



# DGITM - AIPCR

## Séminaire sur l'Adaptation des infrastructures et des réseaux de transport au changement climatique

**Michel Beuthe**

**UCLouvain Mons, Belgique**



**le 13 novembre 2015**

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

# Impacts du changement climatique sur les transports sur le Rhin et le Danube

- Introduction
- 1. Le modèle multimodal de transport
  - Le réseau virtuel
  - Les trois étapes de l'analyse
  - Les intrants, les demandes sur les réseaux, les coûts
  - Les passages critiques sur le Rhin et le Danube
  - Demandes globales, comparaison 2005 et 2050
- 2. Analyse des climats 2005 et 2050
  - Définition et scénarios
  - Scénarios moyens estimés
  - Simulations des impacts des climats sur les parts modales sur le Rhin
  - Simulations des impacts de nouvelles infrastructures sur le Rhin
  - Simulations sur le choix des bateaux sur le Rhin
- 3. Conclusions



# Le modèle de réseau virtuel de transport NODUS

**NODUS** crée un ‘réseau virtuel’ sur lequel toutes les opérations de transports dans l'espace sont représentées par des ‘arcs virtuels’ interconnectés: chargement/déchargement, transport de place en place, usage de modes et véhicules différents, transferts, passage de douane et écluses.

## Exemple

Un transport de canettes en palettes entre une origine A et une destination F est parfois représenté par un seul arc AF:

A \_\_\_\_\_ F

Cependant, en réalité, ce transport nécessite un chargement en A sur un automoteur, puis une navigation sur un canal, ensuite un transfert sur un camion, et un transport routier jusqu’à F et un déchargement. Pour un tel cas, NODUS prévoira de façon systématique cinq arcs virtuels, AB, BC, CD, DE, EF, auxquels se rapporteront leurs coûts spécifiques:

A \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_ D \_\_\_\_\_ E \_\_\_\_\_ F.

De même, si trois types de bateaux peuvent naviguer sur un canal avec trois coûts différents, ce canal sera représenté par trois arcs virtuels auxquels se rapporteront les trois coûts.



# Les trois étapes d'analyse

- La première étape de l'analyse, **la génération**, constitue les flux globaux de transport de transport dans l'espace considéré; la deuxième étape de **distribution** répartit ces flux entre les origines-destinations du réseau.
- A l'étape suivante, **NODUS choisit pour chaque flux la solution qui minimise les coûts généralisés de transport, simultanément par rapport à la répartition entre modes, au choix de véhicule et d'itinéraire**. Ainsi donc, dans ce modèle, les deux étapes de partage modale et du choix d'itinéraire sont résolus simultanément de façon cohérente.
- **Le partage modal se fait en proportion des coûts généralisés (modèle d'Abraham)**. Le modèle est calibré par ajustement des coûts jusqu'à adéquation satisfaisante des parts de marché observées et estimées séparément pour chacune des 11 marchandises.



# Les Intrants

Nos partenaires du programme de recherche européen ECCONET (FP7) nous ont contribué d'importants éléments:

- Les demandes de transport 2005 et les prévisions pour 2050: TRANSTOOLS 2011 (U.E.) et NEA-Panteia (NL).
- Les facteurs très détaillés des fonctions de coût: VU (NL), NEA (NL), DST (D) et UCL Mons (B).
- Deux scénarios climatiques 'Sec' et 'Humide' et leurs distributions de niveaux d'eau: BFG (D).
- Le réseau européen des routes, du fer et des voies navigables terrestres en 2005 et 2050: UCL Mons (B) et projets EC TEN-T.



# Intrants: Les fonctions de coût

**Deux fonctions camions avec trois vitesses,**

**Deux fonctions rail avec trois vitesses,**

**Six fonctions voie navigable pour six classes de bateaux sur le Rhin, avec vitesses différentes en descente et remontée.**

**Quatre classes de bateaux sur le Danube.**

**Les coûts varient:**

**selon le type de marchandise et leur volume,**

**selon les vitesses différentes en descente et en montée,**

**selon le tirant d'eau permis par le niveau d'eau.**



# Intrants: Projets européens TEN-T inclus dans le réseau en 2050

**IWW 18:** Canal Juliana élargi à Vb + écluses plus grandes sur le Canal Albert et la Meuse au niveau VIb;

**IWW 30:** Compiègne-Creil + plusieurs projets sur l'Oise et la Lys au niveau Vb, travaux sur l'Escaut et la liaison Condé-Charleroi pour élargir à Va;

**Railway 5:** Ligne Betuwe terminée pour les marchandises (Rotterdam-Emmerich);

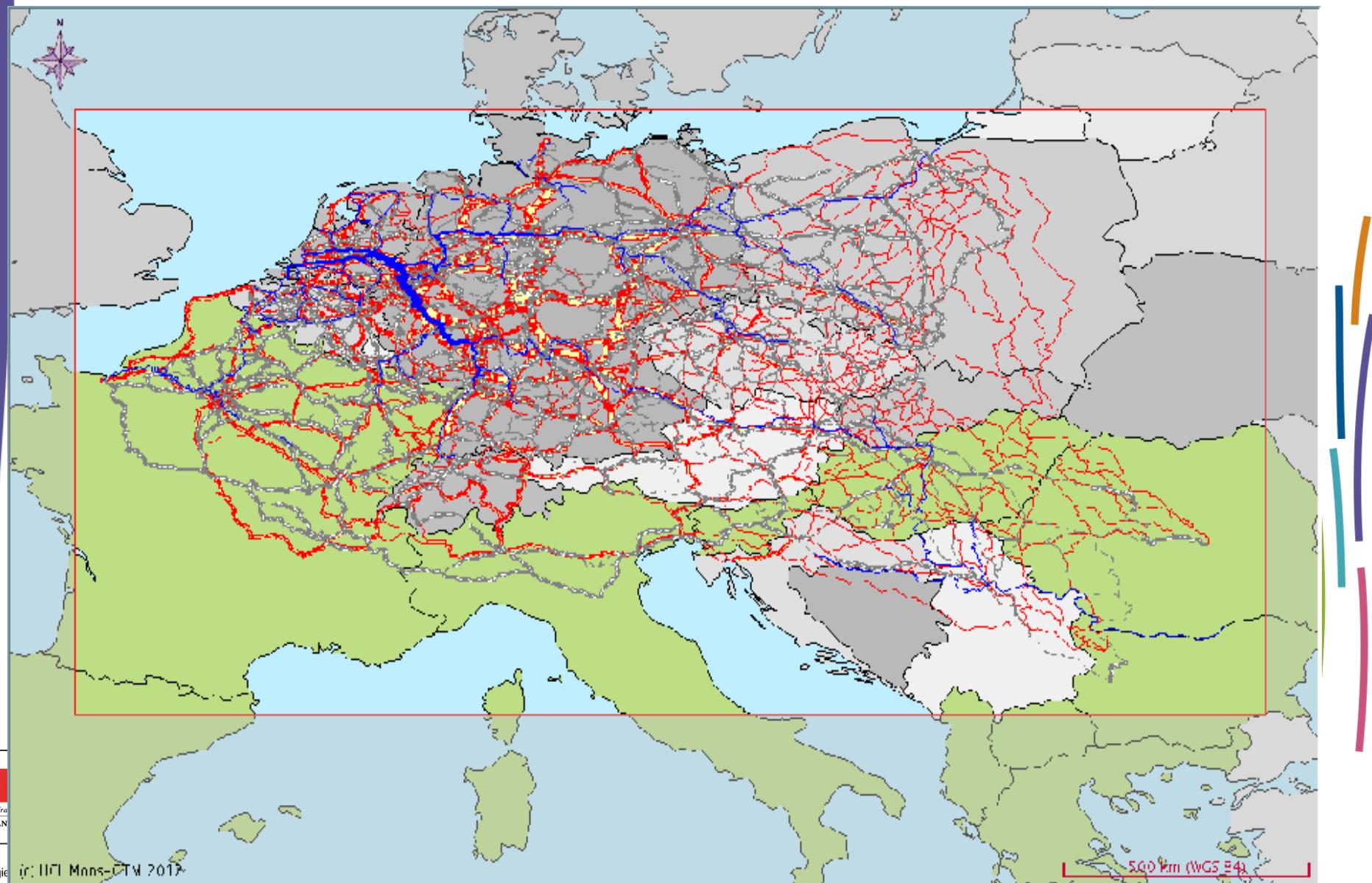
**Railway 22:** rénovation de la liaison Athènes-Sofia-Budapest-Vienne-Prague-Nürenberg/Dresde;

**Road 7:** autoroute Budapest-Constanza;

**Approfondissements** des passages sur le Danube entre Straubing and Vilshofen, ainsi qu'à l'est de Vienne en Autriche



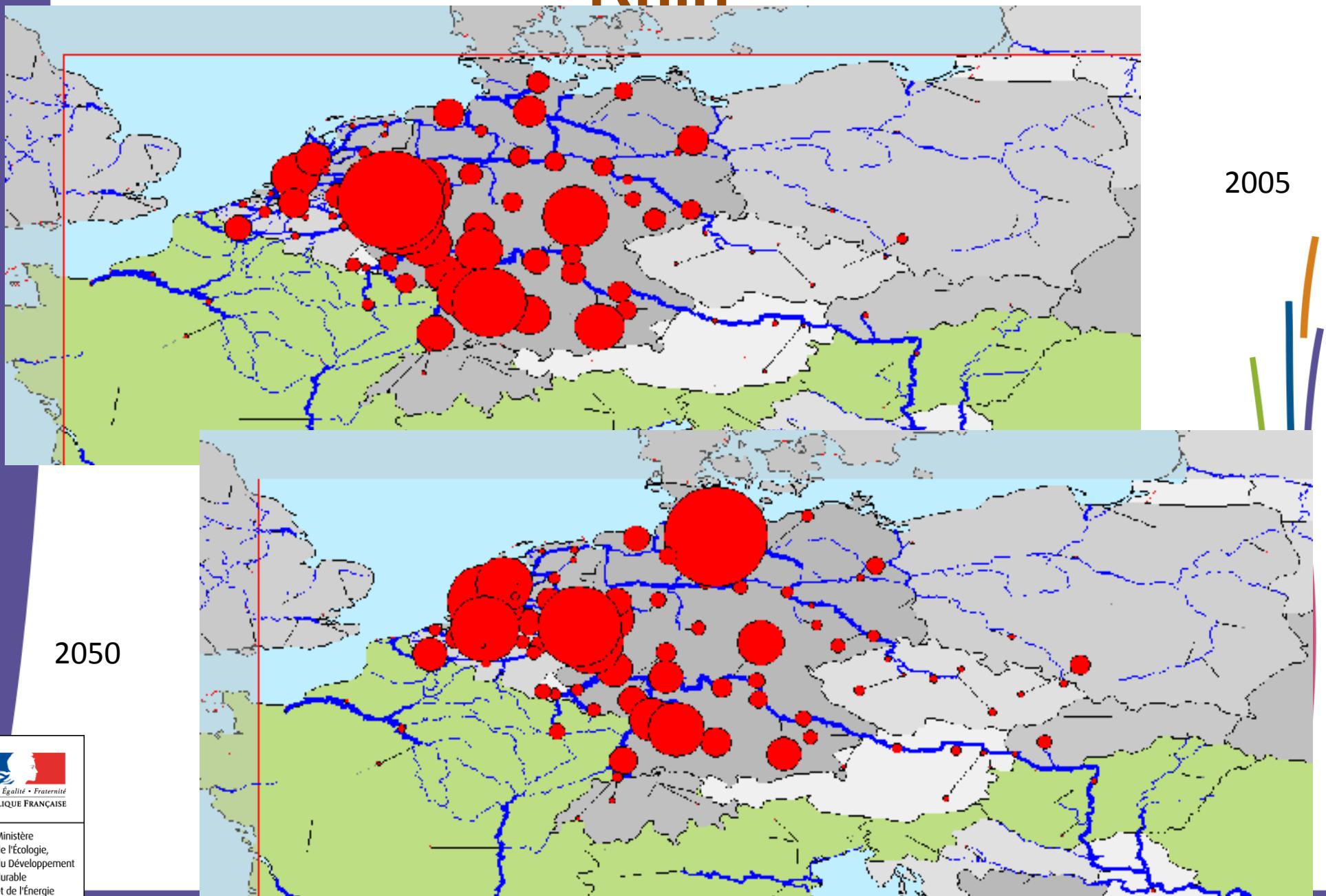
# Intrants: Les flux modaux analysés en 2005



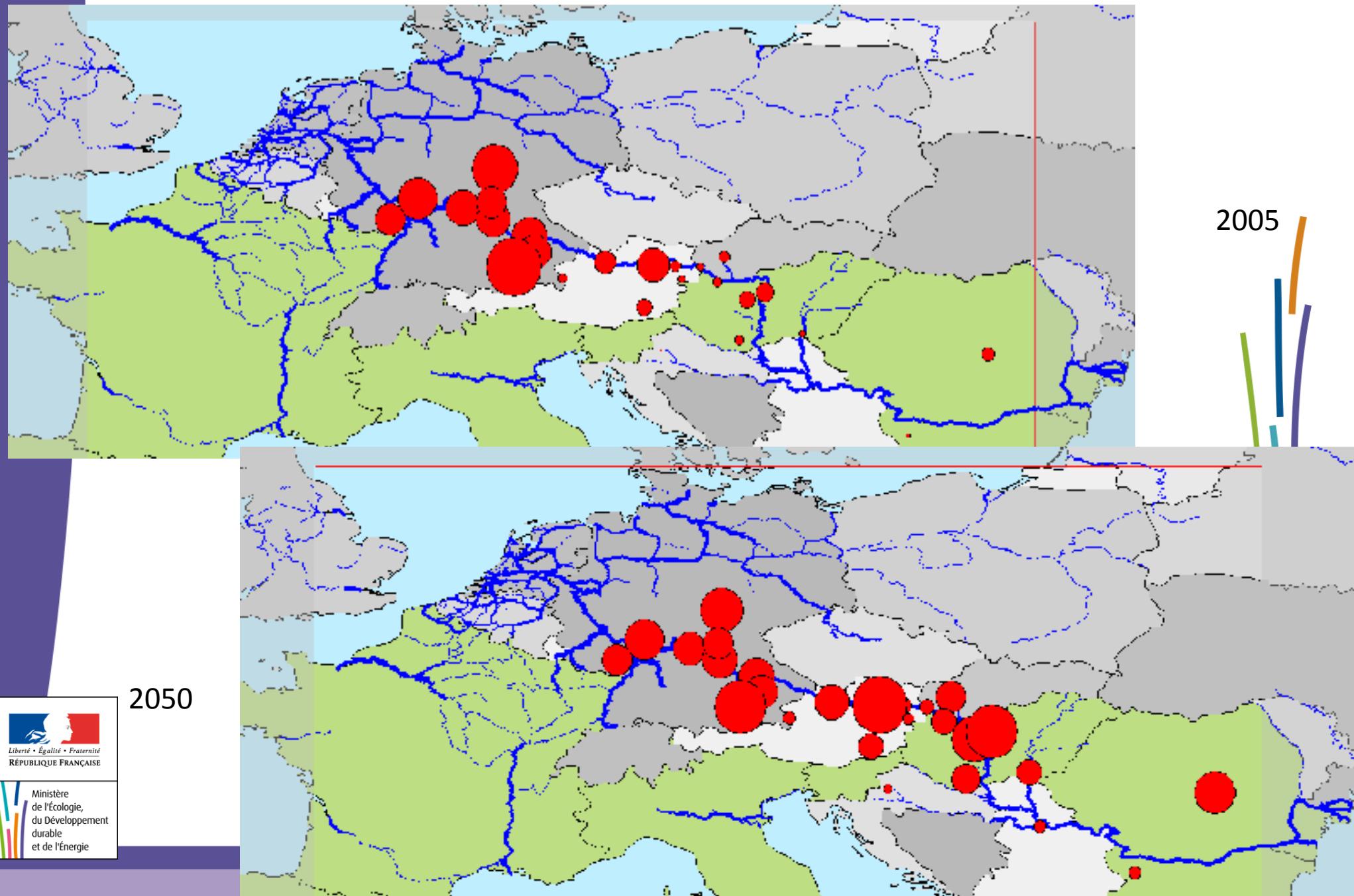
# Les points critiques sur le Rhin et le Danube



# .Demandes 2005 vs 2050 sur le marché du Rhin



# Demandes 2005 vs. 2050, marché du Danube



# Analyse des climats

- **Un climat se définit sur une période longue, ici de 30 ans:** la période observée 1977-2006 sert de référence pour le climat de l'année 2005, et la période 2021-2050 pour l'année 2050.
- **Deux scénarios contrastés** sont adoptés pour analyser les situations climatiques et de navigation des années 2005 et 2050: l'un **SEC** , l'autre **HUMIDE**.
- Sur les deux périodes de référence et pour ces deux scénarios, **BFG** a estimé les distributions moyennes du nombre de jours **à différents niveaux d'eau** à Kaub et Ruhrtort, ainsi qu'à Hofkirchen and Wildungsmauer.
- Quant à **DST**, il a dérivé pour chaque type de bateau la relation entre les divers tirants d'eau autorisés et les chargement possibles, et donc les coûts de transport correspondants.

# Exemple des variations du niveau d'eau à Kaub en 2005

Hauteur d'eau	# jours en moyenne en 2005	%	Coût par tonne/km (vrac sec, montée, class Va)	% de charge
>4,3m	55	15,07%	0,0122€	100%
3,6 <x≤ 4,3	97	26,58%	0,0122€	100%
3,1 <x ≤ 3,6	129	35,34%	0,0136€	84%
2,8 <x≤ 3,1	55	15,07%	0,0157€	68%
2,5 <x ≤ 2,8	20	5,48%	0,0180€	56%
2,2 <x ≤ 2,	7	1,92%	0,0221€	44%
1,8 <x ≤ 2,2	2	0,55%	0,0333€	28%
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>100%</b>		



## Scénarios estimés: Fréquence-jours de hauteur d'eau à KAUB

Hauteur	Moyenne des observations 1977-2006		Moyenne du Modèle 1977-2006				Moyenne du Modèle 2021-2050			
			SEC		HUMIDE		SEC		HUMIDE	
	# JOURS	%	# JOURS	%	# JOURS	%	# JOURS	%	# JOURS	%
<b>x &gt; 4,3 m</b>	55	15,07%	58	15,89%	49	13,42%	57	15,62%	67	18,36%
<b>3,6 &lt; x ≤ 4,3</b>	97	26,58%	97	26,58%	87	23,84%	96	26,30%	112	30,68%
<b>3,1 &lt; x ≤ 3,6</b>	129	35,34%	105	28,77%	127	34,79%	106	29,04%	114	31,23%
<b>2,8 &lt; x ≤ 3,1</b>	55	15,07%	59	16,16%	69	18,90%	56	15,34%	50	13,70%
<b>2,5 &lt; x ≤ 2,8</b>	20	5,48%	30	8,22%	26	7,12%	29	7,95%	18	4,93%
<b>2,2 &lt; x ≤ ,5</b>	7	1,92%	10	2,74%	5	1,37%	13	3,56%	4	1,10%
<b>x ≤ 2,2</b>	2	0,55%	6	1,64%	2	0,55%	8	2,19%	0	0,00%
<b>Total</b>	365	100%	365	100%	365	100%	365	100%	365	100%

# Simulations des impacts: cas du Rhin

Comparaison modèle/observations

Impact demande et infrastructure

Scenario	Mode	Scenario	Scenarios		Scenarios		Scenarios		Scenarios	
		Moyen	climatiques		climatiques		climatiques		climatiques	
		1977-2006	1977-2006	2021-2050	1977-2006	2021-2050	1977-2006	2021-2050	1977-2006	2021-2050
Moyenne		Données	Données 2005		Données 2005		Données 2050		Données 2050	
			2005	Sec	Humide	Sec	Humide	Sec	Humide	Sec
		Eau	10,82%	10,79%	10,82%	10,78%	10,84%	9,39%	9,42%	9,38%
	Rail	16,67%	16,68%	16,67%	16,68%	16,66%	11,52%	11,51%	11,52%	11,50%
		Road	72,51%	72,53%	72,52%	72,54%	72,50%	79,09%	79,07%	79,10%

Impacts climats en 2005

Impact climats en 2050



# Simulations des impacts des infrastructures 2050

## Cas du Rhin: sur base des coûts et demande 2005

Réseau	Mode	Volume Tonnes (Millions)	%	Volume T.km (Millions)	%	Costs Euros (Millions)	%
2005	Eau	146,70	9,88%	82.652,52	12,57%	2.082,14	5,67%
	Rail	251,43	16,94%	122.097,75	18,57%	4.736,33	12,91%
	Route	1.086,15	73,18%	452.780,97	68,86%	29.882,98	81,42%
	Total	1.484,28	100,00%	657.531,28	100,00%	36.701,46	100,00%
2050	Eau	147,25	9,92%	83.053,87	12,61%	2.080,45	5,69%
	Rail	248,38	16,73%	121.406,45	18,44%	4.629,81	12,66%
	Route	1.088,65	73,35%	454.000,60	68,95%	29.854,53	81,65%
	Total	1.484,28	100,00%	658.858,57	100,00%	36.564,79	100,00%



# Impacts des infrastructures sur le choix des bateaux

## Cas du Rhin: Demandes et Coûts de 2005

Classe	Charge utile	Tirant d'eau max (m)	Infrastr. 2005 (Millions T)	Infrastr. 2050 (Millions T)	Différence
II	600 t	2,50 m	10,51	9,19	-12,58%
III	1.080 t	2,50 m	16,39	1,94	3,39%
IV	1.560 t	2,80 m	31,74	3,51	2,42%
Va	2.873 t	3,50 m	43,08	41,58	-3,54%
Vb	5.292 t	3,50 m	14,25	15,78	10,72%
VI	11.356 t	4,00 m	24,28	24,28	0,00%



# Impacts du changement climatique (sec/humide) sur le choix des bateaux

## Cas du Rhin: Demandes, Infrastructures et Coûts de 2005

Classe de bateau	Scenario SEC (millions t)	Scenario Humide (millions t)	Difference
II	10,51	10,51	0%
III	19,03	16,69	-12,28%
IV	40,11	39,49	-1,54%
Va	34,37	36,51	6,23%
Vb	12,47	12,94	3,70%
VI	23,76	24,11	1,48%



# Cas du Danube

## Impact du climat et de l'infrastructure sur l'utilisation des bateaux

### Demandes et Coûts 2005

	Scenarios 2021-2050 Réseau 2005			Scenarios 2021-2050 Réseau 2050		
	Scenario SEC (Millions T)	Scenario Humide (Millions T)	Variation %	Scenario SEC (Millions T)	Scenario Humide (Millions T)	Variation %
III	2.009	1.936	-3.60%	1.816	1.816	0.00%
Va	4.007	4.101	2.35%	3.609	3.664	1.66%
Vb	10.830	10.683	-1.35%	9.702	9.563	-1.41%
Vlb	2.285	2.409	5.45%	4.004	4.087	1.92%



# Conclusions

- Le temps manque pour présenter les résultats obtenus sur le marché du Danube. Ils sont assez similaires.
- La conclusion principale est que les changements climatiques prévus dans les deux scénarios SEC et HUMIDE sur le Rhin et le Danube ne devraient pas être de nature à provoquer un changement significatif des parts modales.
- Les changements climatiques et l'amélioration de l'infrastructure devraient induire l'utilisation croissante de grands bateaux.
- Cependant, de petits bateaux demeureront en opération, pour leur utilité en situation d'eaux basses et pour les transports sur les canaux et rivières de moindre taille qui alimentent le Rhin et le Danube
- L'amélioration de l'infrastructure réduiraient les coûts de transports, mais cette constatation est insuffisante pour justifier ces travaux; une décision à ce sujet devrait s'appuyer sur une analyse 'coûts – bénéfices' intermodale complète.
- 



**Je vous remercie pour  
votre intérêt à cet exposé**



Ministère de l'Énergie, du Développement durable et de l'Énergie

# Résumé

## Impacts du changement climatique sur les transports sur le Rhin et le Danube

- Introduction
- Le modèle multimodal de transport
  - Le réseau virtuel
  - Les trois étapes de l'analyse
  - Les intrants, les demandes sur les réseaux, les coûts
  - Les passages critiques sur le réseau de voies navigables
  - Demandes globales 2005 et 2050
- Analyse des climats 2005 et 2050
  - Définition et scénarios
  - Scénarios moyens estimés
  - Simulations des impacts des climats sur les parts modales sur le Rhin
  - Simulations des impacts de nouvelles infrastructures sur le Rhin
  - Simulations sur le choix des bateaux sur le Rhin
- Conclusions
- Référence: M. Beuthe, B. Jourquin, N. Urbain, I. Lingemann and B. Ubbels, « Climate change impacts on transport on the Rhine and Danube: A multimodal approach » in *Transportation Research Part D*, 27 (2014) 6-11.

