

Séminaire transversal

Analyse et représentation géographique des données environnementales
IFSTTAR – AME – Nantes

L'analyse cartographique du flux (ou du mouvement) Aspects méthodologiques et rôle de l'éloignement des lieux

Françoise Bahoken



IFSTTAR
AME - SPLOTT

Nantes, le 15 septembre 2016

Chaîne de traitement

Thématique

migrations, migrants, commerce, finances... et aussi flux vivriers !

Niveaux de résolution

individus, peuplements, agrégats (échelle.s) locale.s, régionale.s, globale.s ...

Type de matrice *(donnée disponible pour la représentation)*

(L_{ij}) , (F_{ij}) , (F_{ij+}) , (F_{ij-}) , (A_{ij}) , ...

Sémantique *(de l'information disponible)*

Flux (F_{ij}) ou mouvement spatial (M_{ij}) ?

Sélection de l'information ?

(i) , (j) , ..., (L_{ij}) , (F_{ij}) (M_{ij}) ... (D_{ij}) , (C_{ij}) , (C_{kij}) , (A_{ij}) , ..., (T_{ij}) , ... (Z_{ij}) ,

Réduction, agrégation, *clustering* ?

(i) , (j) , (i,j) , (F_{ij}) , (M_{ij}) , (A_{ij}) , ...

1. L'objet d'étude et sa représentation

Rappels

L'objet d'étude : la matrice de flux (F_{ij}) asymétrique

avec :

i : lieux d'origine

j : lieux de destination

A : identifiants des lieux

8 : valeur du flux (F_{ij}) de (A,B)

	j			
Fij	A	B	C	D
A	-	8	5	1
B	6	-	3	2
C	10	4	-	1
D	1	2	3	-

L'objet d'étude : la matrice de flux (F_{ij})

Matrice d'adjacence

L_{ij}	A	B	C	D
A	-	1	1	1
B	1	-	1	1
C	1	1	-	1
D	1	1	1	-

Tableau de contingence

		Modalités des destinations				
		j	j_1	j_j	j_p	O_i
Modalités des origines	i					
	i_1	n_{11}	n_{1j}	n_{1p}	$n_{1.}$	
	i_t					n_t
	i_k	n_{k1}	n_{kj}	n_{kp}	$n_{k.}$	
	D_j	$n_{.1}$	$n_{.j}$	$n_{.p}$	$n_{..}$	

Matrice de flux

		Destinations				
		j	j_1		j_n	O_i
Origines	i					
	i_1	F_{11}			n_{1n}	
	i					
	i_n	F_{n1}			F_{nn}	
	D_j					$F_{.n}$

Matrice de flux

F_{ij}	A	B	C	D	O_i
A	-	8	5	1	14
B	6	-	3	2	11
C	10	4	-	1	15
D	0	0	0	-	0
D_j	16	12	8	4	40

Approche réticulaire

Théorie des graphes

Approches statistiques

Probabilités, ...

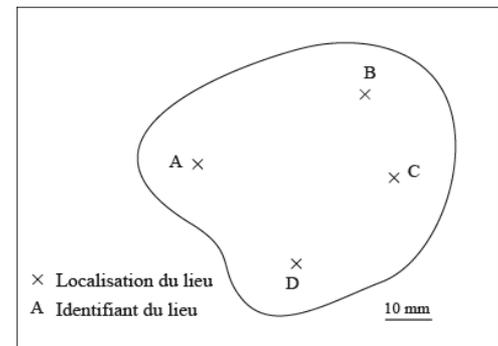
Approches mathématiques

*Equations linéaires
Interactions spatiales*

L'objectif de la représentation : géo visualiser les valeurs de la matrice (sur une carte géographique)

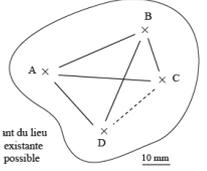
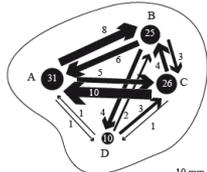
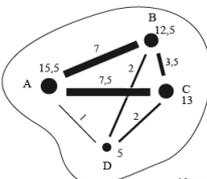
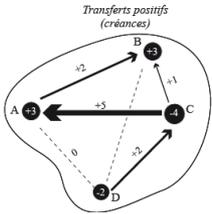
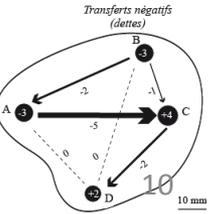
- **Thématique** : représenter des quantités d'individus transférées dans un espace géographique donné, sur une période, ...

Fij	A	B	C	D
A	-	8	5	1
B	6	-	3	2
C	10	4	-	1
D	1	2	3	-

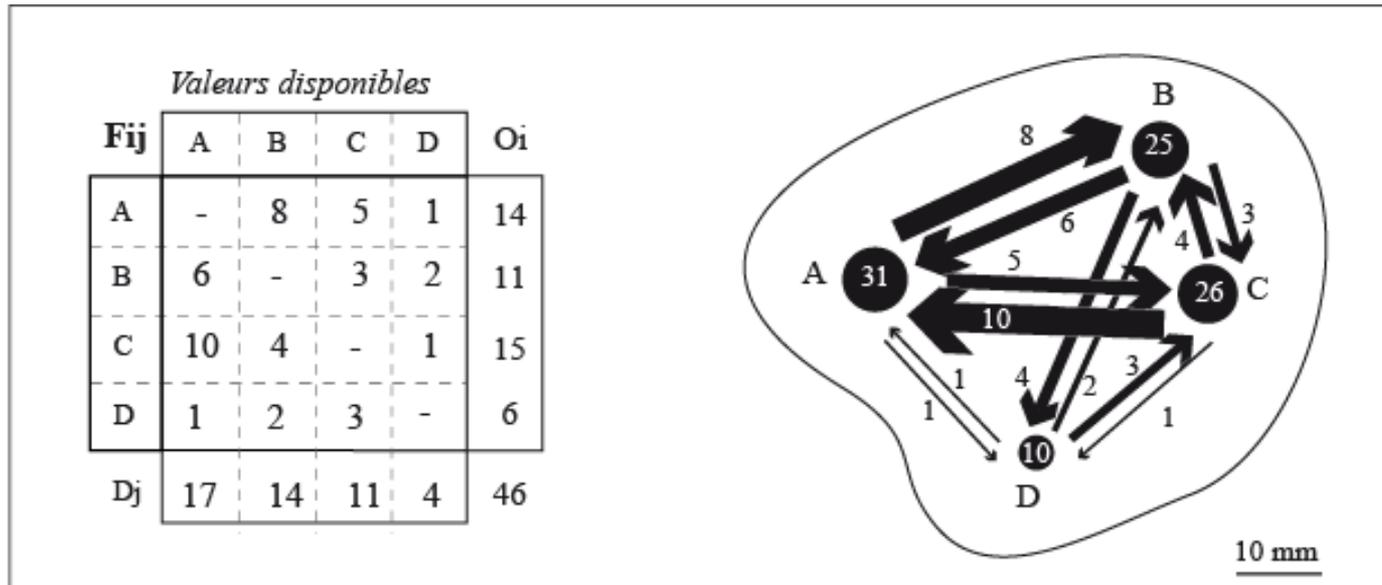


- **Méthodologique** : transformer ses valeurs en objets graphiques (points, lignes) et les projeter dans un plan assorti d'une métrique (ici : géographique, km...)
- **Sémiologique** : visualiser instantanément les relations et/ou les quantités (masses, volumes,...) transférées de manière aisée

Méthodes de représentation selon le type de matrice

Type de matrice	Type de figuré	Type de carte
<p>(Lij) symétrique</p> <p>↗</p>	<p>● — lien non valué — ●</p>	 <p>10 mm</p>
<p>(Fij) asymétrique</p> <p>↘</p>	<p>● → lien valué orienté ← ●</p>	 <p>10 mm</p>
<p>(Fij+) symétrique</p> <p>↘</p>	<p>● — lien valué — ●</p>	 <p>10 mm</p>
<p>(Fij-) antisymétrique</p> <p>↘</p>	<p>● → lien valué orienté ●</p>	<p>Transferts positifs (créances)</p>  <p>Transferts négatifs (dettes)</p>  <p>10 mm</p>

Cartographie d'une petite matrice

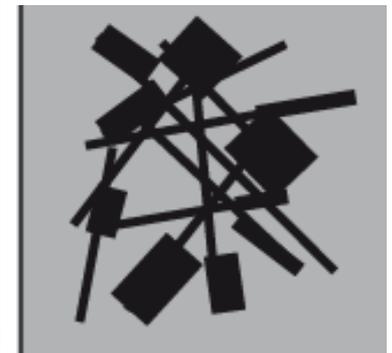
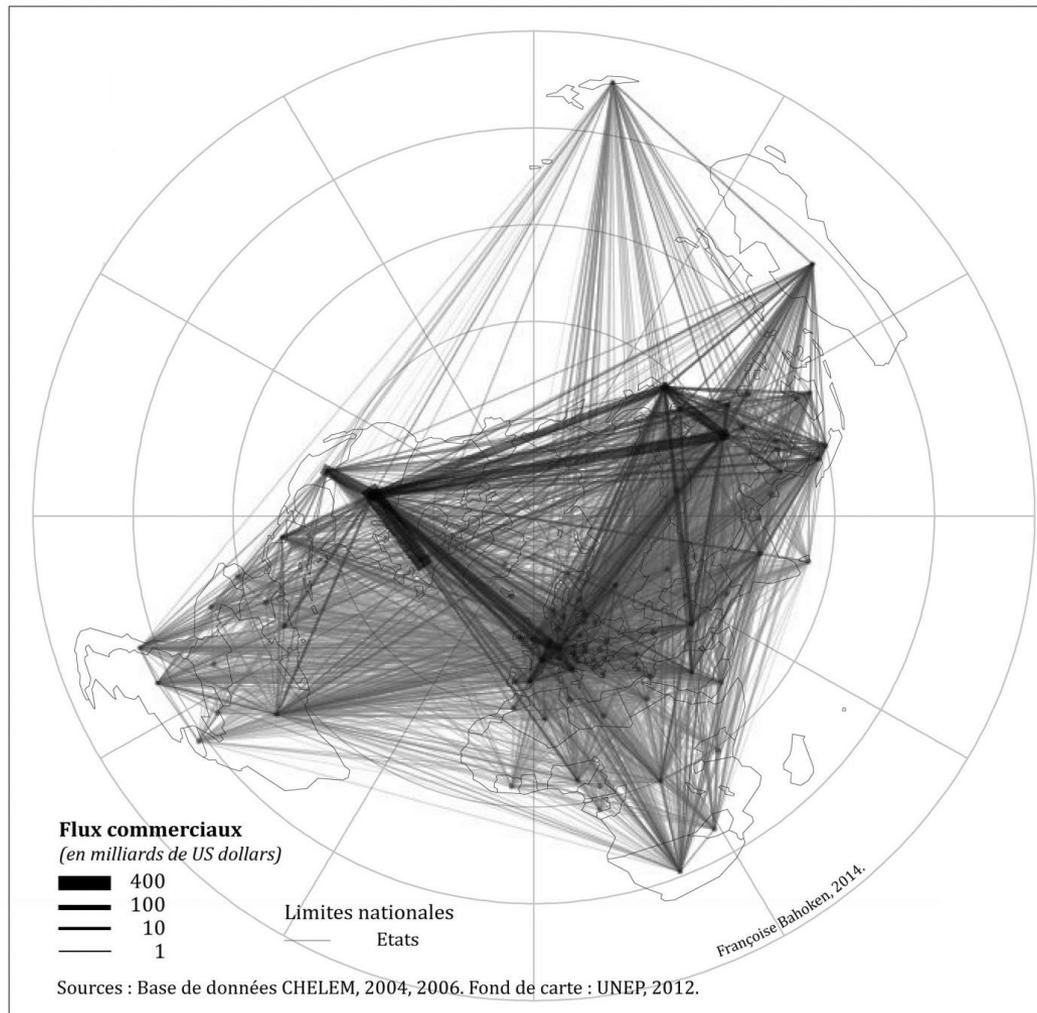


La largeur des flèches et la surface des points sont proportionnelles aux valeurs de flux correspondantes.

Cartographie d'une matrice dense (grande)

→ Complexité graphique (*L'effet spaghetti*)

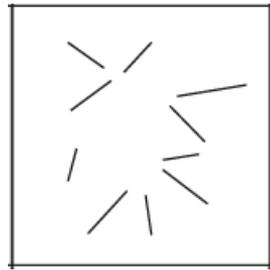
Cartographie des volumes d'échanges commerciaux (Fij+)



Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti*

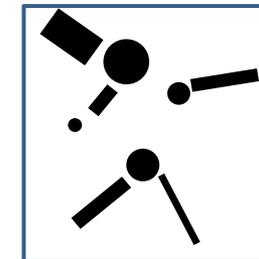
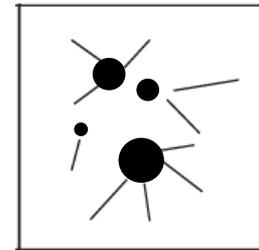
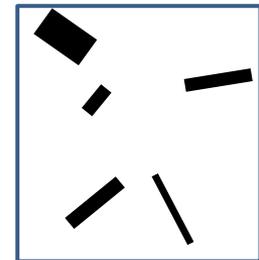
Flux majeurs

(Nyusten et Dacey, 1961)



Flux dominants

(variantes)

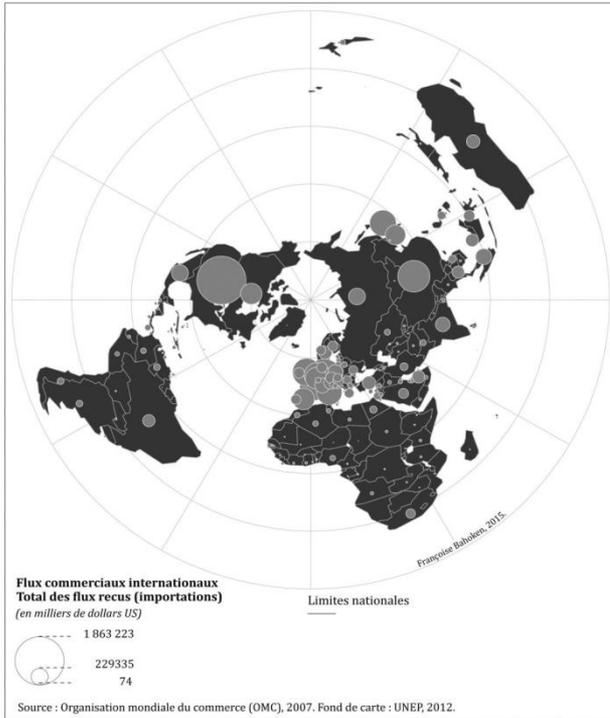


Logique de lieux

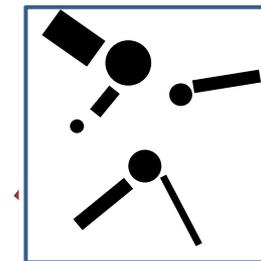
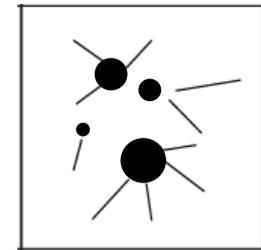
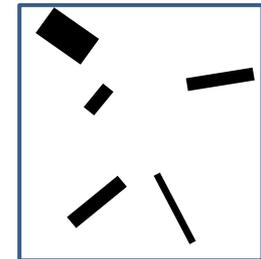
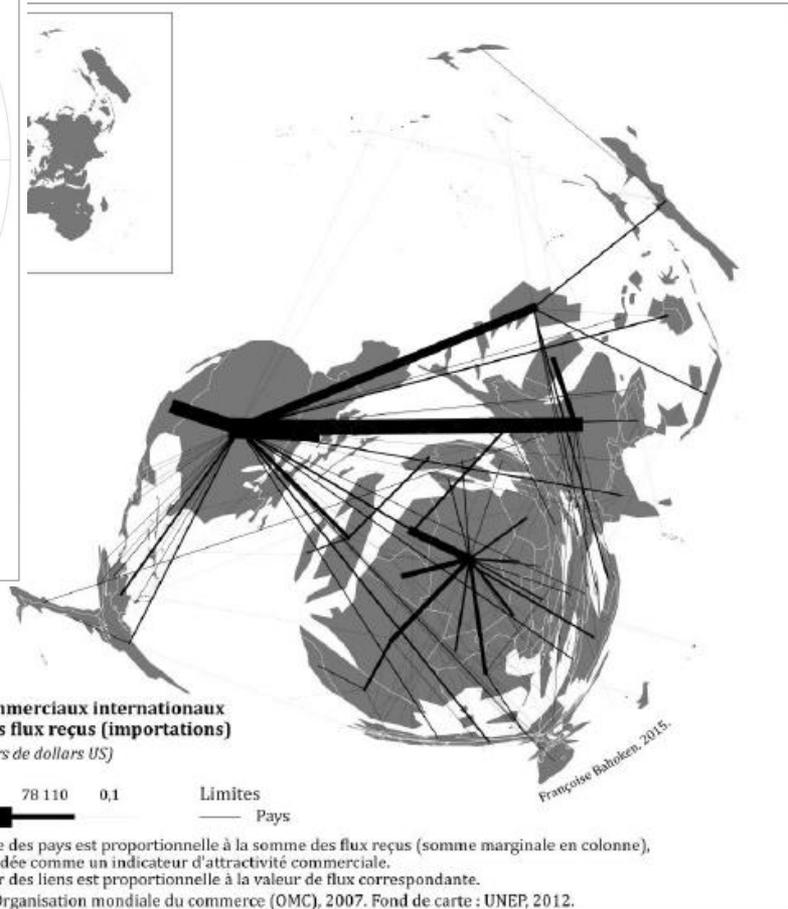
Flux de rang 1 émis par lieu

$F_{ij} \leftarrow \text{Max}_i(F_{ij})$

Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti* (exemples)



Flux dominants (variante)

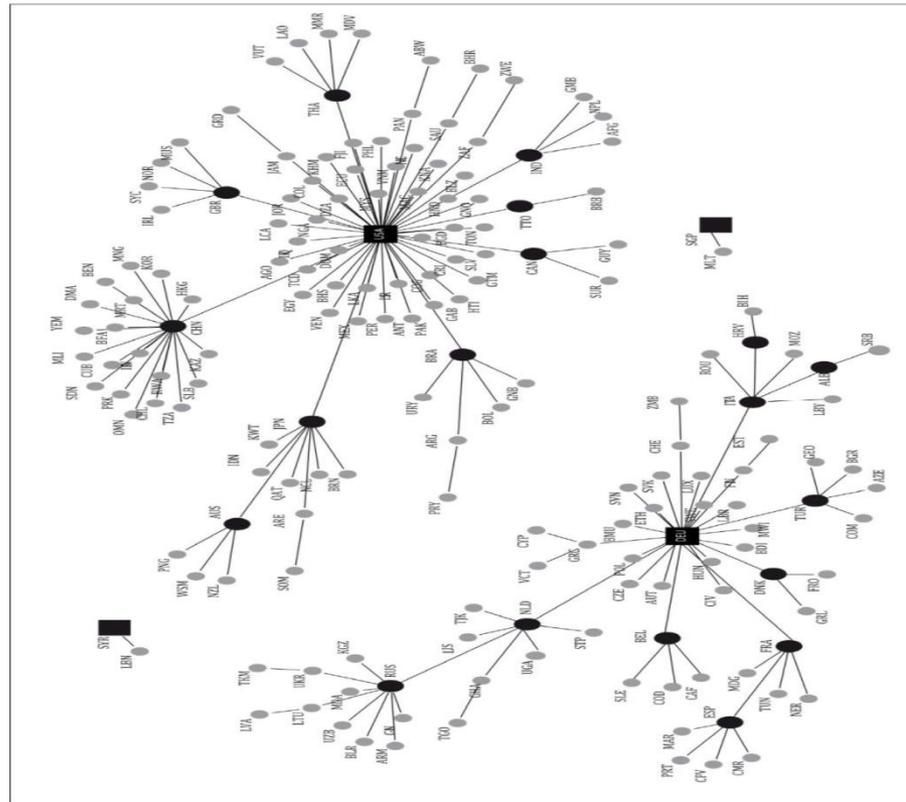
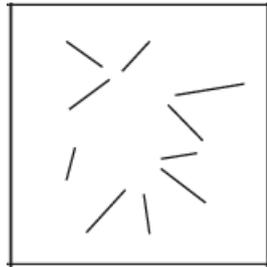


Logique de lieux

Flux de rang 1 émis par lieu
Fij <- Maxi(Fij)
Capacités d'attractions (Dj)

Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti*

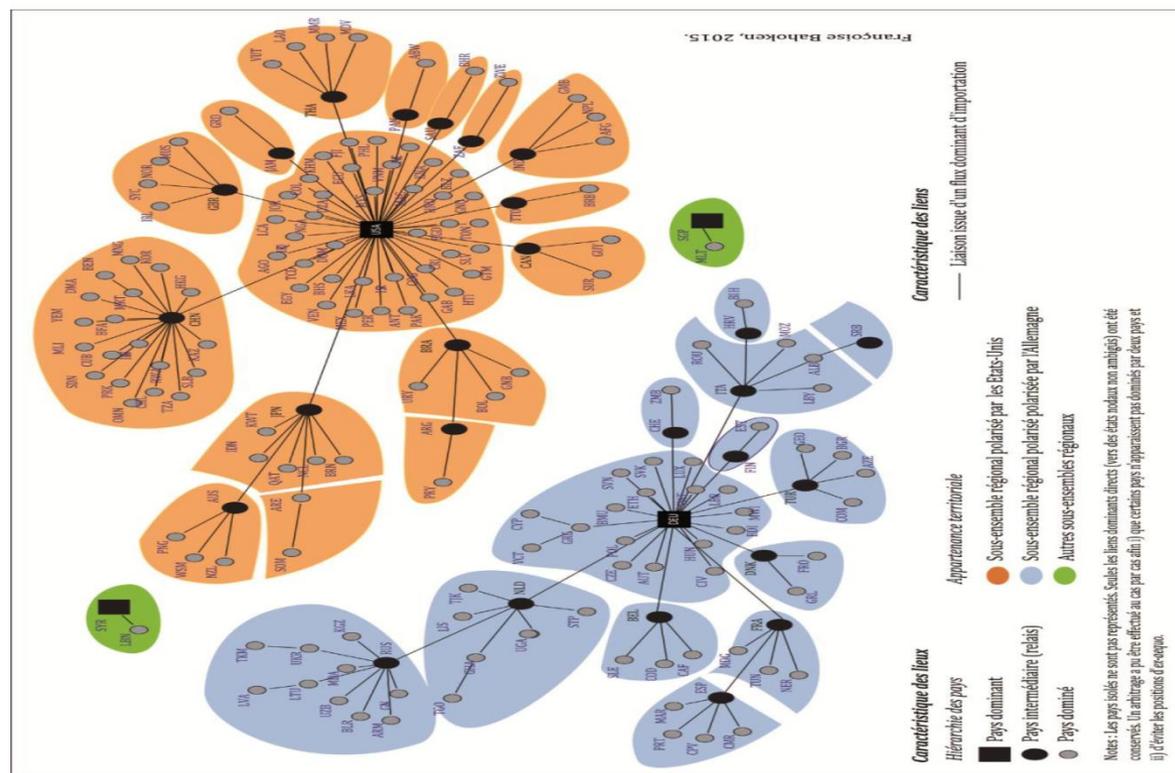
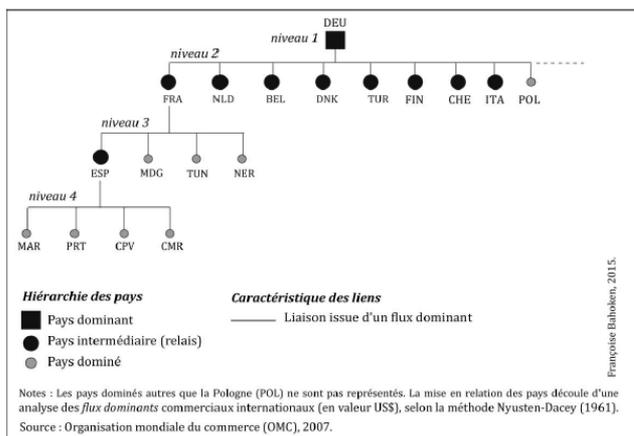
Flux dominants (Nyusten et Dacey, 1961)



Logique de lieux

Recherche de communautés (régions) organisées autour de lieux/pôles dominants

Méthodes de réduction de l'effet-spaghetti

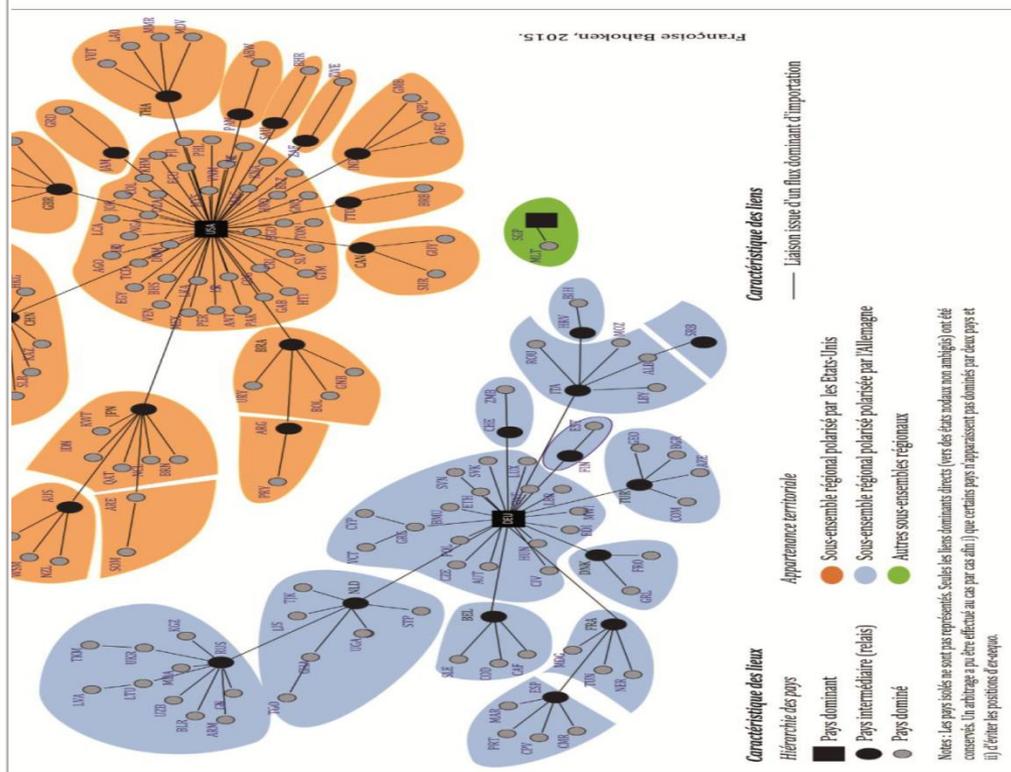
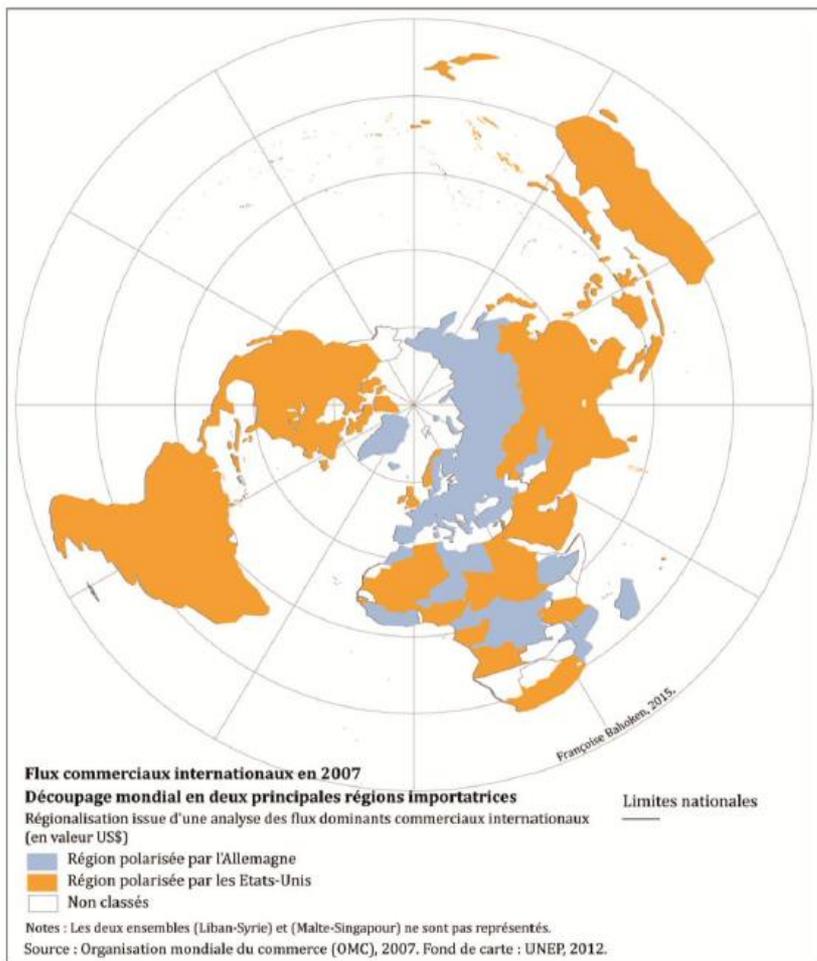


Logique de lieux

Logique d'appartenance territoriale commune des lieux (i) et (j) : nouvelle partition

Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti*

Flux dominants (Nyusten et Dacey, 1961)



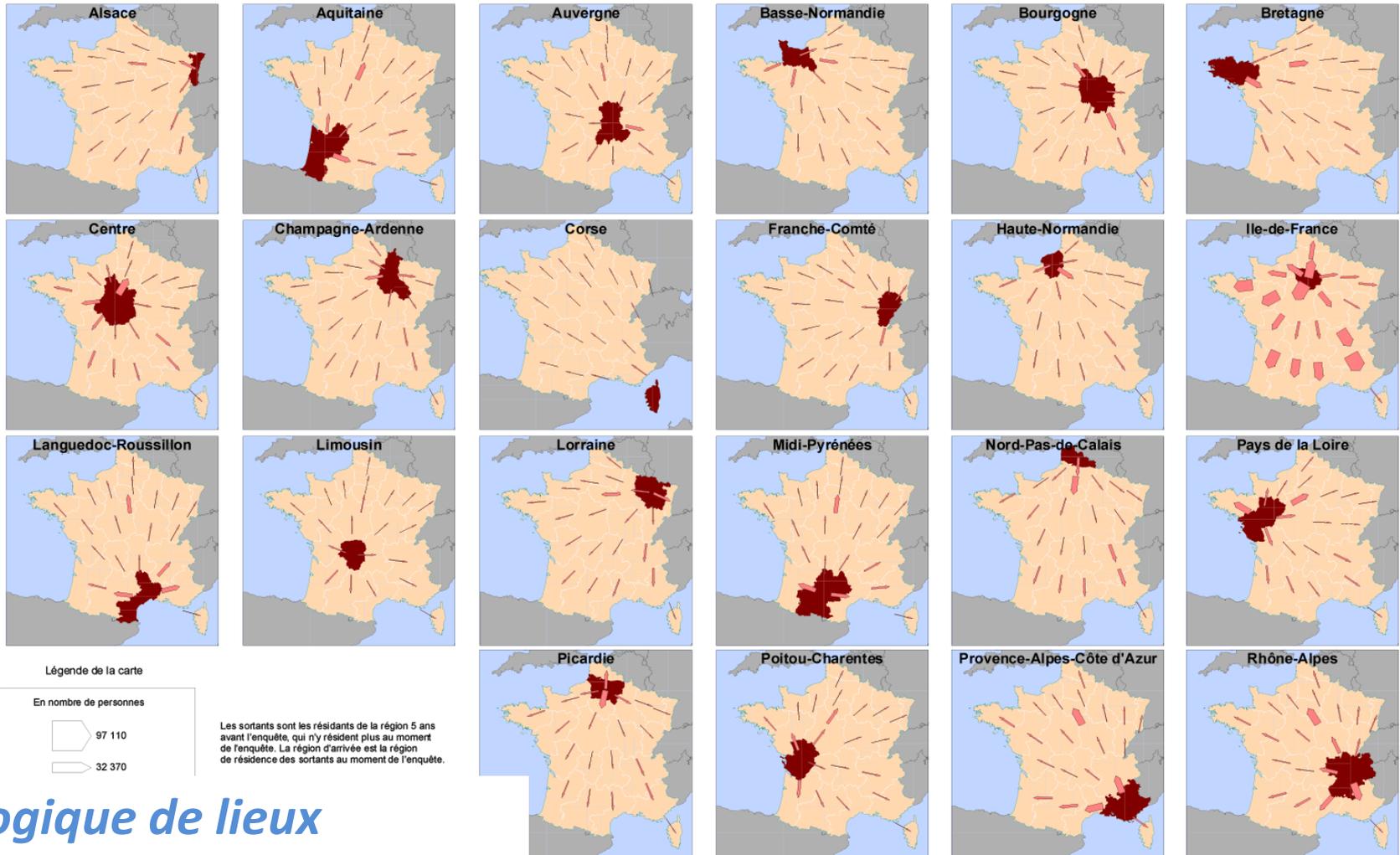
Logique de lieux

Du graphe à la carte !

Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti*

INSEE Résultante vectorielle

Population des ménages en 2005



Légende de la carte

En nombre de personnes

97 110

32 370

Les sortants sont les résidents de la région 5 ans avant l'enquête, qui n'y résident plus au moment de l'enquête. La région d'arrivée est la région de résidence des sortants au moment de l'enquête.

Logique de lieux

Focale sur UNE région (un lieu)

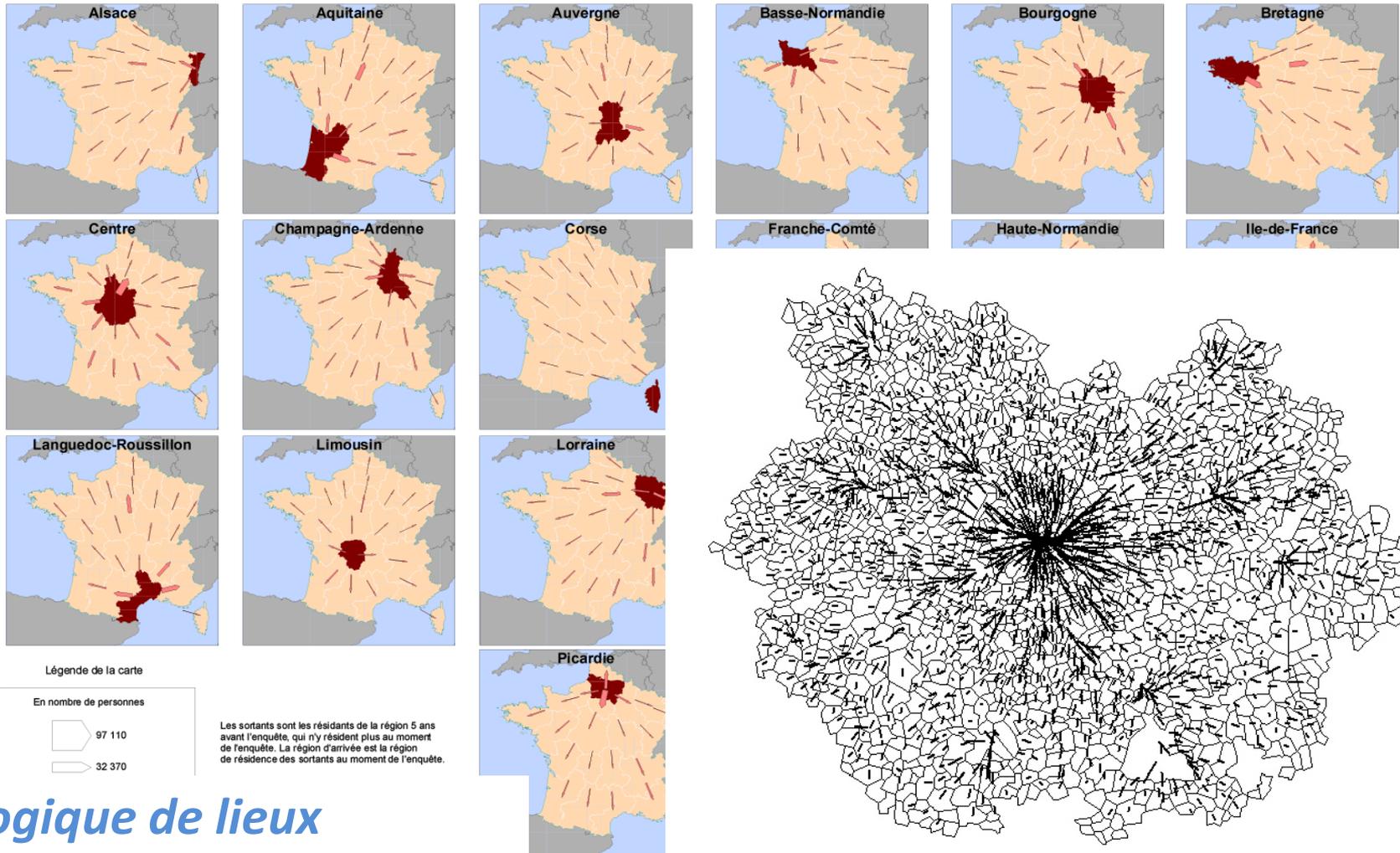
Méthodes de réduction de *l'effet-spaghetti*



Résultante vectorielle

Départs selon la régions d'arrivée

Population des ménages en 2005



Légende de la carte

En nombre de personnes



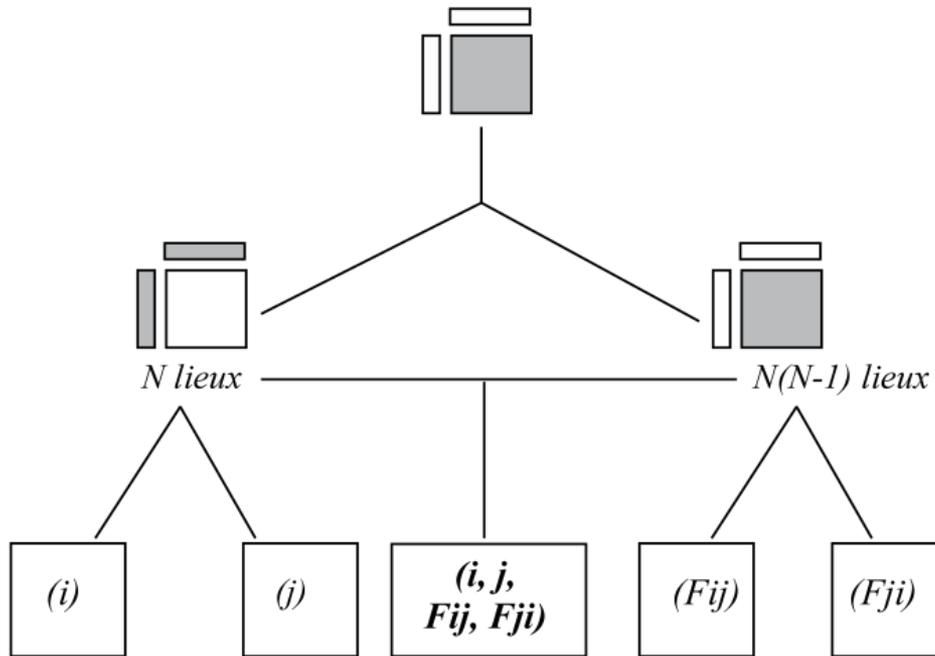
Les sortants sont les résidents de la région 5 ans avant l'enquête, qui n'y résident plus au moment de l'enquête. La région d'arrivée est la région de résidence des sortants au moment de l'enquête.

Logique de lieux

Focale sur UNE région (un lieu)

S. Julinet, H. Mathian (2005)

Possibilités de sélection selon la focale



Données sur les flux Origine-Destination

N : Nombre total de lieux

i, j : Lieu d'Origine, Lieu de Destination

F_{ij}, F_{ji} : Flux aller (de i vers j), Flux retour (de j vers i)

$N(N-1)$: Seuls les flux sont représentés par un lien simple ou orienté (flèche)

N^2 : Chaque paire de lieux est représentée par un couple (i, j) de la matrice

Types de raisonnements

→ **Logiques de lieux $(i), (j)$**
sur La position (x, y) des objets

→ **Logique de liens (L) ,**
sur leur existence pratique

→ **Logique de flux (F)**
sur l'intensité/valeur du lien

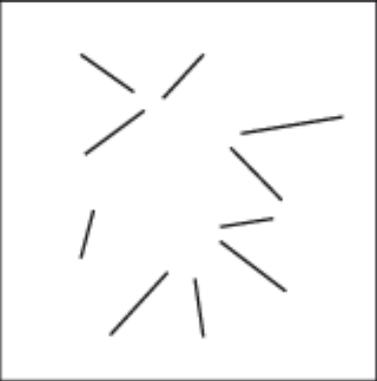
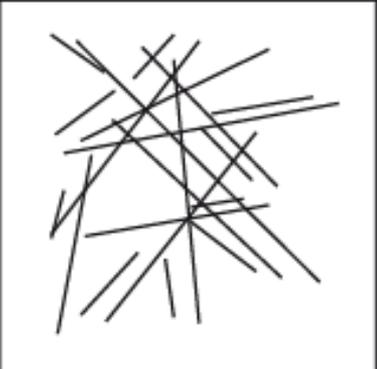
→ **Logiques spatiale (E) et de
mouvements (M)**

sur le rôle de l'espace dans la
valeur d'intensité

→ **Logiques mixtes (F, M, D)**

Formalisation de *l'effet-spaghetti*

Effet de couverture spatiale

		<i>Effet de couverture spatiale</i>	
		<i>figurés fins</i>	<i>figurés gros</i>
<i>Effet de surcharge graphique</i>	<i>figurés épars</i> —		
	<i>figurés nombreux</i> +		

A noter :

Différences de largeurs, de longueurs, d'angles ou d'orientations ; dans la quantité, dans la répartition, ... des liens

Et alors, l'espace ?

Etonnamment, l'espace des échanges n'est jamais pris en compte dans le processus de représentation cartographique.

Tout au plus est-il mobilisé :

- lors de l'étape de modélisation des données numériques, c'est à dire en dehors (en amont) du processus de représentation proprement dit ;
- pour « habiller » la figure, dans une visée esthétique, cosmétique...

→ D'où la pertinence du graphe (spatialisé) aux côtés de la carte de flux pour visualiser des échanges, **ils sont similaires dans leur construction.**

2. La sémantique

**représenter des flux et des mouvements
dans l'espace géographique**

Démonstration

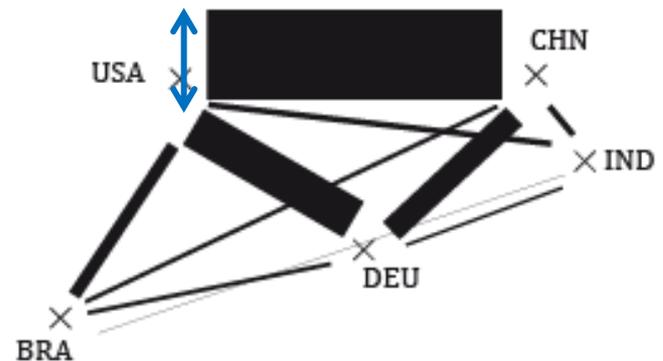
L'espace n'est jamais pris en compte 😞

La logique de Flux (Fij)

Volume de flux bilatéral

Fij+	BRA	CHN	DEU	IND	USA
BRA	-	14	13	0,2	37
CHN	14	-	73	18	274
DEU	13	73	-	0,9	124
IND	0,1	18	0,9	-	24
USA	37	274	124	24	-

Valeur de flux



Une matrice de flux

Une carte (ou un graphe ?) de flux

Le rôle des positions (x,y)

La logique de Flux (Fij)

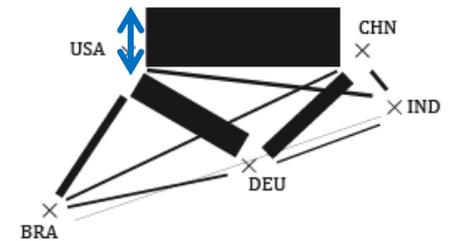
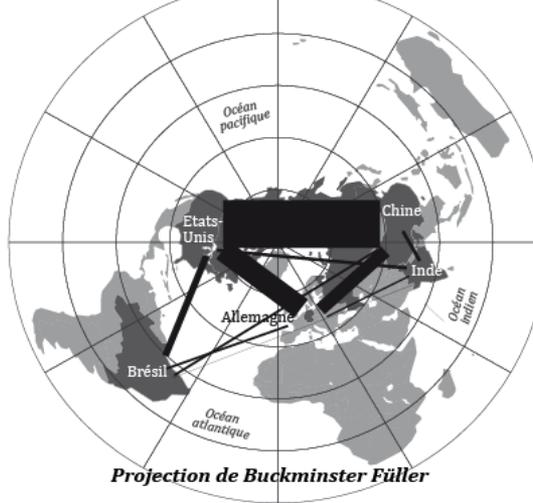
Flux internationaux de marchandises

Volume de flux bilatéral

Fij+	BRA	CHN	DEU	IND	USA	
Brésil	BRA	-	14	13	0,2	37
Chine	CHN	14	-	73	18	274
Allemagne	DEU	13	73	-	0,9	124
Inde	IND	0,1	18	0,9	-	24
Etats-Unis	USA	37	274	124	24	-

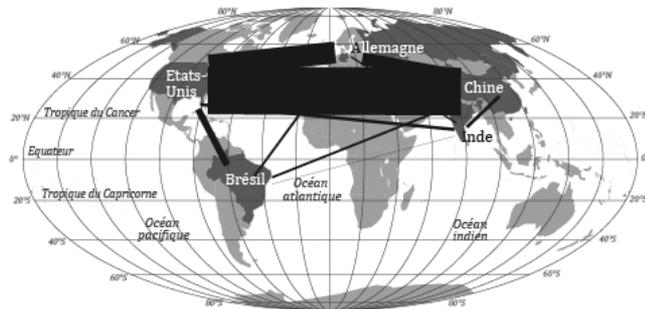
Valeurs arrondies, en milliards de dollars (US\$)

Projection polaire



Une carte
(ou un graphe ?)

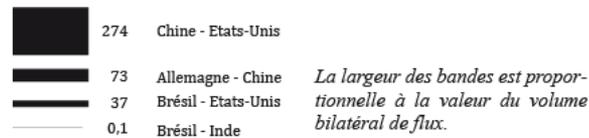
Projection de Mollweide



Projection de Buckminster Fuller



Volume bilatéral



Sources : Fond de carte, UNEP, 2012. Données, CHELEM, Cepii, 2006-2008.

Et l'espace ?

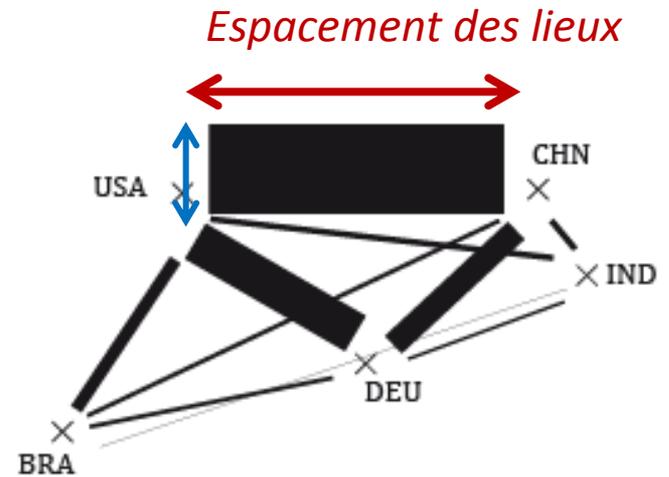
La logique de Flux (Fij)

La logique de mouvements (Mij)

Volume de flux bilatéral

Fij+	BRA	CHN	DEU	IND	USA
BRA	-	14	13	0,2	37
CHN	14	-	73	18	274
DEU	13	73	-	0,9	124
IND	0,1	18	0,9	-	24
USA	37	274	124	24	-

Valeur de flux

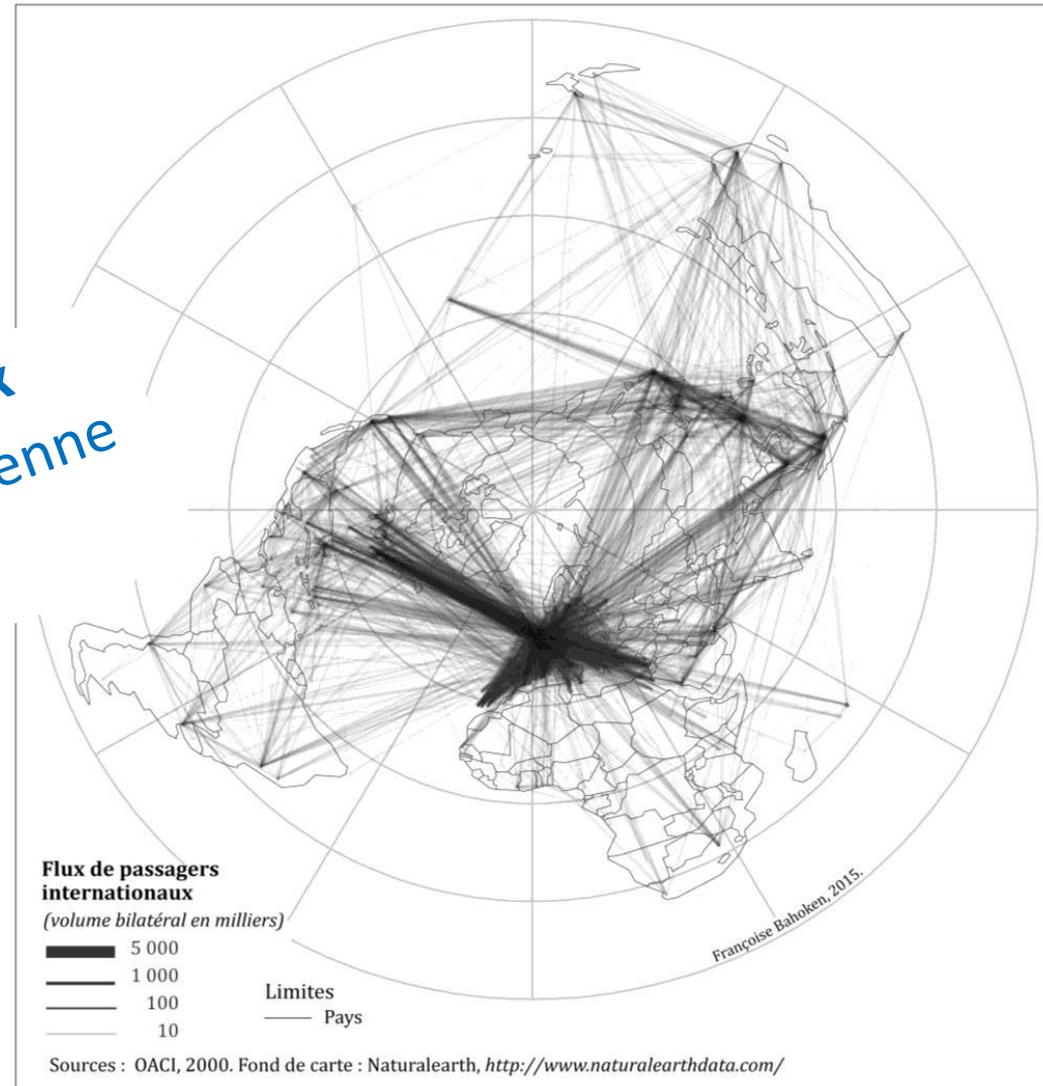


Réaliser une carte de flux selon une

La logique de mouvements (Mij)

- Aspects graphiques ?
- Aspects cartographiques ?
- Aspects statistiques ?

→ Logique de flux
Métrique euclidienne
(trait droit)



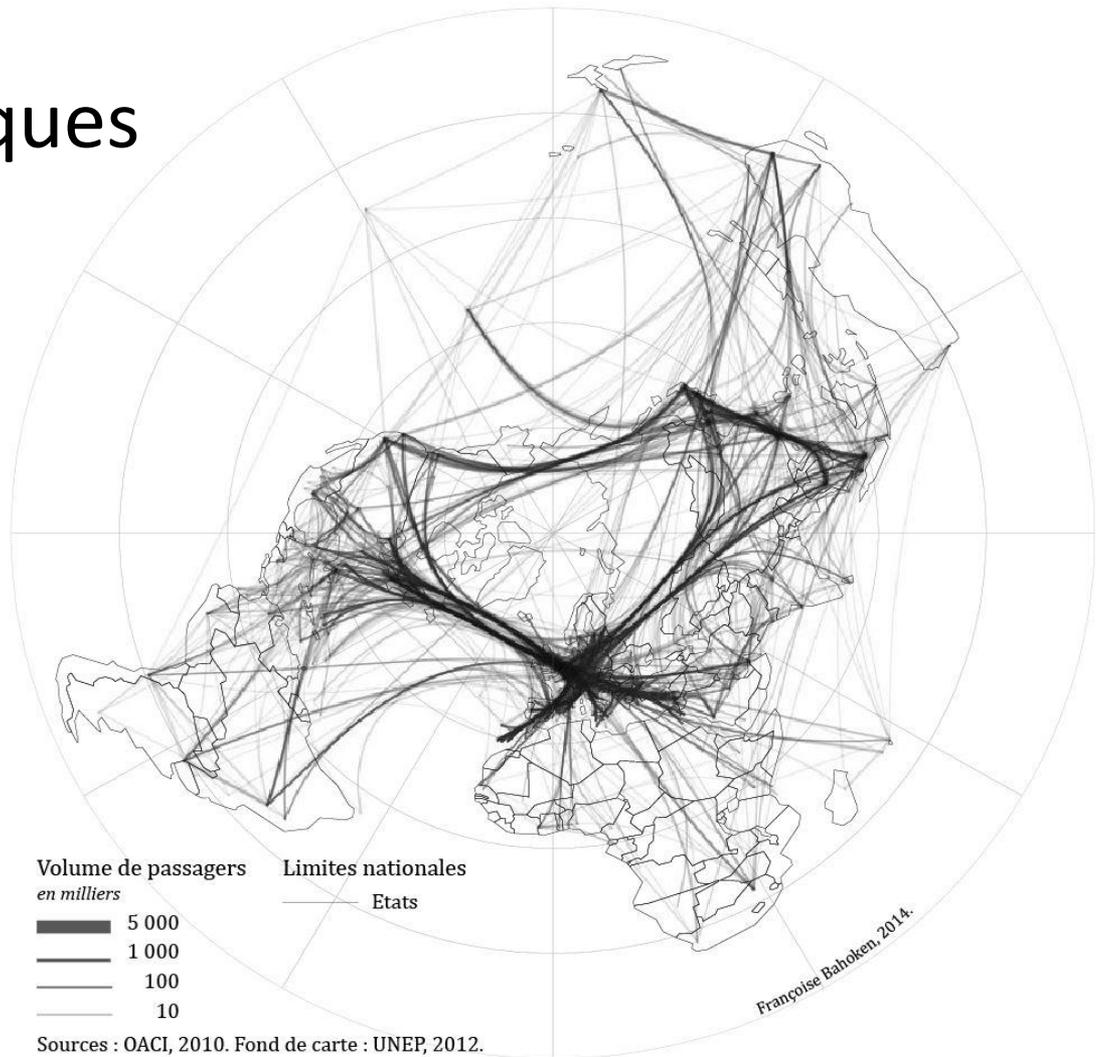
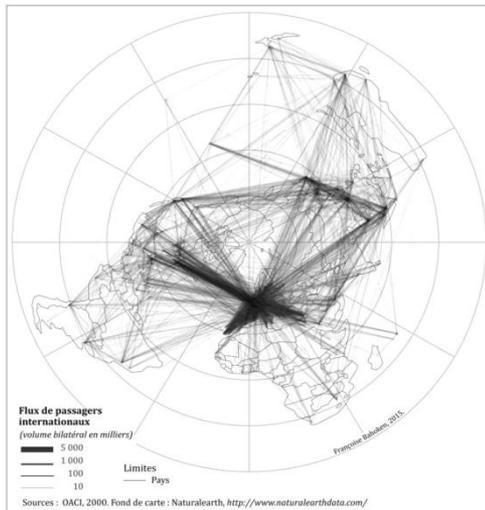
La logique de mouvements (Mij)

- Aspects graphiques

Edge bundling

(méthode Holten, 2005)

Logique de flux



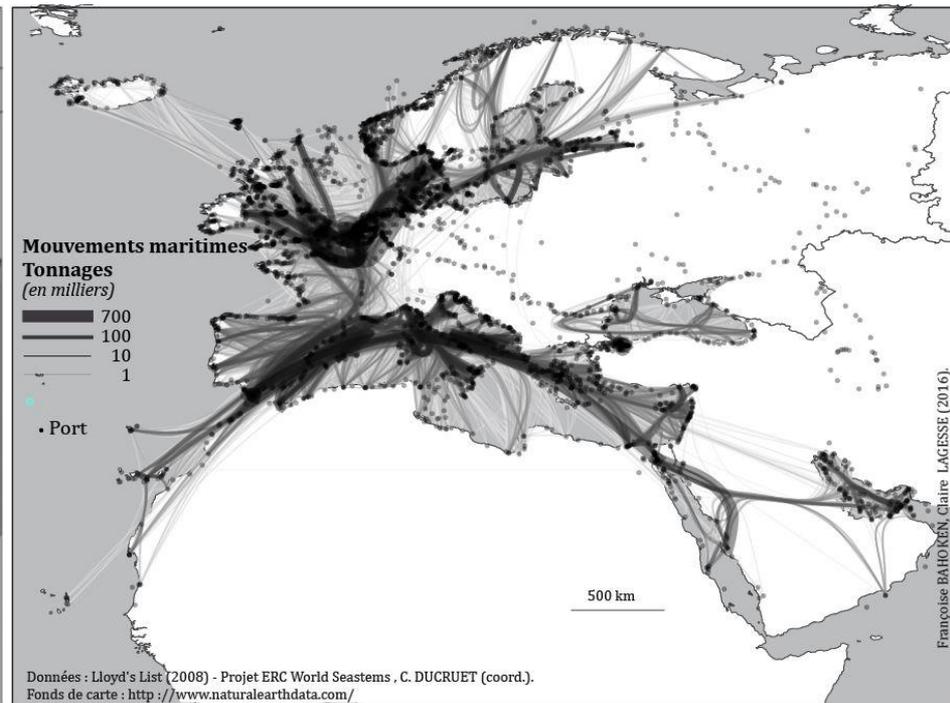
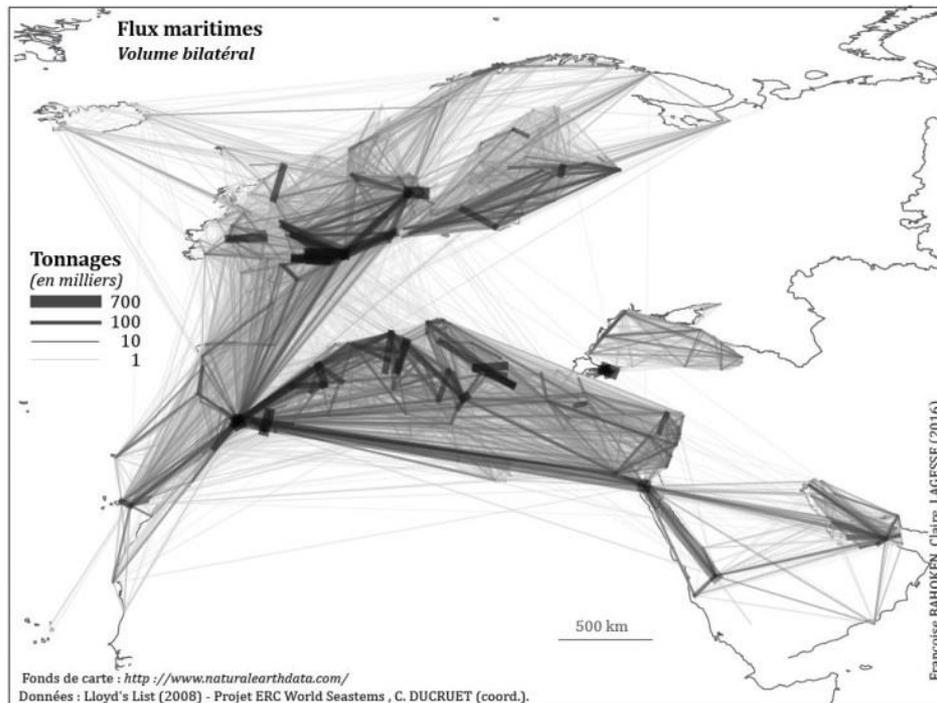
L'exemple des flux maritimes euro-méditerranéens

La logique de mouvements (Mij)

- Aspects graphiques

Logique de flux

Edge bundling
Logique de mouvements



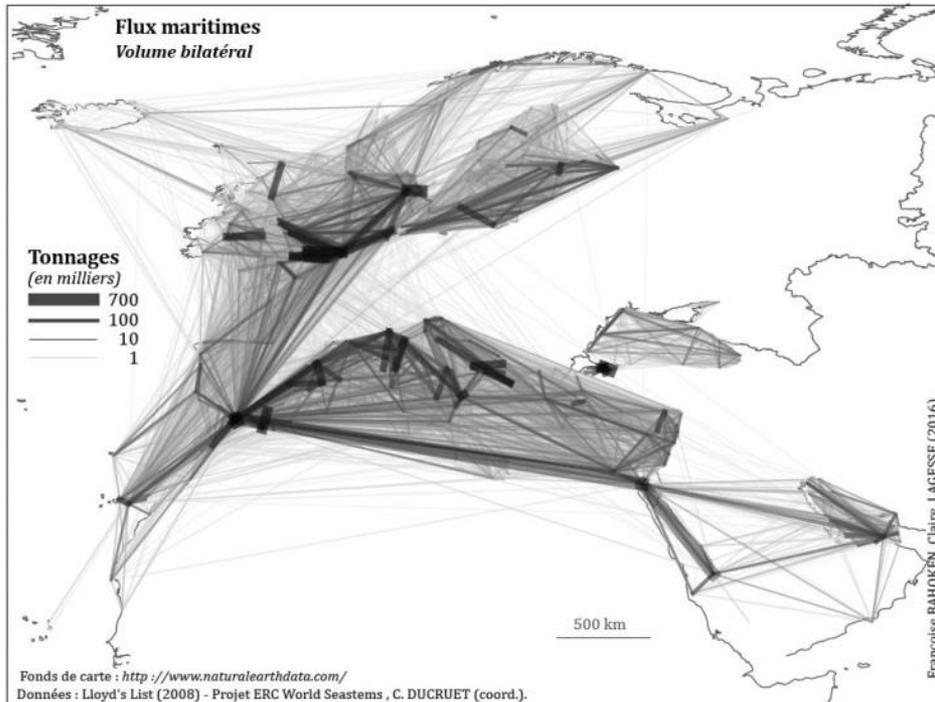
La logique de mouvements (Mij)

L'exemple des flux maritimes euro-méditerranéens

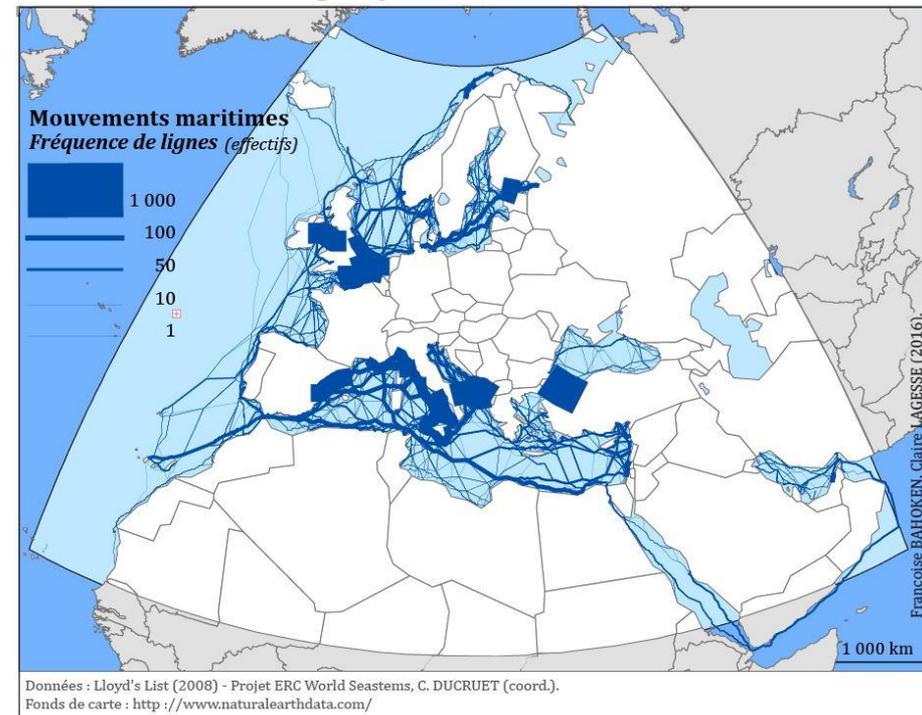
- ~~Aspects graphiques~~
- Aspects cartographiques

Travail en cours

Logique de flux



Logique de mouvements



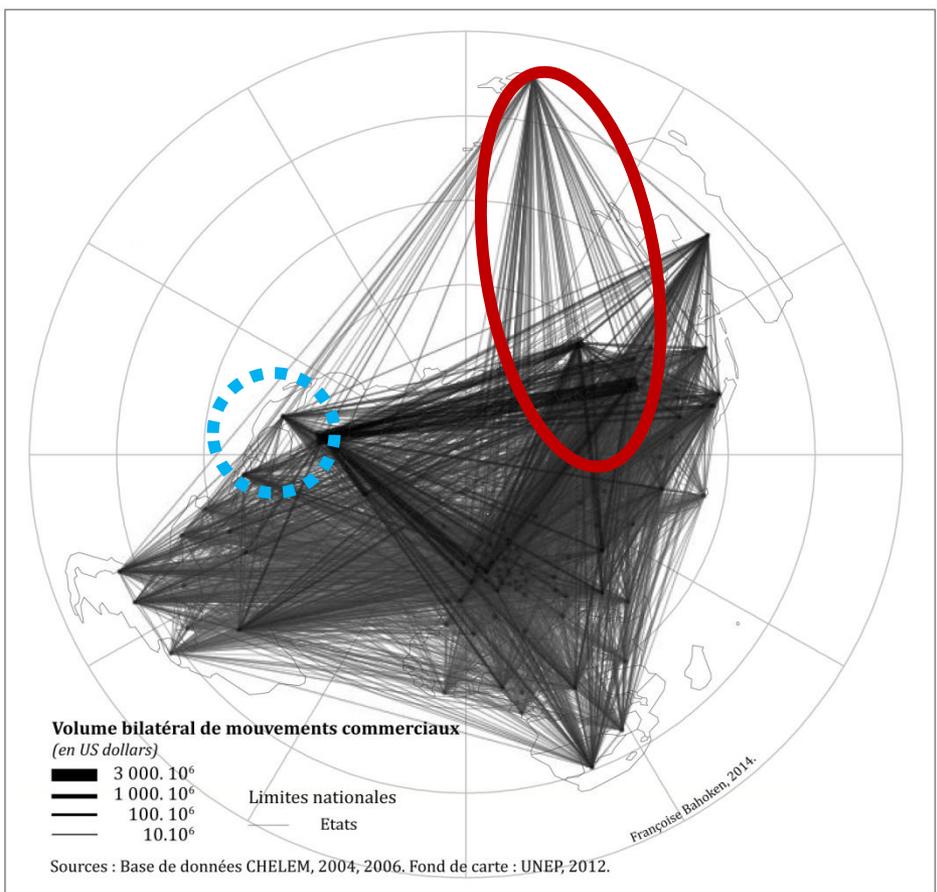
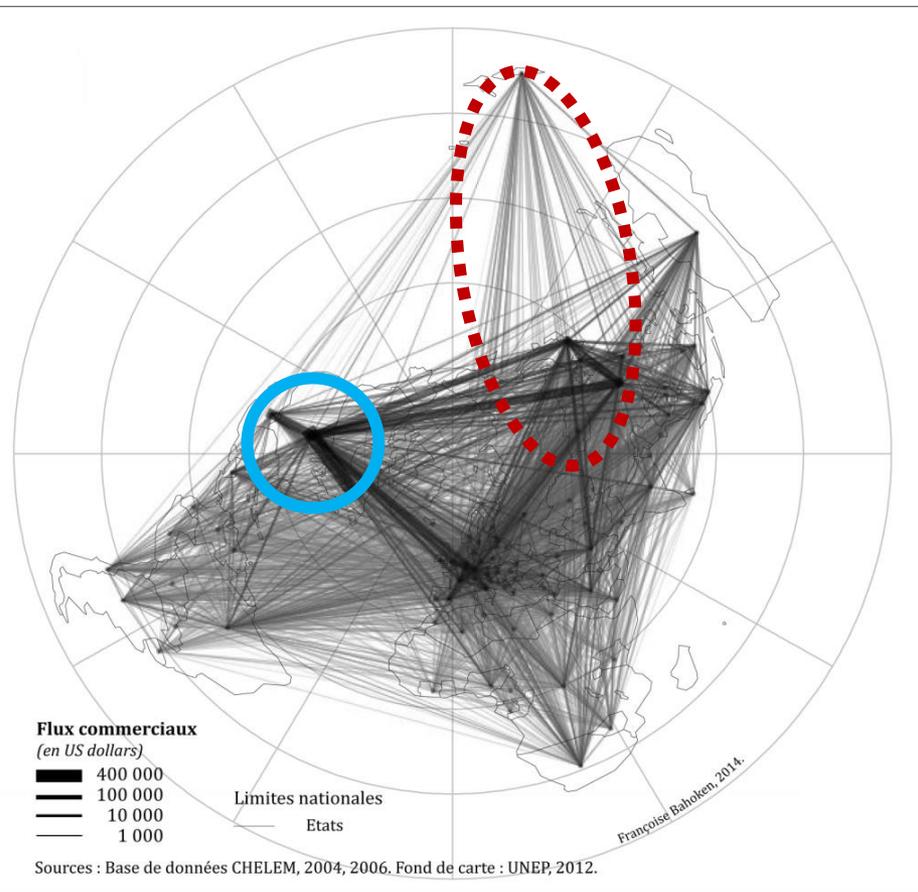
La logique de mouvements (Mij)

L'exemple des flux maritimes euro-méditerranéens

- Aspects graphiques
- Aspects cartographiques
- Aspects statistiques

Logique de flux (Fij+)

Logique de mouvement (Mij+)



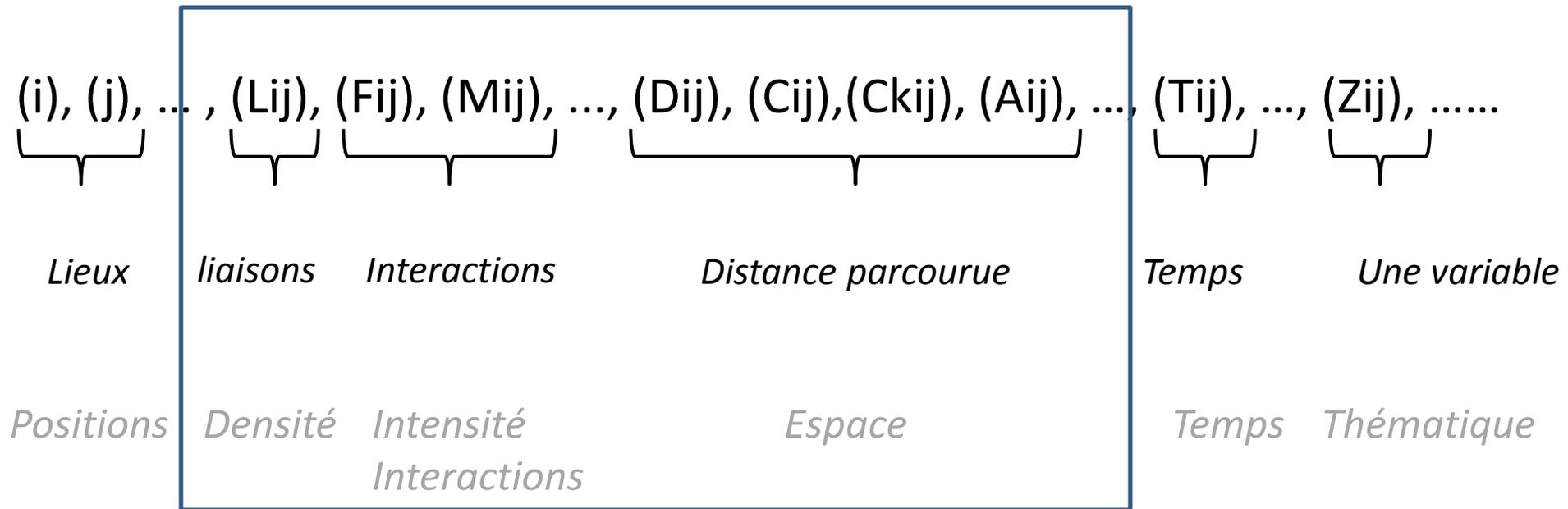
Privilégie la **courte distance** (mobilités locales)
1^{ère} loi de la Géographie (Tobler, 1969)

Survalorise la **longue distance**
→ révèle les périphéries, les marges...

3. Le choix de(s) critère(s) de sélection de l'information de flux

Aspects statistiques

→ Le choix de(s) critère(s) de sélection



Le(s) critère(s) de sélection

(intensité*espace)

<p><i>Intensité</i> <i>densité</i> <i>(de liens)</i></p>	<p>$(F_{ij}) > \alpha$ $(L_{ij}) < \alpha\%$</p>	<p>} Double critère global</p>
<p><i>Espace</i> <i>Intensité</i> <i>* espace</i></p>	<p>$(F_{ij}) > (D_{ij})$ avec : $(D_{ij}) > \alpha.km$ $(L_{ij}) < \alpha\%$ et $(F_{ij}) > (D_{ij})$</p>	<p>Logique gravitaire</p> <p>↑ Métrique continue</p>
<p><i>Voisinage</i></p>	<p>$(F_{ij}) \leftarrow (C_{ij})=1$ $(F_{ij}) \leftarrow (CK_{ij})$ avec : $k= \{1,2,4...\}$</p>	<p>Logique réticulaire (Théorie des graphes)</p> <p>↑ Métriques discrètes</p>
<p><i>Similarité</i></p>	<p>$(F_{ij}) \leftarrow (A_{ij}=1)$ avec $(A_{ij}) : (P_i)=(P_j)$</p>	<p>↓ 45</p>

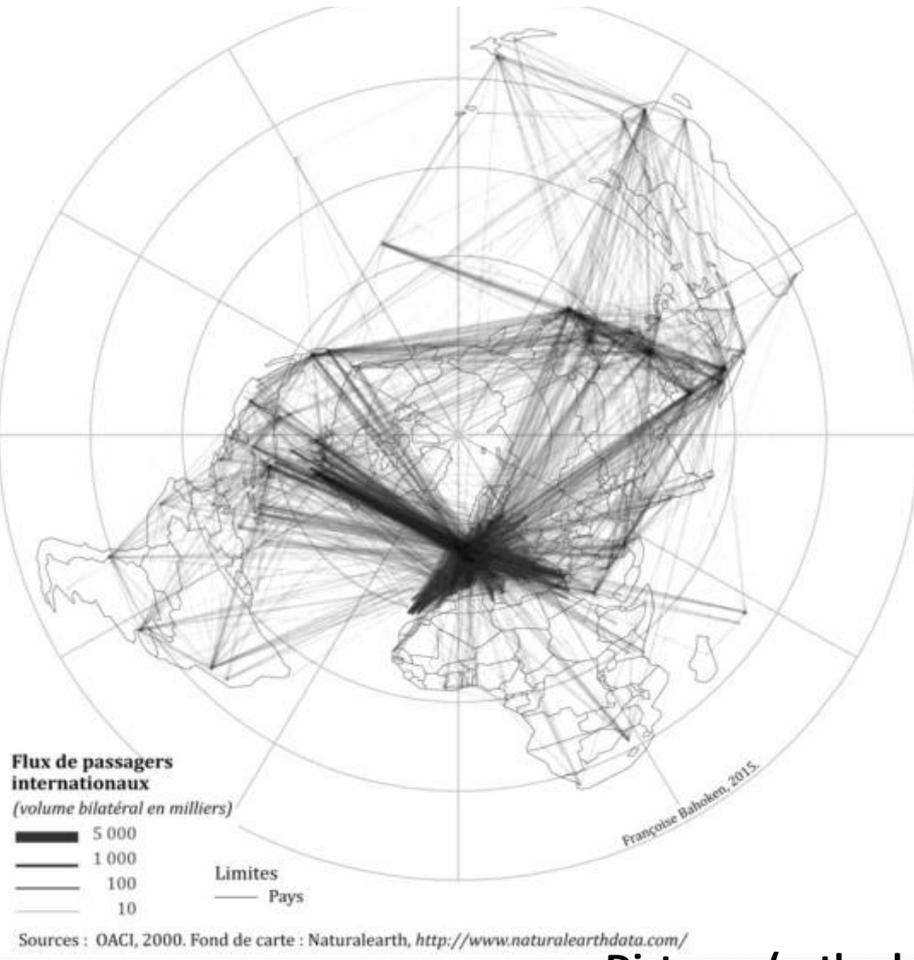
La sélection des flux selon un critère de distance : *La métrique continue*



10 628 liaisons disponibles de plus de
10 000 passagers, entre 436 aéroports

(Fij) > 10 000

Densité de la matrice : 5%



Distance (orthodromique) parcourue : résumé statistique

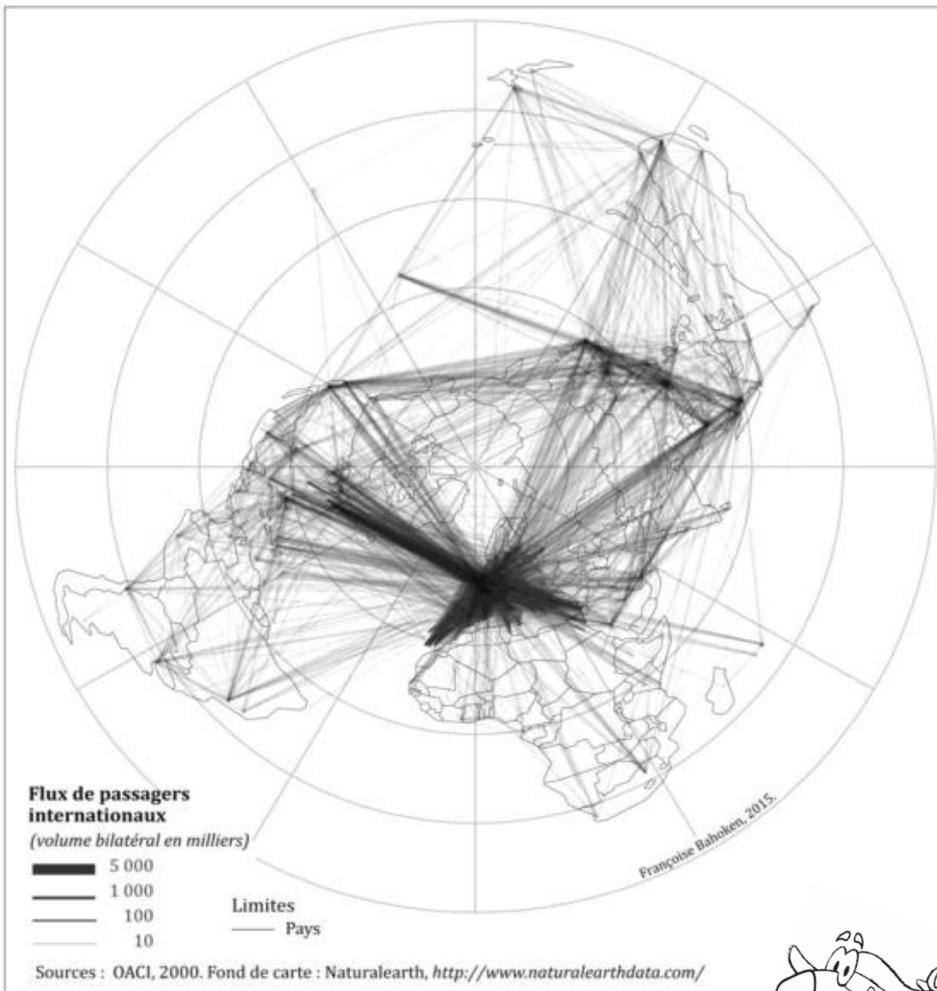
(Dij)	Min	Q1	Q2	Q3	Max	Moyenne
Distance kilométrique	47	1 315	2 188	3 755	18 377	3 152,1

Flux de passagers (OACI, 2000)

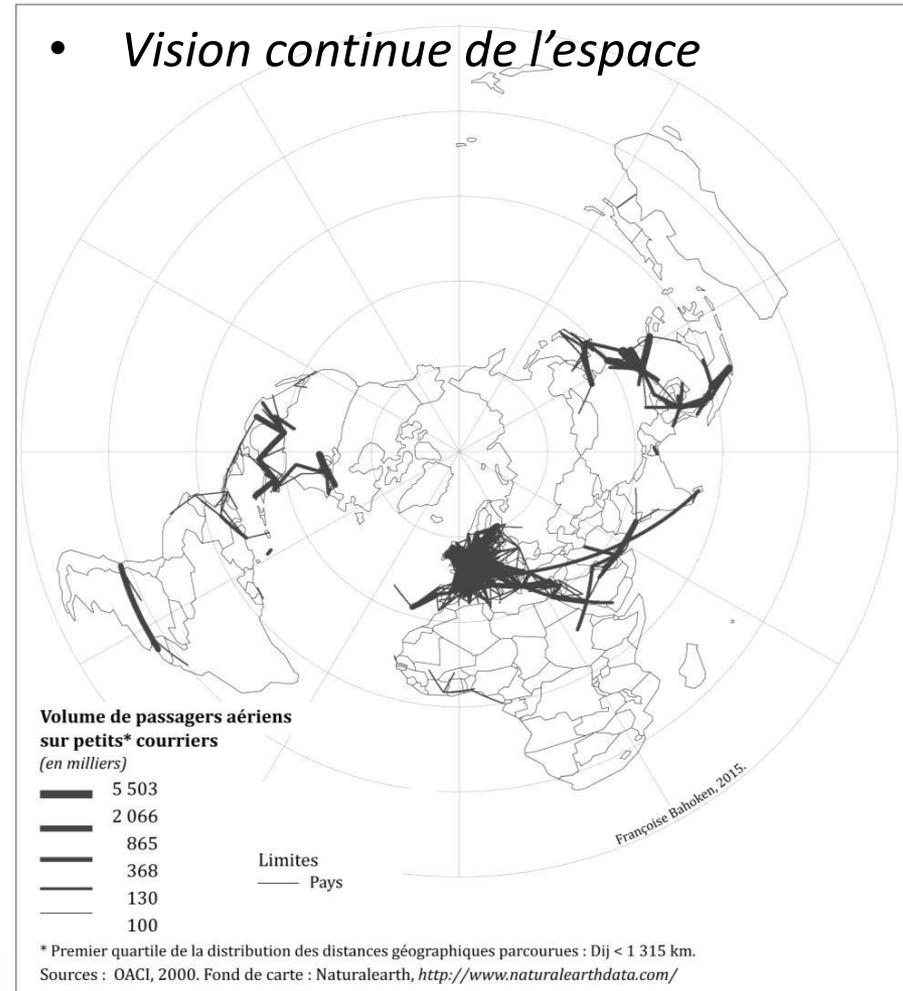
La sélection des flux selon un critère de distance : *La métrique continue*

$(F_{ij}) > 10\ 000$ passagers

$(F_{ij}) \leftarrow (D_{ij}) < Q1$ ($Q1 = 1315$ km)



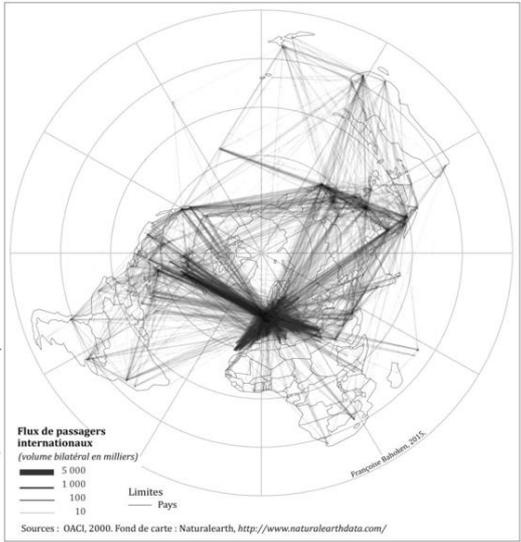
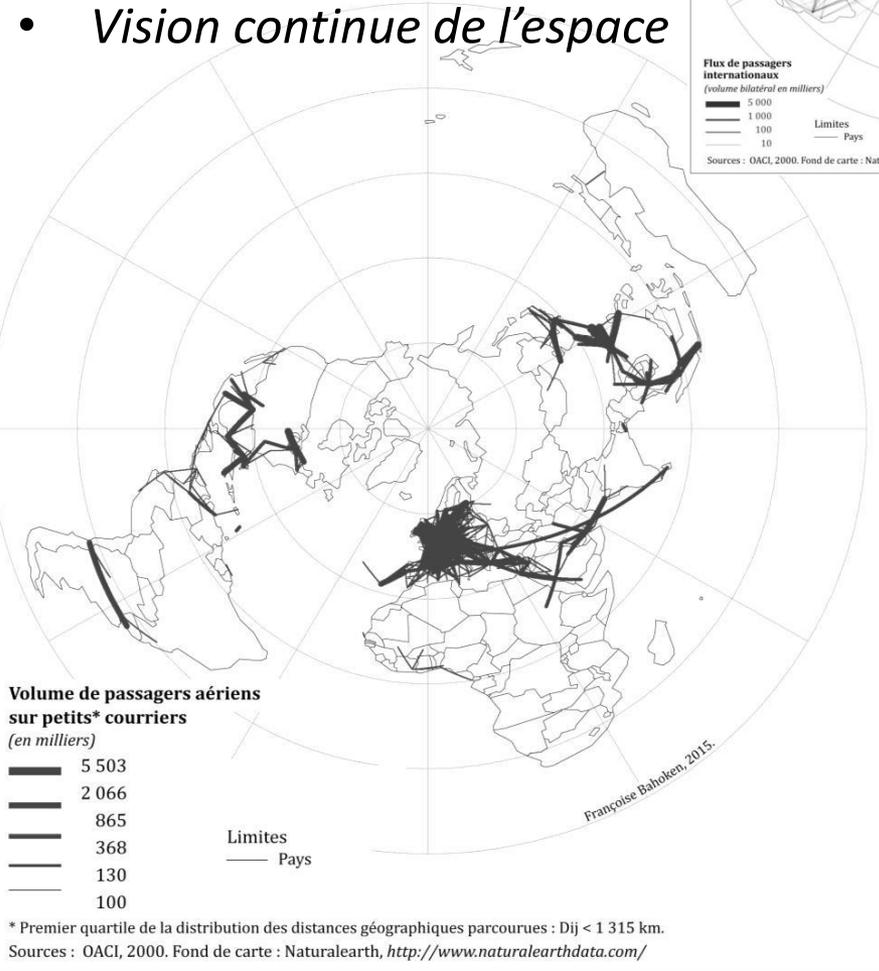
- *Vision continue de l'espace*



« petits courriers »

$$(F_{ij}) \leftarrow (D_{ij}) < Q1$$

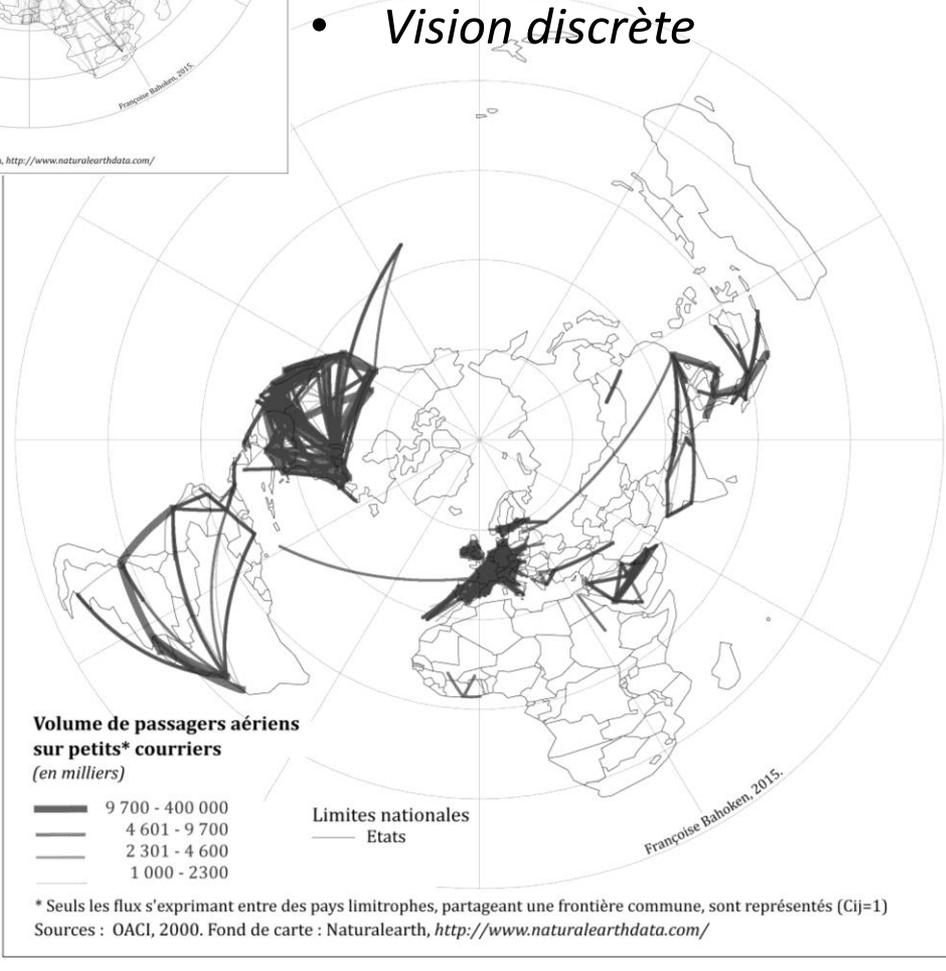
- *Vision continue de l'espace*



« pays voisins »

$$(F_{ij}) \leftarrow (C_{ij}=1)$$

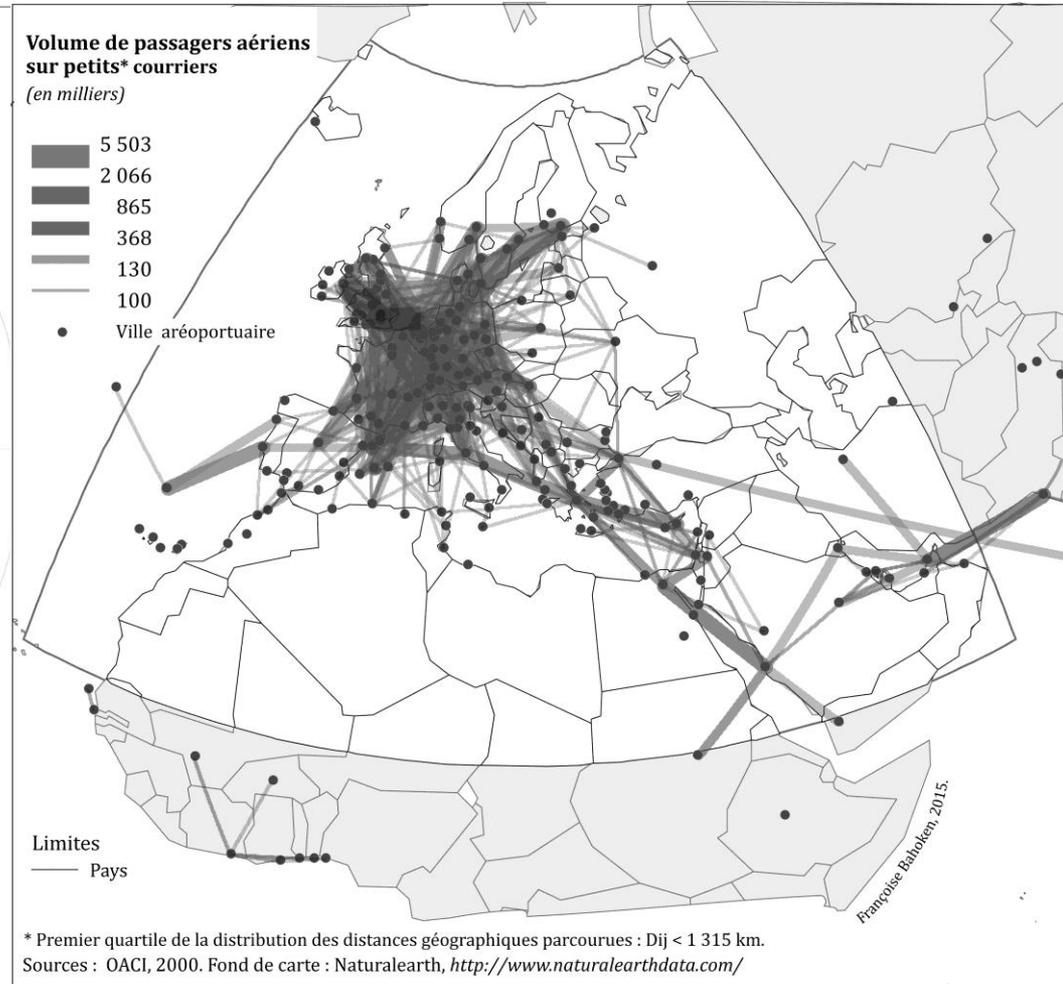
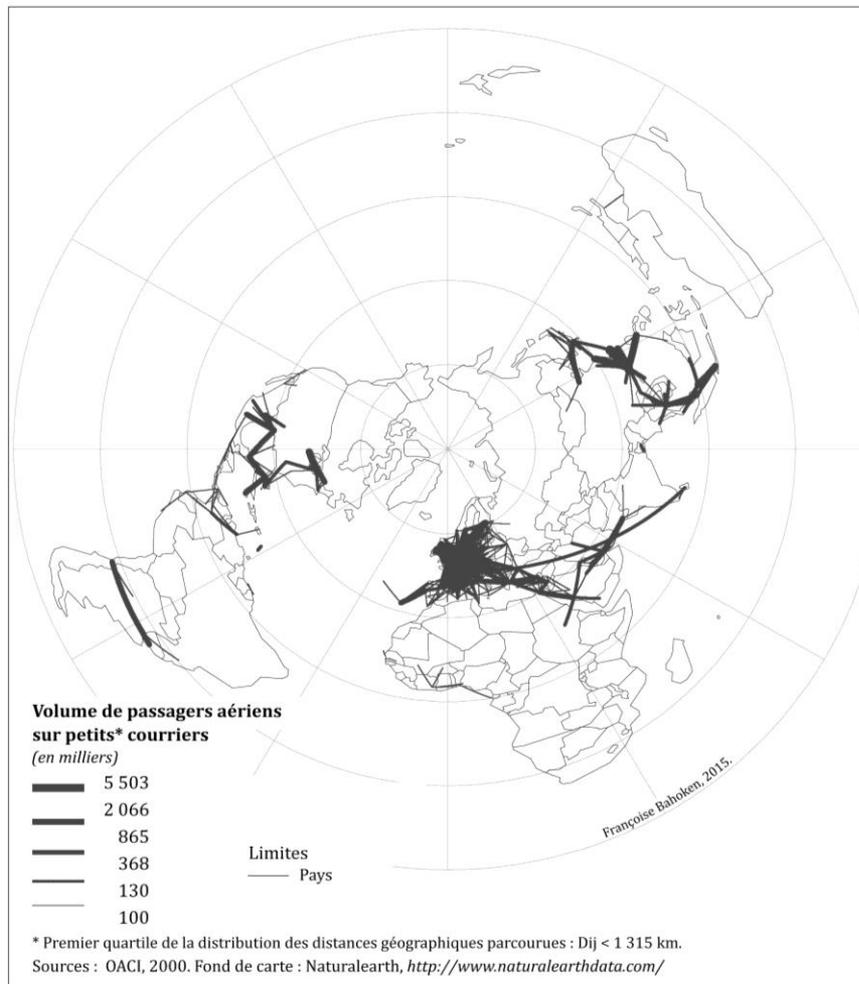
- *Vision discrète*



La sélection des flux selon un critère de distance : *La métrique discrète – le voisinage*

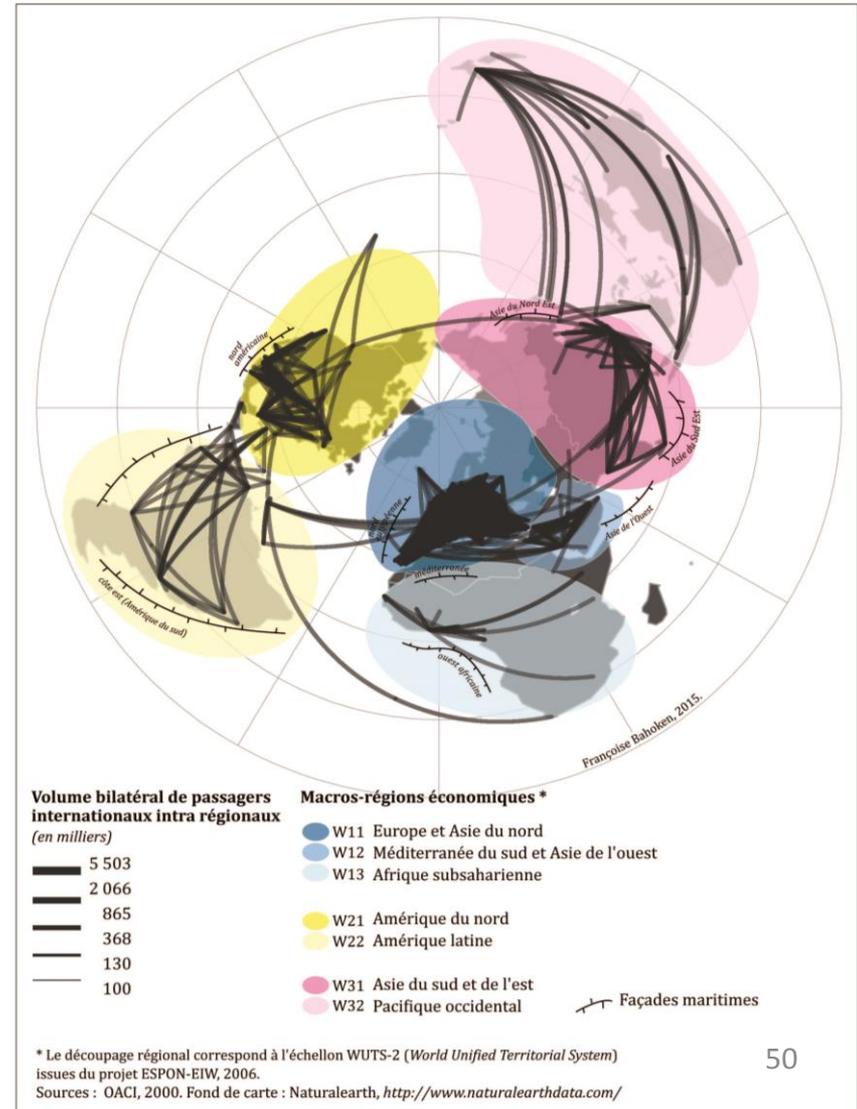
« *petits courriers ...*

en Europe »



La sélection des flux selon un critère de distance : La métrique discrète – similarité (appartenance territoriale)

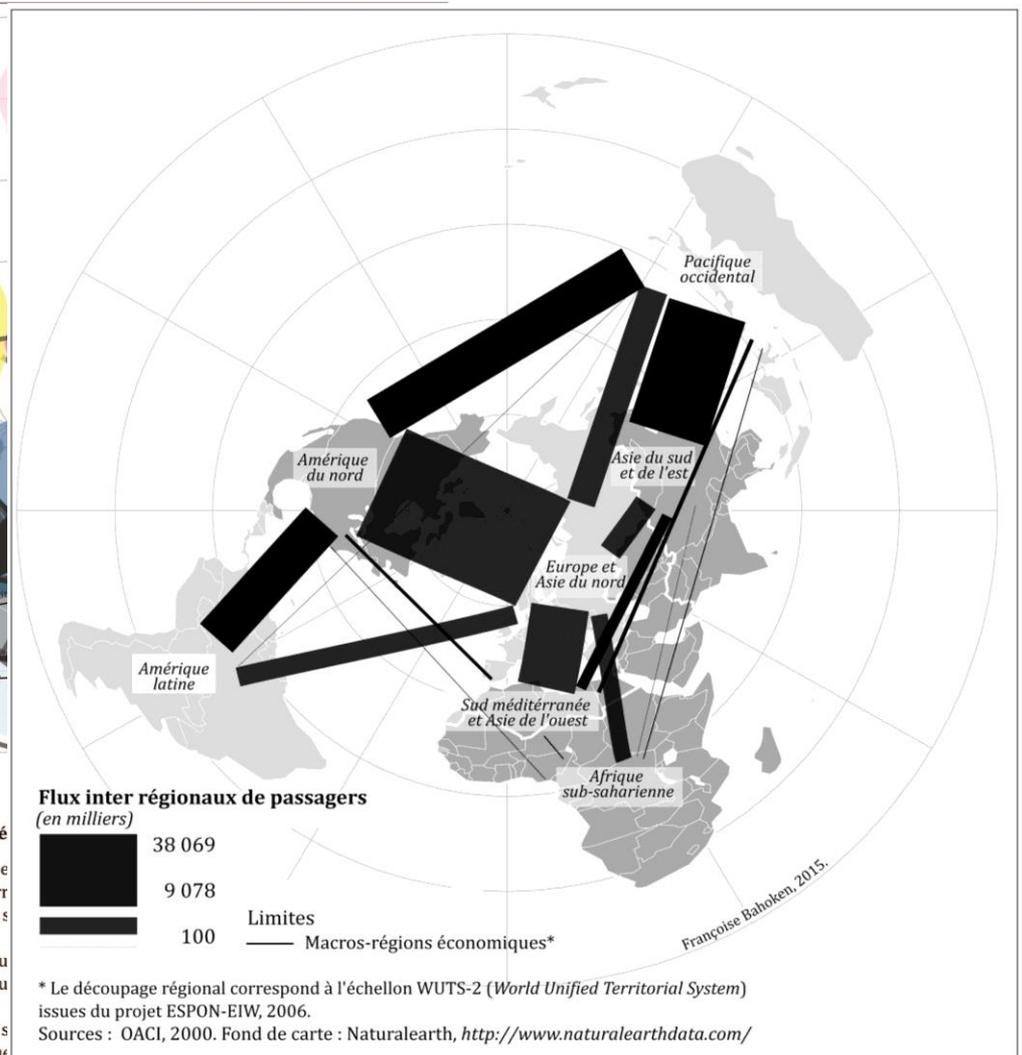
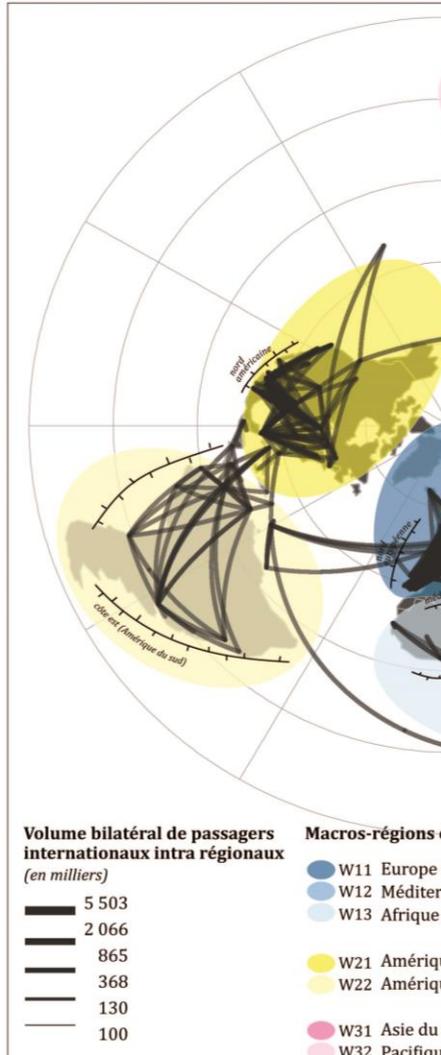
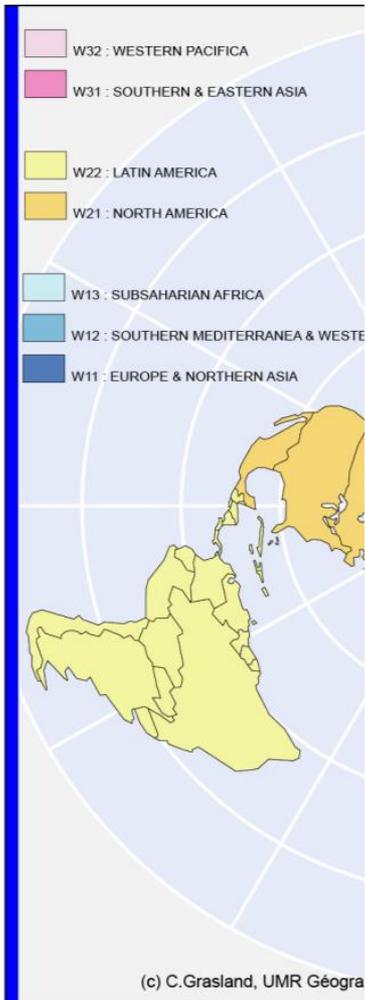
« *petits courriers ... intra-régionaux ... mondiaux* »



La sélection des flux selon un critère de distance : La métrique discrète – similarité (appartenance territoriale)

« *intra-régionaux ...*

inter régionaux »



Merci de votre attention

Françoise Bahoken

francoise.bahoken@ifsttar.fr



Programmes R de sélection des flux selon un critère d'éloignement

<http://elementr.hypotheses.org/314>



Contribution à la cartographie d'une matrice de flux

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01273776>



Département AME – Laboratoire SPLOTT
Cité Descartes, 14-20 Boulevard Newton,
77447 Marne-la-Vallée cedex 2
<http://www.ifsttar.fr>



Géographie-cités - Equipe PARIS
13, rue du Four 75006 PARIS
<http://www.parisgeo.cnrs.fr>