

# La modelización de la dinámica intra-urbana aplicada al campo de algunas grandes ciudades francesas

Thérèse Saint-Julien  
Université Paris 1

Trataré el asunto de la modelización de la dinámica urbana, aplicada al campo de algunas grandes ciudades francesas. La verificación, que puede reproducir la dinámica anterior en los sistemas geográficos, representa, en las ciencias humanas, lo que es el experimento en las ciencias experimentales.

En la *dirección de modelización* de las estructuras *dissipatives* de I. PRIGOGINE (1979), P. ALLEN (1978,1981) ha presentado una modelización de la dinámica intra-urbana. Nuestra investigación es un experimento de esta forma de modelización, aplicándola al campo de cuatro ciudades francesas.

La investigación resulta de un trabajo colectivo, con L. SANDERS y D. PUMAIN, cuyas referencias se encuentran al final de la ponencia.

La conferencia se estructura en tres apartados: 1) Conocer las hipótesis que fundan la dirección de modelización que hemos elegido; 2) Determinar las principales particularidades del modelo intra-urbano de P. ALLEN; 3) Presentar la aplicación.

## I.- LAS HIPOTESIS QUE FUNDAN ESTA DIRECCION DE MODELIZACION

Se trata de un sistema abierto y jerárquico; el sistema mantiene relaciones con su entorno y, dentro, interacciones entre diferentes niveles micro, meso, macro estados. Esas dos características son muy importantes cuando se estudian los sistemas sociales.

Los sistemas dinámicos son auto-organizados. Algunas normas de interacción entre los elementos introducen en el nivel del sistema fenómenos de auto-organización: se pueden observar, durante un tiempo bastante largo, regularidades en el tamaño y en la configuración de los subsistemas. La estructura del sistema está descrita como una nueva fuerza atractiva sobre una trayectoria.

El sistema dinámico es inestable, en el sentido de que esas estructuras pueden ser creadas, transformadas o destruidas en el transcurso de la evolución del sistema. En esta evolución existe una parte de incertidumbre: las estructuras dependen de las interacciones que se determinan al nivel microscópico (el nivel de los comportamientos individuales) y de las que aparecen al nivel macroscópico (el nivel de la ciudad). El comportamiento de los elementos, el modo de agregación de estos

elementos, puede ser cambiado y dar modificaciones de la estructura, en el tiempo de la inestabilidad del sistema.

Si después de perturbaciones el sistema recobra su estado anterior, se observa una relativa estabilidad de la estructura. El sistema aparece estable, en equilibrio.

Pero, el sistema puede no recobrar su estado anterior, con motivo de fluctuaciones internas, de modificaciones en el nivel de las variables que caracterizan al sistema (por ejemplo: cambios en los micro estados introducen modificaciones), y también con motivo de fluctuaciones externas, que vienen del entorno. Fluctuaciones internas y fluctuaciones externas pueden dar bifurcaciones. Durante una fase de inestabilidad, amplificaciones de las inestabilidades provocan una bifurcación, es decir, un cambio cualitativo en el comportamiento del sistema, un cambio de trayectoria. Una infinitésima variación de un parámetro puede dar un cambio de trayectoria.

Por último, la magnitud histórica del modelo parece muy interesante. La irreversibilidad de las evoluciones observadas, la imprevisibilidad en la aparición de bifurcaciones, son propiedades que se encuentran muchas veces en la dinámica de los sistemas geográficos.

## II.-EL MODELO INTRA-URBANO DE P. ALLEN

Se trata de un modelo dinámico complejo. La ciudad está descrita como un sistema abierto, jerárquico y auto-organizado. El modelo no introduce apremios de equilibrio, o de optimización. Permite una exploración de los futuros posibles. El sistema urbano descrito con el modelo es espacial. El espacio de la ciudad, o de su aglomeración, se compone de zonas que son los barrios o los municipios urbanos y suburbanos. Cada zona está caracterizada con su posición geográfica, las distancias que la separan de las otras zonas, y diferentes variables de estado. En el modelo, las interacciones integran los elementos de la teoría urbana que son, por ejemplo:

- el incremento logístico,
- la inducción entre actividades, que diferencia estrategias de localización,
- el efecto de disuasión de la distancia,
- la competición para el espacio dentro de la ciudad y la inercia de las localizaciones,
- la dinámica segregativa de las poblaciones en el espacio,
- la jerarquía de las interacciones que integran a las diferentes escalas geográficas de la ciudad.

Se debe también decir que el modelo restituye cierta imagen de la ciudad. La ciudad se sitúa en una economía liberal. Los mecanismos que dominan su dinámica espacial dependen de un ajustamiento de la oferta y de la demanda. Además, una

competición bastante libre para la asignación del espacio urbano es otro importante proceso de la evolución espacial de la ciudad. Los mecanismos de interacción juegan libremente en todo punto del espacio, y se aplican para todo el sistema.

La estructura del modelo puede presentarse de la manera siguiente (figura 1). Cada zona está descrita con seis variables; cuatro corresponden a la distribución geográfica de las actividades económicas (cada actividad se estima en número de personas activas). Entre estas actividades, dos representan actividades específicas, que dependen de la demanda externa, actividades exportadas en el sentido de la base económica: la industria y el terciario fundamental. Otras dos actividades corresponden al terciario inducido: servicios a la población y a las empresas locales o regionales. Se diferencian también por el alcance geográfico (local o regional). A esas cuatro variables, se añaden dos variables que describen la distribución geográfica de la población activa en su sitio de vivienda, separando los obreros de los otros trabajadores. La especificidad de la distribución geográfica de cada una de las dos poblaciones justifica este punto.

Los parámetros se refieren a la demanda exterior, la velocidad de reacción de los empresarios, la saturación, las economías de escala, las segregaciones, la información de los empresarios en calidad de la posición de cada zona, la competición espacial. Además el modelo distingue los efectos asociados a la atracción y los efectos asociados con la demanda.

La forma general de las ecuaciones es una función logística. Las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 describen, con muchas precisiones, las diferentes ecuaciones que traducen la dinámica de cada zona para cada actividad. No existe solución analítica para resolver estas ecuaciones. Sin embargo, se pueden presentar algunos resultados de simulaciones, dando ideas sobre las expresiones de la dinámica así formulada; por ejemplo, los efectos de los parámetros de la función de atracción (figura 7), o la aparición de una bifurcación en el sistema (figura 8).

### III.- LA APLICACION AL CAMPO DE CUATRO CIUDADES FRANCESAS

Las hipótesis contenidas en el modelo de P. ALLEN parecen tener gran interés: es decir, que procesos generales engendran dinámicas específicas sobre una configuración geográfica inicial particular. Habíamos observado, tanto al nivel de una ciudad, como sobre todo al nivel del sistema urbano nacional el importante efecto de los procesos generales en las dinámicas geográficas que aparecían.

Si la hipótesis del efecto principal de procesos generales en la dinámica del espacio urbano está correcta, los mismos procesos pueden contribuir a la realización de la dinámica espacial de varias ciudades, que ocupan en el sistema urbano nacional posiciones jerárquicas, socio-económicamente comparables, y tractorias paralelas durante los decenios pasados.

La primera experimentación del modelo fue realizada sobre la aglomeración de Rouen. Se debe a la tesis de L. SANDERS. Luego, la experimentación fue extendida a las ciudades de Nantes, Bordeaux y Strasbourg.

a) La preparación de la experimentación del modelo de P. ALLEN sobre el caso de ciudades efectivas.

Para cada ciudad, se necesita definir las zonas de estudio. El nivel del barrio presentaba gran interés geográfico. Pero las estadísticas relativas a las poblaciones urbanas no existen para una fecha anterior a 1975; era imposible confrontar la dinámica simulada y la dinámica observada a la escala de los barrios. Elegimos el nivel de las *communes* urbanas y suburbanas, para las cuales teníamos datos para describir las actividades y las poblaciones, en relación con los censos de población de 1962, 1968, 1975. Se necesita también precisar la definición de las actividades. Los censos se preocupan de las actividades económicas con la perspectiva de la contabilidad nacional. Esta perspectiva no toma directamente en cuenta el alcance geográfico de las actividades. Debíamos solucionar el problema, trabajando con nomenclaturas muy desagregadas, recobrando así agregaciones que dan una idea correcta de los alcances geográficos y de la variedad de las estrategias de localización dentro de la ciudad. La evaluación de la distancia dentro de la ciudad ha dado también motivos para otra opción. Investigaciones particulares han demostrado, en el caso de Rouen, que la distancia en línea recta era una buena estimación de los frenos que introduce la distancia en los traslados trabajo-residencia. Así, elegimos esta distancia.

En el modelo, los parámetros son numerosos y su determinación, compleja. Cuatro han sido estimados según la situación inicial de la ciudad y su desarrollo: la demanda externa, la inducción entre las actividades exportadoras y las otras actividades. Otros han sido determinados según estimaciones nacionales; proporciones de los obreros y otros trabajadores ocupados por cada una de las cuatro actividades, área media ocupada por cada categoría de empleo y de residente. Los otros parámetros han sido estimados con la calibración.

El método de calibración o de ajuste de la dinámica de 1962 a 1982 presenta algunos problemas. Cada parámetro tiene un efecto sobre el conjunto de las variables del sistema más o menos directamente. Es una consecuencia de las interrelaciones que existen entre ellas. Si los efectos directos son previsible, fácilmente dominados, los efectos indirectos son difícilmente dominados, pues son imprevisibles. La calibración no se puede realizar automáticamente; debe establecerse con simulaciones sucesivas.

b) La simulación de la dinámica espacial de Rouen.

Los resultados han sido aceptables desde el punto de vista de los valores estimados para reproducir la dinámica de la repartición de las diferentes actividades y poblaciones (las seis variables). El ajuste de las actividades exportadoras ha sido realizado usando el parámetro  $\alpha$ , que precisa la calidad de accesibilidad de cada zona. Los residuos que aparecen, entre las distribuciones geográficas observadas y simuladas, corresponden a lo que el modelo no toma en consideración. Residuos importantes se refieren al hecho de que el modelo no integra la aparición, durante el tiempo de la simulación, de iniciativas públicas de planificación, como por

ejemplo la creación de la universidad de Rouen sobre el territorio de la *commune* de Mont-Saint-Aignan (subestimación de empleos del terciario), o la construcción de un gran conjunto de viviendas en otras *communes* (subestimación de las poblaciones). Residuos importantes traducen también la diferencia de tamaño de las *communes* suburbanas, y el hecho de que, en la dinámica, la superficie disponible de cada zona, el valor del suelo y las estructuras de renta, no están introducidas (figura 9).

c) La simulación de la dinámica espacial de Nantes, Bordeaux, Strasbourg, en una perspectiva comparativa.

La comparación demuestra el gran interés del modelo, su adaptación conceptual al problema del desarrollo urbano en su expresión espacial. Los mismos procesos generales permiten reproducir la dinámica de las cuatro ciudades. Sub y sobre estimaciones aparecen en cada una, en las mismas circunstancias: aparición de macro-decisiones, desconocimiento de la superficie disponible, del valor del suelo, etc.. Pero los valores de los parámetros calculados en el curso de la calibración varían de una ciudad a otra (cuadro 1). Este resultado confirma nuestra hipótesis central: los mismos mecanismos aparecen en cada caso, pero con intensidades diferentes.

## CONCLUSION

Los modelos de auto-organización aparecen más eficientes para reproducir una situación conocida, para explorar futuros, que para predecir el futuro. Esta conclusión viene de la ignorancia en la que se encuentra la ciencia urbana en lo relativo a las interacciones que obran en la dinámica intraurbana (naturaleza y, sobre todo, intensidad de las interacciones).

La perspectiva comparativa que hemos elegido ha permitido la validación de la hipótesis principal del modelo: las condiciones generales de desarrollo son más importantes que las condiciones particulares, propias a cada ciudad.

## REFERENCIAS

- ALLEN, P. (1978): *Dynamique des centres urbains*. Sciences et Techniques, n°50, p. 15-19.
- ALLEN, P.; SANGLIER, M. (1978): *Dynamics models of urban growth*. *Journal of Social and Biological Structures*, n°1, p. 265-280.
- ALLEN, P.; SANGLIER, M. (1981): *Urban evolution, self organization and decision-making*. *Environment and Planning*, vol. 13, p. 167-183.
- PRIGOGINE, I.; STENGHER, I. (1979): *La nouvelle alliance*. Paris, Gallimard.
- PUMAIN, D.; SAINT-JULIEN, Th.; SANDERS, L. (1984): *Vers une modélisation de la dynamique intra-urbaine*. *L'espace Géographique*, n°2 .
- PUMAIN, D.; SAINT-JULIEN, Th.; SANDERS, L. (1987): *Application of a dynamic urban model*. *Geographical Analysis*, n° 1.
- PUMAIN, D.; SANDERS, L.; SAINT-JULIEN, Th. (1988): *La ville, un système dynamique*. Paris Economica.
- SANDERS, L. (1984): *Interaction spatiale et modélisation dynamique*. Paris, Thèse de 3ème cycle, Université Paris 7.

figura 1 LA ESTRUCTURA DEL MODELO

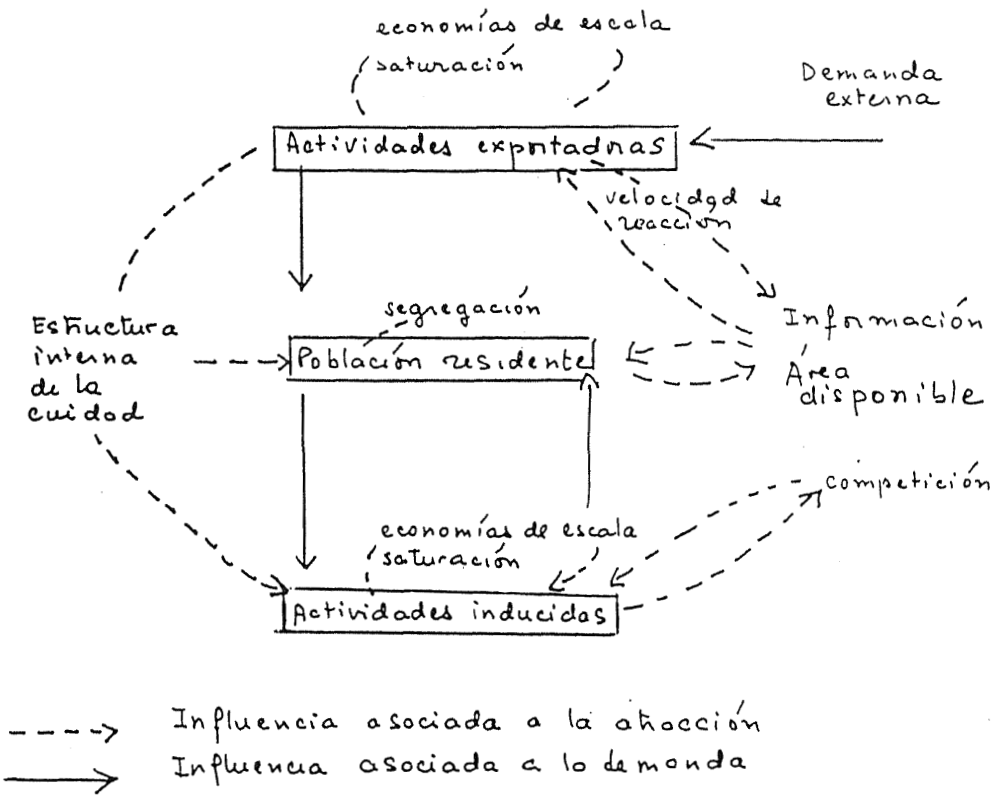


Figura 2 LA FORMA MATEMATICA DEL MODELO

$$\frac{dS_d^E}{dt} = \varepsilon S_d^E \left( 1 - \frac{S_d^E}{\text{Potencial de } j} \right)$$

empleo existente  
 velocidad de reaccion  
 Potencial de  $j$

$$\text{Potencial en } j = \frac{A_j}{\sum_{j'} A_{j'}}$$

Atracción de la zona  $j$   
 demanda externa o inducida

$j$  = una zona

$E$  = una actividad



figura 3 ATRACCION DE UNA ZONA J SOBRE UNA ACTIVIDAD E

- Efectos de aglomeración  
(economías y saturación)

$$1 + \rho^E S_j^E (1 - \psi^E S_j^E)$$

propension a aglomerarse

efectos de saturación

- Accesibilidad de la zona

$$\frac{1}{1 + \alpha_j^E \phi^E}$$

Sensibilidad a los costes de transporte

dificultad del acceso  
(solo parámetro que se define para cada zona)

- Espacio disponible

$$Z^E$$

$$Z^E + \sum_e \gamma^e S_j^e + \sum_k \gamma^k x^k$$

densidad tope

espacio ocupado en cada empleo o residente

figura 4 LA DYNAMICA DE LAS ACTIVIDADES EXPORTADORAS

$$\frac{dS_j^E}{dt} = \varepsilon^E S_j^E \left( 1 - \frac{S_j^E}{D^E \frac{A_j^\infty}{\sum_j A_j^\infty}} \right)$$

$$f_j^E = \left[ \frac{1 + \rho^E S_j^E (1 - \psi^E S_j^E)}{1 + \alpha_j^E \phi^E} \cdot \frac{z^E}{z^E + \sum_k \gamma^k X_j^k + \sum_e \gamma^e S_j^e} \right]$$

$S_j^E$  numero de empleos de la actividad E localizados en la zona j

E=1 industria

E=2 Servicio fundamental

$D^E$  demanda externa

$\varepsilon^E$  velocidad de reacción

$\rho^E$  propensión a aglomerarse

$\psi^E$  efectos de diseconomías de aglomeración

$\alpha_j^E$  accesibilidad de la zona j para la actividad E

$\phi_j^E$  sensibilidad de los empresarios a la posición geográfica de la zona

$z^E$  Área máxima admitida por la actividad E

$\gamma^k$  Área ocupada a la unidad de empleo de actividad o de residente

$co^E$  sensibilidad de los empresarios de la actividad E a las diferencias de atracción entre las zonas

figura 5 LA DYNAMICA DE LAS ACTIVIDADES INDUCIDAS

$$\frac{d S_j^u}{dt} = \varepsilon^u S_j^u \left[ 1 - \frac{S_j^u}{\sum_{j'} \left( \beta^u \sum_k X_{j'k}^k \frac{A_{jj'}^{\infty}}{\sum_{j''} A_{jj''}^{\infty}} \right)} \right]$$

$$A_{jj'}^u = \left[ \frac{1 + \rho^u S_j^u - \psi^u S_j^u}{1 + \phi^u \delta_{jj'}} \cdot \frac{z^u}{z^u + \sum_k \gamma^k X_{jk}^k + \sum_l \gamma^l S_d^l} \right]$$

$S_j^u$  = número de trabajadores de la actividad  $u$  en la zona  $j$

$u=3$  terciario regional

$u=4$  terciario local

$\varepsilon^u$  velocidad de reacción

$\rho^u$  propensión a aglomerarse

$\psi^u$  factor de diseconomía de aglomeración

$\beta^u$  coeficiente de inducción

$\phi^u$  sensibilidad de los habitantes a los traslados de la residencia a los servicios

$\omega^u$  sensibilidad de los empresarios a las diferencias de atracción entre las zonas

$d_{jj'}$  distancia entre la zona  $j'$  (residencia) y la zona  $j$  (servicios)

figura 6 LA DYNAMICA DE LAS POBLACIONES ACTIVAS RESIDENTES

$$\frac{dx_d^k}{dt} = \eta^k x_d^k \left[ 1 - \frac{x_d^k}{\sum_{j'} \left( \sum_{e'} Z^{ke'} S_{j'}^{e'} \frac{R_{jj'}}{\sum_{j'} R_{jj'}} \right)} \right]$$

$$Z_{jj'}^{ke} = \frac{v^k (1 + \sigma^k x_j^k)}{v^k + \sum_{k'} \gamma^{kk'} x_j^{k'} + \sum_{e'} \gamma^{e'} S_j^{e'}} \cdot e^{-b^k \delta_{dd'}}$$

$x_d^k$  número de residentes de categoría  $k$  y de la zona  $d$

$k=1$  obreros

$k=2$  otros trabajadores

$\eta^k$  velocidad de reacción

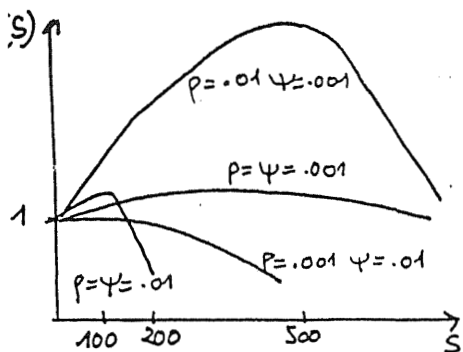
$Z^{ke}$  proporción de trabajadores de la categoría  $k$  empleados por la actividad  $e'$

$\sigma^k$  propensión a aglomerarse de la categoría  $k$

$v^k$  Área maximal tolerada para la categoría  $k$

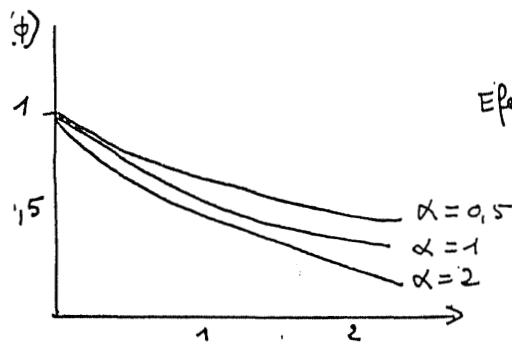
$b^k$  sensibilidad de la categoría  $k$  a la distancia que separa el sitio de la residencia y el sitio del empleo.

Figura 7 EFECTOS DE LOS PARAMETROS DE LA FUNCION DE ATRACCION



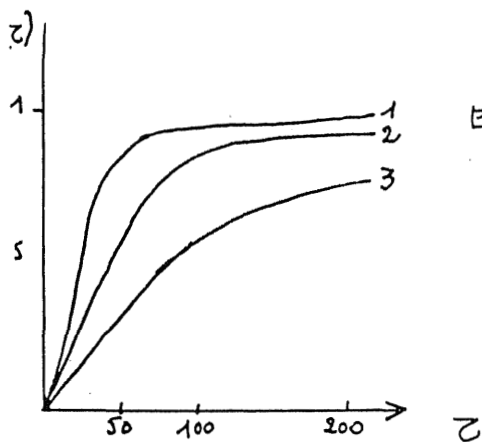
Efecto de las economías de escala  $\rho$  y de la saturación  $\psi$

$$f(S) = 1 + \rho S (1 - \psi S)$$



Efecto de la accesibilidad

$$g(\phi) = \frac{1}{1 + \alpha_j \phi}$$



Efecto del espacio disponible

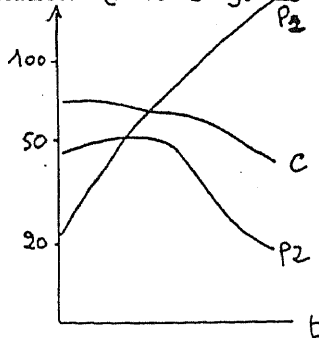
$$h(z) = \frac{z}{z + \sum_k \gamma^k X_j^k + \sum_l \gamma^l S_j^l}$$

$$\begin{array}{l} 1 \quad \sum_k \gamma^k X_j^k + \sum_l \gamma^l S_j^l = 5 \\ 2 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 10 \\ 3 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 50 \end{array}$$

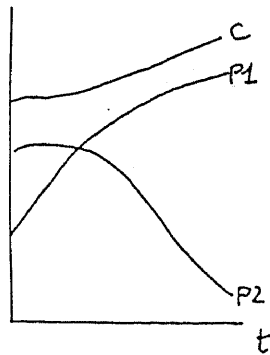
figura 8 APARICION DE UNA BIFURCACION

Evolución del empleo de terciario fundamental — Simulación  
 Cuando la ciudad tiene 3 zonas un centro y 2 periferias.

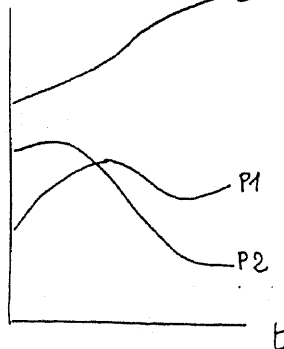
número  
de  
empleos



$$p = 0,0037$$



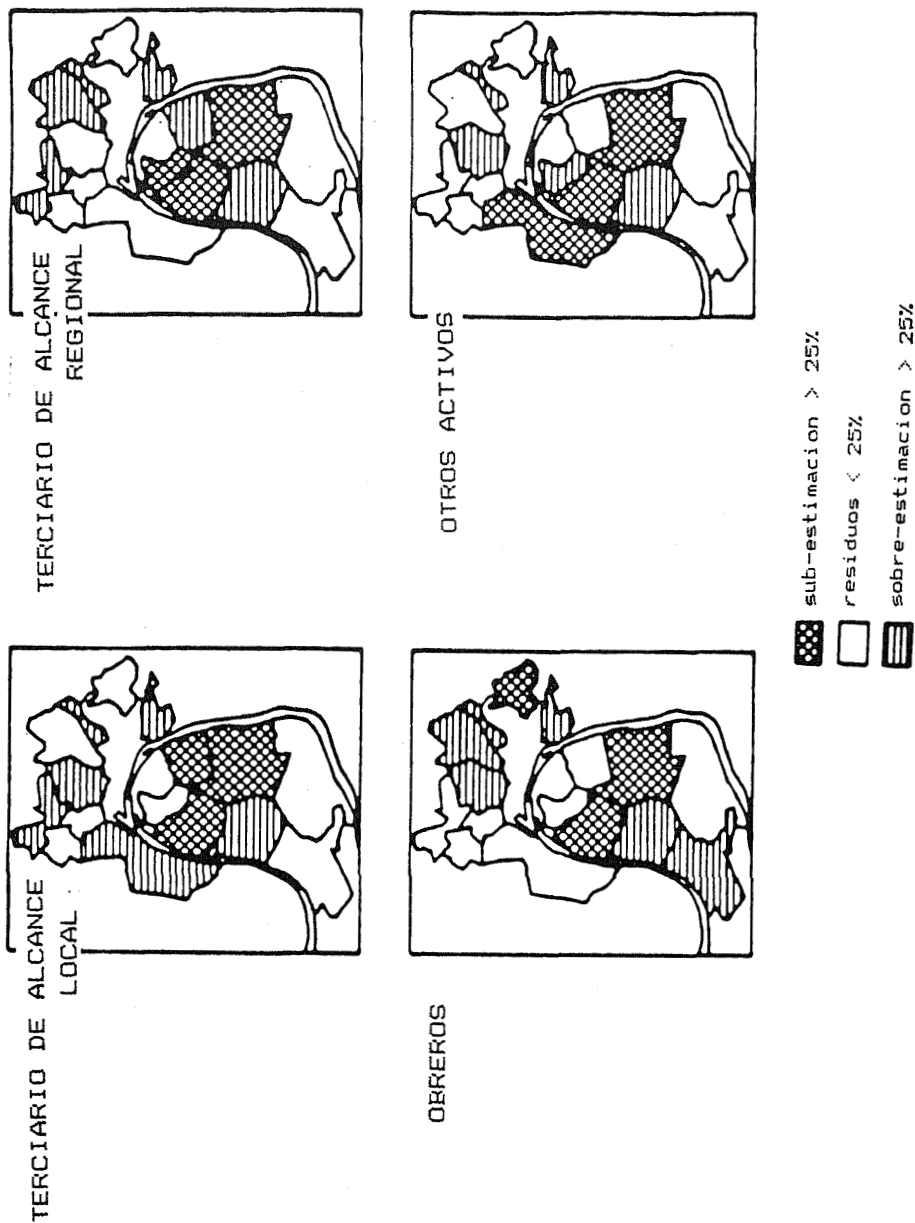
$$p = 0,0039$$



$$p = 0,0040$$

$p =$  propensión de la  
actividad a  
aglomerarse.

figura 9 ROUEN: RESIDUOS ENTRE LAS EVOLUCIONES OBSERVADAS Y SIMULADAS 1954-1975



CUADRO 4 PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LA DINAMICA URBANA

Parametros de actividades	ROUEN				BORDEAUX				STRASBOURG				NANTES			
	IND	IF	TL	TR	IND	IF	TL	TR	IND	IF	TL	TR	IND	IF	TL	TR
c	.7	.75	.5	.5	.8	.9	.5	.5	.9	.85	.5	.5	.8	.75	.5	.5
d	.27	.27	.1	.01	.27	.27	.1	.01	.27	.27	.1	.01	.20	.27	.05	.02
e	.0027	.004	.0051	.0057	.0032	.0043	.003	.0034	.0032	.006	.005	.006	.008	.03	.0025	.008
f	.0029	.003	.0032	.00187	.0018	.001	.00129	.00105	.001	.002	.0015	.00187	.003	.009	.0015	.0018
g (centro)	.08	.19			.34	.31			.77	.79			.18	.49		
h	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
i	100	220	160	150	100	220	160	150	100	220	160	150	100	220	160	150
j			.25	.48			.3	.5			.37	.38			.41	.46
k	127	93	183	439	420	104	521	416	454	272	373	335	349	11	359	420
l	309	121	292	561	639	119	714	537	566	303	434	378	425	16	422	501
Parametros de los activos en el sitio de vivienda	obreros				obreros				obreros				obreros			
	otros				otros				otros				otros			
	obreros				obreros				obreros				obreros			
	otros				otros				otros				otros			
	obreros				obreros				obreros				obreros			
	otros				otros				otros				otros			
numero inicial de activos (centenas) commune-centre total	219	542	316	575	508	893	443	768	354	512	566	749	373	504	504	737
	120		150		120		150		120		150		120		150	
	.7	.012	.01	.01	.018	.018	.008	.008	.025	.025	.0115	.0115	.005	.005	.035	.035
	.36		.20		.98		.98		.36		.2		.2		.6	
			.55		.6		.6		.4		.5		.4		.5	

La calibracion se hace a partir del ano 1954 para Rouen y 1962 para las otras ciudades.

IND: industria, IF: terciario fundamental, TL: terciario local, TR: terciario regional