



**HAL**  
open science

## Une application d'un modèle de dynamique urbaine

Denise Pumain, Thérèse Saint-Julien, Lena Sanders

► **To cite this version:**

Denise Pumain, Thérèse Saint-Julien, Lena Sanders. Une application d'un modèle de dynamique urbaine. Cahiers de Géographie de Besançon, 1986, 28. halshs-01488400

**HAL Id: halshs-01488400**

**<https://shs.hal.science/halshs-01488400>**

Submitted on 13 Mar 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## UNE APPLICATION D'UN MODELE DE DYNAMIQUE URBAINE

Denise PUMAIN (I.N.E.D.)

Thérèse SAINT JULIEN ( Université de PARIS I)

Léna SANDERS (Université de PARIS VII )

Les notions d'équilibre dynamique, de changement de structure, de discontinuité liée à une évolution sont connues depuis longtemps. Mais la possibilité de traduire en langage mathématique et de produire par simulation, sans intervention extérieure, ces modifications qualitatives, est toute récente. Une nouvelle génération de modèles, à la fois dynamiques et spatiaux, se prête ainsi à l'exploration des structures spatiales nées de mécanismes d'interaction multiples entre les activités et les habitants d'une ville.

Ces recherches semblent particulièrement opportunes, à l'heure où le ralentissement de la croissance des villes et les modifications prévisibles des conditions de l'interaction urbaine rendent plus nécessaires une meilleure connaissance des fondements théoriques de la "logique des villes" (Claval, 1982) d'une part, et la maîtrise d'outils de modélisation capables d'aider efficacement à la gestion et à la prévision de la dynamique spatiale d'autre part.

En collaboration avec l'équipe de P. Allen, nous avons donc choisi d'expérimenter l'un de ces modèles pour simuler l'expansion récente de quelques agglomérations françaises (Rouen, Nantes, Bordeaux, Strasbourg). Nous espérons ainsi mesurer le degré de généralité des mécanismes d'évolution introduits dans le modèle et donc tester la pertinence de celui-ci en tant que modèle urbain opérationnel. A des questions comme celle du déclin démographique des centres, du rôle de l'industrie dans la structuration de l'espace urbain, des ségrégations résidentielles ou des distances domicile-travail, ce modèle pourrait, non pas apporter de réponse normative, mais permettre d'explorer sous diverses hypothèses les conséquences, pas toujours intuitives, de certains choix de planification sur la configuration ultérieure des villes. Avant d'en arriver là, de nombreux problèmes doivent cependant encore être résolus.

I - LE MODELE INTRA-URBAIN DE P. ALLEN

Ce modèle de simulation du développement a été élaboré par une équipe de chercheurs de l'Université Libre de Bruxelles (Allen, 1978; Allen et al. 1978 et 1981). Il constitue l'une des premières applications en sciences humaines d'un paradigme particulièrement prometteur (Prigogine et Stengers, 1979). Il se réfère à des formulations qui ont été mises au point pour décrire l'apparition de phénomènes d'auto-organisation dans des systèmes physiques ouverts situés loin de l'équilibre. Dans de tels systèmes, deux types de changements peuvent avoir lieu: des évolutions progressives le long de trajectoires déterminées par les équations du modèle; des bifurcations soudaines, ou changements de trajectoires, qui peuvent <sup>être</sup> provoqués par des fluctuations aléatoires. Ces bifurcations modifient la structure du système d'une manière non prédéterminée par la forme des équations.

Outre cette intéressante conception du changement structurel, le modèle urbain de P. Allen présente l'avantage, pour des utilisateurs géographes, d'être un modèle spatial. Il considère en effet l'espace urbain d'une ville comme un système ouvert, subdivisé en une vingtaine de zones. Chaque zone est caractérisée par une certaine quantité d'emplois dans quatre types d'activités (activités industrielles et tertiaires dépendant d'une demande extérieure, activités de services à la population de courte et moyenne portée), par une certaine quantité de population résidente (ouvriers et cols blancs) et par une localisation et une accessibilité aux réseaux de transport et d'information.

La simplification de l'image de la ville proposée par le modèle peut sembler excessive. En réalité, la complexité urbaine apparaît dans les règles de fonctionnement du modèle, qui reproduisent avec beaucoup de finesse les connaissances scientifiques acquises dans le domaine de la dynamique urbaine. Les lois, modèles ou théories élaborés en géographie ou en économie régionale pour rendre compte des évolutions territoriales sont intégrés sous forme de relations mathématiques ou de paramètres: mécanismes d'induction de la base économique, interaction entre les zones suivant un modèle gravitaire, croissance sur des espaces limités selon une courbe logistique, mécanismes de compétition pour l'espace et de ségrégation, inégales vitesses de réaction et plus ou moins grande identité des comportements selon l'information accessible aux acteurs.

Ayant déjà présenté ce modèle en détail par ailleurs (Sanders, 1984; Pumain, Saint Julien, Sanders, 1984), nous n'en rappellerons ici que les principes nécessaires à la lecture du tableau 1, qui énonce les équations qui le composent (la signification des paramètres est donnée dans le tableau 2).

Ce modèle est formé d'équations différentielles non linéaires qui décrivent chacune la variation par unité de temps de l'une des variables (quantité d'emplois ou de population d'un certain type) pour chaque zone de l'agglomération. Ces équations utilisent la formulation de la croissance logistique (voir tableau 1) c'est-à-dire que la variation du nombre d'emplois (ou de la population) dans une zone donnée dépend de l'écart entre le niveau déjà atteint et le niveau potentiel qu'elle est susceptible d'atteindre.

Le potentiel dépend de la demande extérieure pour les activités exportatrices ou d'une demande induite par l'agglomération pour les activités de services à la population. Le premier type d'activités est déterminé en quantité de manière exogène (par la demande extérieure  $D^k$ ) et sa répartition dans l'agglomération dépend de l'attractivité que chaque zone peut exercer sur ce type d'activités. Les activités induites sont déterminées dans leur volume et dans leur localisation par les caractéristiques de chaque zone. Dans ce cas, la demande  $D_j^k$  induite par chaque zone  $j$  de l'agglomération est fonction de sa population  $x_j$  et de la demande moyenne  $\beta^k$  d'un individu pour le produit  $k$  et s'écrit :  $D_j^k = \beta^k x_j$ . Mais selon toute vraisemblance la zone  $i$  n'est pas la seule à offrir le bien de type  $k$ . Elle ne retiendra donc, de la demande totale exprimée pour ce service par la population d'une zone, qu'une fraction correspondant à son attractivité relative par rapport à l'ensemble de toutes les autres zones de l'agglomération susceptibles d'offrir ce service.

Plusieurs éléments interviennent dans la mesure de l'attractivité  $A_{ij}$  d'une zone  $i$  sur une zone  $j$  :

- l'importance que cette activité a déjà en  $i$  joue positivement sur l'attractivité selon un paramètre  $\rho$  qui mesure la propension de ce type d'activité à s'agglomérer et négativement selon un paramètre  $\psi$  qui introduit l'effet des déséconomies d'agglomération;
- la distance  $d_{ij}$  entre  $i$  et  $j$  intervient de façon négative dans l'attractivité. La sensibilité des individus à cette distance est mesurée par un paramètre  $\phi$ . Celui-ci est d'autant plus élevé que la distance joue un rôle dissuasif sur les déplacements des individus;
- l'espace disponible dans la zone  $i$  intervient également dans son attractivité. Le terme est proportionnel à la densité maximale admise  $\tau^k$  pour l'activité de type  $k$  et inversement proportionnel à la densité de population résidente et d'activités déjà présents dans la zone.

Chaque attractivité ainsi définie est affectée d'un exposant qui traduit le degré d'homogénéité des préférences territoriales parmi les acteurs. Des

équations analogues sont utilisées pour décrire l'évolution de chaque catégorie de population résidente (ouvriers et cols blancs).

Une certaine image de la ville résulte de l'insertion de ces principes théoriques dans la dynamique des systèmes ouverts situés loin de l'équilibre. Territoire ouvert sur l'extérieur, les interactions internes y sont supposées plus importantes qu'elles ne le sont avec les espaces situés à l'extérieur. Le moteur de l'évolution est donné par l'écart entre l'existant et le potentiel, lui-même en constante révision sous l'effet des variations internes et externes. Les acteurs ne tendent plus à optimiser une certaine fonction, à mettre le système en équilibre, mais l'ajustent en permanence à des conditions changeantes, ce processus intervenant lui-même dans l'évolution des conditions. Selon P. Allen (1981), les non-linéarités qui structurent une ville résulteraient avant tout du comportement d'imitation et d'anticipation des acteurs.

Cette interprétation est située dans le cadre d'une économie libérale, où le jeu de l'offre et de la demande et une relativement libre compétition pour l'espace demeurent des ressorts prépondérants de la dynamique urbaine. Les mécanismes d'interaction introduits dans le modèle jouent librement en tout point de l'espace et s'appliquent à l'ensemble de l'agglomération considérée. (Cela ne signifie pas cependant que l'espace soit homogène et isotrope : les accessibilités des zones, facteurs importants dans le calcul des attractivités, y sont calculées d'après des distances qui peuvent être mesurées sur un réseau ; des contraintes spécifiques à certains espaces peuvent être introduites dans le modèle).

D'autres interprétations plus ou moins implicites sont indissociables de toute expérimentation de modèles spatio-temporels. Ainsi, on n'échappe pas à l'ambiguïté inhérente aux nécessités de l'agrégation spatiale : les paramètres et la forme des équations font référence au comportement des acteurs, et s'appliquent en fait à des agrégats de personnes ou d'activités regroupés dans une même subdivision de l'agglomération.

Les mécanismes décrits jouent de manière continue sur un espace interne qui est cependant discrétisé, subdivisé en zones. Celles-ci n'ont pas à être nécessairement homogènes mais leur diversité interne n'est pas prise en compte et les effets de transition intra-zones sont ignorés. De même, le temps est découpé en intervalles pour le calcul et des variations en principe simultanées sont calculées successivement.

Ces contraintes théoriques ne sont pas cependant d'une extrême gravité, en regard des contraintes liées à l'application pratique !

## II - L'APPLICATION A L'AGGLOMERATION DE ROUEN

Les travaux de P. Allen et de son équipe ont surtout porté jusqu'ici sur des applications théoriques du modèle à des villes fictives, afin d'éprouver par des simulations contrôlées la signification des paramètres (Allen et al. 1981).

L'objet de notre travail était de tester l'aptitude du modèle à reproduire des évolutions observées. Le choix de l'agglomération de Rouen répond à plusieurs impératifs. La possibilité de comparer plusieurs villes étant un but essentiel de notre démarche, les trop grandes agglomérations comme Paris ou Marseille étaient exclues. Il est en effet préférable de comparer des villes du même niveau dans la hiérarchie urbaine et suffisamment grandes pour que les interactions internes à l'agglomération puissent être prises en compte. La logique même du modèle impose plusieurs contraintes : les données relatives aux caractères socio-économiques de la population active sont requises pour un découpage spatial assez fin et avec le plus de points possibles dans le temps. La contrainte spatiale aurait pu se résoudre en travaillant à l'échelon des îlots urbains, mais on n'arrive pas alors à la continuité dans le temps, car des données n'ont été publiées que très récemment à cette échelle. On a donc choisi une agglomération divisée en un assez grand nombre de communes, ce qui permet d'avoir à la fois un découpage assez fin et une évaluation bien connue de ces données à quatre recensements, entre 1954 et 1975. En outre, l'agglomération de Rouen offre l'avantage d'être très morcelée et de ne concentrer que 30% de la population dans la commune-centre.

### a) les données

Nous considérons les 17 communes qui constituaient l'agglomération en 1968. Pour chaque commune, nous disposons de données comparables en 1954, 1962, 1968 et 1975. Ces données sont issues des recensements de la population. La population active recensée au lieu de travail a été subdivisée en quatre types d'activités. Les nomenclatures existantes ne permettant d'obtenir directement que l'effectif employé dans l'industrie, l'emploi tertiaire fondamental et l'emploi tertiaire local ont été estimés par la méthode du minimum requis; le solde du tertiaire constitue l'emploi tertiaire régional. Les deux catégories de population résidente ont été évaluées d'après la répartition en catégories socio-professionnelles de la population active classée au lieu de résidence : manoeuvres, ouvriers spécialisés et qualifiés, contremaîtres sont regroupés dans la catégorie "ouvriers", le reste constitue les "cols blancs".

La figure I donne une idée de la diversité des évolutions de chaque catégorie d'actifs résidents et d'emplois pour chaque commune de l'agglomération.

Seuls un très petit nombre de paramètres ont pu être estimés a priori, qu'ils aient été déduits de la situation rouennaise (taux d'induction entre activités exportatrices et induites) ou à partir de références nationales (proportion de chaque catégorie d'actifs employés par les quatre activités économiques). On ne peut que déplorer la rareté des études intra-urbaines comparatives, qui ne permet pas de disposer d'évaluations numériques de paramètres aussi souvent invoqués cependant que l'effet des économies d'agglomération sur le regroupement spatial des activités, la sensibilité des individus à la distance ou à la congestion, les tendances à la ségrégation résidentielle. Tous ces paramètres ont donc dû être estimés par calibrage.

#### b) méthode de calibrage

En partant de la situation de 1954, nous avons essayé de reproduire par simulation l'évolution de la population et des emplois dans l'ensemble des communes pour aboutir à la configuration de 1975.

Le calibrage du modèle est une étape complexe, étant donné le nombre très élevé de paramètres non connus. Chacun de ceux-ci a une influence sur l'ensemble des variables du système, de manière plus ou moins directe à travers les interrelations étroites qui existent entre elles. Et, alors que les effets directs sont prévisibles et facilement dominés, les effets indirects n'agissent pas toujours dans le sens prévu et rendent le calibrage difficile. Dans certaines configurations de paramètres, une légère variation dans la valeur de l'un d'entre eux, se traduit par une très faible variation dans l'évolution des variables, alors que la même variation peut déboucher dans un autre contexte sur un bouleversement des structures.

L'utilisation de méthodes de calibrage automatique est rendue impossible par le nombre de paramètres et le peu d'informations sur l'ensemble des valeurs théoriquement possibles. Nous avons donc dû procéder tout simplement par tâtonnement, en opérant par plusieurs phases. L'évolution globale de l'agglomération est d'abord calibrée à l'aide des paramètres  $\xi$  et  $\eta$  surtout (tableau 2); les paramètres  $\varrho$  et  $\psi$  permettent ensuite d'ajuster l'évolution des emplois et des populations du centre, et l'ensemble des paramètres interviennent dans l'amélioration de ces premiers ajustements. Il est important de noter qu'il n'a été prouvé, ni qu'il existe une configuration de paramètres reproduisant exactement la réalité, ni qu'elle est unique si elle existe. Nous

n'avons cependant pas trouvé d'autres configurations de paramètres reproduisant la réalité d'aussi près que celle que nous présentons ici.

c) résultats globaux

La figure II représente simultanément les évolutions obtenues par calibrage et celles observées entre 1954 et 1975 pour chacune des six variables du système : sur ces graphiques, on a simplement distingué la commune centre et l'ensemble des autres communes de l'agglomération regroupées sous le nom de périphérie. A ce niveau, le calibrage est parfait pour la date finale de la période, 1975. Le modèle reproduit en effet de manière très précise la réalité observée à cette date. Les résultats sont moins réguliers pour la période intermédiaire :

- l'évolution des emplois industriels est parfaitement simulée pour la périphérie mais le modèle sous-estime l'essor de ce secteur dans le centre jusqu'en 1962, date à laquelle il a seulement commencé à régresser;

- le tertiaire fondamental s'est accru en fait régulièrement dans le centre depuis 1954, alors que le modèle simule une phase intermédiaire où ce secteur est en baisse. Pour la périphérie, la croissance du secteur fondamental est surtout sensible après 1968, alors que le modèle simule cette croissance en début de période;

- l'évolution du tertiaire local est relativement bien calibrée mais introduit à un degré moindre, les mêmes défauts que le tertiaire fondamental;

- le modèle surestime la croissance du secteur régional en début de période pour le centre comme pour la périphérie;

- l'évolution des populations résidentes est parfaitement reproduite, ouvriers comme cols blancs, au centre comme à la périphérie.

Ce calibrage est donc relativement satisfaisant puisqu'il reproduit parfaitement l'évolution de certaines variables sur l'ensemble de la période et l'état du système en 1975 pour toutes. Cette première étape permet de conclure que le modèle de P. Allen permet de reproduire de manière satisfaisante les évolutions et les rapports entre le centre d'une agglomération et sa périphérie.

d) les valeurs des paramètres

Les valeurs obtenues pour les paramètres (tableau 2) ne sont pas interprétables directement et n'ont de sens que comparées entre elles : ainsi il semble que la vitesse de réaction des activités exportatrices à une variation de la demande soit plus rapide que celle des activités induites, qui ont elles-mêmes une dynamique moins lente que celle des populations résidentes.

En ce qui concerne les paramètres intervenant dans la mesure de l'attractivité des zones, un examen attentif de la distribution de ces attractivités montre que :

- les localisations des activités tertiaires fondamentales et régionales dépendent principalement du niveau de développement initial des zones dans ces activités. Les économies d'agglomération jouent donc ici un rôle prépondérant. Pour le tertiaire fondamental, une bonne accessibilité est également déterminante, alors que l'espace disponible joue davantage un rôle contraignant sur le tertiaire régional;

- la localisation des activités industrielles dépend en premier lieu de l'accessibilité  $\alpha_j$  ;

- la localisation du tertiaire local dépend d'abord des proximités de la demande, et la valeur du paramètre  $\phi$  traduit cette grande sensibilité des populations résidentes à la longueur des déplacements liés aux services les plus quotidiens;

- les localisations des populations résidentes dépendent principalement de celles des emplois, la sensibilité des cols blancs aux déplacements domicile-travail étant cependant moindre que celle des ouvriers;

- le paramètre d'espace disponible n'intervient guère que pour la localisation des populations résidentes, et ne joue que fort peu sur la localisation des activités. Cependant, il faut noter que cet effet est aussi pris en compte par la forme même des équations, qui privilégient la croissance dans les zones vides et ralentissent celle des zones proches de la saturation.

#### e) les résidus à l'échelon communal

Les figures III à V représentent pour chacune des variables du modèle et pour chaque commune, sous forme graphique et cartographique, la localisation et l'ampleur des écarts entre les valeurs observées en 1975 et les valeurs obtenues par simulation.

Sur <sup>les cartes de</sup> la figure III, ce sont les valeurs des paramètres  $\alpha_j$  (accessibilité de la commune  $j$  pour l'industrie et le tertiaire fondamental) qui sont représentées comme des résidus, puisque ce sont les seuls paramètres dont le calibrage soit effectué pour chaque zone (les valeurs simulées, très proches des valeurs observées, sont représentées sur le graphique).

A cet échelon communal, les divergences qui apparaissent entre observation et simulation peuvent s'expliquer de deux manières :

- par des macro-décisions non prises en compte dans le modèle (implantation

d'une Z.U.P. dans les communes de la rive gauche, dont les populations résidentes et les activités de services se trouvent par conséquent sous-estimées, ou installation de l'Université à Mont-Saint-Aignan) ;

- par des particularités de site, non introduites dans le modèle (l'agrément du plateau et les contraintes qu'il implique pour la construction conduisent à renchérir le coût du terrain, et le modèle sous-estime l'attraction de ces communes sur les populations les plus aisées) .

Sans doute l'absence d'une mesure de l'effet des coûts de terrain et des structures foncières dans le modèle explique-t-elle ces insuffisances. L'introduction de telles mesures impliquerait cependant que l'on ajoute de nouveaux paramètres, qui seraient définis pour chaque zone. Or on doit prendre garde au fait qu'un modèle dont chaque équation comporterait un paramètre mesuré pour chaque zone serait toujours ajustable . L'intérêt du modèle de P. Allen est précisément de reposer sur des mécanismes généraux, avec des paramètres qui ont la même valeur pour l'ensemble des communes de l'agglomération. L'hypothèse était que ces mécanismes sont susceptibles de rendre compte pour la plus grande part de la dynamique des zones élémentaires d'une agglomération. Compte tenu de la bonne qualité de l'ajustement obtenu pour Rouen et de la possibilité d'interpréter très directement, par des actions planifiées et non spontanées, les plus grands écarts résiduels entre les évolutions observée et simulée, cette hypothèse peut donc être considérée comme assez fortement étayée.

#### CONCLUSION

Le modèle de P. Allen s'est avéré apte à reproduire une bonne partie de l'évolution observée à Rouen, et les résidus s'expliquent assez logiquement et facilement par des éléments non pris en compte par le modèle. La configuration des paramètres menant au meilleur calibrage s'est également révélée tout à fait interprétable et logique - y compris par rapport à d'autres scénarios de développement fictif effectués pour l'agglomération de Rouen (Sanders, 1984).

Il reste à vérifier si ce premier calibrage améliore notre connaissance de la dynamique urbaine au point de faciliter la reconstitution de l'évolution d'autres agglomérations, ce qui sera la prochaine étape de notre travail.

- ALLEN (P.) 1978 : 'Dynamique des centres urbains. Sciences et Techniques, avril, n° 50, pp.15-19.
- ALLEN (P.), SANGLIER (M.) 1978 : Dynamic models of urban growth. Journal of Social and Biological Structures, n°1, pp.265-280 and 1979, n°2, 269-298.
- ALLEN (P.), SANGLIER (M.) 1981 : Urban evolution, self-organisation and decision-making. Environment and Planning, vol.13, pp.167-183.
- ALLEN (P.), SANGLIER (M.), BOON(F.), DENEUBOURG (J.L.), de PALMA (A.), 1981 : Models of urban settlement and structure as dynamic self-organizing systems. Washington, D.C., Department of Transportation.
- CLAVAL (P.) 1982 : La logique des villes. Paris, LITEC.
- PRIGOGINE (I.), STENGERS (I.) 1979 : La nouvelle alliance. Paris, Gallimard.
- PUMAIN (D.) SAINT JULIEN (Th.), SANDERS (L.) 1983 : Dynamics of spatial structure in french urban agglomerations. Papers of the Regional Science Association.
- PUMAIN (D.), SAINT JULIEN (Th.), SANDERS (L.) 1984 : Vers une modélisation de la dynamique intra-urbaine. L'Espace Géographique, N°2.
- REYMOND (H.) 1981 : L'ouverture informatique en géographie urbaine : de l'analyse multivariée socio-économique à la simulation organique des systèmes urbains. Informatique et Sciences Humaines, n° 50, pp.9-20.
- SANDERS (L.) 1984 : Interaction spatiale et modélisation dynamique. Université de Paris VII, thèse de 3ème cycle.

TABEAU I - LES ÉQUATIONS DU MODÈLE

### 1. LES ACTIVITÉS EXPORTATRICES

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

$$\text{avec } A_j = \left[ \frac{(1 + \rho^E S_j^E (1 - \psi^E S_j^E))}{1 + \alpha_j^E \phi^E} \cdot \frac{\tau^E}{\tau^E \sum_{k'} \gamma^{k'} X_j^{k'} + \sum_{l'} \gamma^{l'} S_j^{l'}} \right]$$

où  $S_j^E$  = nombre d'emplois dans le secteur d'activité E de la zone j  
 E = 1 : Industrie  
 E = 2 : Tertiaire fondamental

### 2. LE TERTIAIRE LOCAL ET RÉGIONAL

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

avec :

$$A_{jj'} = \left[ \frac{1 + \rho^u S_j^u (1 - \psi^u S_j^u)}{1 + \phi^u \delta_{jj'}} \cdot \frac{\tau^u}{\tau^u + \sum_k \gamma^k X_j^k + \sum_l \gamma^l S_j^l} \right]$$

où  $S_j^u$  = nombre d'emplois dans le secteur d'activité u dans la zone  
 u = 3 : tertiaire local  
 u = 4 : tertiaire régional

### 3. LES POPULATIONS ACTIVES RÉSIDENTES

$$\frac{dX_j^k}{dt} = \eta^k X_j^k \left[ 1 - \frac{X_j^k}{\sum_{j'} \left( \sum_{l'} \tau^{kl'} S_{j'}^{l'} \frac{R_{jj'}}{\sum_{j''} R_{jj''}} \right)} \right]$$

$$\text{avec : } R_{jj'} = \left[ \frac{\nu^k (1 + \sigma^k X_j^k)}{\nu^k + \sum_{k'} \gamma^{k'} X_j^{k'} + \sum_{l'} \gamma^{l'} S_j^{l'}} \right] e^{-B^k \delta_{jj'}}$$

où  $X_j^k$  = nombre de résidents de type k dans la zone j  
 k = 1 : ouvriers  
 k = 2 : cols blancs

TABLEAU II - Valeurs des paramètres dans l'ajustement de l'agglomération de Rouen par le modèle de P. Allen

	Signification	Valeurs * dans la simulation de référence			
$\varepsilon^E$ E = 1,4	Vitesse de réaction du système pour l'activité de type E	0,7	0,75	0,50	0,5
$\eta^k$ k = 1,2	Vitesse de réaction du système pour la population active résidente de catégorie k	0,36	0,20		
$c o^E$ E = 1,4	Sensibilité des acteurs aux différences d'attractivité entre les zones pour l'implantation de l'activité de type E	10	10	10	10
$\tau^E$ E = 1,4	Surface maximale admise pour l'activité de type E	100	220	170	150
$\nu_k$ k = 1,2	Surface maximale admise pour la catégorie de population k	120	150		
$\phi^L$ L = 1,4	Sensibilité des entrepreneurs à la position des zones dans l'agglomération	0,27	0,27	0,1	0,01
$B^k$ k = 1,2	Sensibilité de la catégorie de population k à la distance	0,70	0,55		
$\rho^E$ E = 1,4	Propension de l'activité E à s'agglomérer	0,0027	0,004	0,0051	0,0057
$\sigma^k$ k = 1,2	Propension de la catégorie de population k à s'agglomérer	0,012	0,010		
$\psi^E$ E = 1,4	Effet des déséconomies d'agglomération pour l'activité de type E	0,0029	0,0033	0,0032	0,00187

- \* . pour les activités, au nombre de quatre, les valeurs sont indiquées dans l'ordre suivant : industrie, tertiaire fondamental, tertiaire local, tertiaire régional.  
 . pour les populations résidentes, au nombre de deux, les valeurs sont indiquées dans l'ordre suivant : ouvriers, cols blancs.

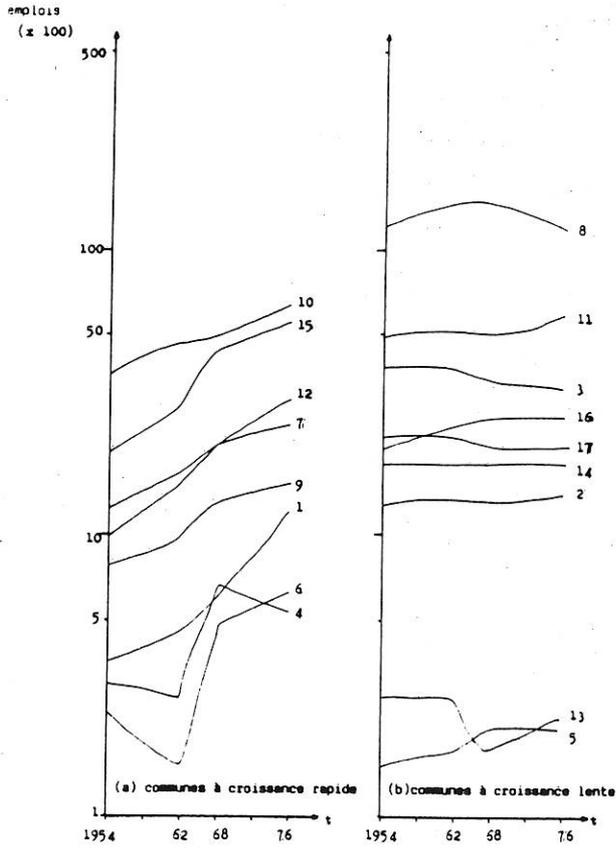
Valeurs des accessibilités pour l'industrie (j = 1) et le tertiaire fondamental (j = 2) :  $\alpha_j$

j = 1	=	0,73	0,77	0,47	1,0	1,2	0,9	0,54	0,09	0,65	0,39	0,38	0,47
		1,2	0,62	0,39	0,56	0,62							
j = 2	=	1,0	1,0	0,9	0,35	0,37	0,9	0,9	0,18	1,0	1,0	1,0	0,32
		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9							

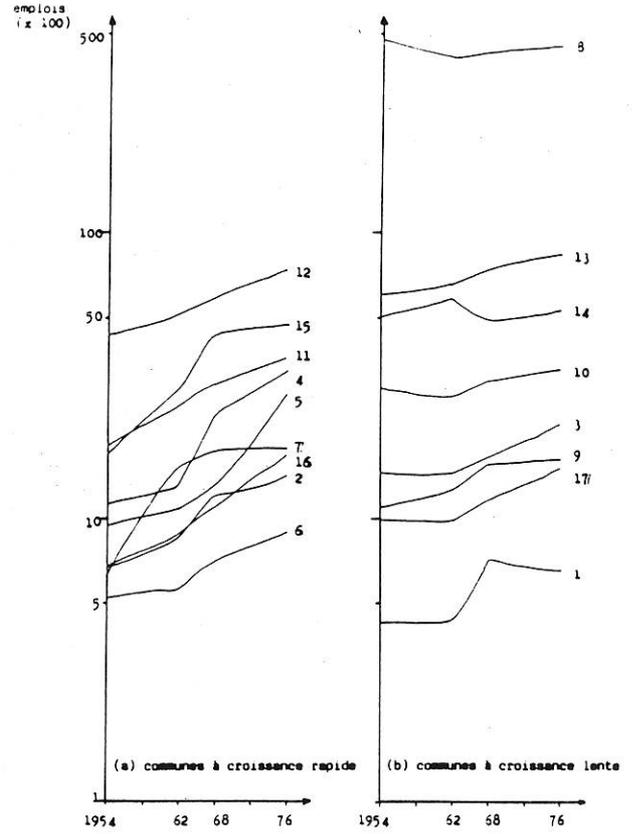
(les valeurs sont indiquées dans l'ordre des numéros de communes ( cf. carte 4.1))

FIGURE I- DIVERSITÉ DES ÉVOLUTIONS COMMUNALES

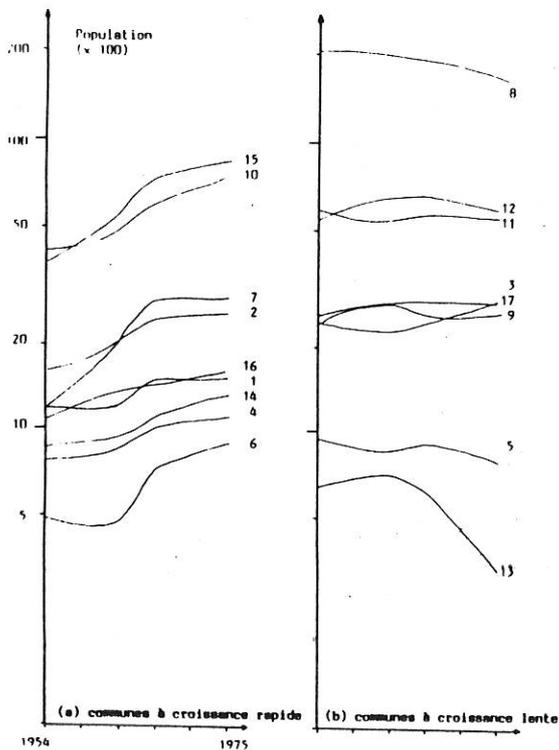
EMPLOI INDUSTRIEL



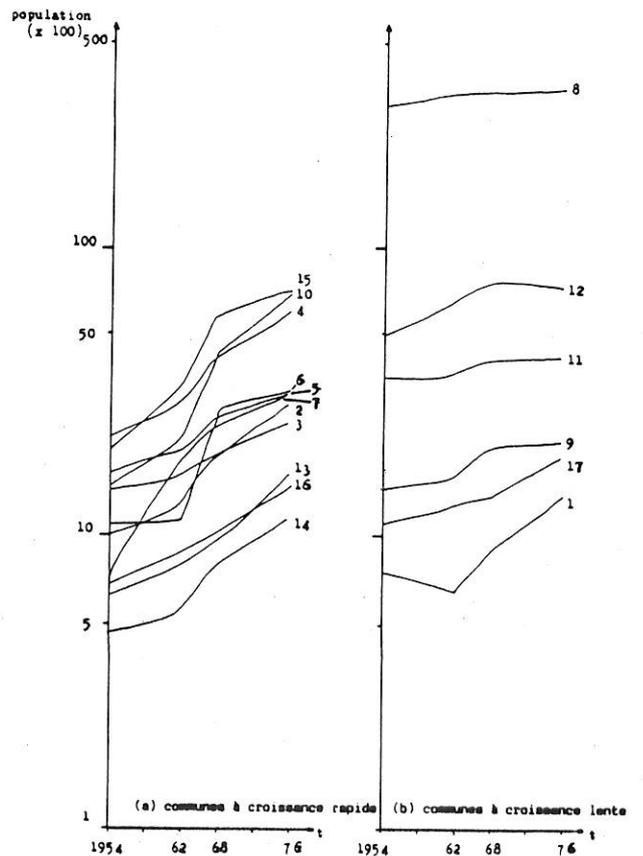
EMPLOI TERTIAIRE



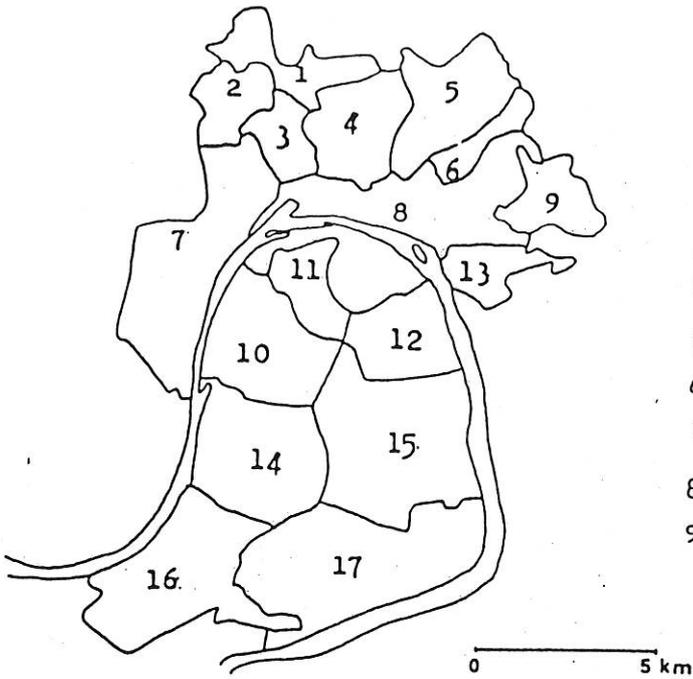
OUVRIERS



COLS BLANCS

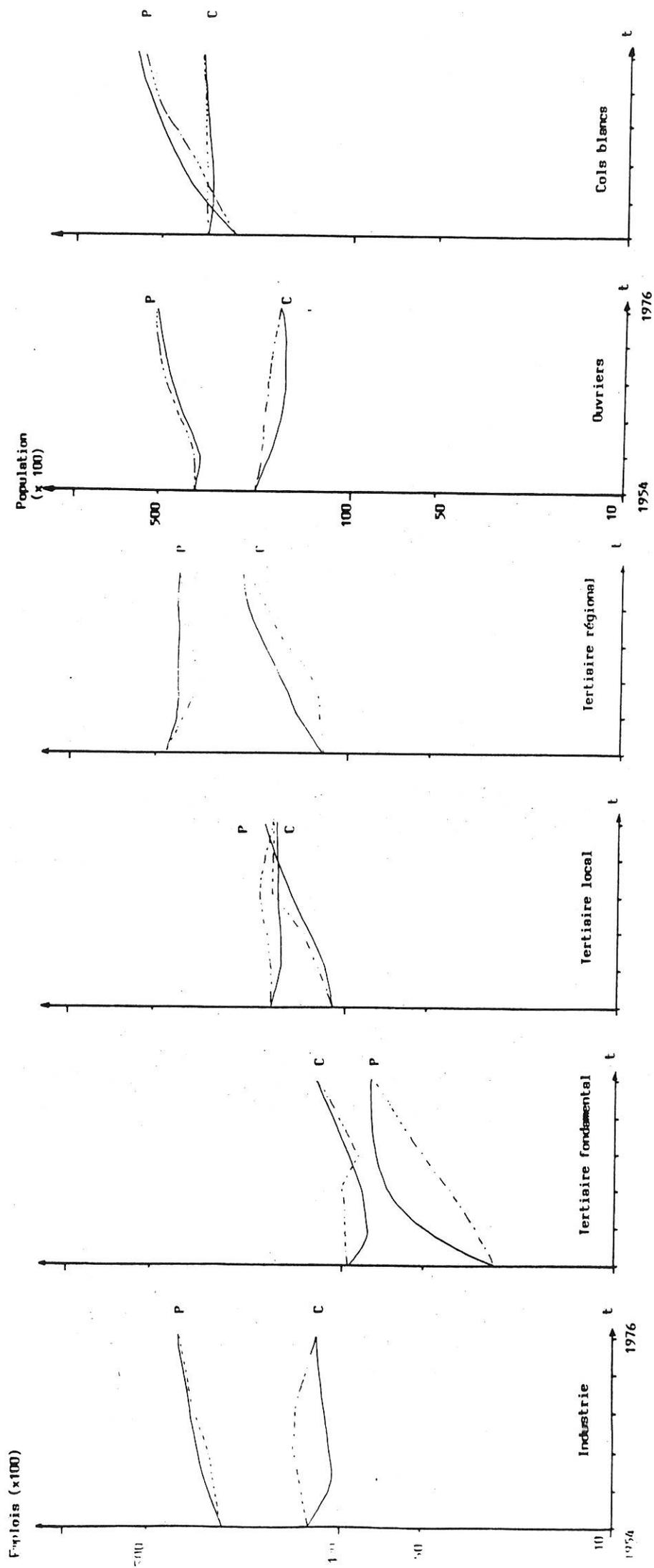


- Découpage communal



- |   |                          |    |                       |
|---|--------------------------|----|-----------------------|
| 1 | Notre-Dame de Bondeville | 10 | Grand Quevilly        |
| 2 | Maromme                  | 11 | Petit Quevilly        |
| 3 | Deville                  | 12 | Sotteville            |
| 4 | Mont St Aignan           | 13 | Bonsecours            |
| 5 | Bois Guillaume           | 14 | Petit Couronne        |
| 6 | Bihorel                  | 15 | St Etienne de Rouvray |
| 7 | Canteleu                 | 16 | Grand Couronne        |
| 8 | Rouen                    | 17 | Oissel                |
| 9 | Darnetal                 |    |                       |

FIGURE II - RÉSULTATS DE LA SIMULATION AGRÉGÉS POUR LE CENTRE ET LA PÉRIPHÉRIE



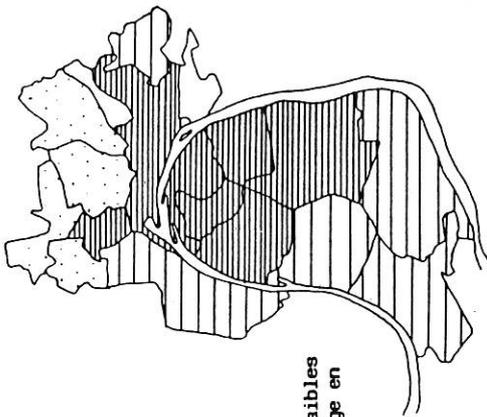
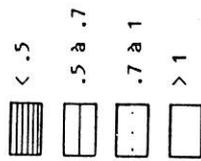
P = Périphérie  
C = Centre

— = valeurs estimées  
- - - = valeurs observées

FIGURE III - VALEURS COMMUNALES RÉSIDUELLES

Distribution du paramètre d'accessibilité  $\alpha_j$

Valeur de  $\alpha_j$  (\*)

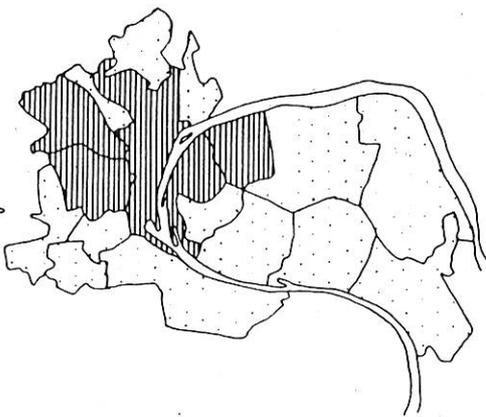


(\*) NB : les valeurs les plus faibles représentent un avantage en accessibilité

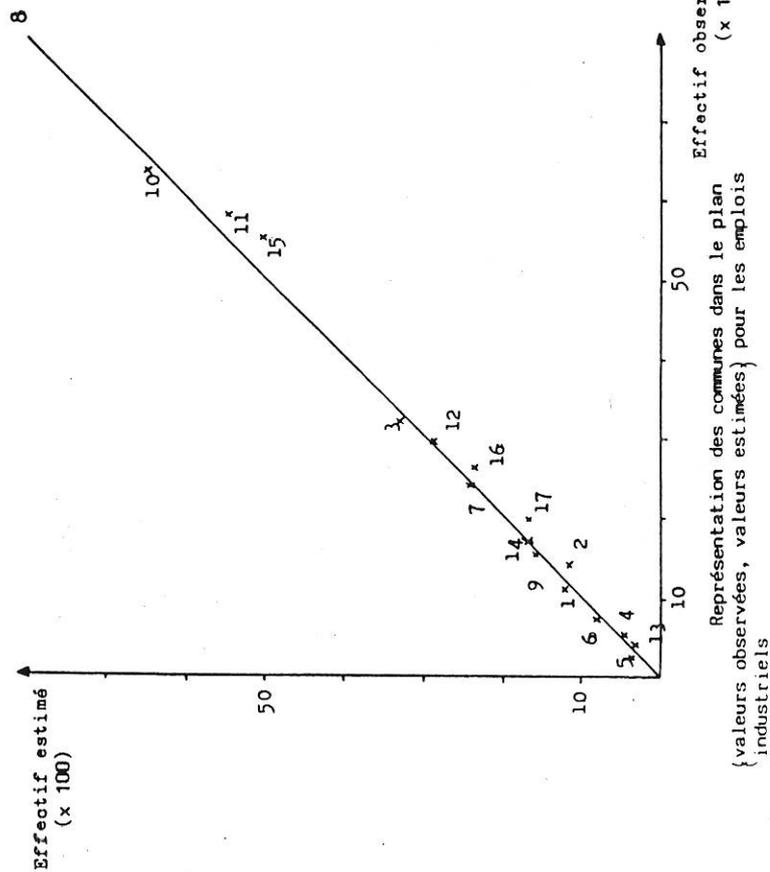
INDUSTRIE

Distribution du paramètre d'accessibilité  $\alpha_j$

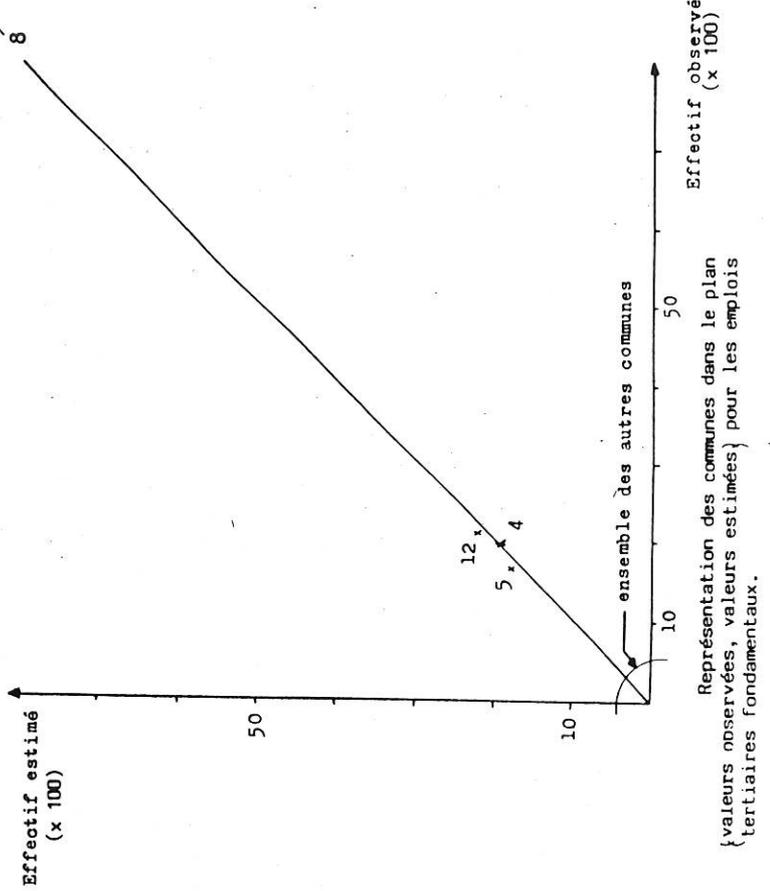
Valeurs de  $\alpha_j$



TERTIAIRE FONDAMENTAL



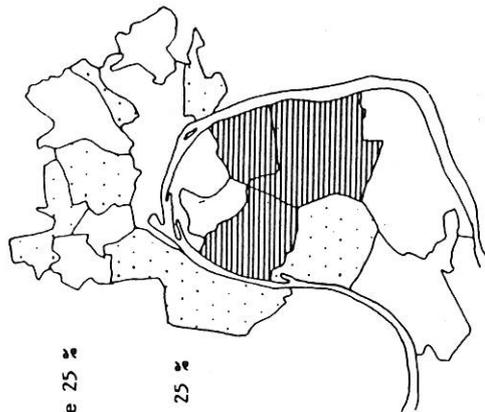
Représentation des communes dans le plan {valeurs observées, valeurs estimées} pour les emplois industriels



Représentation des communes dans le plan {valeurs observées, valeurs estimées} pour les emplois tertiaires fondamentaux.

# FIGURE IV - VALEURS COMMUNALES RÉSIDUELLES

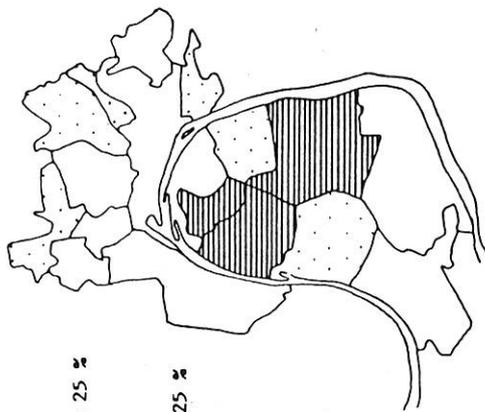
Distribution des résidus entre valeurs estimées et valeurs observées



-  sous estimation de plus de 25 %
-  résidu inférieur à 25 %
-  sur estimation de plus de 25 %

TERTIAIRE LOCAL

Distribution des résidus entre valeurs estimées et valeurs observées



-  sous estimation de plus de 25 %
-  résidu inférieur à 25 %
-  sur estimation de plus de 25 %

TERTIAIRE RÉGIONAL

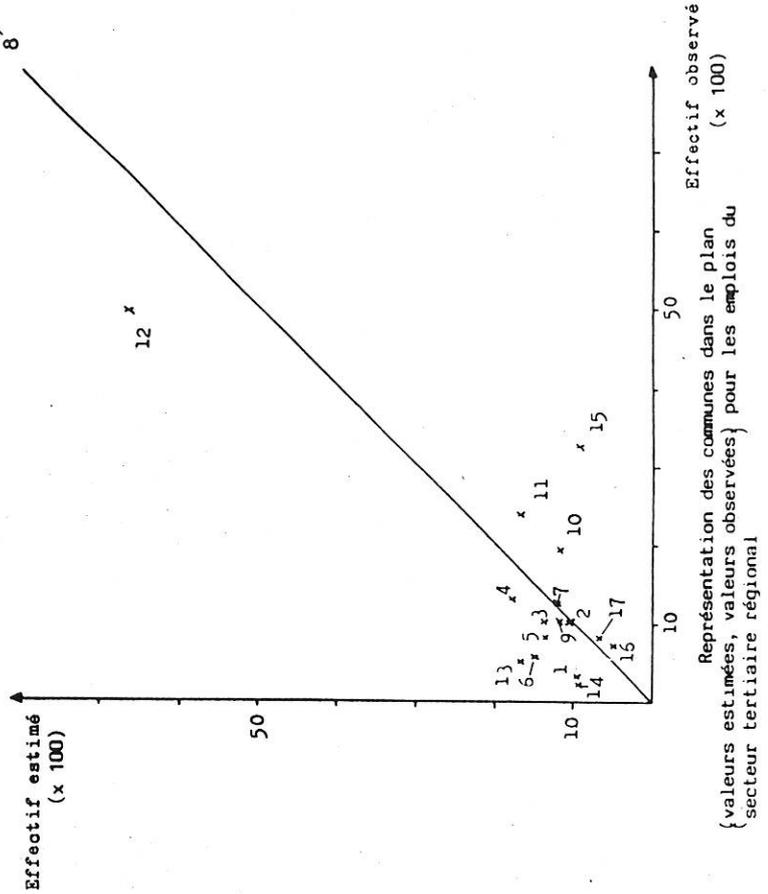
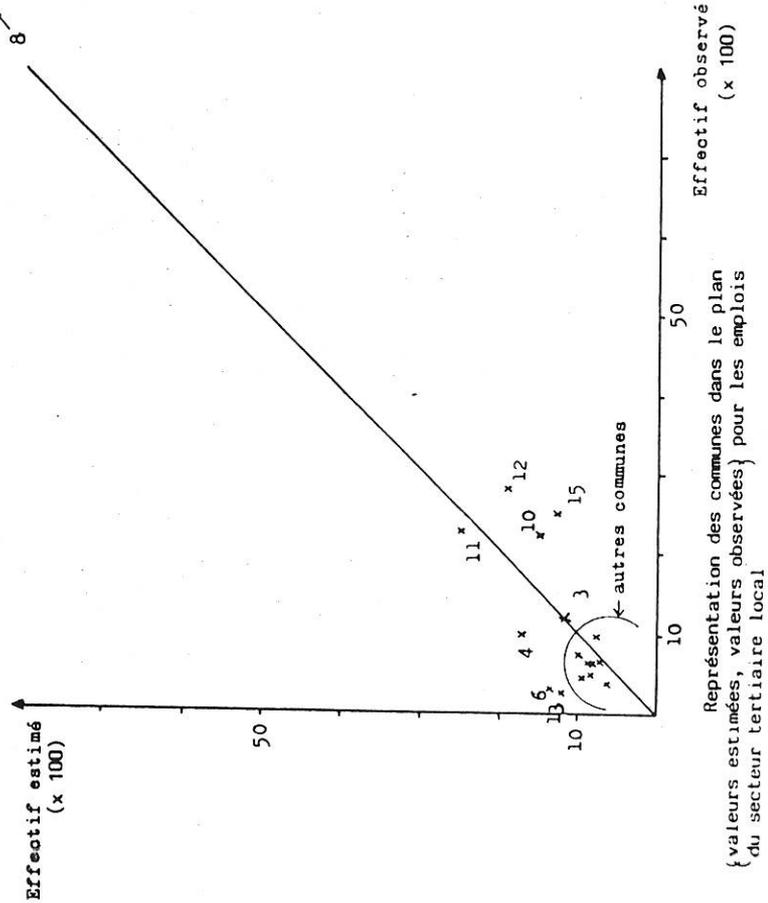
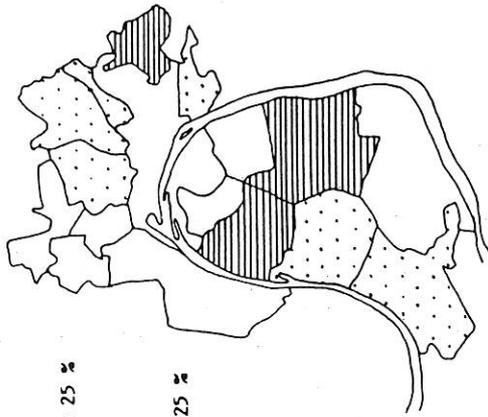


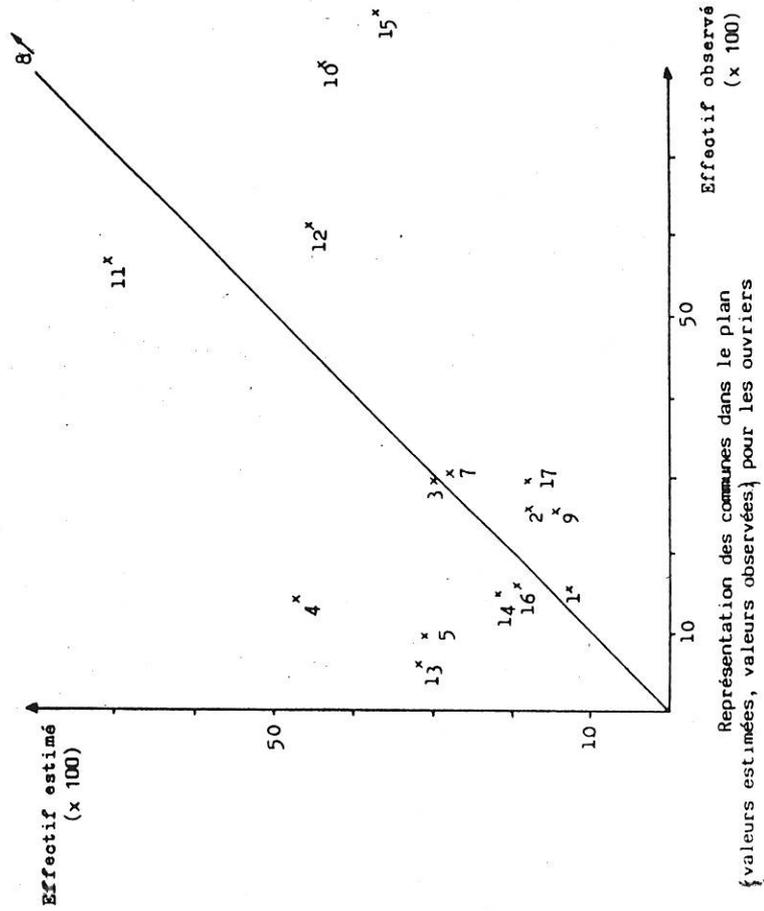
FIGURE V - VALEURS COMMUNALES RÉSIDUELLES

Distribution des résidus entre valeurs estimées et valeurs observées



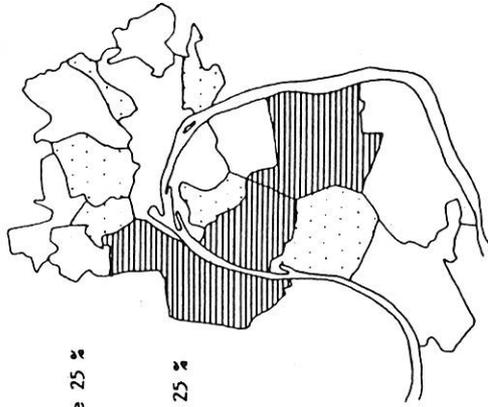
-  sous estimation de plus de 25 %
-  résidu inférieur à 25 %
-  sur estimation de plus de 25 %

OUVRIERS



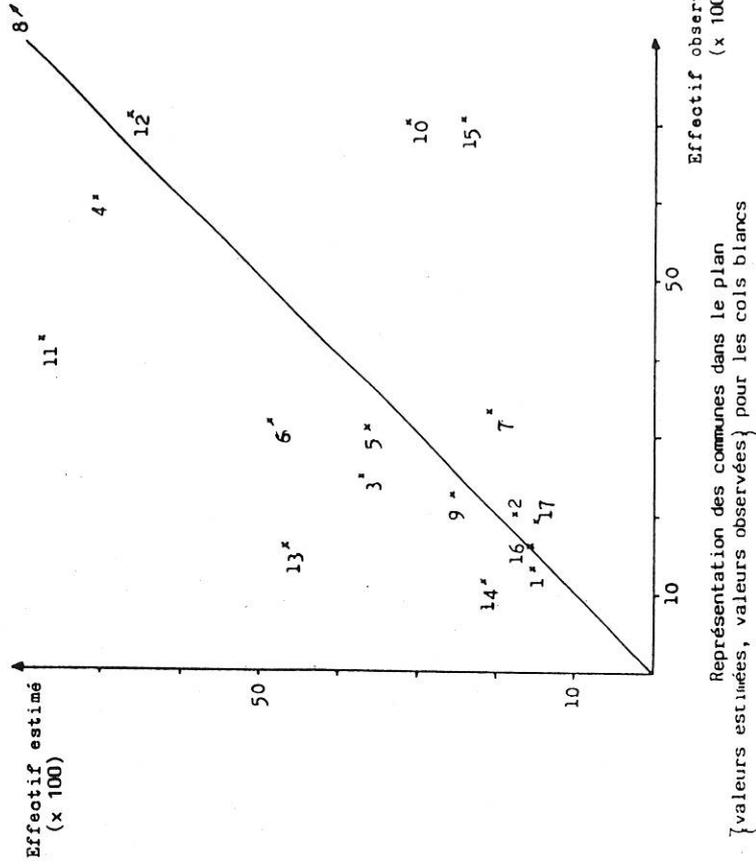
Représentation des communes dans le plan  
{valeurs estimées, valeurs observées} pour les ouvriers

Distribution des résidus entre valeurs estimées et valeurs observées



-  sous estimation de plus de 25 %
-  résidu inférieur à 25 %
-  sur estimation de plus de 25 %

COLS BLANCS



Représentation des communes dans le plan  
{valeurs estimées, valeurs observées} pour les cols blancs