

# Econométrie Spatiale

**Cem Ertur**

**Laboratoire d'Economie d'Orléans – UMR 6221 CNRS**

**UFR Droit Economie Gestion**

**Université d'Orléans**

**cem.ertur@univ-orleans.fr**

**<http://certur.free.fr/>**

**Cours téléchargeable sur**

**<http://celene.univ-orleans.fr/>**

# Objectifs pédagogiques

- ▶ Introduire la **dimension spatiale** et plus généralement les **interactions individuelles** dans le traitement de l'information dans le cadre d'un modèle économétrique en **coupe transversale** ou en données de panel
- ▶ Fournir le cadre méthodologique général de l'économétrie spatiale ainsi que les principaux résultats théoriques permettant de résoudre des problèmes économiques concrets à l'aide du logiciel **GeoDa**
- ▶ CM 24 heures + TD initiation à GeoDa + économétrie spatiale  
15 heures (2 groupes)
- ▶ L'évaluation est basée sur :
  - La rédaction d'un dossier portant sur une problématique économique analysée empiriquement sur un échantillon de données géo-référencées : estimation par les MCO, test de l'autocorrélation spatiale, recherche de la spécification spatiale du modèle économétrique, estimation, inférence statistique
  - Un examen écrit de 2 heures



# Différents types de modélisation standard

- ▶ Spécification en **coupe transversale : statique**

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, N \quad \begin{cases} E(\varepsilon_i) = 0 & \forall i \\ E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2 & \forall i \\ E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 & \forall i \neq j \end{cases}$$

- ▶ Spécification en **série temporelle : statique ou dynamique**

$$\begin{aligned} y_t &= \alpha + \beta x_t + \varepsilon_t & t &= 1, \dots, T \\ y_t &= \alpha + \beta_1 x_t + \beta_2 x_{t-1} + \varepsilon_t \\ y_t &= \alpha + \rho y_{t-1} + \beta x_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad \begin{cases} E(\varepsilon_t) = 0 & \forall t \\ E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2 & \forall t \\ E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0 & \forall t \neq s \end{cases}$$

- ▶ Spécification en **données de panel : statique ou dynamique**

$$\begin{aligned} y_{it} &= \alpha_i + \beta x_{it} + \varepsilon_{it} & i &= 1, \dots, N & t &= 1, \dots, T \\ y_{it} &= \alpha_i + \rho y_{it-1} + \beta x_{it} + \varepsilon_{it} & i &= 1, \dots, N & t &= 1, \dots, T \end{aligned} \quad \varepsilon_{it} \sim i.i.d.(0, \sigma^2)$$

- ▶ Quels sont les tests de diagnostics standard ?

# Généralisation : modélisations spatiales

- ▶ L'hypothèse d'absence de corrélation entre individus dans le cadre de la modélisation en coupe transversale peut-elle être remise en cause ?
- ▶ Les individus peuvent-ils interagir entre eux ?
  - Suivant quelles justifications théoriques ?
  - Lesquels ? Suivant quel schéma ?
- ▶ Test d'absence de corrélation en coupe transversale ?
- ▶ **Spécifications économétriques spatiales ?**
  - **en coupe transversale :**

$$y_i = \alpha + \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_j + \beta x_i + u_i \quad i = 1, \dots, N \quad u_i \sim i.i.d.(0, \sigma_u^2)$$

- **en données de panel :**

$$y_{it} = \mu_i + \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + u_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T \quad u_{it} \sim i.i.d.(0, \sigma_u^2)$$

# Plan général

- ▶ **Introduction**
- ▶ **Analyse exploratoire des données géo-référencées**
  1. SIG et analyse spatiale
  2. Autocorrélation spatiale et hétérogénéité spatiale
  3. Matrice de pondérations spatiales ou d'interactions
  4. Outils de l'analyse exploratoire des données géo-référencées
- ▶ **Econométrie spatiale**
  1. Processus stochastiques spatiaux
  2. Modèles économétriques avec dépendance spatiale
  3. Modèles économétriques avec hétérogénéité spatiale
  4. Estimation : maximum de vraisemblance
  5. Tests de spécification

# Bibliographie (1)

- ▶ Ouvrage - chapitres d'ouvrage – synthèses :
  - **LeSage J. and Pace K.R. (2009) " Introduction to Spatial Econometrics", Taylor & Francis Group, New York.** [Amazon.fr](https://www.amazon.fr)
  - Anselin L. (2006) "Spatial Econometrics". In Mills T.C. and Paterson K. (eds.), *Palgrave Handbook of Econometrics, Vol. 1, Econometric Theory*, p. 901-969. Palgrave MacMillan, New York.
  - Anselin, L. and Anil Bera A. (1998) "Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics". In A. Ullah and D. Giles (eds.), *Handbook of Applied Economic Statistics*, pp. 237–289. Marcel Dekker, New York.
  - Anselin L. (2001) "Spatial econometrics". In : B. Baltagi (ed.), *Companion to Econometrics*. Basil Blackwell, Oxford.
  - Anselin L. (1988) "Spatial econometrics: Methods and Models ". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
  
- ▶ Articles récents :
  - Anselin, L. (2003) "Spatial Externalities, Spatial Multipliers and Spatial Econometrics". *International Regional Science Review* ,26, 153-166.
  - Anselin, L. (2002) "Under the Hood. Issues in the Specification and Interpretation of Spatial Regression Models". *Agricultural Economics* ,27, 247-267.

# Bibliographie (2)

## ▶ Articles récents en français :

- Jayet H. (2001) Econométrie des données spatiales. Une introduction à la pratique, *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurale*, vol. 58-59, pp. 105-129.
- Le Gallo J. (2002) Econométrie spatiale : l'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire, *Economie et Prévision*, vol. 155, pp. 139-158.
- Le Gallo J. (2004) Hétérogénéité spatiale, principes et méthodes, *Economie et Prévision*, vol. 162, pp. 151-172.

## ▶ Pré-requis

- Probabilités et statistique inférentielle
- Algèbre linéaire, calcul matriciel
- Econométrie :
  - ▶ Modèles de régression en coupe transversale, MCO, maximum de vraisemblance, théorie des tests



# Introduction

# Plan

- ▶ **Définition**
- ▶ **Motivation**
- ▶ **Econométrie spatiale**
- ▶ **Un exemple**
- ▶ **Logiciels**

# Définition

- ▶ **L'économétrie spatiale** désigne l'ensemble des méthodes économétriques spécifiquement adaptées au traitement de **l'interaction** entre unités statistiques et des **effets spatiaux**
- ▶ Modélisation de la **dépendance et de l'hétérogénéité spatiales** rencontrés principalement dans les **modèles en coupe transversale** et les **modèles de données de panel**
- ▶ L'utilisation des techniques de l'économétrie spatiale est de plus en plus fréquente dans les travaux empiriques en économie et en gestion :
  - économie régionale et urbaine, économie de l'environnement et des ressources naturelles, économie publique, économie internationale, économie de la croissance, économie du travail, marketing...
- ▶ **L'objectif** du cours est de présenter les méthodes d'économétrie spatiale les plus récentes qui peuvent être efficacement utilisée aussi bien au sein des entreprises pour analyser et traiter l'information géo-référencée en vue d'aider à la prise de décision que dans les travaux de recherche académique

# Motivation

## ▶ Modélisation

- Intérêt croissant porté aux interactions spatiales et socio-économiques
  - ▶ nouvelle économie géographique, croissance endogène, externalités spatiales, interactions entre agents etc.

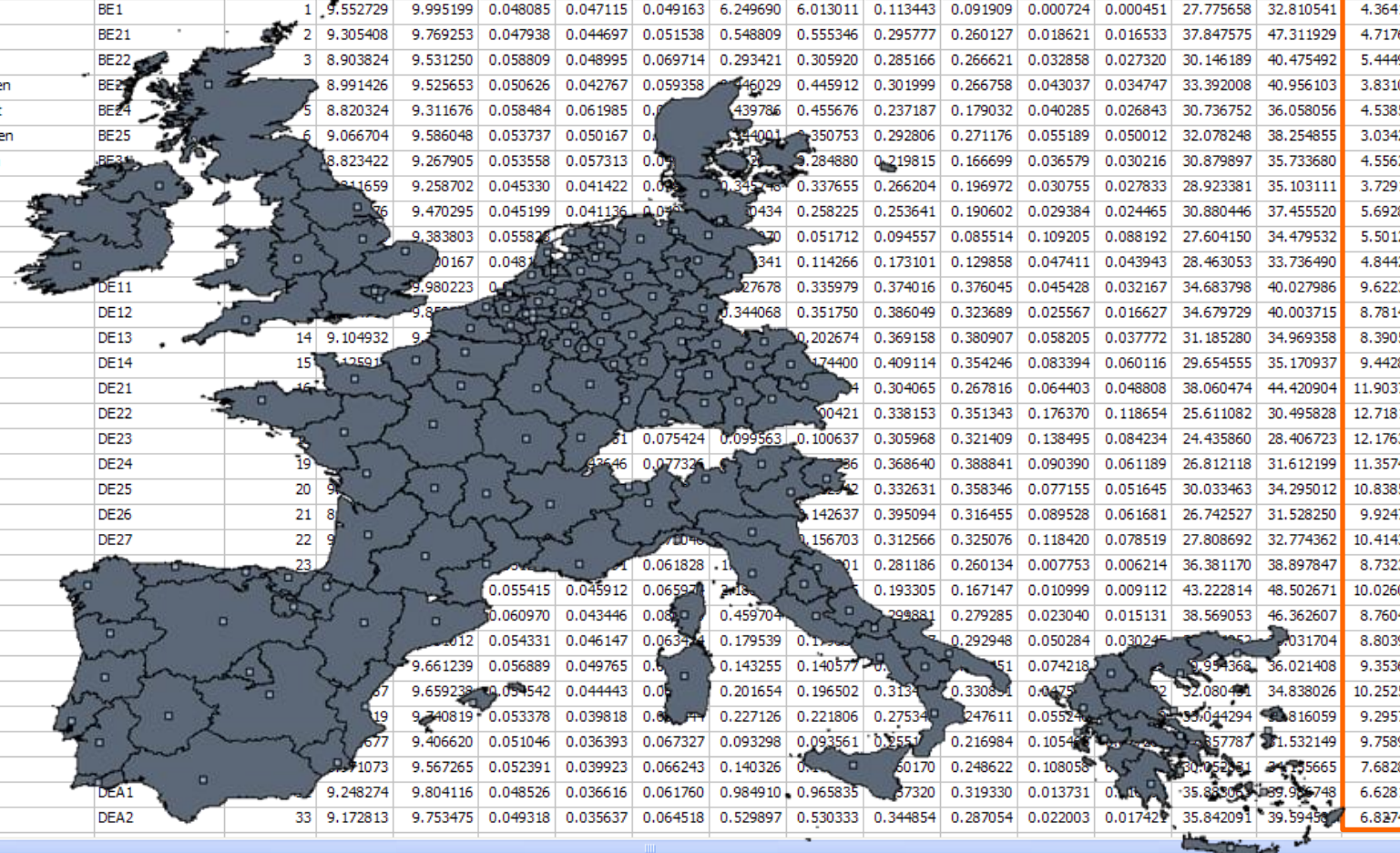
## ▶ Données

- Disponibilité croissante de données spatiales ou géo-référencées
  - ▶ **Systeme d'Information Géographique (SIG)**

# Exemple : données géo-référencées

GeoDa 0.9.5-i (Beta) - [shape145c]

File View Edit Tools Table Map Explore Space Regress Options Window Help



	NAME	CODE	POLYID	P80	GDP89	G99_80	G99_89	G89_80	DENS80	DENS89	MANU80	MANU89	AGRI80	AGRI89	PTE80	PTE89	X_COORD	Y_COORD	
1	Brussels	BE1	1	9.552729	9.995199	0.048085	0.047115	0.049163	6.249690	6.013011	0.113443	0.091909	0.000724	0.000451	27.775658	32.810541	4.364100	50.839050	
2	Antwerpen	BE21	2	9.305408	9.769253	0.047938	0.044697	0.051538	0.548809	0.555346	0.295777	0.260127	0.018621	0.016533	37.847575	47.311929	4.717650	51.247400	
3	Limburg	BE22	3	8.903824	9.531250	0.058809	0.048995	0.069714	0.293421	0.305920	0.285166	0.266621	0.032858	0.027320	30.146189	40.475492	5.444950	50.998000	
4	Oost-Vlaanderen	BE23	4	8.991426	9.525653	0.050626	0.042767	0.059358	0.46029	0.445912	0.301999	0.266758	0.043037	0.034747	33.392008	40.956103	3.831050	51.036850	
5	Vlaams Brabant	BE24	5	8.820324	9.311676	0.058484	0.061985	0.061985	0.439786	0.455676	0.237187	0.179032	0.040285	0.026843	30.736752	36.058056	4.538500	50.868500	
6	West-Vlaanderen	BE25	6	9.066704	9.586048	0.053737	0.050167	0.050167	0.324001	0.350753	0.292806	0.271176	0.055189	0.050012	32.078248	38.254855	3.034200	51.037500	
7	Brabant Wallon	BE31	7	8.823422	9.267905	0.053558	0.057313	0.057313	0.284880	0.219815	0.166699	0.036579	0.030216	0.030216	30.879897	35.733680	4.556200	50.666050	
8	Hainaut	BE32	8	8.11659	9.258702	0.045330	0.041422	0.041422	0.345468	0.337655	0.266204	0.196972	0.030755	0.027833	28.923381	35.103111	3.729150	50.375950	
9	Liege	BE33	9	9.470295	0.045199	0.041136	0.041136	0.041136	0.0434	0.258225	0.253641	0.190602	0.029384	0.024465	30.880446	37.455520	5.692850	50.470350	
10	Luxembourg	BE34	10	9.383803	0.055833	0.055833	0.055833	0.055833	0.0570	0.051712	0.094557	0.085514	0.109205	0.088192	27.604150	34.479532	5.501250	49.964200	
11	Namur	BE35	11	9.00167	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.341	0.114266	0.173101	0.129858	0.047411	0.043943	28.463053	33.736490	4.844250	50.217000	
12	Stuttgart	DE11	12	9.980223	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.27678	0.335979	0.374016	0.376045	0.045428	0.032167	34.683798	40.027986	9.622300	49.142750	
13	Karlsruhe	DE12	13	9.855555	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.344068	0.351750	0.386049	0.323689	0.025567	0.016627	34.679729	40.003715	8.781400	48.977800	
14	Freiburg	DE13	14	9.104932	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.202674	0.369158	0.380907	0.058205	0.037772	0.037772	31.185280	34.969358	8.390550	48.127950	
15	Tubingen	DE14	15	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.174400	0.409114	0.354246	0.083394	0.060116	0.060116	29.654555	35.170937	9.442800	48.092100	
16	Oberbayern	DE21	16	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.304065	0.267816	0.064403	0.048808	0.048808	0.048808	38.060474	44.420904	11.903700	48.241850	
17	Niederbayern	DE22	17	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.00421	0.338153	0.351343	0.176370	0.118654	0.118654	25.611082	30.495828	12.718150	48.690850	
18	Oberpfalz	DE23	18	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.075424	0.099563	0.100637	0.305968	0.321409	0.138495	0.084234	24.435860	28.406723	12.176300	49.413850
19	Oberfranken	DE24	19	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.077331	0.077331	0.368640	0.388841	0.090390	0.061189	26.812118	31.612199	11.357400	50.052550	
20	Mittelfranken	DE25	20	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.22942	0.332631	0.358346	0.077155	0.051645	0.051645	30.033463	34.295012	10.838550	49.318850	
21	Unterfranken	DE26	21	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.142637	0.395094	0.316455	0.089528	0.061681	0.061681	26.742527	31.528250	9.924700	50.019450	
22	Schwaben	DE27	22	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.156703	0.312566	0.325076	0.118420	0.078519	0.078519	27.808692	32.774362	10.414350	48.150200	
23	Bremen	DE31	23	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.061828	0.118186	0.260134	0.007753	0.006214	0.006214	36.381170	38.897847	8.732300	53.117600	
24	Hamburg	DE41	24	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.055415	0.045912	0.065971	0.193305	0.167147	0.010999	0.009112	43.222814	48.502671	10.026050	53.565850
25	Darmstadt	DE51	25	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.060970	0.043446	0.080974	0.292948	0.023040	0.015131	38.569053	46.362607	8.760400	49.944300	
26	Giessen	DE52	26	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	0.054331	0.046147	0.063394	0.179539	0.100284	0.030245	30.033463	34.295012	8.803900	50.630200	
27	Kassel	DE53	27	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	9.661239	0.056889	0.049765	0.06143255	0.140577	0.074218	30.954368	36.021408	9.353600	51.003300	
28	Braunschweig	DE54	28	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	9.659238	0.054542	0.044443	0.05201654	0.196502	0.313334	30.330834	34.475492	10.252500	52.064200	
29	Hannover	DE55	29	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	9.740819	0.053378	0.039818	0.061474	0.227126	0.221806	0.275346	24.7611	0.055246	9.816059	52.346900
30	Lüneburg	DE56	30	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	9.406620	0.051046	0.036393	0.067327	0.093298	0.093561	0.0551	0.216984	0.105488	9.757787	51.532149
31	Weser-Ems	DE57	31	9.125911	0.048167	0.048167	0.048167	0.048167	9.567265	0.052391	0.039923	0.066243	0.140326	0.140326	0.06170	0.248622	0.108058	9.757787	51.532149
32	Dusseldorf	DEA1	32	9.248274	9.804116	0.048526	0.036616	0.061760	0.984910	0.965835	0.37320	0.319330	0.013731	0.013731	35.883061	39.926748	6.628150	51.458350	
33	Köln	DEA2	33	9.172813	9.753475	0.049318	0.035637	0.064518	0.529897	0.530333	0.344854	0.287054	0.022003	0.017421	35.842091	39.594551	6.827450	50.789200	

# Econométrie Spatiale (1)

## Anselin (1988)

- ▶ Méthodes permettant de traiter les effets spatiaux ou interactions spatiales dans les modèles de régression

⇒ régressions spatiales

- **Hétérogénéité spatiale**

- ▶ les méthodes standard s'appliquent
  - changement structurel, coefficients variables, hétéroscédasticité

- **Dépendance spatiale : dépendance en coupe transversale**

- ▶ Nécessite l'élaboration de méthodes spécifiques
  - dépendance **bidimensionnelle** et **multidirectionnelle**
- ▶ Les résultats obtenus en séries temporelles ne s'appliquent pas

# Econométrie Spatiale (2)

## Anselin (1988)

- ▶ **Spécifier** la structure de la dépendance spatiale
  - Quelles sont les localisations qui interagissent ?
- ▶ **Tester** la présence de dépendance spatiale
  - Quel type de dépendance ?
- ▶ **Estimer** des modèles avec dépendance spatiale
  - Variable endogène spatialement décalée
  - Erreurs spatialement autocorrélées
    - ▶ Au premier ordre, à des ordres plus élevés...
- ▶ **Prévoir**
  - Interpolation, valeurs manquantes...

# Principaux auteurs en statistique et en économétrie spatiale

## ▶ Les précurseurs :

- Moran (1948)
- Geary (1954)

## ▶ L'association de la géographie et de la statistique :

- Cliff et Ord (1973, 1981)

## ▶ Développement de la théorie de l'estimation et des tests :

- Paelinck au début des années 70 avance le terme "économétrie spatiale"
- Paelinck et Klassen (1979)
- Anselin (1980, 1988)
- Anselin (1991, 1995, 1998, 2001) : versions de SpaceStat
- Griffith (1988)
- Cressie (1993)



# Principales applications

- ▶ Des applications pendant longtemps “confinées” aux revues spécialisées en science régionale
- ▶ Des techniques aujourd’hui reconnues et utilisées :
  - Dans des revues économiques généralistes et appliquées à divers champs :
    - ▶ *Economie urbaine, régionale*
    - ▶ *Analyse de la demande*
    - ▶ *Economie internationale*
    - ▶ *Economie publique*
    - ▶ *Analyse de la croissance économique*
    - ▶ *Marketing*
  - Dans des revues économétriques de très haut niveau
  - Dans d’autres disciplines: épidémiologie, sociologie, sciences politiques, criminologie etc.

# Les raisons du « succès » actuel

## ▶ Raison théorique :

- Développement de nouveaux courants théoriques ayant généralisé la prise en compte des interactions et des externalités

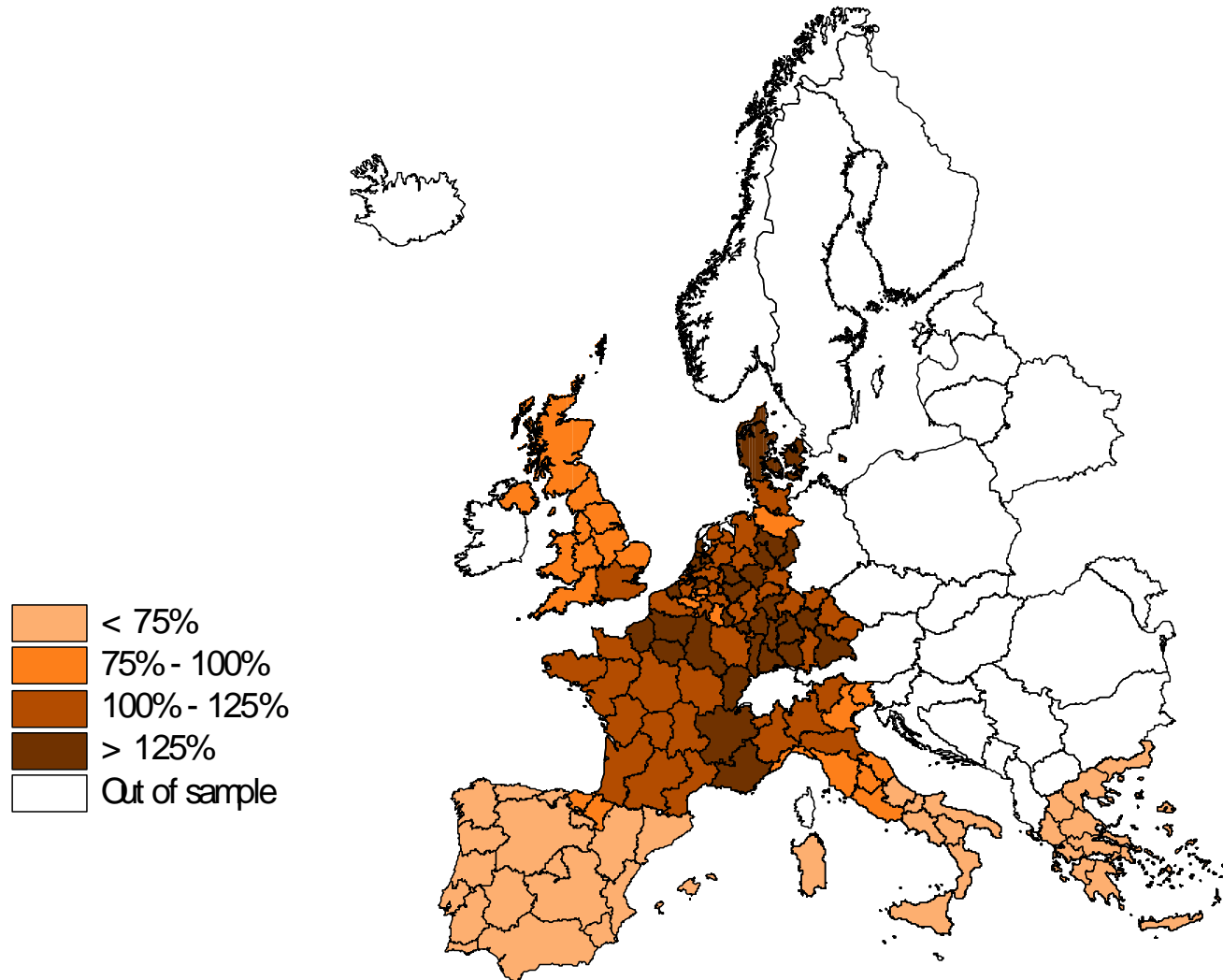
## ▶ Raisons pratiques :

- Disponibilité croissante de données géo-référencées
- Le fort développement des Systèmes d'Information Géographiques
  - ▶ Burrough: « Set of tools for collecting, storing, retrieving at will, transforming and displaying spatial data from the real world for a particular set of purposes »
  - ▶ Mapinfo, ArcView, ArcGIS, ...
- Le développement de logiciels et programmes spécifiques
  - ▶ GeoDa, bibliothèques pour Matlab et R

# Un exemple

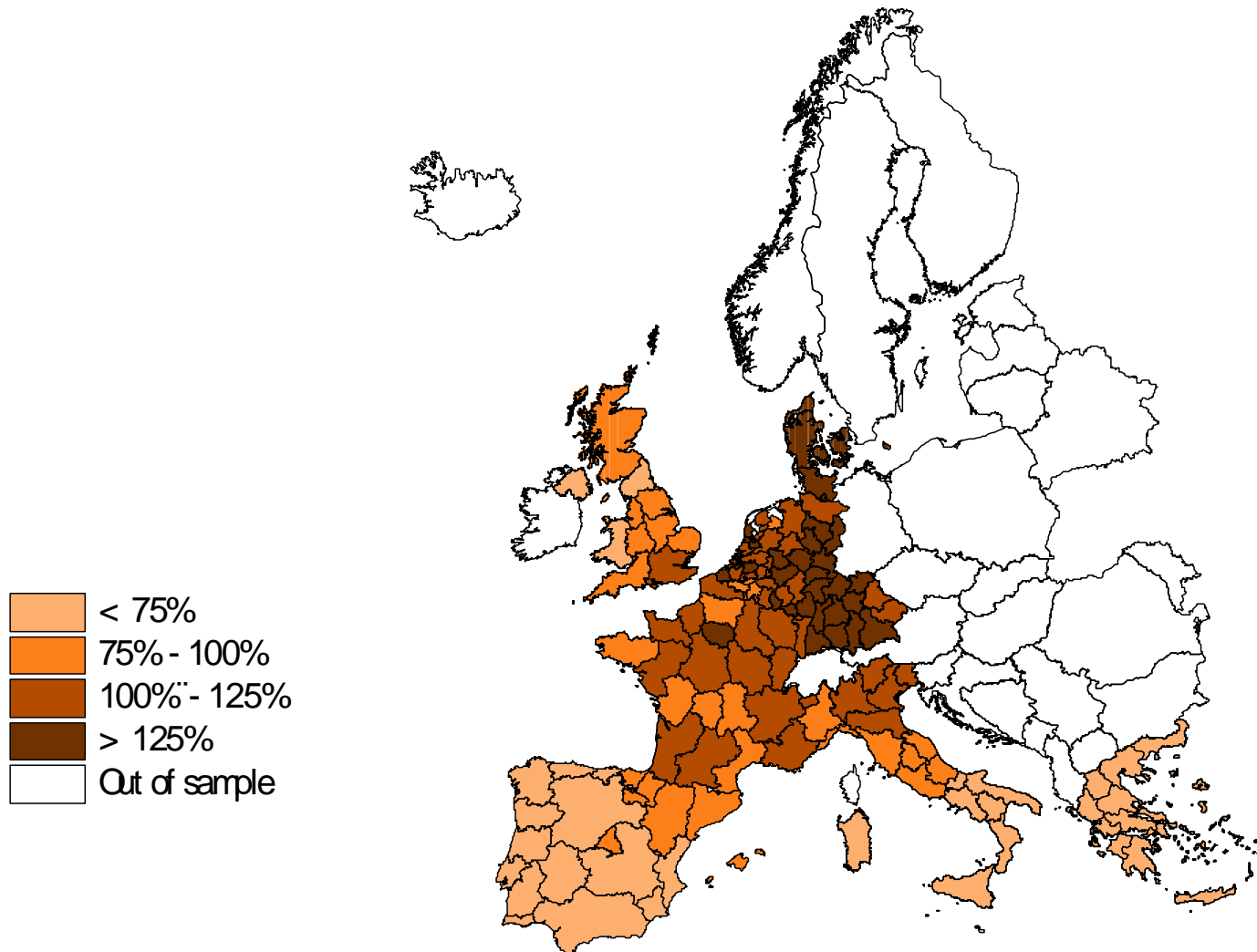
- ▶ Croissance et convergence des régions européennes
  - Modèles de croissance néo-classique : Solow (1956)
  - Barro et Sala-I-Martin (1995)
    - ▶ Modèles de  $\beta$ -convergence conditionnelle et inconditionnelle
  - Analyse des interactions spatiales
  
- ▶ Ertur C., Le Gallo J. et Baumont C.,(2006) « The European Regional Convergence Process, 1980-1995: Do Spatial Regimes and Spatial Dependence Matter? », *International Regional Science Review*, 29, 3-34.
  
- ▶ Ertur C., Le Gallo J. et Baumont C., (2006) « Clubs de convergence et effets de débordements géographiques : une analyse spatiale sur données régionales européennes, 1980-1995 », *Economie et Prévision*, vol. 173, n°2, 111-134.

# Echantillon de données (Eurostat-Regio)



PIB par tête en Ecus relativement à la moyenne de l'échantillon en 1980  
(NUTS2 sauf GB en NUTS1)

# Echantillon de données (Eurostat-Regio)



PIB par tête en Ecus relativement à la moyenne de l'échantillon en 1995  
(NUTS2 sauf GB en NUTS1)

# Concepts et tests de la $\beta$ – convergence (1)

La prédiction théorique du modèle de croissance néo-classique (Solow, 1956) est que le taux de croissance d'une économie est positivement liée à la distance qui la sépare de son propre état régulier

⇒ compatible avec la persistance des inégalités entre les économies

## ► $\beta$ -convergence conditionnelle :

Pour  $n$  regions :  $g_T = \alpha 1 + \beta y_0 + Z\phi + \varepsilon$        $\varepsilon \sim i.i.d.(0, \sigma_\varepsilon^2 I_n)$

où  $g_T$  est le vecteur de dimension  $(n \times 1)$  des taux de croissance moyens du PIB par tête entre les dates 0 and  $T$

$y_0$  est le vecteur de dimension  $(n \times 1)$  des logs des niveaux des PIB par tête à la date 0;  $1$  est le vecteur somme

$Z$  est la matrice de dimension  $(n \times m)$  des variables d'état, de contrôle et d'environnement maintenant constant les états réguliers  
et  $\alpha, \beta, \phi(m \times 1)$  et  $\sigma_\varepsilon^2$  sont les paramètres inconnus à estimer

$\beta < 0 \Rightarrow \beta$ -convergence conditionnelle

Régressions en coupe transversale fréquemment utilisées dans les études sur la croissance internationale depuis Barro et Sala-I-Martin (1990)

# Concepts et tests de la $\beta$ – convergence (2)

Si toutes les économies sont structurellement similaires et caractérisées par le même état régulier et diffère seulement par leurs conditions initiales

$\Rightarrow$  c'est seulement dans ce cas que la prédiction théorique du modèle de croissance néo-classique suivant laquelle les économies pauvres croissent plus rapidement que les économies riches et les rattrapent éventuellement dans le long terme est valide

## ► $\beta$ -convergence inconditionnelle :

Pour  $n$  regions :  $g_T = \alpha + \beta y_0 + \varepsilon$        $\varepsilon \sim i.i.d.(0, \sigma_\varepsilon^2 I_n)$

$\alpha, \beta$  et  $\sigma_\varepsilon^2$  sont les paramètres inconnus à estimer

$\beta < 0 \Rightarrow \beta$ -convergence inconditionnelle

utilisé par Sala-I-Martin (1996) pour les analyses de la croissance régionale au sein d'un même pays

Modèle de b-convergence  
inconditionnelle

Échantillon de 138 régions  
européennes

✓ estimation par MCO - White

Estimations des spécifications  
spatiales :

✓ modèle avec erreurs  
spatialement autocorrélées

✓ modèle avec variable  
endogène spatialement décalée

✓ modèle avec variable exogène  
spatialement décalée

✓ tests de diagnostic

Model	$\beta$ - convergence	Spatial error	Spatial error	Spatial lag	Cross- regressive
Estimation	OLS-White	ML	GMM	ML	OLS-White
$\hat{\alpha}$	0.129 (0.000)	0.186 (0.000)	0.187 (0.000)	0.060 (0.001)	0.107 (0.000)
$\hat{\beta}$	-0.0079 (0.002)	-0.0144 (0.000)	-0.0145 (0.000)	-0.0053 (0.001)	-0.017 (0.008)
conv. speed	0.84% (0.000)	1.62% (0.000)	1.63% (0.000)	0.55% (0.000)	1.90% (0.000)
Half-life	88	47.80	47.49	131	41.5
$\hat{\lambda}$	-	0.802 (0.000)	0.813	-	-
$\hat{\rho}$	-	-	-	0.772 (0.000)	-
$\hat{\gamma}$	-	-	-	-	0.011 (0.085)
$R^2$ or Sq. Corr*	0.13	0.13*	0.13*	0.49*	0.17
LIK	456.14	497.42	-	485.60	458.81
AIC	-908.27	-990.85	-	-965.21	-911.61
BIC	-902.42	-984.99	-	-956.43	-902.83
$\hat{\sigma}^2$	$7.996 \cdot 10^{-5}$	$4.332 \cdot 10^{-5}$	-	$4.748 \cdot 10^{-5}$	$7.750 \cdot 10^{-5}$
JB	8.976 (0.011)	-	-	-	9.245 (0.010)
BP or BP-S* or KB** vs. $y_0$	14.786 (0.000)	3.315* (0.068)	-	14.124* (0.000)	5.237** (0.022)
White	29.903 (0.000)	-	-	-	34.364 (0.000)
MORAN	13.937 (0.000)	-	-	-	13.449 (0.000)
LMERR	155.704 (0.000)	-	-	-	144.230 (0.000)
R-LMERR	36.484 (0.000)	-	-	-	2.295 (0.130)
LMERR*	-	-	-	4.343 (0.037)	-
LMLAG	124.457 (0.000)	-	-	-	150.769 (0.000)
R-LMLAG	5.237 (0.022)	-	-	-	8.833 (0.003)
LMLAG*	-	0.0274 (0.868)	-	-	-
LR-com-fac	-	0.189* (0.663)	-	-	-
$\hat{\gamma} = -\hat{\lambda}\hat{\beta}$	-	0.01 (0.823)	-	-	-



# Principaux résultats

- ▶ Détection d'autocorrélation spatiale grâce aux tests de diagnostic
  - ▶ Au mieux les estimateurs des MCO sont inefficients et l'inférence statistique fondée sur ces estimateurs est biaisée
  - ▶ Au pire les estimateurs des MCO sont biaisés et non convergents
  - ⇒ **Le modèle de convergence inconditionnelle est mal spécifié**
- ▶ La spécification spatiale la plus appropriée est le modèle avec erreurs spatialement autocorrélées
  - ▶ Une reformulation de ce modèle permet de mettre en évidence des effets de débordement spatiaux
  - ▶ Le taux de croissance d'une région donnée est positivement influencée par les taux de croissance des régions voisines
- ▶ **Les interactions spatiales jouent un rôle important dans les processus de croissance régionaux**

# Programmes et Logiciels (1)

- ▶ Les logiciels commerciaux fournissent rarement des outils de statistique et d'économétrie spatiales
  - Fonctionnalités spatiales fournies concernent souvent l'interface avec un SIG pour la cartographie ou la géostatistique
    - ▶ SAS, Systat, ArcGis Geostat Analyst
- ▶ Codes/Macros spécifiques
  - Routines avec des fonctionnalités spécifiques
  - Contraintes sur le format des données, la taille de l'échantillon, la vitesse d'exécution...
- ▶ Logiciels polyvalents
  - SpaceStat (Anselin), S+Spatialstats, Spdep (R), LeSage-Pace (Matlab), Pisati (Stata Ado)

# Programmes et Logiciels (2)

- ▶ SpaceStat (Anselin, 1991)
  - Régressions spatiales linéaires
    - ▶ Construction de matrices de pondérations spatiales, tests de diagnostic, ML, IV/GMM
    - ▶ Architecture et interface dépassées (sous émulation DOS)
  
- ▶ S+Spatialstats (Splus)
  - Régressions spatiales linéaires
    - ▶ Construction de matrices de pondérations spatiales (interface ArcView)
    - ▶ ML
    - ▶ Pas de tests de diagnostic
  
- ▶ Sdep (Bivand)
  - R package, open source
  - Régressions spatiales linéaires
    - ▶ Construction de matrices de pondérations spatiales (à partir de fichiers de frontières), estimations ML uniquement
    - ▶ Tests de diagnostics
      - Autres Package R : Venables-Ripley, GWR, etc.

# Programmes et Logiciels (3)

## ▶ Stata 11

- Routines utilisateurs téléchargeables sur internet
- SPPACK
- SPMLREG

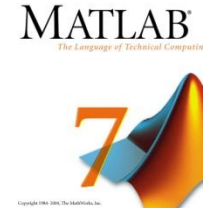
## ▶ Problèmes généraux

- Fonctionnalités incomplètes, se concentrent sur l'estimation et moins sur les tests de diagnostic
- Performances mitigées, utilisation de routines génériques, structure matricielle inefficace, temps de calcul longs
- Pas de normes, pas d'interopérabilité

# Programmes et Logiciels (4)

## ▶ Spatial Econometrics Toolbox (LeSage, Pace)

- Routines Matlab (nécessite l'installation de Matlab)
- Régressions spatiales
  - ▶ Construction de matrices de pondérations spatiales (Thiessen), tests de diagnostic, Estimation ML (matrices creuses – sparse matrix), estimation Bayésienne (Gibbs sampler)
  - ▶ Probit/Tobit spatiaux
  - ▶ Module de visualisation cartographique Arcmap sur la base de fichiers .shp (shape files)
- Logiciels open source : Scilab, Octave



<http://www.spatial-econometrics.com/>

## ▶ Autres logiciels en développement

- R-Geo / spdep
- PySAL - PySpace - PyWeights



<http://geodacenter.asu.edu/software>

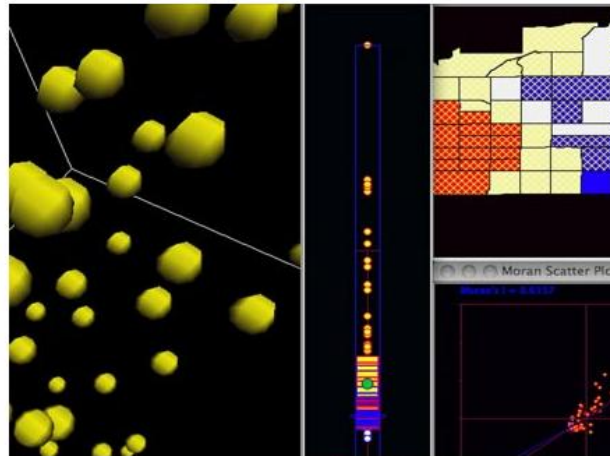
# Programmes et Logiciels (5)

► GeoDa Center : <http://geodacenter.asu.edu/>

## OpenGeoDa

The worldwide community of GeoDa users is close to 76,000. OpenGeoDa is cross-platform, free and open-source: 1.0 was released on 10/10/11, current version is 1.2, released on 08/21/12.

[Download OpenGeoDa](#)  
[About OpenGeoDa](#)



1 2 3 4 5 6 7 ...

### GeoDa Center News

New version of GeoDaSpace w/ bug fixes released <http://t.co/fwy6zk3Q>

(2 weeks 1 day ago)

Follow us on Twitter



Visit us on Facebook



Sign up for software support and updates:

e-mail



[Sign up for training](#)

### Downloads



#### GeoDa

ESDA & spatial regression on Mac OS, Windows & Linux



#### PySAL

Open source Python library for spatial analytical functions

### Research



#### Recent Publications

Access a list of recent GeoDa Center publications



#### Working Papers

View, search, and download the GeoDa Center's working papers

### Training



#### E-courses

Enroll in GeoDa Center e-Learning



#### E-slides

Watch GeoDa Center talks with your web browser

A research unit of the  
College of Liberal Arts and Sciences

GeoDa Center for Geospatial Analysis and Computation  
School of Geographical Sciences and Urban Planning | Lattie F. Coor Hall, COOR 5671 | P.O. Box 875302, Tempe AZ 85287-5302  
Phone: (480) 965-7533 | Fax: (480) 965-8313  
Contact us: [geodacenter@asu.edu](mailto:geodacenter@asu.edu)

# Programmes et Logiciels (6)

## ▶ OpenGeoDa v. 1.2 (21 août 2012, Anselin)



- Analyse exploratoire des données spatiales
  - ▶ utilisation conviviale à l'aide d'une interface graphique et de menus
  - ▶ Méthodes visuelles
  - ▶ Construction de matrices de pondérations spatiales
  - ▶ Extension naturelle de SIG tel que ArcView sur la base de fichiers .shp (shape files)
  - ▶ Cartes et graphiques statistiques dynamiques
  - ▶ Analyse de l'autocorrélation spatiale
    - (globale et locale / univariée et multivariée)
  - ▶ Visualisation des points extrêmes
- Econométrie spatiale
  - ▶ MCO + tests de diagnostic pour le modèle standard
  - ▶ Maximum de vraisemblance pour les modèles économétriques spatiaux

## ▶ GeoDaSpace v. 0.7.4 (13 août 2012, Anselin) en développement



- Econométrie spatiale
  - ▶ 2SLS, GMM

<http://geodacenter.asu.edu/software>