteur de PME atomisées (en France), en Europe du Nord secteur beaucoup plus développé et industrialisé
- En pratique, surtout des architectes naval indépendants et des ingénieries dont le département spécialisé est souvent de taille modeste
- Conception à l'unité
- Budget consacré à la conception d'un bateau : souvent limité à **100 k€ à 250 k€** selon la taille, architecture, certification maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage comprise. (parfois moins, par usage de plans existants); Plus au maximum autant pour des essais en bassin de carènes spécialisés (Europe du Nord, pays de l'Est).
- Les équipementiers « tirent chacun de leur côté », qu'ils soient PME ou filiales de grand groupes (pas d'approche d'ensemble « chaine de propulsion »)
- Budget nécessaire pour développer un bateau vraiment innovant avec de nouveaux composants: au moins 3 fois le prix d'un bateau de série non innovant (1 de surcoût pour l'ingénierie, 1 pour le développement, 1 pour le coût normal de série)

Besoins : **5 à 10 M€** de R et D pour développer de nouveaux composants et des séries

# Marché potentiel

## Un marché potentiel et un enjeu considérable :

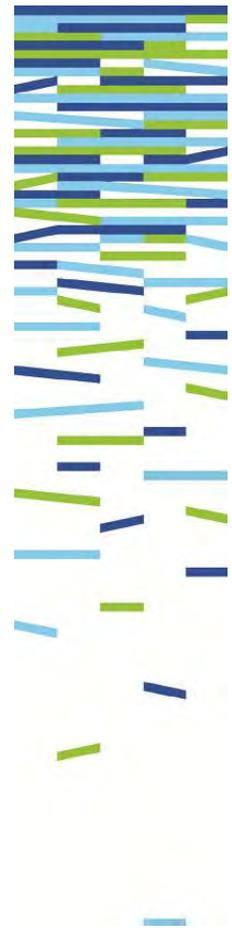
- 11000 bateaux fluviaux en Europe à mettre à jour....et autant en maritime de moins de 2000 kW (par exemple, 3500 gros chalutiers), soit 20000 bateaux concernés au total.

## Aujourd'hui :

- Peu de constructions neuves (moins de 50 par an),
- Remotorisations 200 à 300 unités par an hors contraintes qui vont changer la donne pour les grands bateaux (GNL, normes environnementales) et entrainer des conversions massives comme en maritime.

## Demain:

- Besoin de 250 unités nouvelles, dont une cinquantaine au moins dès la phase chantier du nouveau Canal SNE



**Merci de votre attention**

**Pierre-Jean Pompée**

**[Pierre-jean.pompee@vnf.fr](mailto:Pierre-jean.pompee@vnf.fr)**

**06 81 84 95 93**