Image Ville Environnement

ERL 7230

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Modélisation des flux de déplacement de la vie quotidienne

Conceptualisation, méthodologie, résultats

Christophe Enaux

(Christophe.Enaux@live-cnrs.unistra.fr)

Laboratoire Image, Ville, Environnement ERL 7230
Faculté de Géographie et d 'Aménagement
3, rue de l 'Argonne
F-67000 STRASBOURG

ECOSYSTÈMES CONTINENTAUX ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX ECCOREV

Journées modélisation en environnement – 22 au 26 février 2010
Fédération de Recherche Eccorev

Système de la mobilité spatiale

Portée spatiale

		Déplacement interne au bassin de vie	Déplacement externe au bassin de vie
Intension d'un retour à court terme	OUI	MOBILITE QUOTIDIENNE	VOYAGE
	NON	MOBILITE RESIDENTIELLE	MIGRATION

Mobilité quotidienne :

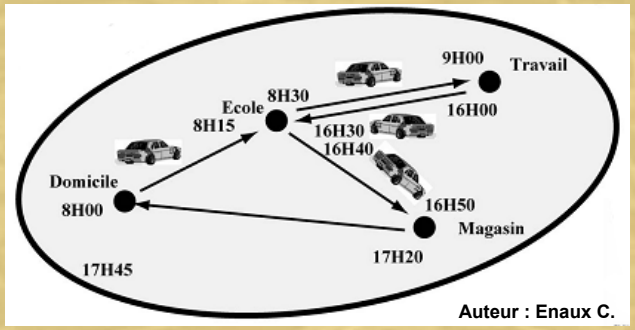
divers motifs : travail/étude, achats, santé, loisirs, visite, etc.

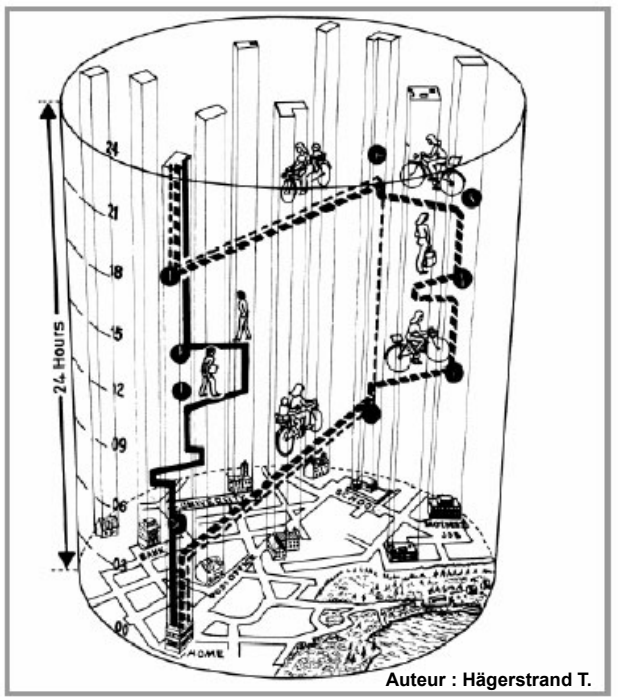
Modélisation de la mobilité quotidienne

Flux de déplacement

Approche agrégée

Espace activité/déplacement





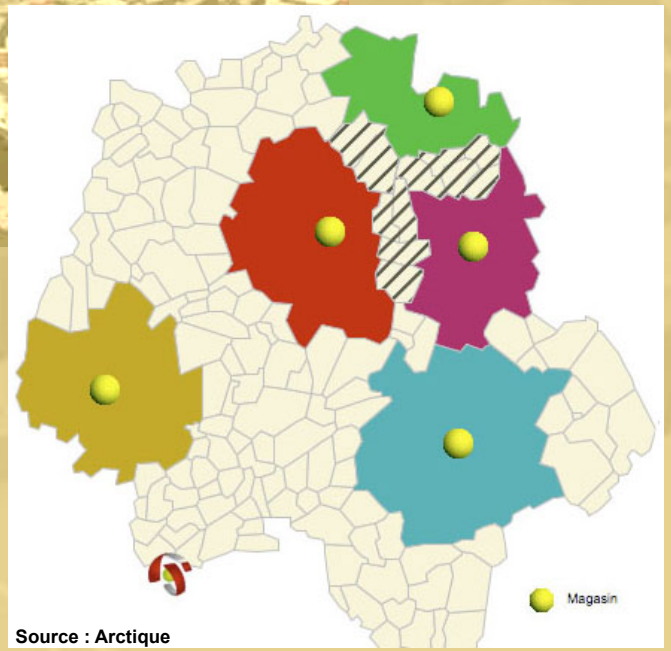
Approche à l'échelle individuelle

Nombreux domaines d'application

Planification des transports

Dynamique urbaine

Géomarketing



Source : Arctique

Enjeux environnementaux

Part modale

		Marche ou vélo	Véhicule particulier à moteur	Transports en commun	Ensemble
Ensemble rural et faiblement urbanisé					
Répartition (%)	1994	21	74	5	100
	2008	19	76	5	100
Ensemble grandes agglomérations					
Répartition (%)	1994	31	56	13	100
	2008	33	55	12	100

Champ : déplacements locaux un jour de semaine des individus de 6 ans et plus habitant en France métropolitaine.
Source : Insee - SOeS - Inrets, enquêtes nationales transports et communication 1993-1994, transports et déplacements 2007-2008.

- Pollution de l'air
- Nuisances sonores
- Pollution de l'eau et des sols

- Consommation de l'espace
- Effets visuels
- Discontinuités urbaines
- etc.

Plan

- Conceptualisation de la modélisation des flux
- Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice OD
- Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

■ Conceptualisation de la modélisation des flux

→ **H. Carey (1858) introduit le principe de la gravitation universelle dans les sciences sociales**

→ **Quelques grands principes de Ravenstein (1885 et 1889) :**

- La grande masse des migrants se déplacent sur des petites distances

- Migration produit un courant général en direction des centres industriels et commerciaux à partir des campagnes rurales

Deux éléments sont centraux : attraction, distance

→ **Travaux de W. Reilly (1929)**

- Les consommateurs fréquentent en général les centres qui sont les plus proches

- Leur demande faiblit au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre

- L'attraction d'un centre est proportionnelle à son importance et inversement proportionnelle au carré de la distance qui le sépare du consommateur

→ **G. ZIPF (1945,1946) formule une relation inspirée de la gravitation universelle de Y. Newton**

Conceptualisation de la modélisation des flux

Modèle général de ZIPF

$$F_{ij} = k \frac{E_i \times A_j}{d_{ij}^{a}}$$

E_i et A_j : Emission et Attraction
d : distance (fonction puissance)
k : paramètre de mise à l'échelle
a : résistance au déplacement (paramètre fondamental)

Ou $$F_{ij} = k \times E_i \times A_j \times d_{ij}^{-a}$$

Estimation des paramètres par une transformation logarithmique

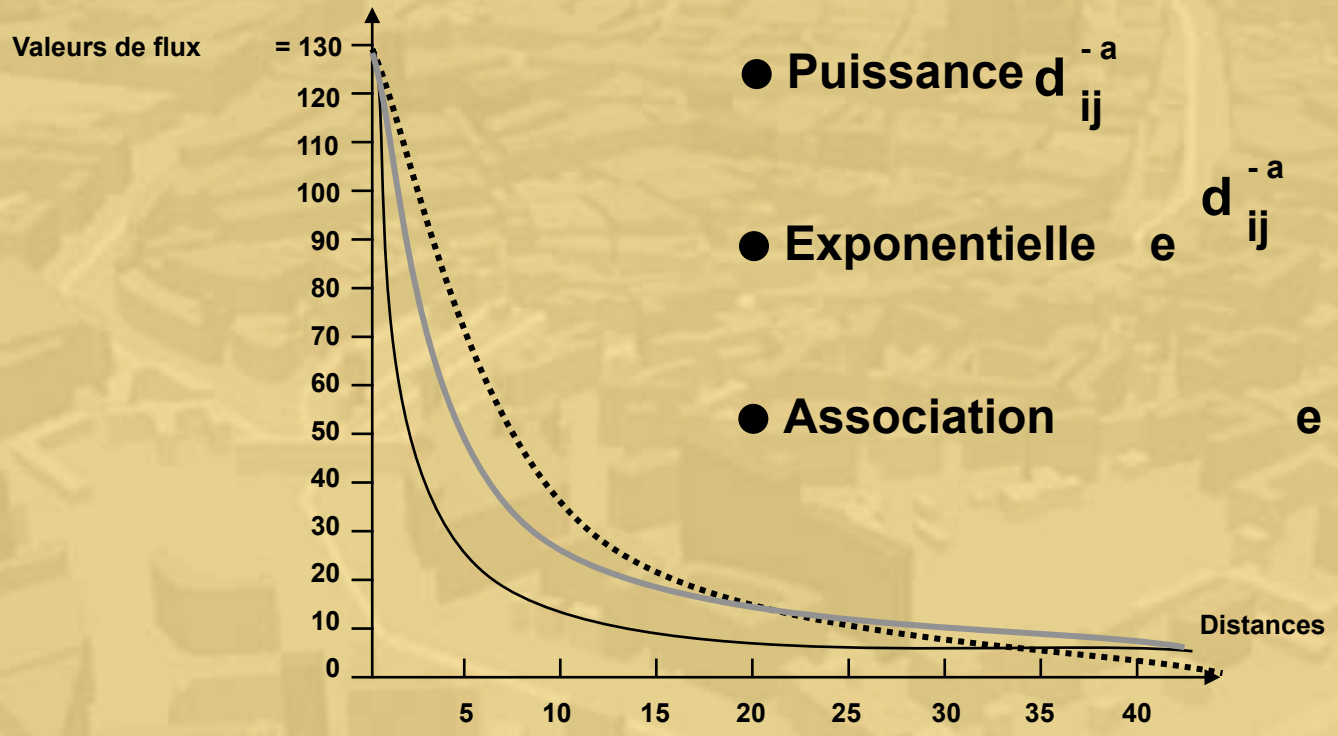
$$\log F_{ij} = \log k + \log E_i + \log A_j - a \log d_{ij}$$

Régression multiple

■ Conceptualisation de la modélisation des flux

→ **Nombreux raffinements du modèle**

Exemple des fonctions distances



- Puissance d_{ij}^{-a}
- Exponentielle $e^{d_{ij}^{-a}}$
- Association $e^{d_{ij}^{-a}} \times d_{ij}^{-b}$

→ **Nombreuses critiques du modèle**

■ Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

→ Méthode de prévision et de planification des transports urbains

→ Conceptualisation de la mobilité quotidienne

Échelle des individus

- Choix de se déplacer
- Choix de la destination
- Choix de l'horaire
- Choix du moyen de transport
- Choix de l'itinéraire

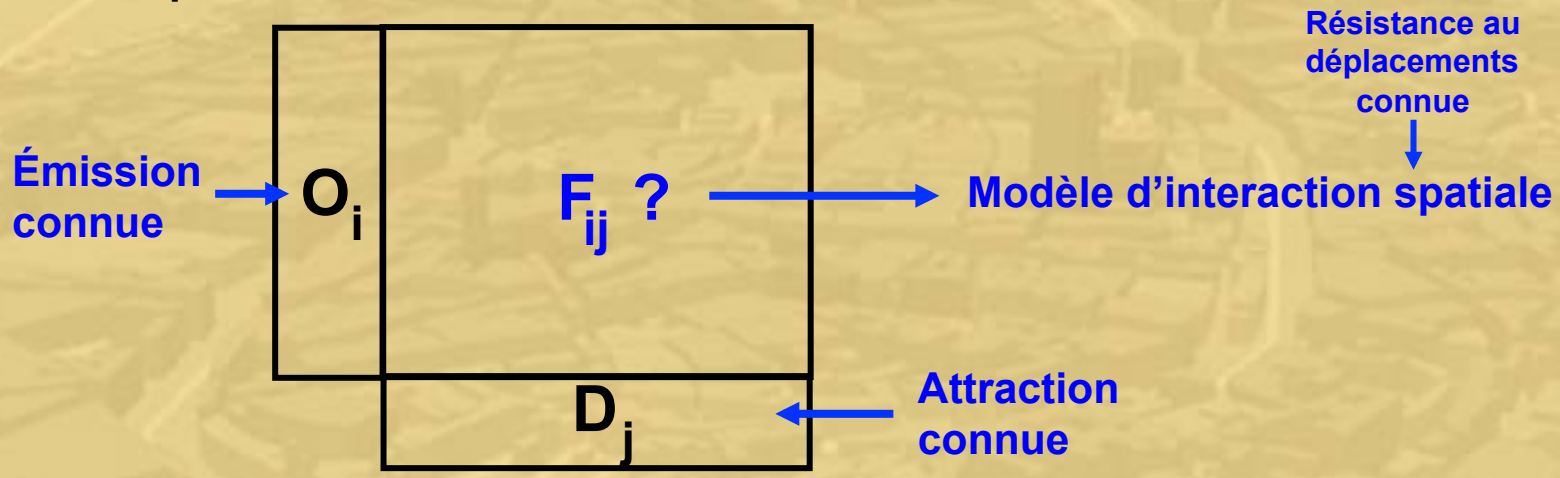
Échelle du système spatial

Modèle de génération du trafic
↓
Modèle de distribution des flux (matrice OD)
↓
Modèle de répartition horaire
↓
Modèle de choix modal
↓
Modèle d'affection du trafic

UTPS (Urban Transportation-Planning System)

Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

Problème posé



Rappel modèle simple

$$F_{ij} = k \times E_i \times A_j \times d_{ij}^{-a}$$

Ou $$F_{ij} = k \times O_i \times D_j \times d_{ij}^{-a}$$

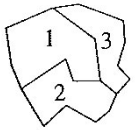
Problème du non respect des contraintes

- N (nombre total des déplacements) : $\sum_i \sum_j F_{ij}$
- Émissivité ($O_i = \sum_j F_{ij}$) ou l'attractivité ($D_j = \sum_i F_{ij}$)
- Émissivité ($O_i = \sum_j F_{ij}$) et l'attractivité ($D_j = \sum_i F_{ij}$)

Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

Exemple du non respect des contraintes

a)Region urbaine fictive



b) Matrice des distances

d_{ij} (Zones)	1	2	3
1	3	5	4
2	6	1	5

c) Paramètres b et g connus

b = 1 et g = 0.0094

d) Modèle gravitaire simple résultant

$$F_{ij} = 0.0094 \cdot O_i \cdot D_j \cdot d_{ij}^{-1}$$

e)Formulation du problème de la reconstruction des flux

Travailleurs au lieu de résidence (O_i) \ Travailleurs au lieu d'emploi (D_j)	1	2	3	Total O_i ($= \Sigma_j F_{ij}$)
1	LIAISONS F_{ij} ?			200
2				100
Total D_j ($= \Sigma_i F_{ij}$)	150	100	50	N = 300 ($= \Sigma_i \Sigma_j F_{ij}$)

f) Calcul des flux (exmple F_{12})

$$F_{12} = 0.0094 \cdot 200 \cdot 100 \cdot 5^{-1}$$

$$F_{12} = 0.0094 \cdot 4000$$

$$F_{12} \approx 38$$

g) Flux reconstruits (valeur arrondie au plus proche entier)

Travailleurs au lieu de résidence (O_i) \ Travailleurs au lieu d'emploi (D_j)	1	2	3	Total O_i ($= \Sigma_j F_{ij}$)
1	94	38	23	155
2	23	94	9	126
Total D_j ($= \Sigma_i F_{ij}$)	117	132	32	N = 281 ($= \Sigma_i \Sigma_j F_{ij}$)

Source: SENIOR M. L. (1979)

Auteur : C. ENAUX

■ Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

Opérationnalisation du modèle

→ Introduction des contraintes d'émissivité ($O_i = \sum_j F_{ij}$) et d'attractivité ($D_j = \sum_i F_{ij}$)

Modèle doublement contraint

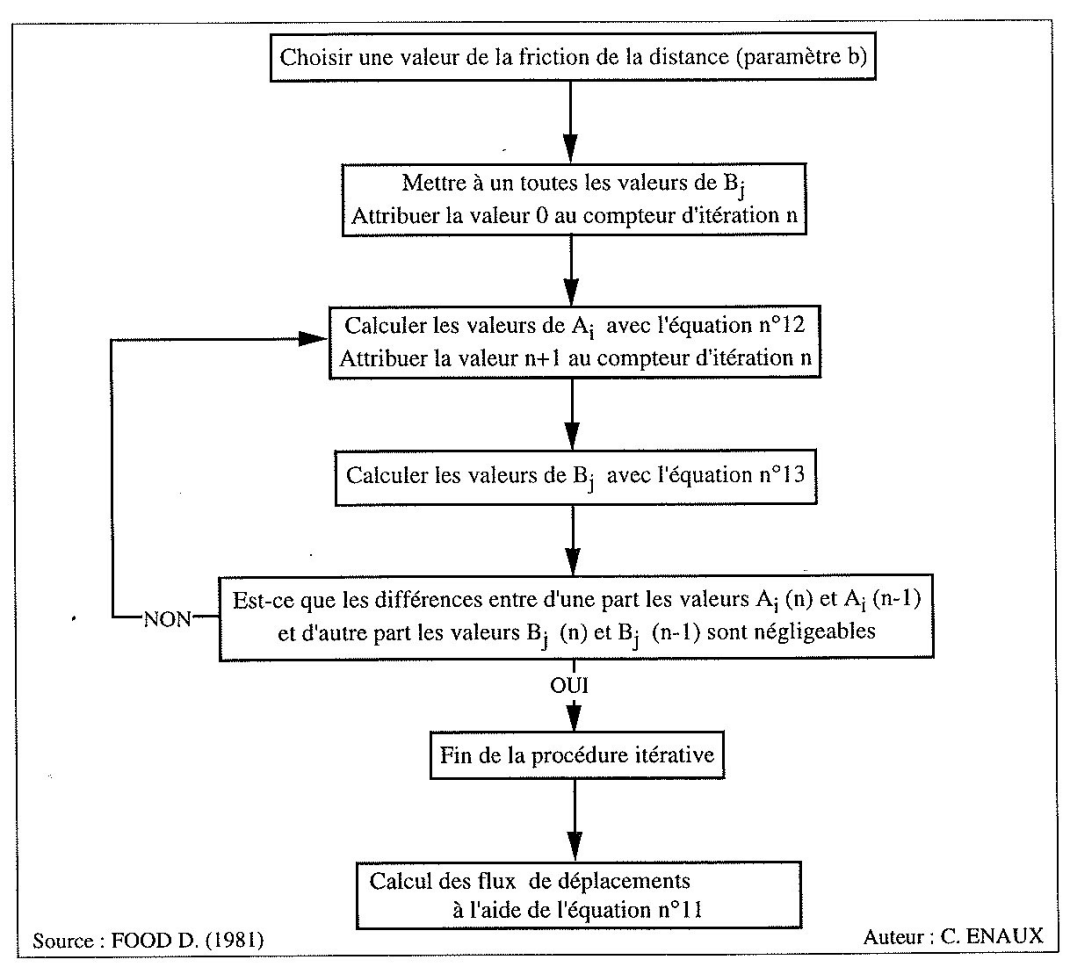
$$F_{ij} = A_i \times B_j \times O_i \times D_j \times d_{ij}^{-a}$$

Avec $A_i = \dfrac{1}{\sum_j B_j \times D_j \times d_{ij}^{-a}}$ et $B_j = \dfrac{1}{\sum_i A_i \times O_i \times d_{ij}^{-a}}$

Interdépendance des valeurs A_i et B_j

Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

Principe de résolution



Modélisation des flux de déplacement en Transport : l'estimation de la matrice O/D

Résultat du modèle doublement contraint

a)Modèle gravitaire doublement contraint

$$F_{ij} = A_i . B_j . O_i . D_j . d_{ij}^{-b}$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j . D_j . d_{ij}^{-b}} \quad \text{et} \quad B_j = \frac{1}{\sum_i A_i . O_i . d_{ij}^{-b}}$$

b) Paramètre b connu

$b = 1$

c)Formulation du problème de la reconstruction des flux

		D_j 1	2	3	Total O_i
O_i	1	LIAISONS F_{ij} ?			200
	2				100
Total D_j		150	100	50	N = 300

d) Calcul des paramètres A_i et B_j

	Itérations 1	2	3	4
A_1	1.000	1.085	1.105	1.109
A_2	1.000	0.864	0.834	0.828
B_1	0.012	0.011	0.011	0.011
B_2	0.007	0.007	0.007	0.007
B_3	0.014	0.014	0.014	0.014

e) Flux reconstruits (valeur arrondie au plus proche entier)

		D_j 1	2	3	Total O_i
O_i	1	121	49	30	200
	2	19	74	7	100
Total D_j		150	100	50	N = 300

Source: SENIOR M. L. (1979)

Auteur : C. ENAUX

■ Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

→ Evolution de la matrice de flux au cours du temps : 1975 à 1990

→ Approche retenue :

Dynamique des flux est fonction d'un ensemble de processus :

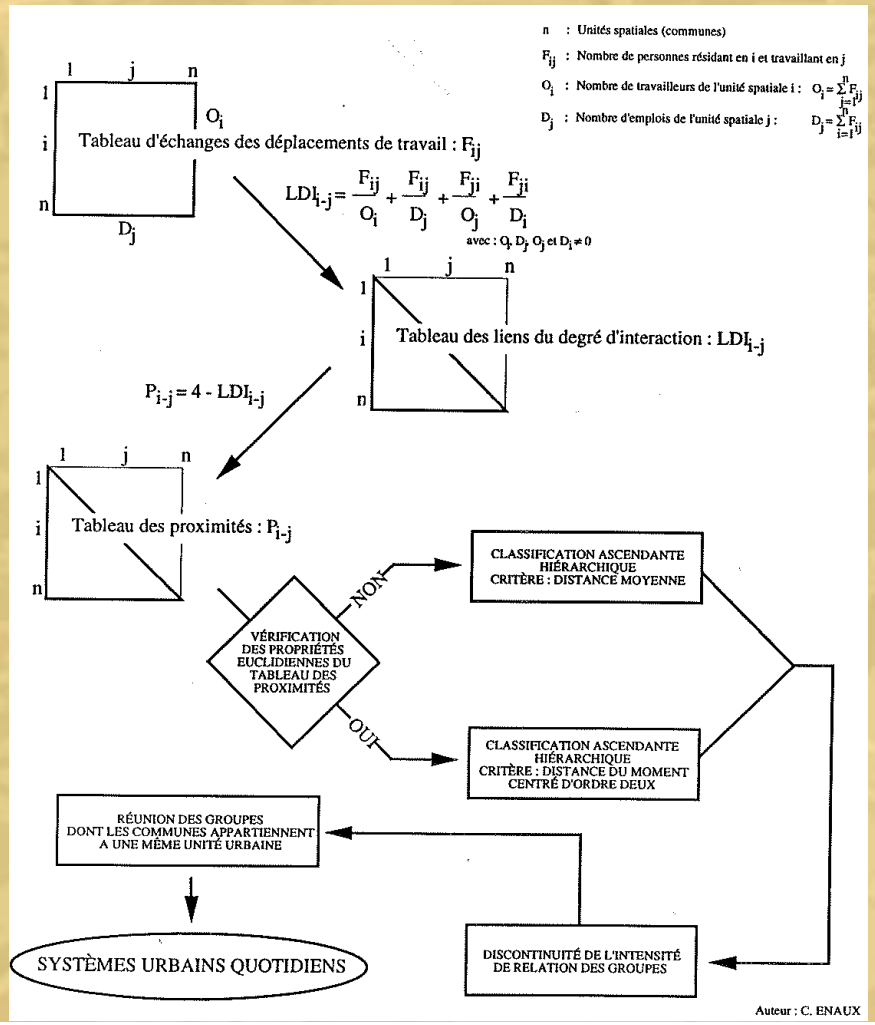
- Le niveau d'emploi
- La suppression des emplois
- La mobilité géographique des entreprises
- La mobilité résidentielle des ménages

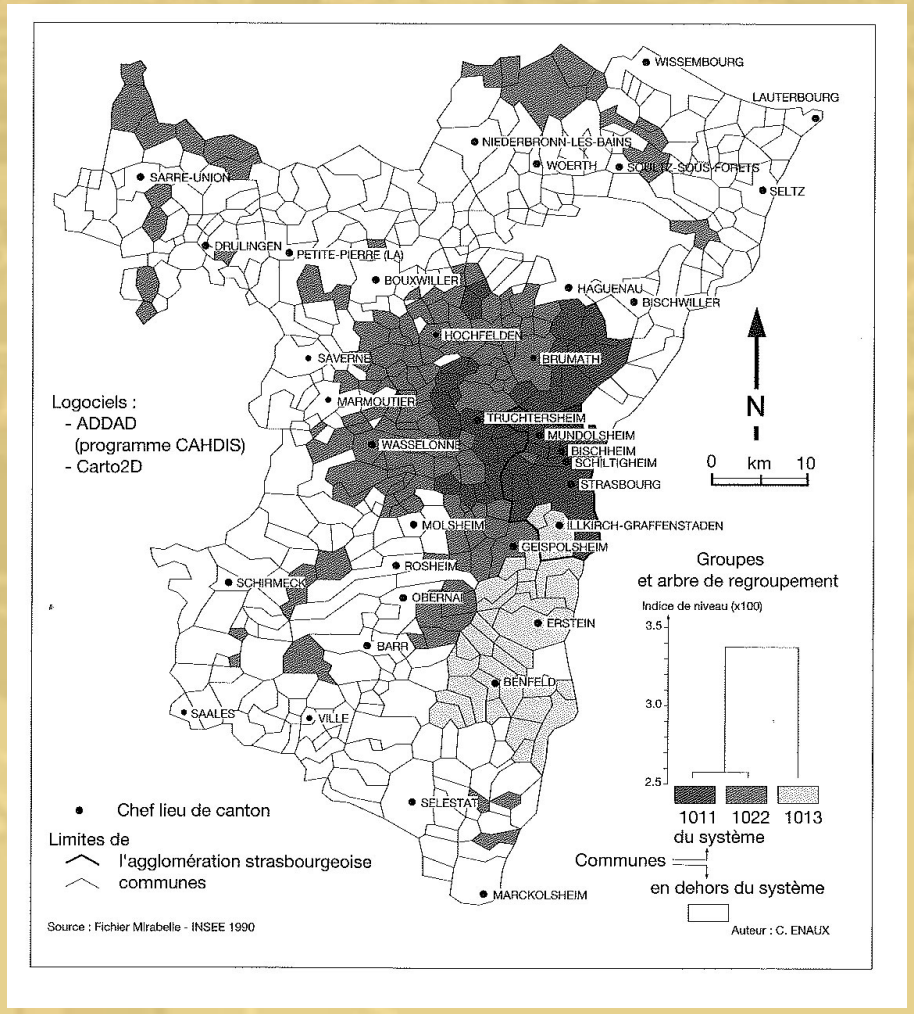
Construction du système urbain quotidien

Principe : maximisation des échanges entre les composantes du système

Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

Exemple du système urbain strasbourgeois en 1990





Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

- **Estimation des paramètres : a priori**

  16 paramètres : résistances à la mobilité, induction de l'emploi, etc.

- **Simulation de la dynamique des flux**

  Matrice de 64 * 64

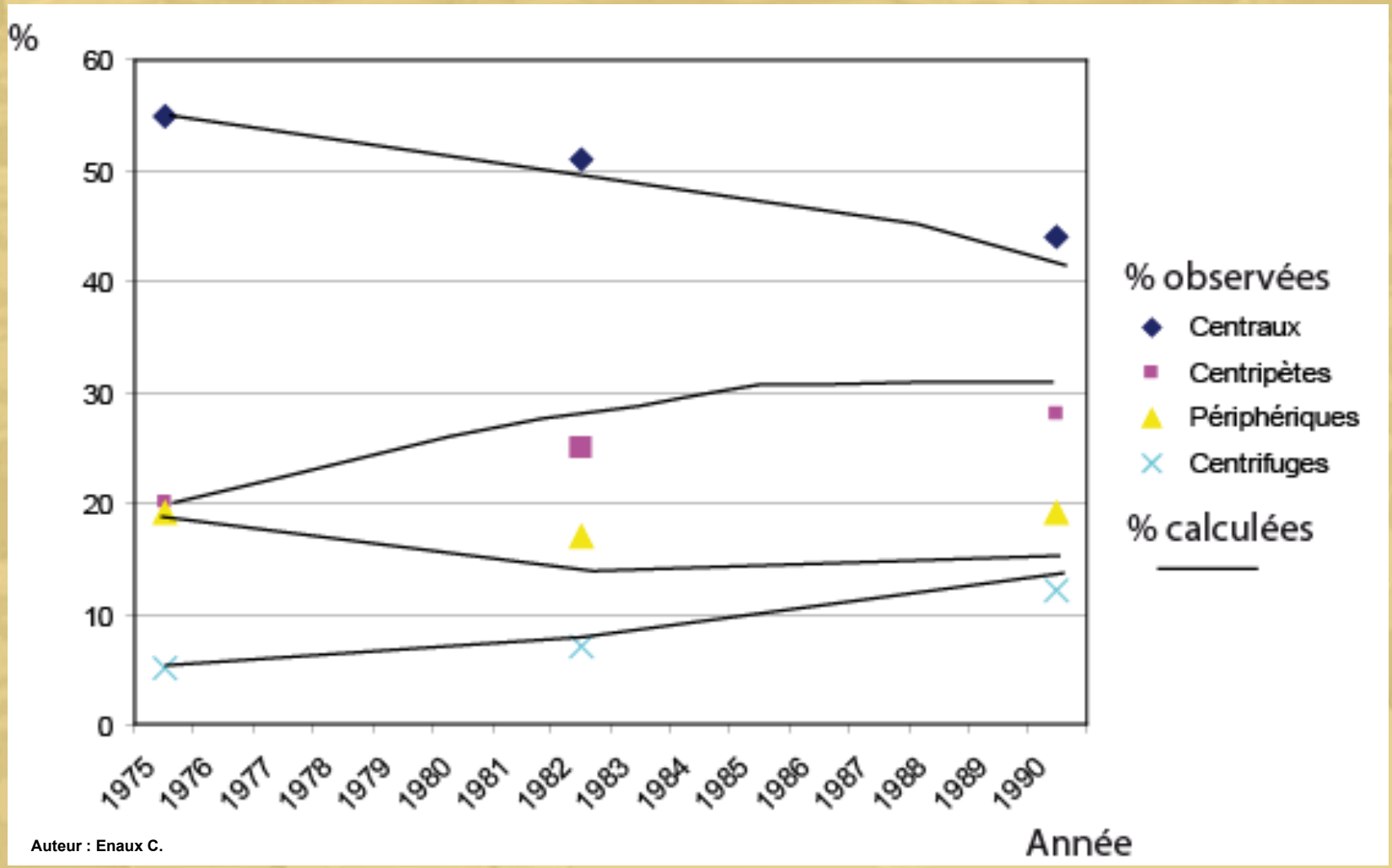
- **Résultats :**

  Selon le type de flux : centraux, centrifuges, centripètes, périphériques

  Résidus : différence flux estimés et calculés

Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

Trajectoire temporelle calculée et types de flux observés

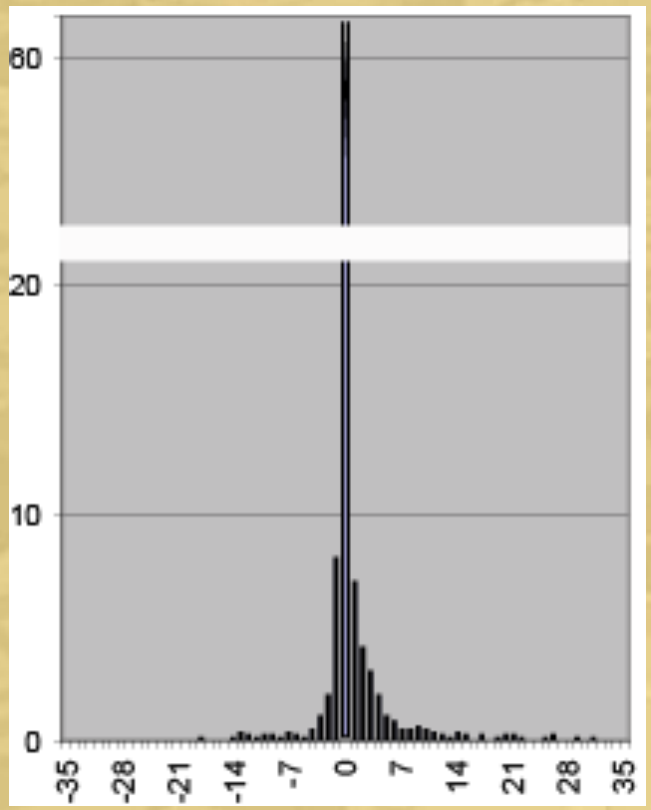


Auteur : Enaux C.

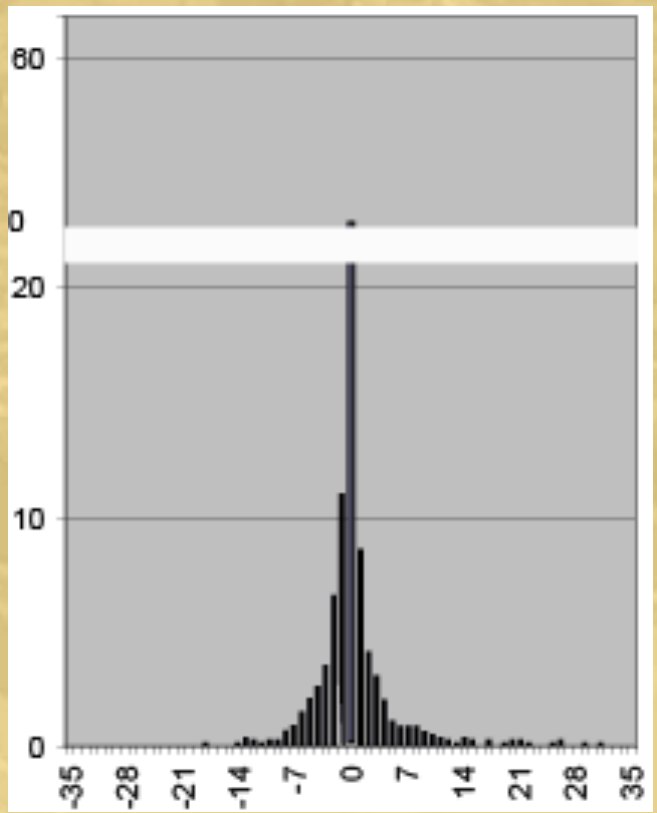
Dynamique spatio-temporelle des flux de déplacements de travail

Graphes des résidus

1982



1990



Ecart s: Flux observés – Flux calculés

Conclusion

→ **Modèles de flux : mérite de l'opérationnalisation**

→ **Modèles de flux plus complexes intègrent des éléments comportements**

Exemples :

- **sensibilité des acteurs à l'attractivité**
- **concurrence**
- **……..**