Interactions potentielles entre les lieux :
Application du modèle gravitaire aux villes du nord de la France

Julie Gravier, doctorante, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne,
UMR 8504 Géographie-cités

INTRODUCTION

1. Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire
2. Implémentation du modèle en R
3. Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

1. Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire
2. Implémentation du modèle en R
3. Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Quésaco le modèle gravitaire ?

➔ Généralisé, le modèle prend la forme :

$$Fij = k.\frac{Pi * Pj}{Dij^{\alpha}}$$

Le flux entre un lieu *i* et un lieu *j* (*Fij*) est égal à *k* multiplé par le poids de *i* fois le poids de *j* (*Pi*∗*Pj*) divisé par la distance entre *i* et *j* (*Dij*) à la puissance *α*. Dans la bibliographie relative au modèle gravitaire, les poids sont également appelés les masses des lieux (notés *Mi* et *Mj*). Le poids est relatif à la taille des lieux, le plus souvent mesurée par la population recensée. Quant à la distance, il s'agit souvent d'une distance euclidienne ou d'une distance-temps.

Dans ce modèle, *k* et *α* sont des paramètres, avec *k* correspondant à une constante (de proportionnalité) permettant d'ajuster le modèle selon les types de flux (quand ils sont donc connus) et *α* correspondant au frein de la distance (qui est variable).

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

Quésaco le modèle gravitaire ?

$$Fij = k.\frac{Pi * Pj}{Dij^{\alpha}}$$

➔ Le modèle se fonde sur l'idée qu'il existe **une probabilité** de déplacement plus forte plus la taille du lieu est importante…

> de ce fait le modèle est appliqué à des cas où il y a suffisamment de personnes en un lieu pour que le modèle ait du sens (ex : ALDEN J. R., 1979, « A Reconstruction of Toltec Period Political Units in the Valley of Mexico », in RENFREW C., COOKE K. L. (éd.), *Transitions : Mathematical Approaches to Culture Change*, New York, San Fransisco, London : Academic Press, pp. 169-200.)

➔ … et que cette probabilité **diminue en fonction de la distance** entre les lieux

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

- **Deux modalités fréquentes d'usage du modèle**

  ➔ **Modèle descriptif**

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

Deux modalités fréquentes d'usage du modèle

➔ **Modèle descriptif** et donc en tant que modèle filtre

ex : flux interrégionaux de marchandises > flux observés & flux résiduels (à partir du modèle gravitaire comme filtre) dans CHAPELON L. dir., *2000, Atlas de France*, vol. 11, Paris : La Documentation française.

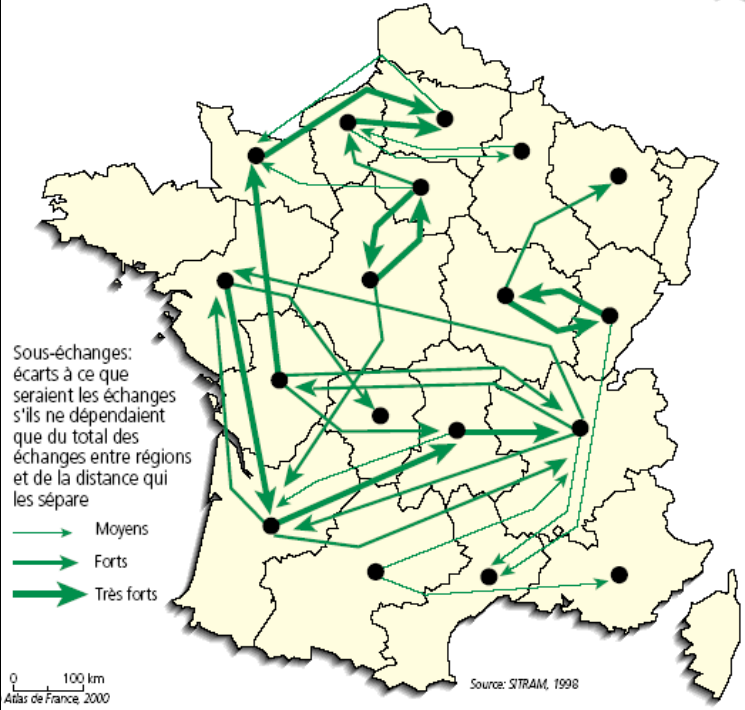
itaire

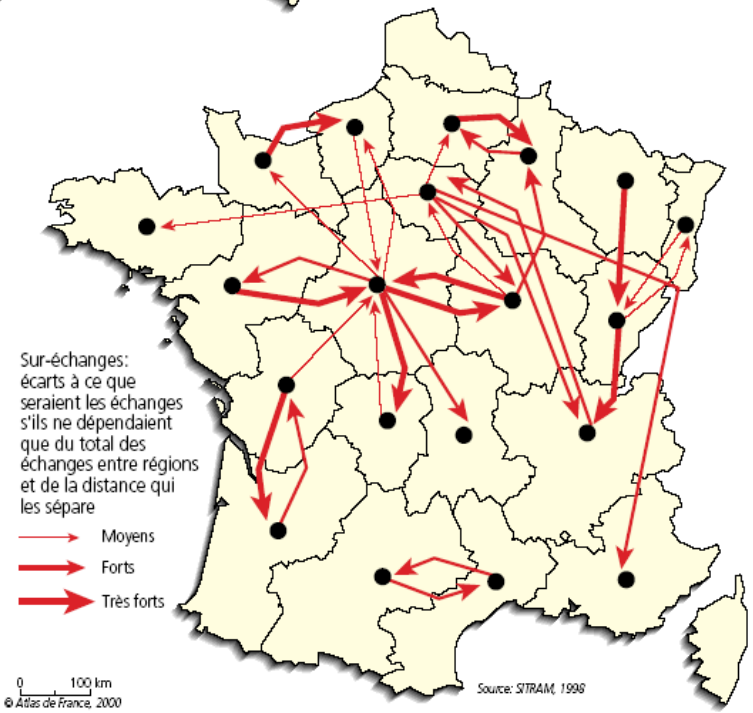
ES

- De

du

La





Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

- **Deux modalités fréquentes d'usage du modèle**

  ➔ Modèle prédictif

Deux modalités fréquentes d'usage du modèle

➔ Modèle prédictif

➢ ***Pour le futur :*** applications massives et informatisées dès le milieu des années 1950 aux Etats-Unis, années 1960 en France dans le domaine de l'ingénierie du trafic pour **estimer des flux** dans l'espace urbain **en vue de la planification des infrastructures de transports,** puis en géographie et économie des transports (COMMENGES H., 2016, « Modèle de radiation et modèle gravitaire : du formalisme à l'usage », *Rev. Int. géomatique* [en ligne], 26, 1, pp. 79-95, URL : http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01319588v2/document.)

Deux modalités fréquentes d'usage du modèle

➔ Modèle prédictif

➢ ***Pour le futur :*** applications massives et informatisées dès le milieu des années 1950 aux Etats-Unis, années 1960 en France dans le domaine de l'ingénierie du trafic pour **estimer des flux** dans l'espace urbain **en vue de la planification des infrastructures de transports,** puis en géographie et économie des transports (COMMENGES H., 2016, « Modèle de radiation et modèle gravitaire : du formalisme à l'usage », *Rev. Int. géomatique* [en ligne], 26, 1, pp. 79-95, URL : http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01319588v2/document.)

➢ ***Pour le passé :*** applications pour **estimer les relations entre les lieux alors que l'on n'a pas de données ou des données non exhaustives d'un point de vue spatial**. A partir des années 1970 par l'archéologie anglo-saxonne (en particulier l'école de Cambridge), applications en France à partir de la 2e ½ des années 1990 associées plutôt à des modèles de position que d'interaction (à partir du programme *Archaeomedes*, autour de l'école de Besançon-Dijon)

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

- **Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque**

Problématique > estimer les limites des entités politiques à la période toltèque

A Reconstruction of Toltec Period Political Units in the Valley of Mexico

Transformations: Mathematical Approaches to Culture Change

Copyright © 1979 by Academic Press, Inc.
All rights of reproduction in any form reserved
ISBN-0-12-586050-1

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

- **Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque**

  ➔ **Processus d'application du modèle**

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

DES CAS D'APPLICATION

- **Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque**

  ➔ **Processus d'application du modèle**

  1- Délimitation d'entités politiques de la période aztèque ancienne grâce aux données ethno-historiques
  2- Cartographie du peuplement et mesure des surfaces des sites à cette même époque grâce aux données archéologiques

Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque

➔ Processus d'application du modèle

1- Délimitation d'entités politiques de la période aztèque ancienne grâce aux données ethno-historiques
2- Cartographie du peuplement et mesure des surfaces des sites à cette même époque grâce aux données archéologiques
3- Évaluation des populations des sites (*Pi*) à partir d'une transformation surface/population estimée par Parsons (archéologue qui a travaillé sur toutes les fouilles réalisées sur l'espace étudié > une connaissance empirique de terrain importante)
3'- Définition d'une mesure de distance-temps de trajet (*Dij*)

Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque

➔ Processus d'application du modèle

1- Délimitation d'entités politiques de la période aztèque ancienne grâce aux données ethno-historiques
2- Cartographie du peuplement et mesure des surfaces des sites à cette même époque grâce aux données archéologiques
3- Évaluation des populations des sites (*Pi*) à partir d'une transformation surface/population estimée par Parsons (archéologue qui a travaillé sur toutes les fouilles réalisées sur l'espace étudié > une connaissance empirique de terrain importante)
3'- Définition d'une mesure de distance-temps de trajet (*Dij*)
4- Application du modèle avec différentes valeurs de paramètre α (1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9 et 2)

Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque

➔ Processus d'application du modèle

1- Délimitation d'entités politiques de la période aztèque ancienne grâce aux données ethno-historiques
2- Cartographie du peuplement et mesure des surfaces des sites à cette même époque grâce aux données archéologiques
3- Évaluation des populations des sites (*Pi*) à partir d'une transformation surface/population estimée par Parsons (archéologue qui a travaillé sur toutes les fouilles réalisées sur l'espace étudié > une connaissance empirique de terrain importante)
3'- Définition d'une mesure de distance-temps de trajet (*Dij*)
4- Application du modèle avec différentes valeurs de paramètre α (1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9 et 2)
5- Comparaison des résultats du modèle avec les connaissances ethno-historiques pour observer quel est le meilleur ajustement (α = 1.9)

u modèle gravitaire

AS D'APPLICATION

- **Un exemple** **ème**

➔ **Processu**

1- Délimitat grâce aux données ethno-histor

2- Cartograp cette même époque grâce aux do

3- Évaluati une transformation surface/popu sur toutes les fouilles réalisées sur importante)

3'- Définition

4- Applicatio , 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9 et 2)

5- Comparai hno-historiques pour observer que

Alden 1979 : 186

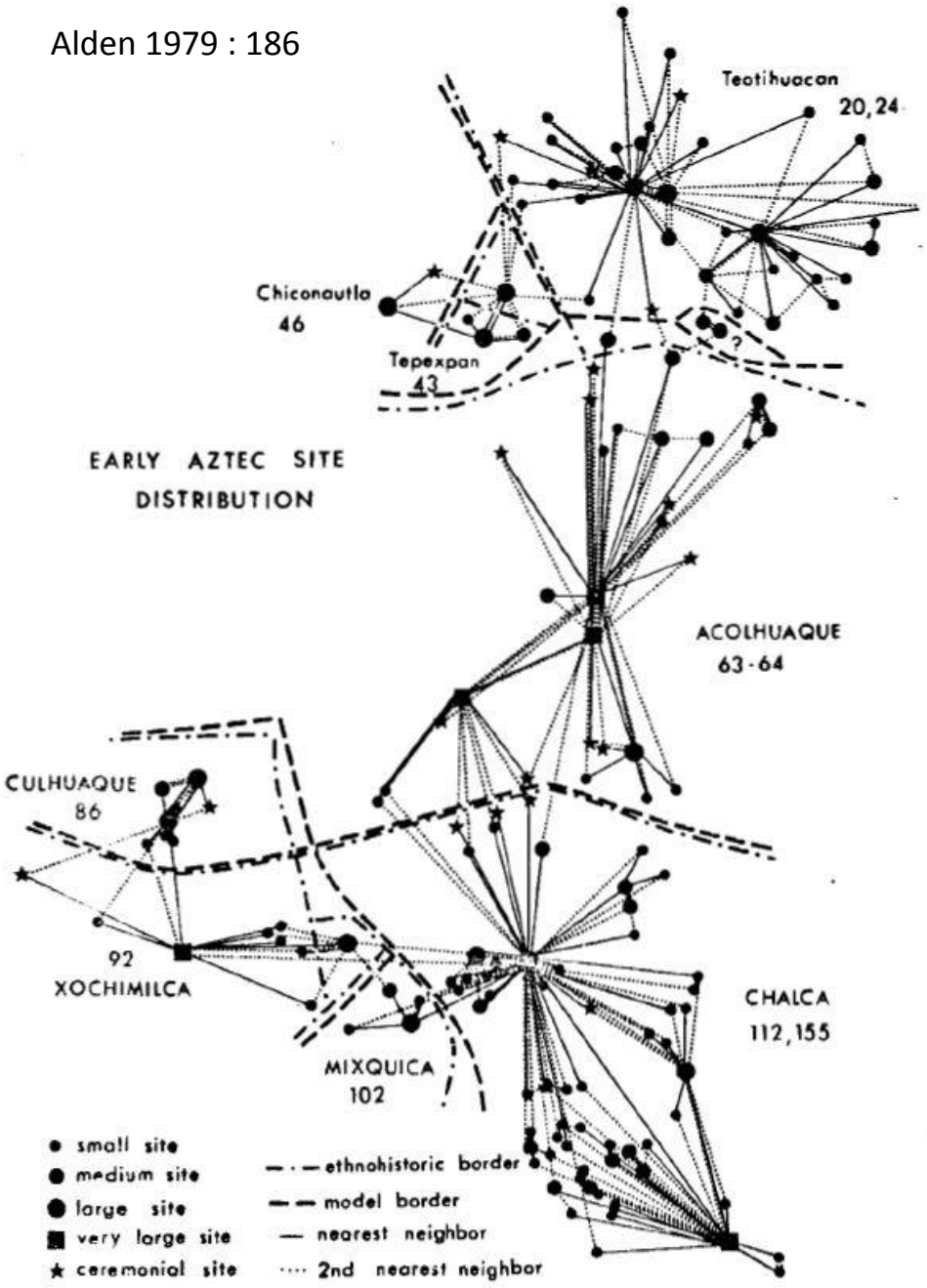


FIGURE 7.2 *Early Aztec interaction neighbors and political clusters.*

Un exemple d'application : Alden 1979 sur le peuplement toltèque

➔ Processus d'application du modèle

1- Délimitation d'entités politiques de la période aztèque ancienne grâce aux données ethno-historiques
2- Cartographie du peuplement et mesure des surfaces des sites à cette même époque grâce aux données archéologiques
3- Évaluation des populations des sites (*Pi*) à partir d'une transformation surface/population estimée par Parsons (archéologue qui a travaillé sur toutes les fouilles réalisées sur l'espace étudié > une connaissance empirique de terrain importante)
3'- Définition d'une mesure de distance-temps de trajet (*Dij*)
4- Application du modèle avec différentes valeurs de paramètre α (1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9 et 2)
5- Comparaison des résultats du modèle avec les connaissances ethno-historiques pour observer quel est le meilleur ajustement (α = 1.9)
6- Application du modèle $Fij = (Pi*Pj)/Dij^{1.9}$ pour estimer les limites d'entités politiques de la période toltèque (plus ancienne)

du modèle gravitaire

CAS D'APPLICATION

- **Un exemple d**

➔ Processus

1- Délimitatio
ethno-historic
2- Cartograph
grâce aux don
3- Évaluatio
surface/popul
réalisées sur l'
3'- Définition
4- Application
et 2)
5- Comparais
observer quel
6- Application
la période tolt

tèque

ne grâce aux données

à cette même époque

l'une transformation
sur toutes les fouilles
importante)

1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9

thno-historiques pour

d'entités politiques de

Alden 1979 : 188

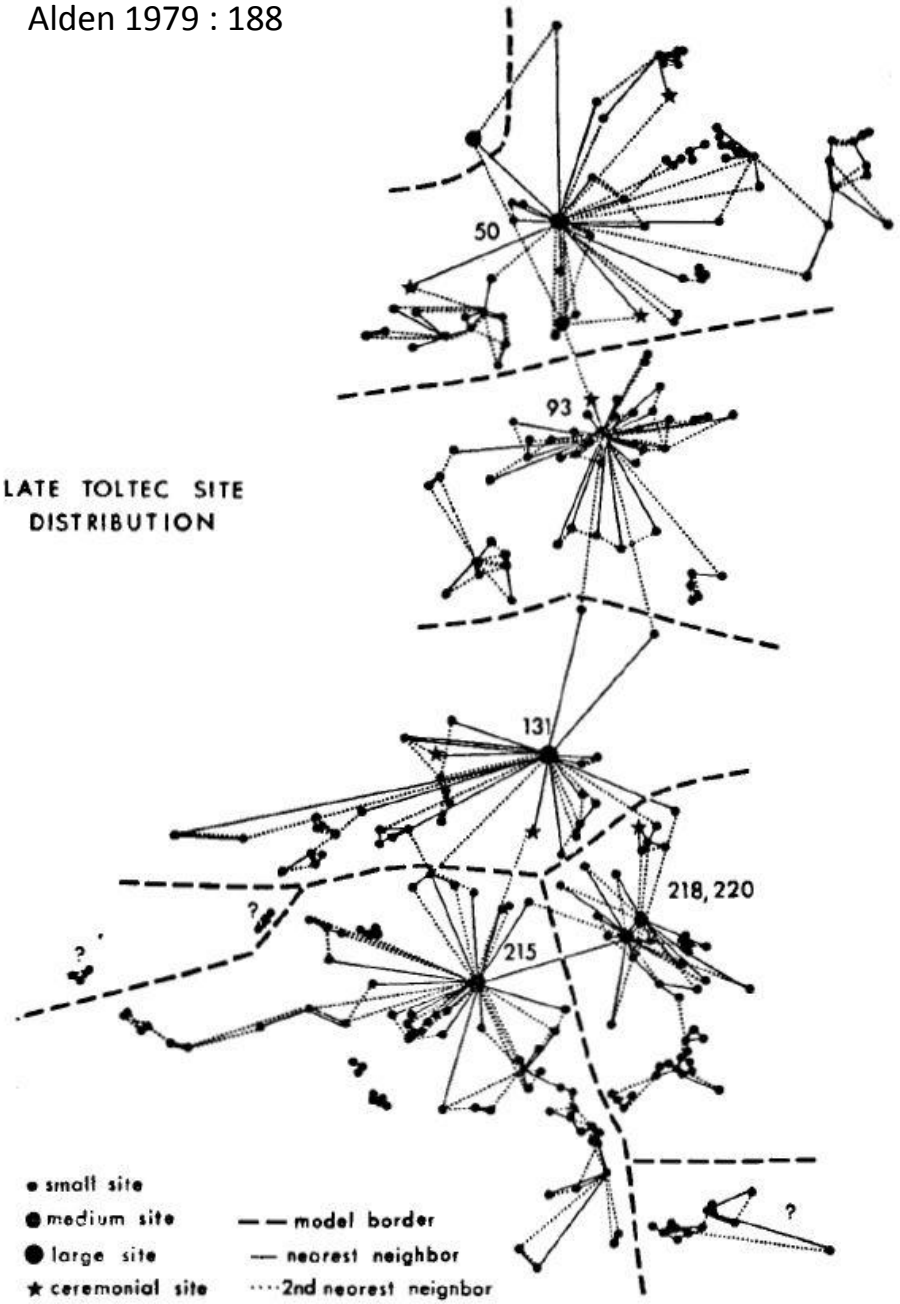
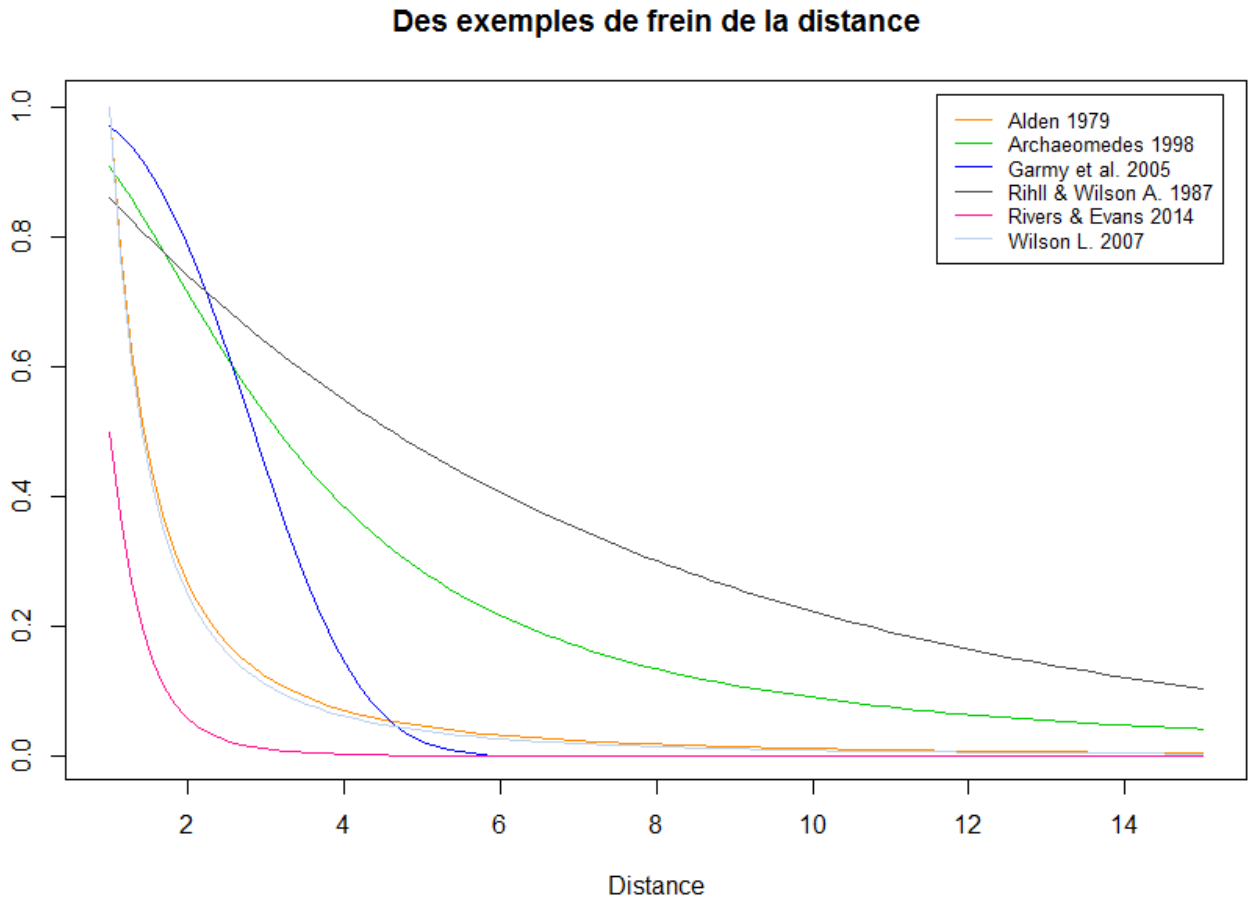


FIGURE 7.4 *Late Toltec interaction neighbors and political clusters.*

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

LES FREINS DE LA DISTANCE EN ARCHEOLOGIE



Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

2 Implémentation du modèle en R

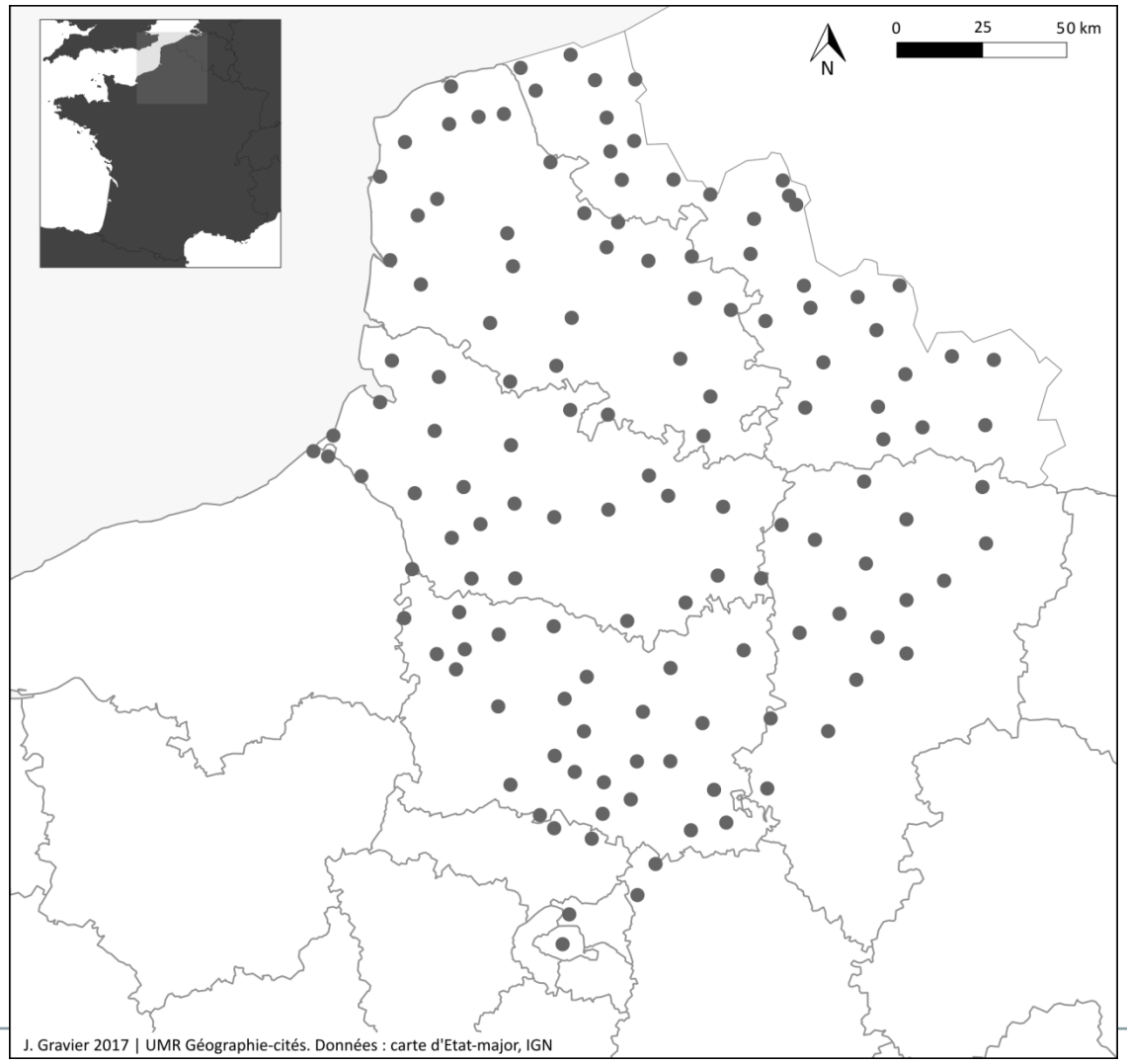
Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Des données relativement récentes

➔ A partir du moment où l'on a des données sur les populations (ici 1836)

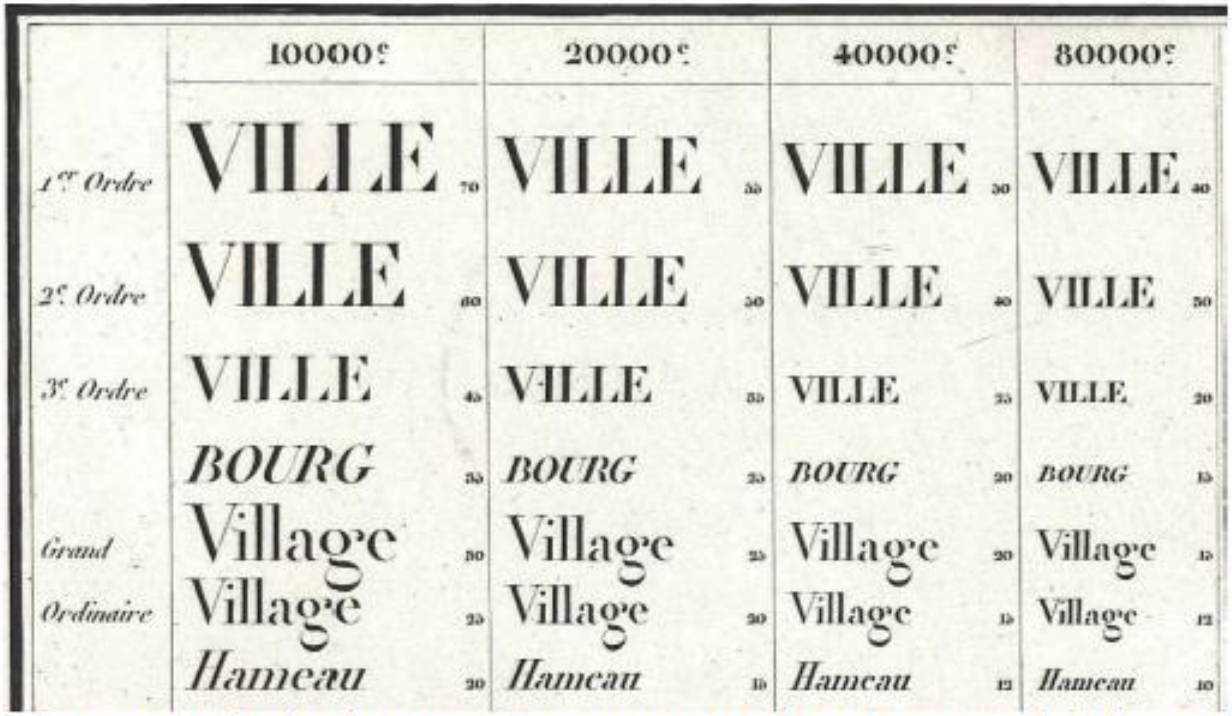
➔ A partir du moment où l'on a un réseau connu (celui des routes de postes à chevaux en 1833) dans l'optique de comparer les résultats du modèle et un réseau observé

Semis de villes initial lors de l'étude de la relation entre surface et population



➔ 137 villes étudiées

- **Pas de sélection *a priori* des villes**

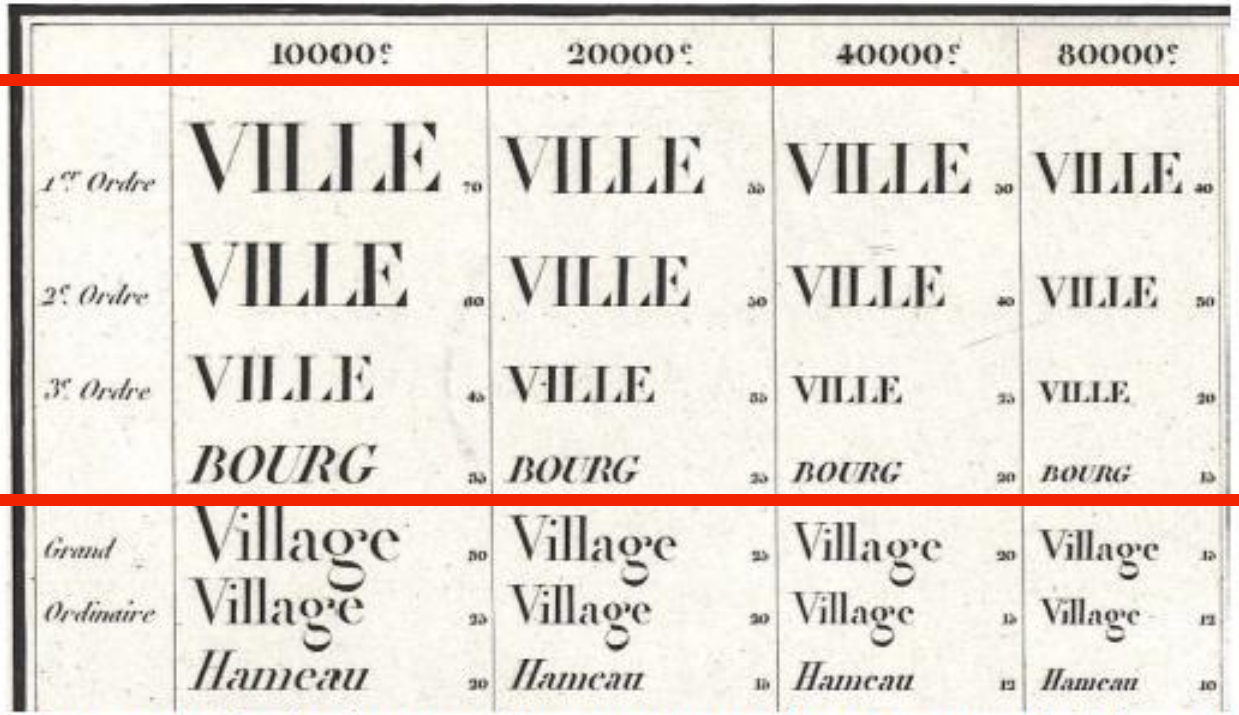


	10000e	20000e	40000e	80000e
1er Ordre	VILLE 70	VILLE 55	VILLE 30	VILLE 40
2e Ordre	VILLE 60	VILLE 50	VILLE 40	VILLE 30
3e Ordre	VILLE 45	VILLE 35	VILLE 25	VILLE 20
	BOURG 35	BOURG 25	BOURG 20	BOURG 15
Grand	Village 30	Village 25	Village 20	Village 15
Ordinaire	Village 25	Village 20	Village 15	Village 12
	Hameau 20	Hameau 15	Hameau 12	Hameau 10

Figure 10. Taille des écritures des toponymes d'Etat-Major, spécifiées en fonction des échelles et de l'importance des objets. Source : Légende de la carte d'Etat-Major, Cartothèque de l'IGN.

PLUMEJEAUD C., RUAS A., 2013 *Étude comparative du contenu des cartes de Cassini, d'Etat-Major et de la BDTopo en vue de l'intégration sémantique de l'information*, Paris, ANR GéoPeuple.

- **Pas de sélection *a priori* des villes**

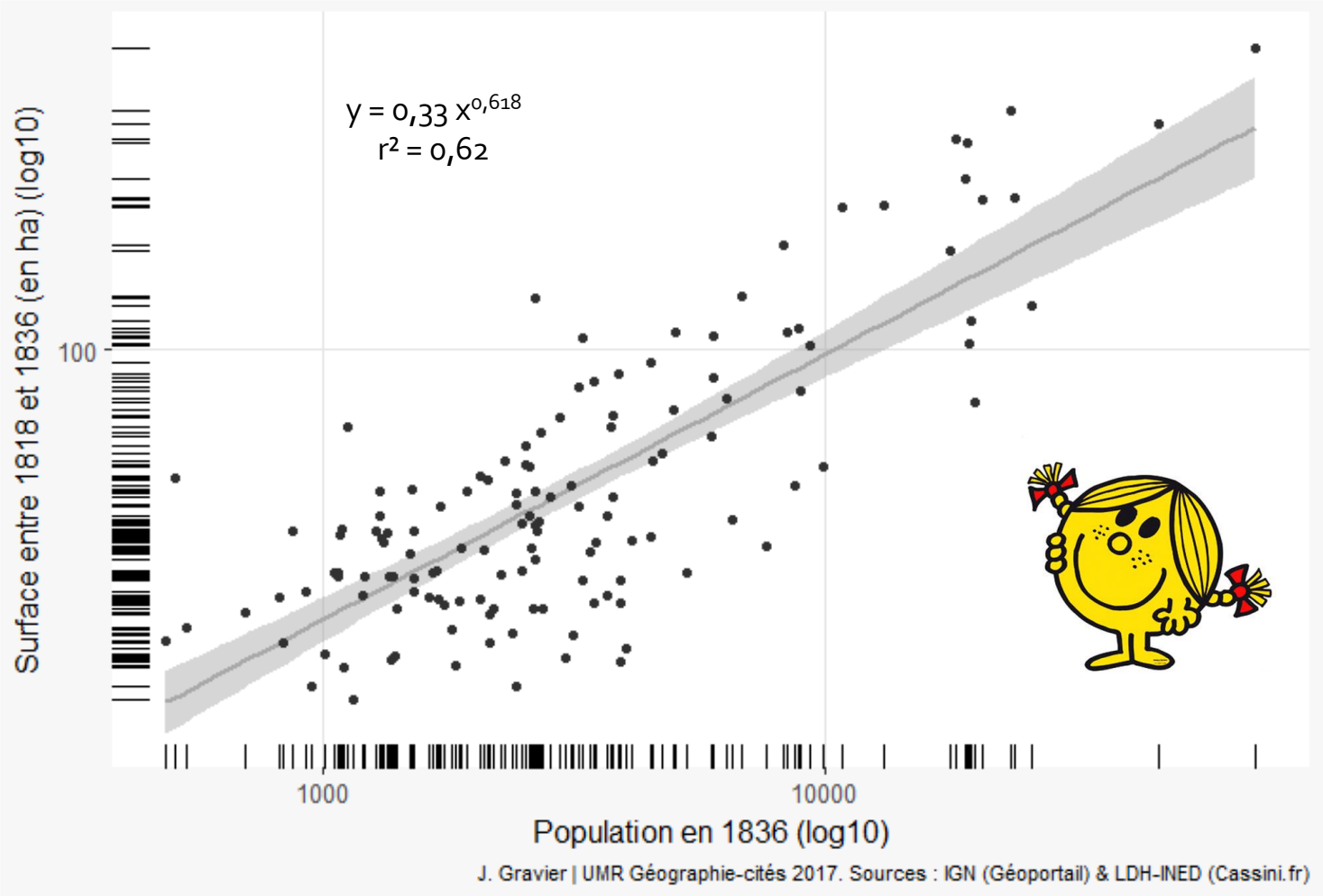


	10000e	20000e	40000e	80000e
1er Ordre	VILLE 70	VILLE 55	VILLE 30	VILLE 40
2e Ordre	VILLE 60	VILLE 50	VILLE 40	VILLE 30
3e Ordre	VILLE 45	VILLE 35	VILLE 25	VILLE 20
	BOURG 35	*BOURG* 25	*BOURG* 20	*BOURG* 15
Grand	Village 30	Village 25	Village 20	Village 15
Ordinaire	Village 25	Village 20	Village 15	Village 12
	Hameau 20	*Hameau* 15	*Hameau* 12	*Hameau* 10

Figure 10. Taille des écritures des toponymes d'Etat-Major, spécifiées en fonction des échelles et de l'importance des objets. Source : Légende de la carte d'Etat-Major, Cartothèque de l'IGN.

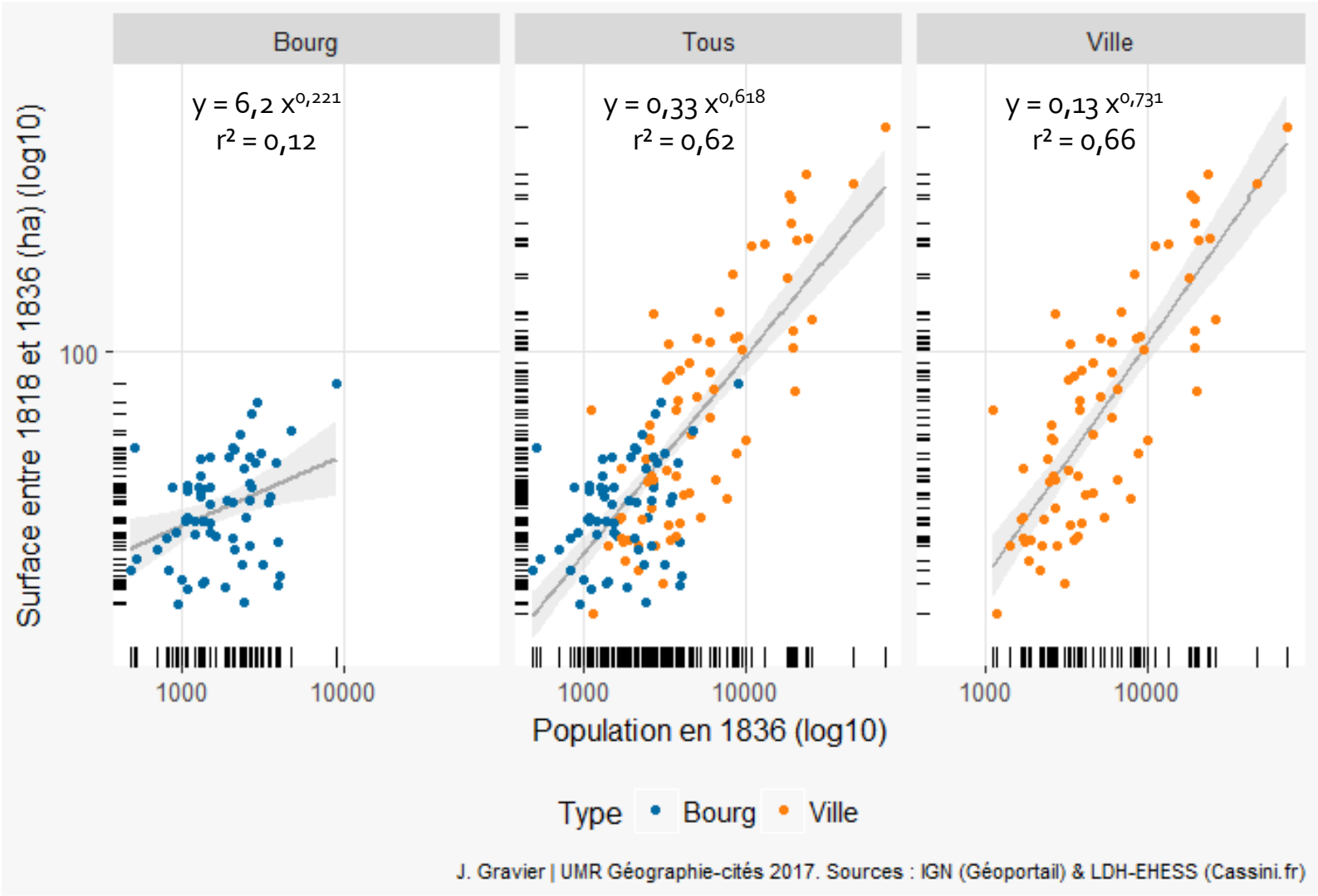
PLUMEJEAUD C., RUAS A., 2013 *Étude comparative du contenu des cartes de Cassini, d'Etat-Major et de la BDTopo en vue de l'intégration sémantique de l'information*, Paris, ANR GéoPeuple.

Relation entre surface et population



- **Corrélation : une différence entre les « villes » et les « bourgs »**

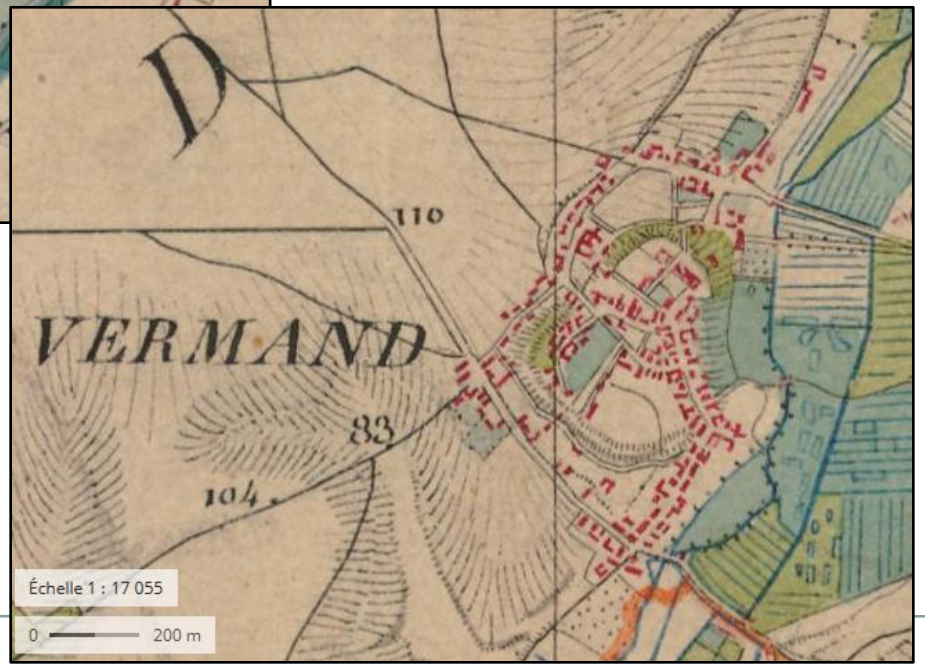
Corrélation : une différence entre les « villes » et les « bourgs »



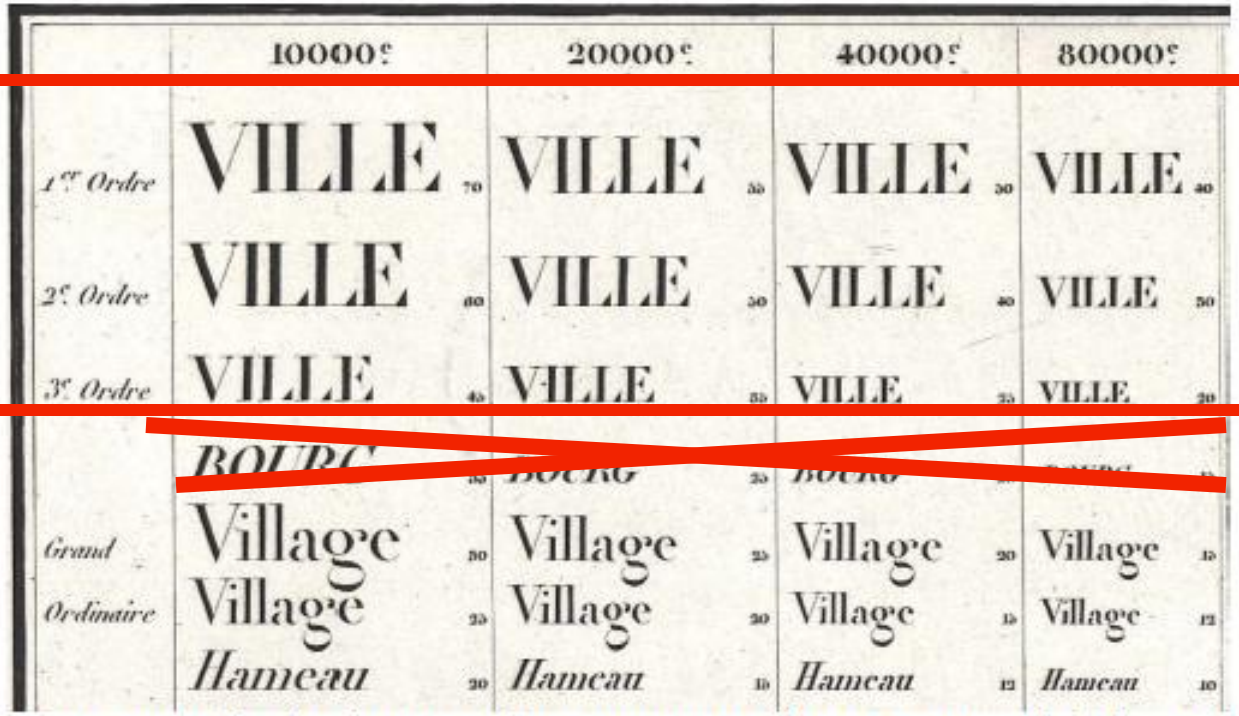
Les « bourgs » : une forte hétérogénéité des formes de peuplement

Saint-Amand-les-Eaux

Vermand



Sélection des « villes »



	10000e	20000e	40000e	80000e
1er Ordre	VILLE 70	VILLE 50	VILLE 30	VILLE 40
2e Ordre	VILLE 60	VILLE 50	VILLE 40	VILLE 30
3e Ordre	VILLE 40	VILLE 35	VILLE 25	VILLE 20
	BOURG 35	BOURG 25	BOURG 20	
Grand	Village 30	Village 25	Village 20	Village 15
Ordinaire	Village 25	Village 20	Village 15	Village 12
	Hameau 20	Hameau 15	Hameau 12	Hameau 10

Figure 10. Taille des écritures des toponymes d'Etat-Major, spécifiées en fonction des échelles et de l'importance des objets. Source : Légende de la carte d'Etat-Major, Cartothèque de l'IGN.

PLUMEJEAUD C., RUAS A., 2013 *Étude comparative du contenu des cartes de Cassini, d'Etat-Major et de la BDTopo en vue de l'intégration sémantique de l'information*, Paris, ANR GéoPeuple.

En entrée

Tableau élémentaire

&

Localisation

En entrée

Tableau élémentaire

&

Localisation

Pas le plus judicieux !
Mais plus proche des pratiques des archéologues

Traitements

Tableau élémentaire

&

Localisation

Traitements

Tableau élémentaire

&

Localisation

Explication plus simple
& aide à la réplicabilité

Traitements

Tableau élémentaire

&

Localisation

Explication plus simple & aide à la réplicabilité

Application interactive pour explorer le modèle

Traitements

Tableau élémentaire

&

Localisation

Explication plus simple & aide à la réplicabilité
lien

RPubs

Application interactive pour explorer le modèle
lien

GÉOGRAPHIE-CITÉS UMR 8504

Aperçu non exhaustif des usages du modèle gravitaire

Implémentation du modèle en R

3 Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Évaluer le modèle

➔ Comparer les résultats du modèle à un réseau connu en faisant varier α

➔ Trouver des valeurs de paramètre pour lesquelles les situations entre le modèle et le réseau sont semblables…

➔ … dans l'optique d'appliquer ce modèle ajusté pour des périodes plus anciennes

Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Évaluer le modèle

➔ Comparaison difficile ! Car le réseau des routes de postes à chevaux est :
- composé de relais (*relais* ≠ *villes* mais *villes* C dans *relais*)
- un réseau routier avec une logique de proche en proche

➔ Difficile d'émettre des seuils de valeurs de paramètre (même si l'on prend un intervalle) car on doit aussi faire varier le pourcentage de flux pris en considération

➔ Par contre : permet de se questionner quant aux effets du frein de la distance par rapport à des réseaux de relations connus par ailleurs

Une comparaison avec un réseau connu à la même date est-elle possible ?

Évaluer le modèle

➔ Comparaison difficile ! Car le réseau des routes de postes à chevaux est :
- composé de relais (*relais* ≠ *villes* mais *villes* C dans *relais*)
- un réseau routier avec une logique de proche en proche

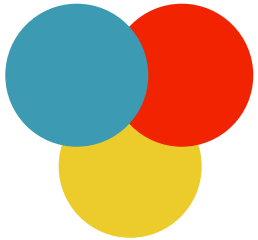
➔ Difficile d'émettre des seuils de valeurs de paramètre (même si l'on prend un intervalle) car on doit aussi faire varier le pourcentage de flux pris en considération

➔ Par contre : permet de se questionner quant aux effets du frein de la distance par rapport à des réseaux de relations connus par ailleurs

Perspective

➔ Comparer à échelle micro-régionale avec des connaissances empiriques plus nombreuses

MERCI DE VOTRE ATTENTION



Julie Gravier, doctorante, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne,
UMR 8504 Géographie-cités, équipe P.A.R.I.S