

## CHAPITRE CINQUIÈME

### UN MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT RÉSIDENTIEL.

Since buildings are heterogeneous, durable, and expensive to alter, ignoring their effect on development patterns considerably reduces the credibility of the analytic models.

J.F. Kain, G.K. Ingram.

*The NBER urban simulation model as a theory of urban spatial structure, 1973.*

Ce chapitre sera consacré à la présentation d'un modèle de développement résidentiel se voulant la synthèse des recherches précédentes. Il sera fondé à la fois sur les théories et les hypothèses développées dans la première partie et sur les investigations empiriques des chapitres 3 et 4.

Cette présentation sera suivie d'un rapide survol de quelques modèles d'un type voisin. Ceux-ci sont généralement très peu connus en France et ne serait-ce que pour cela leur description est utile. Mais nous les présentons surtout dans un but de comparaison avec notre propre modèle, de manière à ce qu'apparaissent les erreurs théoriques mais aussi les apports originaux.

Nous terminerons par les utilisations possibles et les enseignements que l'on peut tirer de notre modèle.

Précisons que le modèle présenté dans ce chapitre a un but essentiellement descriptif. Son objet principal est de formaliser les résultats des chapitres précédents. En conséquence certains aspects purement économétriques ont été négligés au bénéfice de la simplicité et de la clarté de l'exposition.

Il s'agit avant tout de montrer que nos hypothèses de recherche sont d'une part cohérentes (absence de contradictions entre elles) et d'autre part pertinentes (adéquation au réel), ce que permet parfaitement la modélisation.

Du point de vue économétrique le modèle PROLOC peut bien sûr être amélioré, mais ce n'est pas notre objectif immédiat.

## 1 - Le modèle PROLOC (PROduction et LOCALisation des espaces construits).

### 1.1. - Hypothèses et structure générale du modèle.

#### 1.1.1. - Les hypothèses.

Nous retiendrons dix groupes d'hypothèses directement issues

des chapitres précédents.

1 - Le promoteur immobilier et plus exactement le système de promotion immobilière joue un rôle essentiel dans le développement spatial urbain. On considérera le promoteur comme l'agent déterminant au niveau de l'offre des espaces construits (chapitre 1).

2 - Le promoteur voit son comportement limité par différentes contraintes, que ce soient celles de la puissance publique (zonage, COS, servitudes foncières, etc...) ou celles des autres agents. L'ensemble forme un système décisionnel fonctionnant suivant les principes mis en évidence au cours du chapitre 2ème et le comportement du système est déterminé en dernière instance par le comportement du promoteur.

3 - La production et la localisation des différents espaces construits seront traitées séparément (chapitres 3 et 4).

4 - Le "pouvoir de libération de l'espace" du promoteur est très élevé et sans commune mesure avec celui des ménages. Cette hypothèse nous évite de tomber, au niveau du promoteur, dans les contradictions du modèle d'Alonso (Chapitre 1); ce qui nous dispense de prendre en compte les contraintes de disponibilité de l'espace (sol ou construit). Cette hypothèse est d'autant plus faible dans notre modèle que la production de logement y est peu différenciée (vente ou location) et que les classes d'équivalence de communes sont importantes.

5 - La localisation se fait en fonction de différents critères de choix parmi différentes communes selon les caractéristiques de celles-ci. Ces caractéristiques sont supposées stables à moyen terme (1968 - 1975). Le promoteur peut ainsi grouper les communes en classes d'équivalence ordonnées (chapitre 4).

6 - La conjoncture économique générale, ainsi que la conjoncture propre au marché immobilier jouent un rôle déterminant (chapitres 3 et 4) puisqu'en dépendent :

- la ou les catégories d'espaces construits mis en chantier.  
Le promoteur ayant une stratégie différente selon les catégories.

- la production pour chaque catégorie,
- les critères de choix de localisation et l'importance de chacun de ces critères,
- la tendance générale de localisation.

7 - Il existe différents types de promoteurs ayant des comportements différents (recherche du profit maximum, plein emploi des capacités de production, minimum de profit acceptable, etc...), il est donc impossible de retenir le critère unique du profit. Le comportement de localisation du promoteur sera simulé à l'aide d'un modèle multicritères tel qu'il a été défini au cours du chapitre 4.

8 - La localisation et la production sont traitées de manière agrégée, agrégation spatiale au niveau de la commune ou de l'arrondissement, agrégation temporelle par année. Les deux niveaux d'agrégation sont interdépendants et la diminution de l'un doit s'accompagner de l'augmentation de l'autre.

9 - Le modèle est récursif. C'est-à-dire que les décisions de production d'une année sont dépendantes des résultats des années précédentes. Ce phénomène est dû à l'influence des stocks sur le comportement du promoteur (chapitre 3).

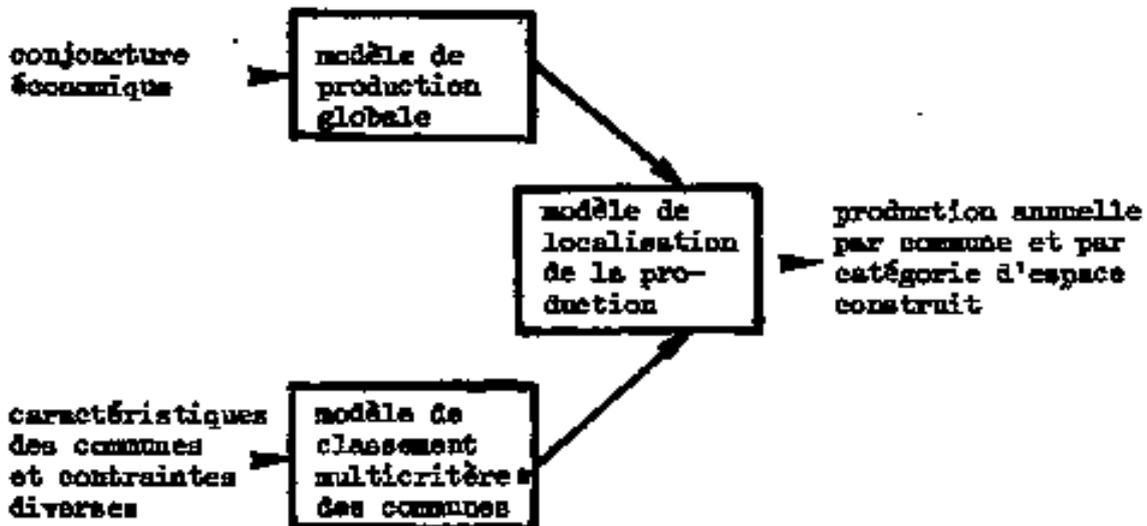
10 - L'ordre des décisions du promoteur est donc le suivant :

- détermination du niveau global de production,
- classement des communes selon différents critères,
- répartition de la production en fonction de ce classement.

A chacun de ces trois temps dans la décision correspond un sous-modèle particulier.

1.1.2. - Structure générale du modèle.

Le modèle PROLOG est composé de trois modèles : modèles de production, de classement et de localisation (cf. graphique n° 59). Les trois modèles fonctionnent de manière successive.



Graphique n° 59 : la structure du modèle PROLOG.

Ayant ainsi précisé les hypothèses et la structure générale du modèle PROLOG, nous allons maintenant en donner une version plus précise.

1.2. - Les équations.

1.2.1. - Le modèle de production.

Sept catégories d'espaces construits sont distinguées :

- ( ventes (LCV)
- logements ( location (LCL)  
( occupations personnelles (LCP)
- bureaux (B)
- entrepôts (E)
- locaux commerciaux (C)
- autres espaces construits (A)

Le secteur de production des logements destinés à la vente est considéré comme le secteur "leader", c'est-à-dire que la production des autres catégories de logements et d'espaces construits sera fonction de la production de ce premier secteur.

Cette hypothèse est peut-être discutable en ce qui concerne les bureaux, mais les parts respectives de chacun de ces secteurs sont dans des rapports tels que cette approximation devient tout à fait acceptable et conforme à la réalité.

Pour les logements commencés destinés à la vente ( $LCV_t$ ) on retiendra l'équation suivante, dérivée des résultats du chapitre 3. ( $\Delta$  = accroissement fini).

$$\Delta LCV_t = \bar{K}_t - K_t \quad (\Delta t = 1)$$

où  $\bar{K}$  représente le stock désiré et  $K$  le stock réel de logements. Nous avons vu que la production, et donc le stock désiré, était influencée par différentes variables, d'où :

$$\bar{K}_t = f_j \left( I_t, PIB_t, \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}, 100 \right)$$

$$K_t = DV_{t-1}$$

où  $DV_{t-1}$  représente le nombre de logements disponibles à la vente en fin d'année précédente dans l'agglomération.

Les variations de stock sont définies en outre par l'équation suivante :

$$\Delta K_t = \Delta DV_{t-1} = LGV_{t-1} - V_{t-1}$$

où  $V_{t-1}$  représente le nombre de logements vendus durant l'année t-1.  
En ce qui concerne le stock désiré ( $\bar{K}$ ) les variables explicatives ont la signification suivante :

$I_t$  : coût moyen du crédit durant l'année t

$PIB_t$  : indice de la production intérieure brute en volume pour l'année t

$\frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} \cdot 100$  : pourcentage de variation de l'activité dans l'industrie régionale (SEI exclu) entre les années t-1 et t.

On a en outre les équations suivantes :

$$LGL_t = f_2 (LGV_t)$$

$$LCP_t = f_3 (LGV_t)$$

$$B_t = f_4 (LGV_t)$$

$$E_t = f_5 (LGV_t)$$

$$C_t = f_6 (LGV_t)$$

$$A_t = f_7 (LGV_t)$$

La fonction f sera généralement linéaire. Les termes ont la signification suivante :

$LGL_t$  : nombre de logements destinés à la location commencés durant l'année t

$LCP_t$  : nombre de logements destinés à l'occupation personnelle commencés durant l'année t

$B_t$  : nombre de bureaux commencés durant l'année t

$E_t$  : nombre d'entrepôts commencés durant l'année t

$C_t$  : nombre de locaux commerciaux commencés durant l'année t

$A_t$  : nombre d'autres espaces construits commencés durant l'année t

En ce qui concerne les logements commencés destinés à la vente, la solution sera un cycle déformé par les variations du stock désiré.

En raison de difficultés statistiques (faible nombre d'observations) les différentes équations ont été linéarisées, c'est-à-dire que les variables en taux ont été transformées en variables de niveau, ce qui n'est pas, d'un strict point de vue économétrique, très satisfaisant.

Remarquons néanmoins, qu'une équation aux différences, sans doute plus robuste, aurait réduit d'une unité le nombre d'années d'observation, ce qui aurait augmenté le seuil de signification du coefficient de corrélation. Or le coefficient de corrélation d'une équation aux différences est toujours plus faible que dans le cas d'une équation de niveau. Le risque était donc très grand d'obtenir une relation, certes élégante, mais non significative, ce qui explique notre choix.

L'équation concernant les logements commencés destinés à la vente devient plus simplement :

$$LCV_t = f_0 \left( I_t, PIB_t, \frac{\Delta At}{A_{t-1}} \cdot 100, DV_{t-1} \right)$$

$f_0$  : fonction linéaire

L'estimation des paramètres a été effectuée à l'aide d'une régression multiple par la méthode des moindres carrés. Les données utilisées sont les valeurs annuelles des variables pour la période 1968-1975.

L'équation obtenue est la suivante :

$$LCV_t = - \underset{(143,5)}{455,43} \cdot I_t + \underset{(20,75)}{108,52} \cdot PIB_t - \underset{(0,235)}{0,775} \cdot DV_{t-1} + \underset{(204)}{507,7} \cdot \frac{\Delta At}{A_{t-1}} \cdot 100 - 1908$$

$$R = 0,983 \quad (p(0,05) = 0,633)$$

$$R^2 = 0,967$$

$$D.W. = 3,09$$

$I_t$  a été mesuré à l'aide du taux du marché monétaire au jour le jour entre banques (moyenne semestrielle),

$\frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$  a été estimé à partir des chiffres nationaux puisqu'ils n'existaient pas sous cette forme au niveau régional.

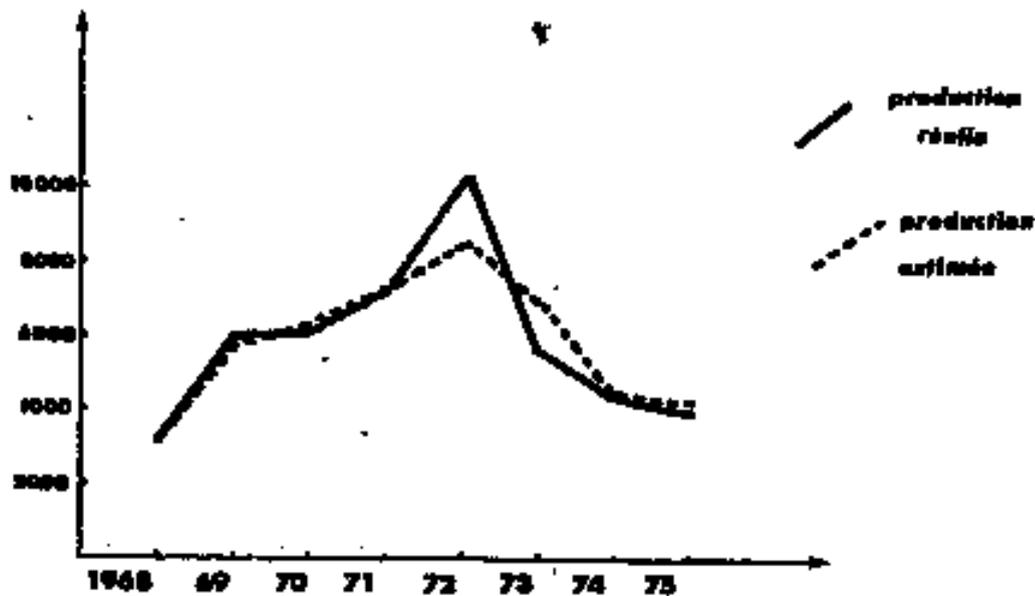
Cet ensemble d'équations permet, connaissant le stock de logements invendus, l'évolution du coût du crédit à court terme et du niveau général de l'activité économique, de déterminer la production globale de tous les espaces construits.

Seul le système d'équations concernant les logements destinés à la vente a été estimé. Les autres équations n'ont pu l'être en raison d'insuffisances statistiques (sauf pour LCL).

Tous les coefficients sont significatifs (supérieurs à deux fois l'écart-type). Le coefficient de corrélation est élevé (0, 983) et très significatif, le seuil à 5 % pour 8 observations étant de 0, 633. La valeur du coefficient de Durbin et Watson (D.W.) témoigne de l'absence d'autocorrélation dans les résidus, ce qui est aussi un critère de bonne estimation.

Le graphique n° 60 permet de comparer les valeurs calculées aux chiffres réels. L'écart absolu entre les deux séries est négligeable.

Avant d'aborder le sous-modèle suivant, il faut préciser que l'équation que nous venons d'obtenir n'est généralisable qu'à une constante près. En effet l'étendue de la zone d'observation a une influence sur les résultats. On admettra que l'extension (ou la réduction) de la zone d'observation peut être prise en compte en multipliant simplement l'équation par un terme correcteur proportionnel à la modification de surface, si celle-ci est faible.



Graphique n° 60 : Les productions estimées et réelles de logements.

### 1.2.2. - Le modèle de classement des communes.

Nous allons tout d'abord présenter une version générale de ce sous-modèle, s'inspirant du modèle de choix multicritères décrit au chapitre 4. Ensuite nous nous concentrerons sur l'application de ce modèle au cas des logements commencés destinés à la vente.

#### 1.2.2.1. - Une version générale du modèle.

Le promoteur immobilier effectue un choix (classement) parmi un ensemble IM de communes :

$$IM (I) \quad I_t \in [1, 59]$$

d'après un ensemble AM de critères :

$$AM (J) \quad J_t \in [1, 11]$$

Les critères sont les suivants (dans le cas des logements) :

AM (1) : prix moyen des logements vendus

AM (2) : agrément résidentiel

AM (3) : distance au centre

AM (4) : densité résidentielle

AM (5) : desserte routière

AM (6) : niveau d'équipement

AM (7) : distance aux zones d'emploi

AM (8) : densité industrielle

AM (9) : "standing" (CSP des résidents)

AM (10) : sol disponible dans la commune

AM (11) : intervention publique (sonage)

Parmi les espaces construits autre que le logement seuls les critères 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 10 peuvent être utilisés.

Chaque commune est notée d'après chaque critère selon la procédure définie au chapitre 4.

Le promoteur est donc en mesure de comparer les communes selon chacun des critères  $J$  (graphe  $G_J$ ). Il est possible d'illustrer par un exemple cette démarche du promoteur immobilier.

Soit 4 communes : A, B, C, D et trois critères :

AM (1) : distance au centre

AM (2) : agrément résidentiel

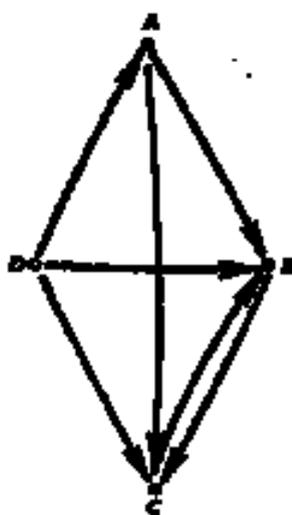
AM (3) : standing

très bon  
bon  
une échelle  $K(k)$ : moyen et des notes  $\epsilon$  (0, 5, 10, 15, 20)  
passable  
mauvais

Les quatre communes sont notées selon chacun des critères de la manière suivante :

critère	communes			
	A	B	C	D
1	10	0	0	20
2	20	5	10	5
3	5	5	0	10

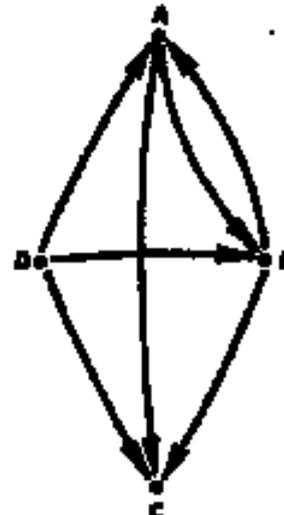
Ce qui permet d'établir les trois graphes suivants :



$G_1$



$G_2$



$G_3$

Le promoteur va combiner tous ces critères afin de déterminer un *classement multicritères* des communes.

En d'autres termes, il souhaite synthétiser l'ensemble des graphes  $G_j$  en un seul graphe  $G$ , afin de pouvoir comparer toutes les communes entre elles selon tous les critères,

Connaissant les critères de choix et le poids des critères le promoteur adopte la stratégie suivante. Il part de la constatation qu'aucune commune ne surclasse absolument toutes les autres *selon ses critères*. Il ne recherchera donc pas la "meilleure" localisation selon tous les points de vue, mais selon le plus grand nombre possible de ces points de vue.

D'autre part, il ne peut pas comparer simultanément toutes les communes, il sera donc obligé de les comparer deux à deux.

*Une commune A sera préférée à une commune B, si A est "meilleure" que B relativement à beaucoup de points de vue, sans être trop nettement "plus mauvaise" que B selon les autres points de vue.*

Cette hypothèse sera testée à l'aide des indicateurs de concordance et de non-discordance définis dans le chapitre 4. C'est ce test qui va permettre de synthétiser les graphes partiels en un graphe général appelé graphe de surclassement.

On peut illustrer cette nouvelle phase de la démarche décisionnelle du promoteur en reprenant l'exemple précédent.

Les poids des critères sont les suivants :

- CO (1) : 3
- CO (2) : 2
- CO (3) : 1

On remarque que les échelles varient dans le même sens :

- K (1) :  $a \in (0, 10, 20)$
- K (2) :  $a \in (5, 10, 20)$
- K (3) :  $a \in (0, 5, 10)$



Le calcul des indices de concordance donne les résultats suivants :

commune :	dominante			
	A	B	C	D
	dominée			
	A	0,16	0	0,5
	B	1	0,83	1
	C	1	0,66	0,66
	D	0,33	0,33	0,33

Le calcul des indices de discordance donne les résultats suivants :

commune	dominante			
	A	B	C	D
	dominée			
	A	0,75	0,5	0,75
	B	0	0,25	0
	C	0	0,25	0,25
	D	0,5	1	1

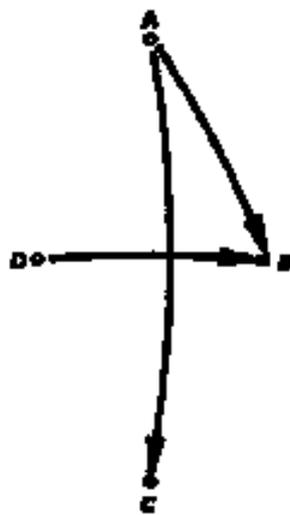
Nous allons choisir deux exemples de seuils de surclassement dans un premier cas  $p = 1$  et  $q = 0$ , dans un deuxième  $p = 0,6$  et  $q = 0,3$ . On obtient les graphes de surclassement suivants (p.312 a).

Les "meilleures" communes sont celles qui ne sont surclassées par aucune autre commune. Les suivantes sont obtenues après élimination des premières.

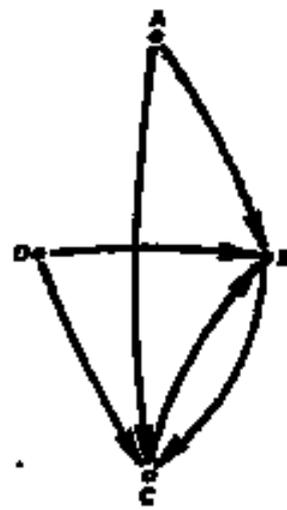
A partir du graphe  $G(1; 0)$  on peut déterminer le classement suivant :

1 : A, D

2 : B, C



$G(1,0)$



$G(0,6,0,3)$



En réduisant les seuils on peut réduire les noyaux successifs, mais on réduit aussi la puissance du résultat.

Le modèle retenu permet donc d'effectuer un classement multicritères des communes quelque soit le nombre de communes et le nombre de critères. Avec des seuils de concordance et de non discordance identiques, les classements se différencieront en fonction des notes attribuées aux communes et en fonction du poids et de l'échelle des critères.

C'est sur ces points que va porter l'estimation du modèle.

#### 1.2.2.2. - Le modèle de choix multicritères de localisation des logements commencés destinés à la vente.

L'estimation du modèle se fait par approximations successives, en prenant pour point de départ les résultats de l'analyse des correspondances effectuée chapitre 4.

Le programme utilisé sur ordinateur calcule deux classements différents, l'un en ordre décroissant de qualité des communes, l'autre en ordre croissant. Le deuxième mode de classement étant toujours apparu comme plus proche de la réalité dans tous les cas étudiés, seul celui-ci sera retenu (1).

Ce classement est ensuite comparé avec le classement réel des communes à l'aide du test de corrélation des rangs de KENDALL (2).

Toute modification des notes attribuées aux communes ou des poids ou des échelles de critères améliorant de façon significative le coefficient de corrélation des rangs sera retenue.

Nous allons maintenant préciser comment ont été attribuées les notes de départ.

- Le 1er classement,

La notation a été effectuée à partir de l'analyse des correspondances du chapitre 4. Chaque critère a été étudié séparément en fonction de sa proximité avec G2 (G2, figure n° 57) dans les quatre plans factoriels retenus. Ainsi par exemple pour le niveau d'équipement, il apparaît que la distance entre G2 et EQ1 est équivalente à la distance G2 - EQ2 qui sont toutes deux inférieures à la distance G2 - EQ3, elle-même inférieure à G2 - EQ4. On détermine ainsi trois niveaux du critère équipement, tels que :

$$EQ1 = EQ2 > EQ3 > EQ4.$$

La même procédure a été employée pour tous les critères. Ensuite ces niveaux ont été transformés en note, en attribuant la note 0 au niveau le plus bas, 5 au niveau immédiatement supérieur, etc... Cet écart de note a parfois été augmenté lorsque le critère apparaissait comme particulièrement important (par exemple la distance au centre). Le poids des critères a ensuite été déterminé proportionnellement à l'étendue maximale de l'échelle de note de chaque critère, en attribuant un poids de 1 à la plus petite échelle, un poids de 2 à l'échelle immédiatement supérieure, etc... Cette procédure permet de donner un poids élevé aux critères les plus discriminants.

Le tableau de notes ainsi obtenu, avec les poids respectifs des critères a permis d'obtenir un premier classement des communes à l'aide du modèle multicritères.

Le coefficient de corrélation des rangs entre ce premier classement et le classement réel est de 0,65. Cette valeur est hautement significative avec un risque inférieur à 0,5%. Ce premier résultat confirme a posteriori l'intérêt de l'analyse des correspondances du chapitre 4. Ces résultats ont ensuite été améliorés.

~ Le classement final.

Le coefficient de corrélation des rangs passe à 0, 785; ce qui peut être considéré comme un excellent résultat en raison du nombre élevé d'objets classés. A titre d'illustration, notons que les dix premières communes classées par le modèle sont effectivement les dix premières. Ce chiffre passe à vingt pour les vingt-cinq premières communes. Ces exemples permettant de mieux juger la qualité de l'ajustement obtenu.

Nous retiendrons surtout de ces résultats, l'éclairage qu'ils donnent sur le comportement de localisation des promoteurs immobiliers.

En ce qui concerne le poids des critères, c'est la distance au centre et la densité résidentielle qui dominent. Ce qui confirme l'influence déterminante de la centralité. Vient ensuite la distance aux zones d'emploi dont l'importance a souvent été soulignée. Ensuite on trouve l'espace disponible et le niveau d'équipement. Il s'agit là aussi de critères déterminants pour le promoteur immobilier.

Les critères suivants sont le niveau des prix, la densité industrielle et le standing. Enfin au dernier lieu, l'agrément résidentiel, la desserte routière et le zonage.

L'ajustement du modèle nous renseigne aussi sur les préférences du promoteur pour les différents niveaux des critères de choix. Les résultats sont regroupés dans le tableau n° 61. Le signe > signifiant "est préféré à", le signe = signifiant "est équivalent à". Ce tableau met en évidence plusieurs phénomènes intéressants. Ainsi la préférence pour la centralité se confirme, de même que la recherche d'une proximité des zones d'emploi. Les localisations se font aussi dans des lieux où l'équipement est élevé et bien reliés au réseau routier. Le promoteur recherchera aussi des zones de prix moyen ou élevé de préférence à des zones de prix faible. L'espace disponible est généralement assez faible, bien que les résultats obtenus montrent une assez grande diversité de situations. Seules les zones à espace

critères	notation correspondante
CE 1 > CE 2 > CE 3	20 - 15 - 0
BQ 2 > BQ 3 > BQ 4 ≡ BQ 1	10 - 5 - 0
D 3 ≡ D 4 > D 1 ≡ D 2 > D 5 > D 6	15 - 10 - 5 - 0
P 3 ≡ P 2 > P 1	15 - 10
DE 1 > DE 2 > DE 3	15 - 10 - 0
B 1 ≡ B 2 ≡ B 3 > B 4	10 - 0
T 1 > T 2 ≡ T 3	10 - 0
I 5 ≡ I 4 > I 3 > I 2 ≡ I 1	10 - 5 - 0
ZU 3 > ZU 2 ≡ ZU 1	10 - 0
B 5 > B 4 > B 3 ≡ B 2 ≡ B 1	10 - 5 - 0
A 2 > A 3 ≡ A 1	10 - 5

Tableau n° 61 : les notations selon les niveaux de critères.

disponible important, généralement des zones rurales, sont rejetées. Les résultats en ce qui concerne la densité résidentielle confirment a contrario ceux vis à vis de l'espace disponible. Les logements seront surtout implantés dans des zones de densité résidentielle moyenne de préférence aux cas extrêmes. La recherche des zones d'emploi s'accompagne d'une proximité des zones industrialisées. En ce qui concerne le zonage, seules les ZAC (ou les ZUP) semblent avoir une influence. Le promoteur recherchera enfin des zones de standing assez élevé et d'agrément résidentiel moyen.

En définitive le comportement de localisation du promoteur immobilier apparaît assez "classique" et correspond aux normes généralement retenues. L'intérêt de cette présentation réside donc beaucoup plus dans le mode de combinaison des différents critères que dans la mise en évidence de critères originaux.

1.2.3. - Le modèle de localisation de la production.

La production par catégorie d'espaces construits ( $EC_i$ ) dans une commune (I) pour l'année t est fonction du classement de la commune. Les enquêtes auprès des promoteurs, ainsi que l'analyse des classements et des productions annuelles, montrent que la production n'est pas proportionnelle au classement. La relation entre les deux n'est donc pas linéaire. Une investigation plus poussée des résultats a permis de retenir, comme conforme à la stratégie du promoteur, une relation de type exponentielle à coefficient négatif.

D'autre part pour obtenir des résultats stables et comparables entre les années et les communes il a été nécessaire de prendre en compte la surface de la commune (S) et la production totale de l'année. On a donc retenu ce que l'on peut appeler la densité pondérée, que l'on notera :  $EC_{it} (I) / (EC_{it} \cdot S (I))$ .

On obtiendra donc des équations de la forme suivante :

$$\frac{EC_{it} (I)}{EC_{it} \cdot S (I)} = A \cdot e^{-b \cdot x (I)}$$

x (I) est le classement de la commune I. S (I) est la surface en kilomètres carrés. A et D sont des coefficients de dimension et b et c deux paramètres à estimer.

Mais ce ne sont pas ces relations qui seront finalement retenues, en effet la répartition des logements dans l'espace se modifie en fonction de la conjoncture économique.

En période de haute conjoncture l'étalement dans l'espace des mises en chantier est beaucoup plus fort qu'en période de basse conjoncture où les constructions centrales sont plus importantes (3). Comme la production totale suit ce mouvement conjoncturel, le phénomène que nous venons de décrire sera pris en compte par l'intermédiaire d'une relation linéaire entre les coefficients des équations précédentes et le niveau global annuel de production.

Les équations dérivatives sont les suivantes :

$$\frac{EC_{it}(I)}{EC_{it} \cdot S(I)} = (a' EC_{it} + a'') \cdot e^{-(b' EC_{it} + b'') \cdot x(I)}$$

Comme pour les deux sous-modèles précédents cette relation a été estimée uniquement pour les logements communs destinés à la vente. L'équation obtenue est la suivante :

$$\frac{1000 \cdot LCV_t(I)}{LCV_t \cdot S(I)} = (-0,00174 \cdot LCV_t + 33,163) \cdot \exp(0,74 \cdot 10^{-5} \cdot LCV_t - 0,1957) \cdot x(I) \quad \text{pour } x(I) \leq 30$$

$$\frac{1000 \cdot LCV_t(I)}{LCV_t \cdot S(I)} = 0 \quad \text{pour } x(I) > 30$$

Ces équations ont déjà été estimées en utilisant la méthode des moindres carrés année par année avec un coefficient de corrélation R variant entre 0,94 et 0,989. Ensuite les équations déterminant A et -b ont été obtenues avec un coefficient de corrélation respectivement de 0,8 et de 0,84.

Enfin une relation identique a été calculée pour l'ensemble de la période 1968-1975. Cette relation est évidemment statique. Le résultat obtenu est le suivant :

$$\frac{1000 \cdot LCV_{68-75}(I)}{LCV_{68-75} \cdot S(I)} = 13,5 e^{-0,0937 \cdot x(I)} \quad (R=0,984)$$

pour  $x(I) \leq 38$

$$\frac{1000 \cdot LCV_{68-75}(I)}{LCV_{68-75} \cdot S(I)} = 0 \quad \text{pour } x(I) > 38$$

Cette relation met en évidence le mécanisme de répartition à moyen terme de la production de logements. Cette relation est préférable à la précédente lorsqu'il s'agit d'effectuer des simulations à moyen terme, par contre la formulation précédente est obligatoirement utilisée en cas de simulation à court terme. Le cumul des résultats à court terme donne approximativement les mêmes résultats que l'estimation directe à moyen terme.

Les cartes n° 62 et n° 63 permettent de comparer les résultats réels aux résultats estimés pour la période 1968-1974. Il apparaît immédiatement que ceux-ci sont assez bons, néanmoins la production réelle apparaît moins dispersée que la production estimée. D'autre part le modèle a tendance à sous-estimer la production dans l'Est et le Sud-Est de l'agglomération. Ces défauts sont sans doute dus à la prise en compte du centre historique trop situé au Nord-Ouest de l'agglomération. Il conviendrait sans doute mieux de situer celui-ci plus près du nouveau centre directionnel de l'agglomération lyonnaise (La Part-Dieu).

La relation obtenue entre le classement de la commune et la densité résidentielle pondérée par la production totale, appelle un commentaire. En effet ce résultat apparaît comme une généralisation de la loi de C. Clark (4).

D'après lui, "la loi fondamentale est que la densité tend à décroître comme une fonction exponentielle négative de la distance au centre de l'espace urbain" (5). Il retient la formule suivante :

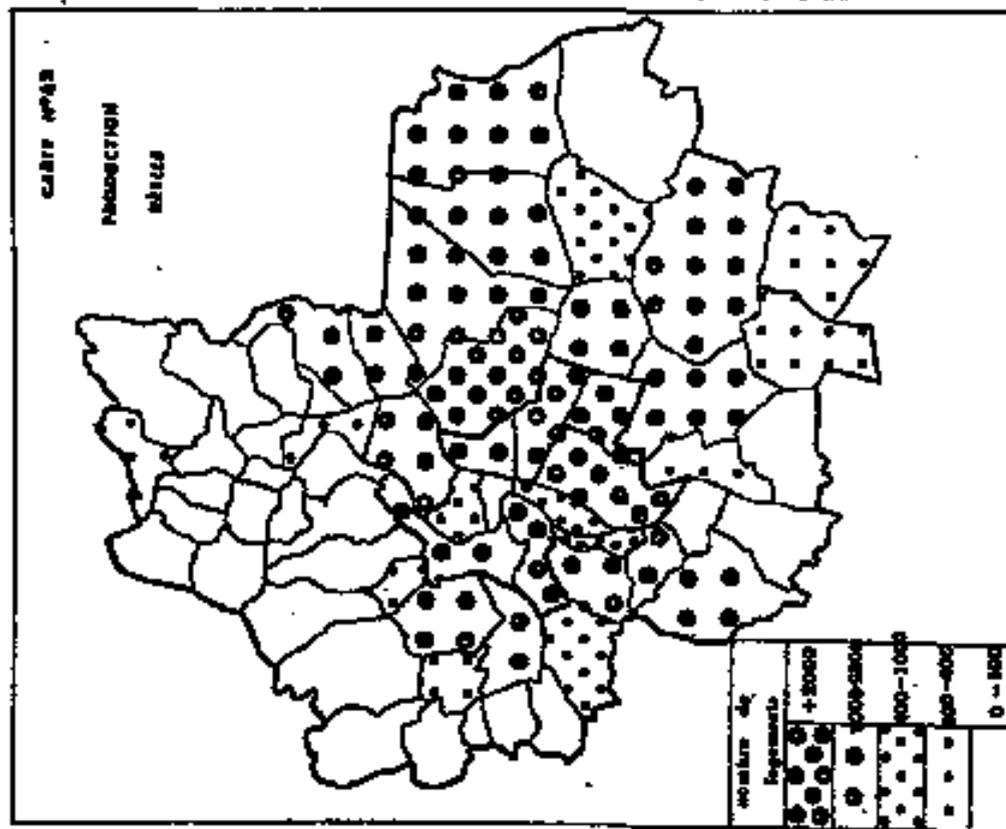
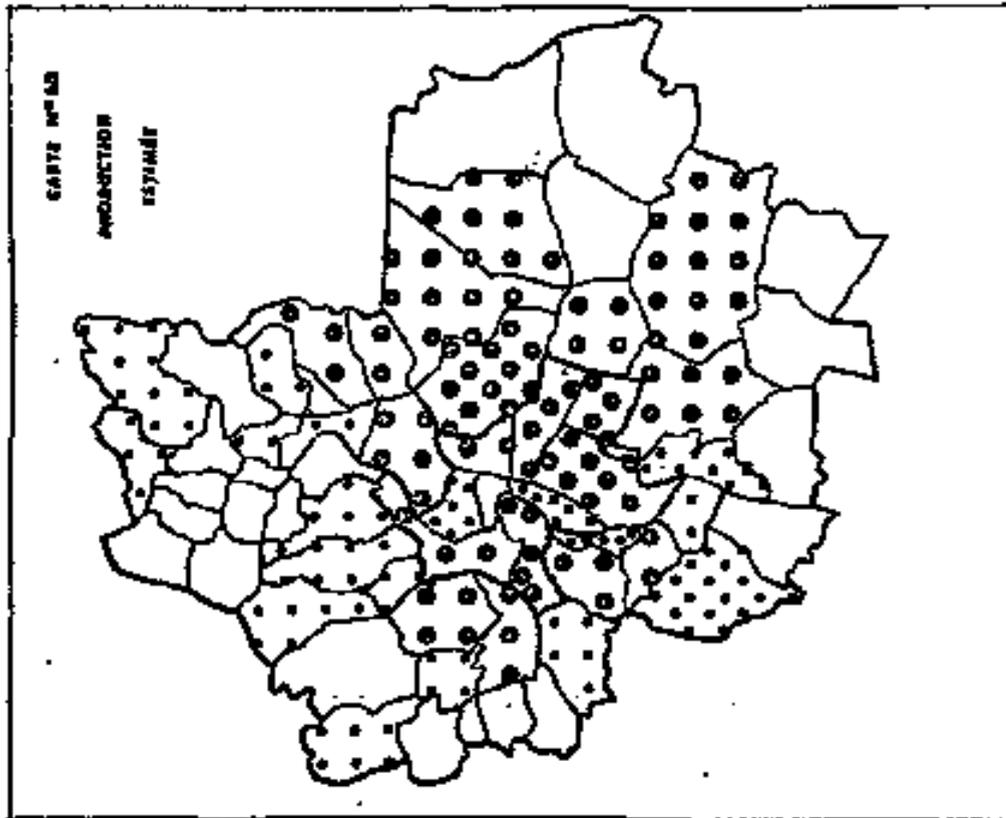
$$y = A_0 e^{-bx}$$

y est la densité de la population résidente

x est la distance au centre de la ville

R.B. Muth a montré (6) que cette formule pouvait tout aussi bien s'appliquer aux densités de construction, ce qui nous rapproche de notre cas. Le Centre de Recherche en Urbanisme a poursuivi de telles recherches en retenant une version dynamique du modèle (7), suivant l'expression :

$$D(x,t) = A(t) e^{-b(t)x}$$



Dans ces modèles les zones de résidence ou de construction sont classées en fonction d'un seul critère, à savoir la distance au centre. Nos recherches montrent qu'il ne s'agit en fait que d'un cas particulier d'un classement multicritères. Au simple critère : distance au centre, nous substituons un ensemble de critères permettant un classement plus complexe des zones étudiées.

Notons d'ailleurs que cette généralisation était déjà en bonne voie puisque de récents travaux, en particulier ceux de A.G. Wilson (8) et de M. Echarique (9), avaient substitués à la distance au centre la distance aux zones d'emploi. Il n'en reste pas moins que le critère retenu, bien que meilleur, est toujours unique. L'approche multicritères nous semble beaucoup plus pertinente et permet de généraliser ce qui n'était que des cas particuliers.

La structure de notre modèle apparaissant maintenant clairement, il devient possible de la comparer avec d'autres modèles du même type. C'est l'objet de la section suivante.

## 2 - Présentation critique de quelques modèles du même type.

Les modèles retenus sont ceux qui ont le plus de similitudes avec notre propre modèle (10). On trouvera en bibliographie une liste, assez complète mais non exhaustive, de recherches portant sur des modèles ayant des rapports avec la nôtre et qui font partie de la masse de travaux que nous avons consultés afin d'élaborer le modèle PROLOC. On regroupera tous ces modèles sous l'appellation générale de "modèles d'offre localisés", ce qui élimine la plupart des modèles courants généralement bien connus (11).

Les modèles que nous voulons présenter ici peuvent être regroupés en deux grandes catégories, d'une part les modèles de localisation de la production retenant donc une distinction entre production globale et répartition dans l'espace de cette production, d'autre part les modèles "promoteur" qui font jouer au promoteur immobilier un rôle important au niveau du développement spatial urbain.

## 2.1. - Les modèles de localisation de la production.

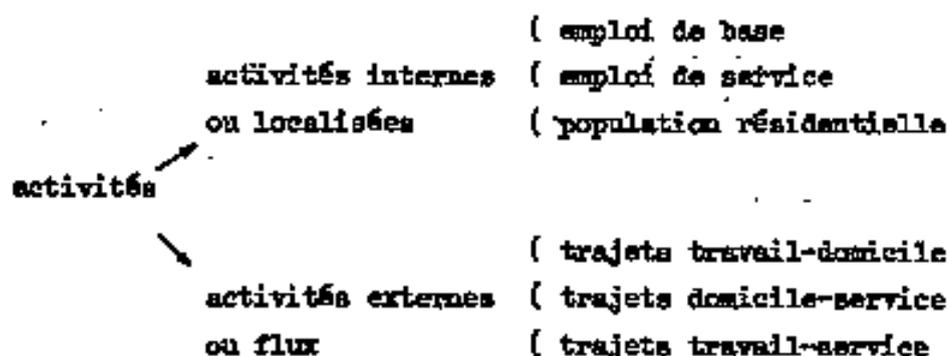
On peut distinguer les modèles répartissant l'ensemble du stock d'espaces construits, de ceux répartissant les flux de constructions à long terme et à court terme.

### 2.1.1. - Les modèles de répartition du stock de construction.

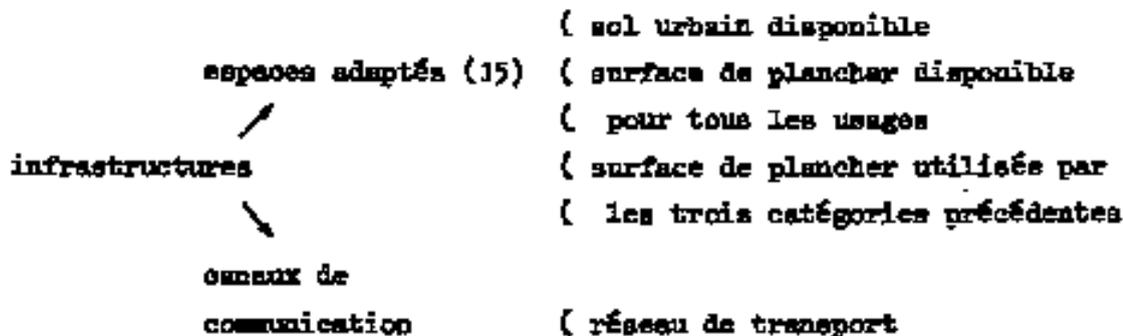
Il s'agit pour l'essentiel des travaux de M. Echenique et des chercheurs du Centre for Land Use and Built Form Studies (Cambridge) (12).

Le modèle décrit sera celui de 1969 publié dans la revue *Regional Studies* (13).

Le modèle est fondé sur une distinction de la structure urbaine en deux sous-systèmes : le sous-système des activités et le sous-système des infrastructures. Le modèle distingue 6 types d'activités et 6 types d'infrastructures.

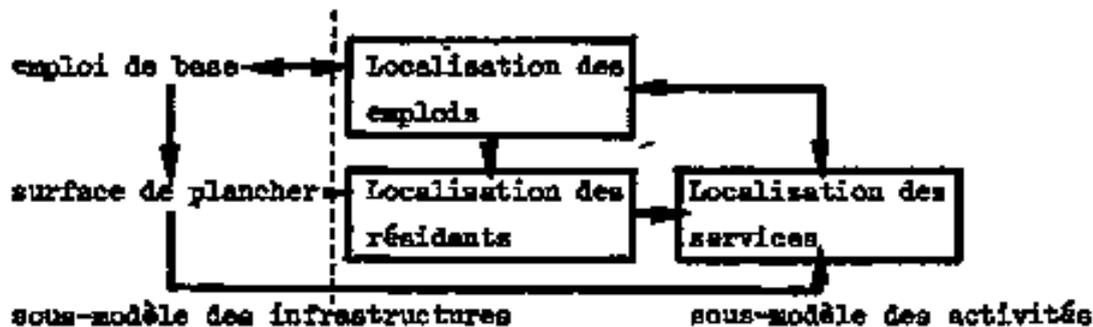


On reconnaît dans cette description le modèle de Lowry (14).



Le modèle relie tous ces éléments entre eux.

Sa structure est la suivante :



Seul le premier sous-modèle nous intéresse. Il simule la distribution dans l'espace de la surface totale de plancher nécessaire pour tous les usages (emplois, résidences, services). Cette allocation se fait en fonction de la surface de sol urbain disponible et de l'accessibilité aux emplois.

Cette localisation des infrastructures joue le rôle de contrainte pour le modèle des activités. Le modèle d'infrastructure peut être qualifié de modèle d'offre, en ce sens que la localisation des infrastructures n'est pas une réponse à une demande mais a sa logique propre.

M. Echenique se fonde sur les travaux de C. Clark et montre que la densité de surface de plancher décroît de manière négativement exponentielle par rapport à la distance au centre. Dans la formulation définitive, il ne retient pas la distance au centre, mais l'accessibilité aux lieux d'emplois.

Le modèle s'écrit sous la forme suivante :

$$F_j = \sum_i E_i \beta \exp(-bd_{ij})$$

$F_j$  = densité de surface de plancher dans la zone  $j$

$E_i$  = emploi dans la zone  $i$

$d_{ij}$  = distance entre la zone  $i$  et la zone  $j$

$\beta$  = constante de proportionnalité

$b$  = paramètre

Mais cette formulation est insuffisante. En effet rien n'assure que  $\sum_j F_j$  soit effectivement équivalent à la surface de plancher existante. D'où l'idée d'introduire un coefficient de normalisation  $A_i$  tel que :

$$A_i = 1 / E_j L_j \exp(-bd_{ij})$$

La version finale du modèle est la suivante :

$$F_j = \sum_i A_i E_i w L_j \exp(-bd_{ij})$$

Tous les termes sont connus sauf  $w = E_j F_j / E_i E_i$

Ce modèle, en définitive, répartit la surface totale de plancher d'une agglomération en fonction de l'attraction des zones d'emploi et de la surface constructible.

Cette présentation simplifiée du modèle de M. Echenique suffit pour en montrer l'intérêt. En effet, ce modèle simule la réalité urbaine dans ses trois dimensions dans le cadre d'une logique propre à l'offre de ces espaces urbains (espaces construits).

Néanmoins un certain nombre de critiques peuvent être adressées à M. Echenique.

La première porte sur l'aspect empirique du modèle. Il s'agit d'un choix de la part de M. Echenique qui écrit (16) : "il y a deux méthodes. La première est d'essayer de trouver des régularités empiriques dans des données connues... la seconde est de rechercher les relations de causes à effets expliquant les phénomènes constatés

dans le but de formuler une théorie,<sup>22</sup> Il a choisi la première approche.

Le danger, vérifié dans le cas de M. Echenique, est de ne pas pouvoir rendre un tel modèle dynamique dans la mesure où l'on ne sait pas très bien si les régularités statistiques empiriquement constatées dans le passé, se reproduiront dans l'avenir. Or, un modèle de ce type n'est intéressant que s'il peut permettre de simuler autre chose que le passé ou le présent.

Le modèle ne pourra donc pas simuler le développement d'une ville (intra-urbain et périphérique). C'est ce point qui nous semble important et c'est ce qui nous différencie du travail de M. Echenique.

La deuxième critique est sans doute plus importante. En effet, si M. Echenique a raison de remplacer le critère de distance au centre par celui de distance aux zones d'emploi, utilisant pour cela une technique issue des modèles gravitaires (17), il reste encore loin de la réalité. En particulier un tel critère est totalement insuffisant pour rendre compte des changements annuels dans les localisations. Le modèle de M. Echenique constitue un progrès par rapport au modèle de Lowry mais il se condamne à rester statique, malgré certaines tentatives dont nous rendrons compte ultérieurement.

Soulignons pour terminer que les simulations réalisées à l'aide de ce modèle sont assez bonnes (18).

### 2.1.2. - Les modèles de répartition des flux à long terme de construction.

Le meilleur exemple, et le plus classique, est certainement le modèle de W.B. Hansen : "An approach to the analysis of metropolitan residential extension" (19). Nous aurions aussi pu retenir le modèle de L.S. Bourne : "A spatial allocation- land use conversion model of urban growth"(20), mais il nous semble moins intéressant.

Le modèle de Hansen détermine le niveau de construction de la région de Philadelphie, divisée en 44 zones, pour la période 1940-1956.

La forme générale du modèle est la suivante :

$$Y_i = \phi ({}_k X_i)$$

où  $Y_i$  = niveau de développement résidentiel dans la zone  $i$

${}_k X_i$  = facteur  $k$  de développement résidentiel dans la zone  $i$

$\phi$  = fonction dont le type est à déterminer.

W.B. Hansen retient quatre facteurs de développement résidentiel : la densité résidentielle, la centralité, l'accessibilité et la distance aux zones d'emploi.

Il teste plusieurs types de fonctions (linéaire, exponentielle, puissance) et plusieurs mesures du niveau de développement résidentiel par zone (volume de construction, densité de construction, accroissement de la densité de population).

Les résultats empiriques sont assez intéressants, la variance expliquée étant dans le meilleur des cas de 87, 5 %.

Ce modèle peut être considéré comme le premier modèle de développement résidentiel en terme de construction, c'est là son principal mérite. Il est d'autre part assez simple et les résultats obtenus supportent facilement la comparaison avec d'autres modèles beaucoup plus complexes.

Par contre, on peut reprocher au modèle de Hansen d'effectuer des calculs de production directement localisés, ce qui entraîne une confusion entre les facteurs de production et les facteurs de localisation. On lui reprochera aussi de se situer uniquement à long terme.

Le modèle que nous allons présenter maintenant semble éviter ces deux écueils.

2.1.3. - Les modèles de répartition des flux à court terme de construction.

Il s'agit d'un travail très récent d'un chercheur du Nigéria : M.A.O. Ayeni, publié dans la revue *Environment and Planning* (21). Ce modèle se situe dans la lignée des travaux de M. Schanique et de A.G. Wilson, à propos du modèle de Lowry. Le titre de l'article : "A predictive model of urban stock and activity" l'indique clairement. Nous ne décrivons ici que la partie concernant les espaces construits (urban stock) que M.A.O. Ayeni réduit au logement, ce que nous faisons nous-mêmes.

La partie du modèle concernant le logement se divise en deux. Dans un premier temps, l'offre totale de logements est déterminée à partir de ses trois composantes principales : constructions nouvelles périphériques, rénovation urbaine, logements anciens libérés.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$\Delta H$  représentant l'offre annuelle de logements, s'ajoutant au stock  $H$  existant.

Lors de l'estimation de cette équation, M.A.O. Ayeni est amené à négliger  $\Delta H_2$ . L'équation devient :

$$\Delta H_t = \Delta H_t^1 + \Delta H_t^3$$

$$\Delta H_t^1 = 98,2 + 6,9 t$$

$$\Delta H_t^3 = (1 - e_1) H_t$$

$e_1$  est un coefficient d'immobilité estimé en moyenne à 0,58. Dans un deuxième temps la production  $\Delta H_t$  est répartie dans les différentes zones de la ville (Jos au Nigéria) selon le processus suivant :

$$\Delta H_i^k(t) = \Delta H_t^k A_i W_i \exp(-\theta d_{ij})$$

$$\text{où } A_i = \left[ \sum_j W_j \exp(-\theta d_{ij}) \right]^{-1}$$

L'indice  $i$  désigne les zones de la ville, l'indice  $k$  le type de logement.  $A_i$  est un coefficient de dimension,  $d_{ij}$  est la distance entre deux zones mesurée à travers le réseau de transport.  $\theta$  est un paramètre. En ce qui concerne  $W_i$ , Ayeni le présente comme les profits ou les avantages liés à la construction en zone  $i$ . Comme la mesure n'en est pas possible, Ayeni le remplace par la surface de terrains à bâtir proche des zones d'emploi et de résidence que les constructeurs (promoteurs ou individus) sont supposés rechercher. Le modèle est ensuite ajusté, ce qui permet de retenir la valeur 2 pour  $\theta$ . Ensuite M.A.O. Ayeni procède à plusieurs prévisions, sans qu'il soit possible d'en contrôler la validité. Il ne simule pas non plus le passé, ce qui interdit tout jugement sur la qualité du modèle.

Ce modèle est très proche du modèle de M. Echenique quant à la formulation et il est aussi assez proche du modèle PROLOC quant à la structure. On retrouve en effet la même découpage entre production et localisation, ainsi qu'une analyse des mouvements à court terme. Mais les critères de localisation retenus sont peu nombreux et les prévisions de production extrêmement frustrées ce qui en fait peut-être un bon modèle à moyen ou long terme, mais certainement pas à court terme.

En effet, nous avions envisagé une formulation assez proche de celle utilisée dans la deuxième partie de ce modèle et nous avons été amenés à y renoncer en raison de l'insensibilité à court terme d'un tel modèle. Il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'une formulation extrêmement intéressante. Encore pourrait-on lui reprocher son inconsistance théorique, défaut auquel les modèles suivants tentent d'échapper.

## 2.2. - Les modèles "promoteur".

On peut distinguer trois catégories parmi ces modèles,

- 1ère catégorie : le modèle "promoteur" rend compte de

l'offre de logements dans les modèles simulant le marché immobilier. Le meilleur exemple est le modèle du NBER (National Bureau of Economic Research),

- 2ème catégorie : le modèle "promoteur" permet de prendre en compte les contraintes de localisation des nouveaux logements dans les modèles de développement spatial urbain. C'est le cas du modèle de Kaiser dans le cadre du modèle plus général de l'Université de Caroline du Nord,

- 3ème catégorie : le modèle "promoteur" a vocation à expliquer le développement spatial urbain. C'est le cas du modèle de développement spatial de l'agglomération lyonnaise du CERAU. Le modèle PROLOG appartient à cette catégorie,

Ayant déjà présenté un modèle de la deuxième catégorie, seuls les modèles du NBER et du CERAU seront analysés.

### 2.2.1. - Le modèle du NBER.

Ce modèle (22) s'articule en sept sous-modèles : répartition géographique des emplois, mobilité résidentielle, libération des logements, demande de logement, vieillissement du parc immobilier, offre de logement, confrontation de l'offre et de la demande. Son principe général est le suivant. Dans un premier temps il calcule les profits réalisables sur la construction de logements neufs. Dans un deuxième temps, en fonction de ces profits, tout en tenant compte de certaines contraintes de construction, il détermine les modifications du parc immobilier.

Plus précisément, le modèle est construit autour d'une fonction de production du type suivant :

$$B_i = f(S_i, L_i, N, C, G_i, A_i, P_i)$$

où B représente les opérations immobilières nouvelles, S des caractéristiques constantes, L la surface de sol inoccupé, N les facteurs de

production autres que le sol,  $O$  les coûts de construction,  $G$  les services publics locaux,  $A$  les attributs physiques du voisinage,  $P$  les caractéristiques socio-démographiques de la population et  $i$  les localisations spécifiques.

Les trois derniers facteurs  $G_i$ ,  $A_i$  et  $P_i$  représentent les conditions nécessaires ou permises de la construction. Le promoteur ne peut pas les produire lui-même quelque soit la taille de ses opérations. En supposant donc que ces facteurs soient présents, le comportement du promoteur peut s'expliquer par les quatre premiers facteurs.

Le prix d'un logement est supposé être la somme des coûts de construction et de la charge foncière. Ceux-ci étant différents selon les localisations. Le promoteur cherchant à maximiser son profit va situer ses opérations dans les zones où le coût de construction et la charge foncière lui assureront une rentabilité maximum de ses investissements. Le prix des logements et des terrains pourra être modifié par le jeu de l'offre et de la demande.

On reconnaît là une formulation proche de celle de E.J. Kaiser (23), mais aussi de R.F. Math (24) et de E.S. Mills (25). A vrai dire une telle fonction de production est d'un emploi extrêmement courant dans les modèles de ce type aux Etats-Unis (26)..

L'intérêt du modèle du NBER est évidemment dans la reconnaissance du rôle joué par le promoteur immobilier et dans la rupture avec l'hypothèse traditionnelle d'équilibre du marché. "Le modèle urbain du NBER, et ses sous-basements théoriques, constituent un abandon de l'hypothèse d'équilibre à long terme employée dans toutes les théories traditionnelles de la localisation résidentielle et de la structure spatiale des villes" (27).

Malgré cela ce modèle ne nous satisfait pas pleinement. Son hypothèse de maximisation du profit du promoteur immobilier est juste mais la manière dont elle est posée concrètement ne nous semble pas entièrement fondée.

Au niveau d'une opération le comportement du promoteur est assez proche de celui que lui prête le modèle du NBER, par contre à partir d'un certain niveau d'agrégation peut-on conserver les mêmes

hypothèses ? Par exemple pour une parcelle particulière, il peut arriver que le prix du sol soit bas, le prix des logements élevé et donc le profit potentiel important. Par contre il est fort peu probable qu'un tel phénomène existe au niveau de tout un quartier, cela supposerait que l'ensemble des propriétaires fonciers n'aient aucune information concernant les réalités des marchés fonciers et immobiliers. Le prix du sol est très rapidement totalement dépendant du prix des logements et des profits potentiels des promoteurs.

Plus la zone d'étude est grande, moins les hypothèses du modèle du NBER sont applicables. En ce qui concerne le modèle PROLOG, le fait d'avoir retenu la commune comme niveau d'observation interdisait une telle approche.

Il n'en reste pas moins que le modèle du NBER, proche du nôtre dans ses principes généraux mais différent dans leur application, est une des tentatives de modélisation les plus intéressantes de ces dernières années.

#### 2.2.2. - Le modèle de développement spatial de l'agglomération lyonnaise du CERAU (28).

Ce modèle (29) a pour ambition d'être "une réflexion sur l'ensemble du processus de développement urbain" (30). En fait il ne s'applique qu'au cas des logements neufs. Les auteurs du modèle font jouer au promoteur immobilier un rôle essentiel. C'est l'analyse de leurs comportements qui a déterminé les variables explicatives retenues ainsi que les contraintes prises en compte.

Le modèle est statique, les ajustements étant réalisés sur la période 1964-1965. Il n'explique donc que la dispersion géographique des constructions. D'autre part, le volume de construction est directement estimé pour chaque zone. Il n'y a donc aucune étude de la production globale de logement bien que les auteurs en soulignent l'intérêt. "On simplifie le problème en déterminant d'abord le volume global, le rythme et la nature de la croissance attendue dans l'agglomération

pendant la période considérée et ensuite la répartition au sol des implantations correspondantes" (31),

Le comportement des promoteurs est reflété par les trois variables suivantes : nombre de logements construits de chaque type, prix de ces logements et surfaces unitaires, dont l'estimation correspond aux équations du modèle. Le modèle détermine aussi les surfaces de sol utilisées et les prix fonciers.

Quelque soit la méthode statistique retenue, la qualité des ajustements est très mauvaise. Aucune des équations de l'ensemble du modèle n'explique plus de 60% de la variance totale de la variable à expliquer, sauf dans le cas des prix fonciers (70 %).

Ce modèle, bien que très réduit par rapport à ses ambitions de départ ne permet d'obtenir que des résultats médiocres. Or la plupart de ses hypothèses étaient justes, mais à notre avis elles ont été insuffisamment exploitées, quelquefois même négligées. Il ne suffit pas de prétendre que le promoteur joue un rôle essentiel, il faut prendre en compte concrètement cette affirmation.

Ce modèle souffre aussi d'une insuffisance commune à la plupart de ceux que nous avons présentés en estimant la production de logements de manière directement localisée. Cela interdit à de tels modèles d'être dynamiques, mais surtout cela détache artificiellement l'économie immobilière de l'économie générale. L'influence de la conjoncture économique et financière est de ce fait négligée.

Il n'en reste pas moins que la lecture des travaux du CERAU a influencé la conception de notre modèle ne voulant ni répéter les mêmes erreurs, ni en ignorer les apports positifs. Encore que l'architecture générale du modèle PROLOC soit totalement différente de celle du modèle du CERAU, que notre modèle soit dynamique alors que le leur est statique, que nous simulons le comportement du promoteur alors qu'ils ne font que l'invoquer.

### 3. - Les enseignements du modèle PROLOC.

Ce modèle présente deux centres d'intérêt principaux, d'une part il permet de mieux comprendre le système de production des espaces construits, d'autre part il permet d'effectuer un certain nombre de prévisions et de tester différentes variantes pouvant servir de fondement à la planification urbaine.

#### 3.1. - Le système de production des espaces construits urbains.

##### 3.1.1. - Les variables et les relations.

###### - Le sous-modèle de production.

Il permet une prévision excellente ( $R = 0,98$ ) à l'aide de quatre variables seulement, en fait on pourrait pratiquement en retenir que trois. Les deux seuls "déparages" du modèle concernent les années 1972 et 1973. Or l'année 1972 est extrêmement particulière en ce qui concerne l'immobilier (proximité des élections législatives, changements importants dans les réglementations en vigueur prévus pour la fin de l'année, laxisme du crédit) et ne pouvait donc pas être totalement modélisée. On remarquera d'ailleurs que la prévision en baisse pour 1972 est pratiquement compensée par une prévision en hausse pour 1973. Il y a donc eu un "effet de bascule" entre les deux années dû à des événements accidentels impossibles à modéliser.

Ce qui revient à dire que l'on peut parfaitement déterminer la production annuelle de logements à partir de la connaissance du coût du crédit à court terme, du stock de logements neufs inventés et du niveau d'activité économique. Ces résultats confirment l'influence déterminante de la conjoncture économique sur la production immobilière.

Néanmoins une question se pose. *Ces variables ne trahissent-elles pas une influence déterminante de la demande ?* Lorsqu'on examine attentivement les résultats on est conduit à une réponse négative. En effet, prenons le cas de la variable "stock de logements invendus". Le niveau de cette variable dépend bien sûr de l'importance de la demande. En ce sens cette variable apparaît un peu comme "le cheval de Troie" de la demande dans notre équation. En réalité, à qui importe l'existence de ces stocks ? Assez peu aux consommateurs, sauf peut-être dans la mesure où ce stock élargit leurs possibilités de choix, dans ce cas il interviendrait avec un signe positif. Par contre le promoteur immobilier, quant à lui, est extrêmement sensible à l'existence de ces stocks qui représentent pour lui un manque à gagner très important dans la mesure où il doit en assurer lui-même le financement (crédits promoteurs). Le niveau des stocks influence donc directement la rentabilité des opérations mises en chantier. Cette variable "stock de logements invendus" est en définitive très représentative de notre problématique. Nous ne rejetons pas l'influence de la demande, mais nous pensons que celle-ci ne peut s'exprimer qu'à travers le comportement du promoteur immobilier.

On peut tenir un raisonnement identique en ce qui concerne les autres variables. Ainsi le coût du crédit ne semble jouer au départ que sur les intentions d'achat (crédits acquéreurs). Mais il joue aussi sur le coût du financement par le promoteur immobilier des logements non encore vendus (crédits promoteurs). Tout accroissement du coût du crédit entraîne une augmentation des risques pour le promoteur dans un comportement plus prudent de celui-ci. Le coût du crédit est donc lui aussi en relation directe avec le profit du promoteur immobilier.

Notons en outre que le fait que le taux de crédit pris en compte soit celui du court terme indique beaucoup plus l'existence d'une liaison avec un financement à court terme (crédits promoteurs) qu'avec un financement à long terme (crédits acquéreurs) dont le taux est plus fixe.

En ce qui concerne l'influence de la PIB, par contre, on ne peut pas nier qu'il y ait ici un effet de demande, l'accroissement de la PIB en volume, s'accompagnant d'un accroissement des revenus réels,

Néanmoins cette variable a ici un statut très complexe, dans la mesure où elle représente les conditions économiques générales. Et, lorsque ces conditions sont favorables (croissance) la demande va effectivement augmenter, mais aussi le nombre des promoteurs immobiliers, ce qui va se traduire simultanément par une augmentation automatique des mises en chantier (effet d'offre).

En ce qui concerne la dernière variable introduite :

$$\frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$$

il faut se rappeler qu'elle l'a été surtout pour tenir compte des variations exceptionnelles de l'activité économique (1968-1969, 1975-1976). Elle renvoie donc à l'instabilité structurelle du secteur de la promotion immobilière.

En définitive, cette première équation du modèle PROLOG permet de synthétiser avec précision notre problématique : *il n'y a pas de réponse automatique de l'offre à la demande dans la mesure où l'information issue de celle-ci est transformée dans le cadre de la logique propre au système de promotion immobilière. Le but de ce dernier n'étant pas de satisfaire la demande mais de déterminer une rentabilité optimale pour les opérations qu'il met en chantier.*

- Le sous-modèle de classement.

Ce modèle met en évidence un autre aspect du comportement du promoteur immobilier : l'influence de nombreux critères sur ses décisions de localisation. Le modèle de choix par éliminations successives retenu permet de rendre compte au mieux de la complexité de ce processus décisionnel.

Ici l'intérêt du modèle est moins dans les variables retenues qui sont celles de la plupart des modèles de localisation, encore que ceux-ci ne les retiennent jamais toutes ensemble, que dans la relation de choix à critères multiples permettant de combiner ces variables.

La réunion de ce modèle et du précédent est sans doute le point le plus important et le plus original de notre travail. En effet, il existait bien déjà des modèles simulant la production globale de logements et faisant intervenir la conjoncture économique. De même il existait des modèles de localisation des résidences et faisant intervenir des critères géographiques. Par contre jusqu'à présent aucun modèle ne réunissait ces deux composantes essentielles. Le modèle de Hansen, par exemple, estimait directement la production de logements de manière localisée en fonction de critères géographiques. C'est une approche *totalément insuffisante*. Comment expliquer des différences annuelles de construction dans des communes dont la distance au centre par principe ne change pas ? Notre réponse est très simple, il suffit de prendre en compte l'influence de la conjoncture économique. Cet oubli est sans doute dû à l'importance des recherches d'origine géographique en économie urbaine. Le troisième sous-modèle permet lui aussi de prendre en compte ces relations entre la conjoncture économique et la localisation des logements.

#### - Le sous-modèle de localisation de la production.

L'intérêt de ce modèle est double. D'une part il généralise la loi de C. Clark à plusieurs critères, d'autre part il confirme l'influence "spatiale" de la conjoncture économique. C'est ce dernier point que nous allons développer.

La relation retenue, sous sa forme la plus générale, montre que les années de production importantes <sup>les constructions</sup> ont tendance à se disperser en périphérie alors que les années de production plus faibles les constructions ont tendance à se concentrer dans le centre. C'est ce que confirme la relation inversement proportionnelle entre le coefficient de dimension (A) de la loi de C. Clark et le niveau annuel de la production de logement.

Il s'agit là d'un phénomène qui lui aussi était déjà connu mais qui n'avait pas été intégré dans les modèles de localisation ;

Remarquons enfin que le fait pour notre modèle de retenir une relation du type de celle de C. Clark le rapproche des recherches les plus récentes sur l'entropie, ces recherches ayant démontré la validité de la loi de C. Clark à partir d'une maximisation de l'entropie du système urbain sous contraintes (32). Nos travaux confirment même la version dynamique du modèle de C. Clark proposé par le Centre de Recherche en Urbanisme (C.R.U.) (33), en lui fournissant un base concrète.

Finalement on peut dire que notre modèle réconcilie les apports de l'économiste, du géographe et de la démographie urbaine, à partir de chacun des sous-modèles. Nous allons voir maintenant une conséquence essentielle de ce regroupement.

### 3.1.2. - L'influence de la conjoncture économique sur le développement spatial urbain.

Le modèle PROLOC montre clairement comme nous venons de le voir l'influence à tous les niveaux de la conjoncture économique. Il y a ce que l'on peut appeler une élasticité de la localisation des opérations immobilières par rapport aux variations conjoncturelles, comme il y a une élasticité de la production globale.

#### - L'élasticité de la production globale.

La qualité des estimations obtenues pour l'équation de production permet d'accorder une signification économique aux différents coefficients. On peut ainsi examiner les réactions, au niveau des logements mix en chantier, aux variations des variables explicatives. Le tableau n° 64 présente les différentes valeurs des coefficients d'élasticité, par rapport aux différentes variables, mesurés au point moyen.

variable	PIB	I	$\Delta Y \rightarrow I$	A
Élasticité	2,8	-0,6	-0,8	8,7

Tableau n° 64 : Élasticité de la production.

Les coefficients d'élasticité ont été calculés à partir des valeurs moyennes des variables explicatives et à expliquer. Il apparaît immédiatement que la production de logement est extrêmement sensible aux variations de l'activité économique que ce soit à travers l'indice de la PIB ou l'indice d'activité économique (temps de travail x horaire moyen). Par contre l'élasticité est inférieure à 1 en ce qui concerne le taux du marché monétaire et le stock de logements.

Cette identité apparente recouvre deux phénomènes très différents. En effet, un coefficient d'élasticité de - 0,6 par rapport aux taux du marché monétaire témoigne en réalité d'une très grande sensibilité de la construction aux conditions monétaires, car une variation de 1 % de ce taux représente quelque chose de très faible, généralement moins d'un point. Par contre l'élasticité par rapport aux variations du stock de logements est assez faible car s'agissant là de grandeurs directement comparables, l'infériorité à un de ce coefficient demeure significative. Ce qui, indirectement, confirme le rôle secondaire de la demande puisque c'est elle qui détermine les variations de stock.

Nous pouvons maintenant aborder le point le plus intéressant : l'élasticité des localisations par rapport à ces variations conjoncturelles.

#### - L'élasticité des localisations.

Celle-ci apparaît à travers les deux sous-modèles suivants. En effet les coefficients du modèle de localisation, répartissent la production totale dans les communes par rapport au classement de celles-ci, sont directement liés au niveau de la production globale. Rappelons que :

$$A = 0,00174 \cdot LCV_t + 33,163$$

$$\text{et } b = 0,74 \cdot 10^5 \cdot LCV_t - 0,1957$$

Ce qui veut dire que les modifications dans les valeurs des variables explicatives du sous-modèle de production vont se répercuter au niveau de la localisation par l'intermédiaire de ces relations, ce que montre le tableau n° 65 présentant les coefficients d'élasticité au point moyen de A et de b par rapport aux variables conjoncturelles.

variables	PIB	I	DV-1	A
élasticité				
A	-1,2	0,3	0,3	-3,8
b	0,8	-0,2	-0,2	2,4

Tableau n° 65 : Elasticité des localisations.

Ces résultats montrent que *les variations d'activité économique auront une forte influence sur la dispersion des constructions et par là même sur la forme du développement spatial urbain*. Les variations du taux du marché monétaire, compte tenu des remarques précédentes, auront aussi une influence déterminante sur la forme des villes. Le stock de logements neufs invendus joue un rôle plus faible. Par exemple une augmentation du taux du marché monétaire va se traduire par une augmentation de A et une diminution de b, ce qui aura comme conséquence un "remplissage" beaucoup plus fort des zones centrales généralement les mieux classées et une diminution des constructions en périphérie dans les zones généralement les moins bien classées. Globalement cela se traduira par un phénomène de densification. Par contre une augmentation de l'activité économique se traduira au contraire par un phénomène d'étalement spatial. Il s'agit là de conséquences souvent ignorées et pourtant extrêmement importantes. C'est sans doute un des enseignements essentiels du modèle PROLOG, que de montrer clairement les répercussions spatiales de phénomènes économiques qui, a priori, sont sans rapport direct avec le processus d'urbanisation.

Le modèle PROLOG peut aussi servir de fondement à la planification urbaine grâce aux prévisions qu'il permet d'effectuer.

### 3.2. - Prévisions et variantes.

#### 3.2.1. - Les variantes de production.

##### - "prévision" 1976.

Les valeurs les plus probables pour les variables explicatives sont les suivantes (34) :

$$I = 8,2 \%$$

$$PIB (\text{indice}) = 168$$

$$\frac{\Delta A}{A_{t-1}} = -1,4 \%$$

$$DV (\text{même trimestre } 1975) = 7606$$

L'équation de production permet de calculer le niveau probable des mises en chantier de logements destinés à la vente qui devrait s'élever à 5986, c'est-à-dire en hausse notable par rapport à 1975 (+ 48 %). Il semble bien que cette tendance soit conforme à la réalité.

##### - prévisions 1977

En ce qui concerne 1977, deux variantes sont possibles, l'une pessimiste prévoyant la poursuite de la crise économique, l'autre optimiste prévoyant un redémarrage net de l'économie. On trouvera dans le tableau n° 66 l'ensemble des calculs relatifs à ces deux variantes.

variables	I	FIB	$\frac{\Delta A}{A}$	DV	LCV
variante I "pessimiste"	9%	170	-1%	7000	6522
variante II "optimiste"	7%	180	+1%	7000	9520

Tableau n° 66 : LCV : prévisions 1977.

- prévisions 1976-1980.

On retiendra là aussi deux variantes semblables à celles de l'année 1977. Une première variante (n°III) supposera que la stagnation de l'économie se poursuivra jusqu'en 1980, une deuxième variante (n°IV) que l'économie retrouvera un rythme de croissance semblable à celui des années soixante-dix. Le tableau n° 67 présente l'ensemble des calculs.

La différence finalement peu importante entre les prévisions relatives aux deux variantes provient de l'influence régularisatrice du stock de logements inventés qui évoluera certainement à la baisse en cas de stagnation économique et à la hausse en cas de croissance économique, puisque ce stock dépend en partie du nombre de logements mis en chantier.

Nous allons voir maintenant la répartition spatiale de cette production estimée.

### 3.2.2. - Les conséquences spatiales.

Celles-ci seront étudiées uniquement pour les années 1976 et 1977. En effet il n'est pas possible de supposer que les caractéris-

variables	I	PIB	$\frac{\Delta A}{A}$	DV	LCV
<b>variante III</b>					
1976	8,2	168	-1,4	7606	5986
1977	9	170	0	7000	6517
1978	9	175	-1	7000	7051
1979	9	180	0	6000	8102
1980	9	180	-1	6000	7594
1976-1980					35250
<b>variante IV</b>					
1976	8,2	168	-1,4	7606	5986
1977	7	180	1	7000	9520
1978	6	190	0	8000	9778
1979	6	200	0	9000	10088
1980	7	210	0	10000	9943
1976-1980					45315

Tableau n° 67 : LCV ; prévisions 1976-1980.

tiques socio-économiques des communes demeurent stables au-delà de ces dates. Pour effectuer une prévision à l'horizon 1980 il faudrait modifier ces caractéristiques en prenant l'année 1975 pour base, mais nous ne possédons pas encore tous les chiffres nécessaires.

- Pour l'année 1976.

Le classement demeure identique à celui estimé pour la période 1968-1974. La fonction de localisation de la production prend la valeur suivante :

$$\frac{1000 \cdot LCV_{76} (I)}{LCV_{76} \cdot B (I)} = 22,73, \quad -0,1513 \cdot x (I)$$

Cette formule est assez proche de celle de 1974, année de faible production où les constructions dans le centre ont été rela-

tivement importantes. La carte n° 68 permet de visualiser ces résultats.

- pour l'année 1977 (variante II)

La fonction de localisation de la production prend la valeur suivante :

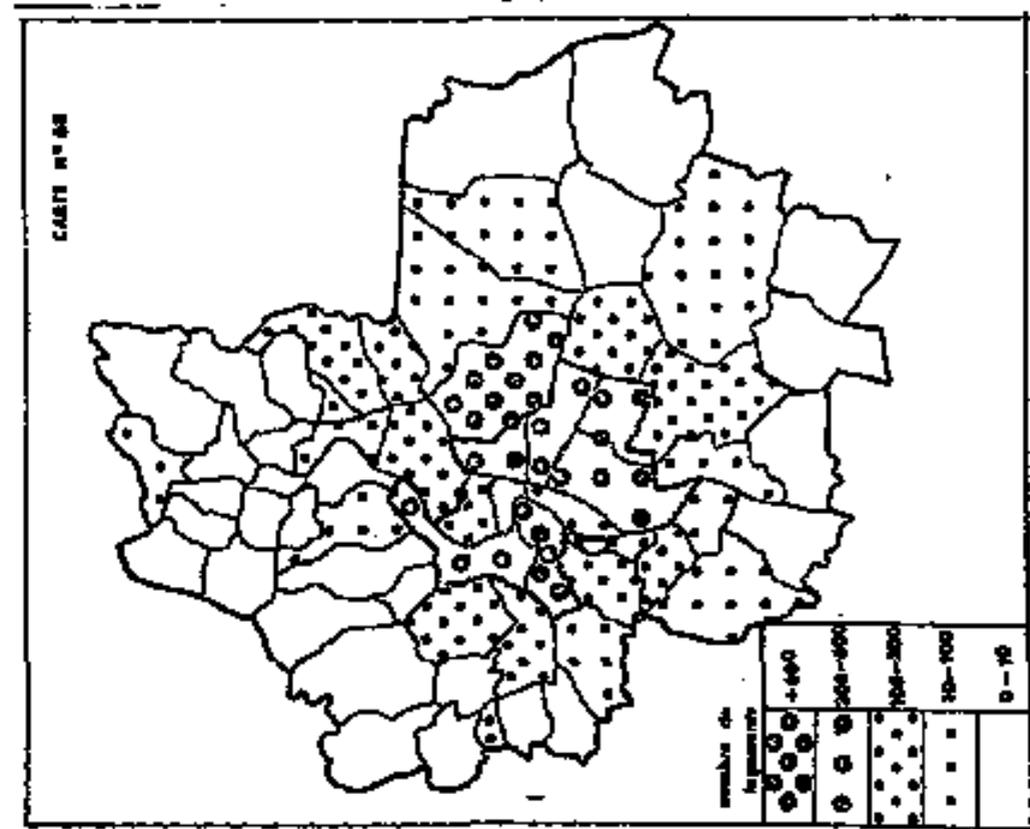
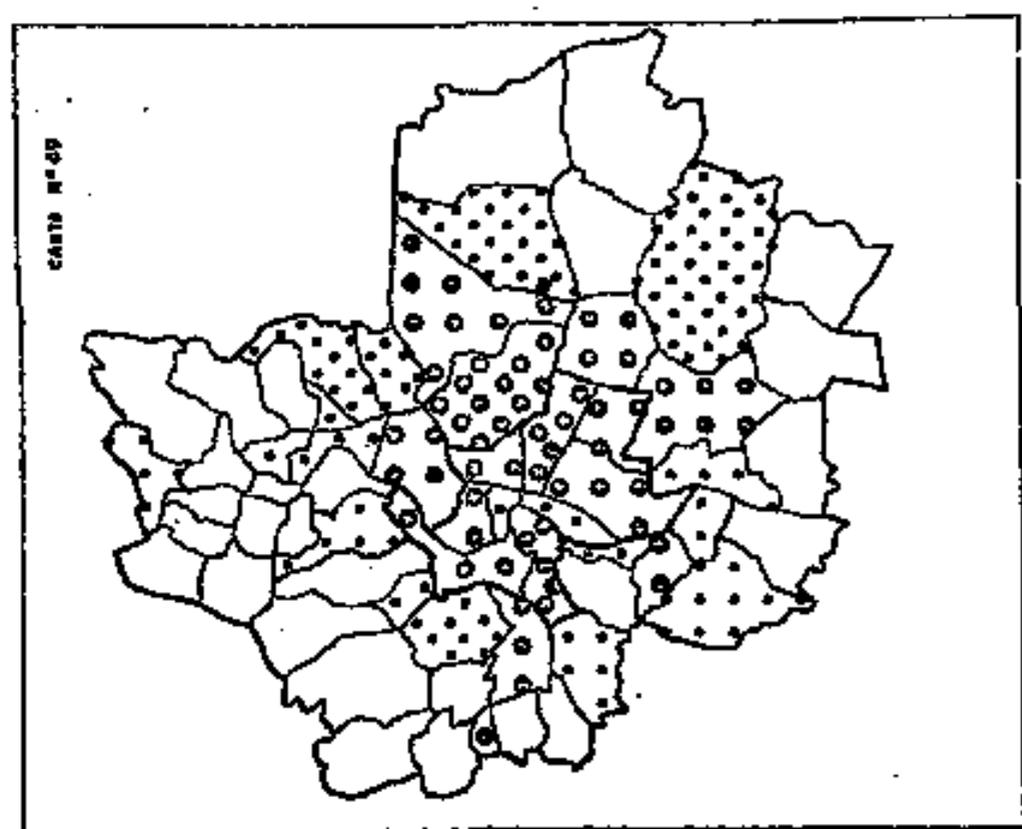
$$\frac{1000 \cdot LCV_{77} (I)}{LCV_{77} S (I)} = 16,6 \cdot e^{-0,1253 \cdot x (I)}$$

Cette formule est assez proche de celle de 1972, année de forte production où les constructions se sont beaucoup étalées dans l'espace. La carte n° 69 permet de visualiser ces résultats et de les comparer à ceux de l'année précédente (carte n° 68). La différence de dispersion dans l'espace apparaît nettement.

En guise de conclusion, nous allons préciser quelles sont les possibilités ouvertes à la planification urbaine au regard des résultats du modèle PROLOC.

#### h. - Conclusion.

Le modèle PROLOC montre que la production totale de logements de la région lyonnaise est grandement déterminée par les conditions économiques nationales. Il en est de même pour toutes les grandes agglomérations (35). Les possibilités locales de la planification urbaine dans ce domaine sont donc très limitées. A la rigueur il y a une possibilité d'intervention par l'intermédiaire du stock de logement (influence sur la demande ou production propre aux offices municipaux d'HLM). Mais la marge de manœuvre en ce domaine des autorités locales est finalement assez faible. La seule possibilité réelle des autorités locales réside dans la possibilité d'orienter cette production dans telle ou telle partie de l'agglomération en modifiant les caractéristiques socio-écono-



riques des communes ou des arrondissements. Encore que le modèle PROLOC montre que ces modifications ont un impact souvent très faible et qu'il est très difficile de modifier les tendances spontanées de l'urbanisation. En définitive le modèle PROLOC montre que le développement spatial urbain est une composante qui échappe grandement aux autorités locales. Elle est le fait des promoteurs immobiliers.

Mais tel qu'il est, ce modèle demande un certain nombre d'améliorations afin d'en augmenter la généralité et la puissance. Il doit être étendu à tous les espaces construits, ce qui dépend des possibilités statistiques. Le modèle devrait aussi prendre en compte la demande de manière plus précise à travers son influence sur le stock de logements invendus. Enfin le modèle multicritères devrait être amélioré, en augmentant le nombre de critères et en incluant les conséquences annuelles des variations conjoncturelles.

Notes du Chapitre Cinquième.

- (1). Cf. Annexe 5,1.
- (2). Cf. INSEE : *Revue de statistique appliquée*, 1973, n° spécial, pp. 62-63.
- (3). Cf. GAGE B., GRANVILLE J.J., VALETTE E. : *Contribution à la connaissance de la promotion immobilière privée*, ADRES, avril 1970, p. 50.
- (4). CLARK C. : "Urban population densities" - *Journal of the royal statistical society*, vol. CKIV, part IV, 1951, repris dans : CLARK C. : *Population growth and Land use*, Mac Millan, Londres, 1967.
- (5). CLARK C. : *Population growth and Land use*, op. cit.
- (6). R.F. MUEH : "The spatial structure of the housing market", *Papers and proceedings of the Regional Association*, 1961, vol. 7, pp. 207-220.
- (7). Cf. BOSSERT R. (dir.) : "Modèles urbains de localisation résidentielle" - in *Modèles mathématiques de répartition des populations urbaines*, C.R.U., Paris, 1974, p. 66.
- (8). WILSON A.G. : *Entropy in urban regional modelling*, Pion, Londres, 1970.  
WILSON A.G. : *Urban and regional models in geography and planning*, J. Wiley and sons, Londres, 1974.
- (9). ECHENIQUE M., GROWTHIER D., LINDEAY W. : "A spatial model of urban stock and activity", *Regional studies*, vol. 3, 1969, pp. 281-312.
- (10). Nous avons eu connaissance récemment d'un modèle américain mis au point par la Data Resources Inc. simulant la production de logements neufs dans une optique assez proche de la nôtre. Mais ce modèle ne permet pas d'en prévoir la localisation. (Cf. *Economie et Industrie*, lettre trimestrielle de la Compagnie de Saint-Gobain Pont-à-Mousson, n° 3, septembre 1976).

- (11). Voir entre autres :
- MERLIN P. : *Méthodes quantitatives et espace urbain*, Masson et Cie, Paris, 1973.
  - MERLIN P. : "Modèles d'urbanisation", *Les cahiers de l'IAURP*, n° 31, 1968.
  - DERYCKE P.H. : *L'économie urbaine*, PUF, Paris, 1972.
  - RICHARDSON H.W. : *Urban Economics*, Penguin, 2<sup>ème</sup> éd, Londres, 1973.
- (12). On trouvera des exemples de recherches de cette équipe dans l'ouvrage édité par L. MARZIN et L. MARCH : *Urban space and structures*, Cambridge University Press, 1972 et 1975.
- Voit aussi les comptes rendus des colloques du LUEFS, en particulier:
- PERHAJON J. et BAXTER R. (ed.) : *Models, evaluations and information systems for planners*, LUEFS conference proceedings, n° 1, publié par MTP construction, Lancaster, 1974.
  - BAXTER R., ECHENIQUE M. et OWERS J. : *Urban development models*, LUEFS conference proceedings, n° 3, The construction press LTD, Lancaster, 1975.
- Ainsi que la revue *Environment and Planning*.
- (13). op. cit.
- (14). I.S. LOWRY : *A Model of Metropolis*, Rand Corporation, Santa Monica Californie, 1964.
- (15). Ce terme est employé dans un sens proche de celui d'espace construit.
- (16). M. ECHENIQUE : "Development of a Model of Urban Spatial Structure" dans *Urban Space and Structure*, op. cit., p. 203, notre traduction.
- (17). Cf. SCHWEIDER M. : "Gravity models and trip-distribution theory" *Papers and proceedings of the regional science association*, vol. 5, 1959.
- (18). Cf. ECHENIQUE M., op. cit.
- (19). HANSEN W.B. : "An approach to the analysis of metropolitan residential extension", *Journal of regional science*, vol. 3, 1961, pp. 37-55.

- (20). BOURNE L.S. : "A spatial allocation-land use conversion model of urban growth", *Journal of regional science*, vol. 9, 1969, pp. 261-272.
- (21). AYEBI M.A.O. : "A predictive model of urban stock and activity : 1 - Theoretical considerations", *Environment and planning, A*, vol.7, n° 8, 1975, pp. 965-972.  
"A predictive model... : 2 - Empirical development"  
*Environment and Planning A*, vol. 8, n° 1, 1976, pp. 59-77.
- (22). d'après KAIN J.F. et INGRAM G.K. : *The NBER simulation model as a theory of urban spatial structures*, preliminary draft, oct. 1972, National Bureau of Economic Research, New-York.
- (23). KAISER E.J. : "Locational decision factors in a producer model of residential development" - *Land economics*, vol. XLIV, n° 3, pp. 351-362.  
WEISS S.F., SMITH J.E., KAISER E.J., KENNEDY K.B. : *Residential developer decisions*, Center for urban and regional studies, University of North Carolina, 1974.
- (24). MUTH R.F. : "The spatial structure of the housing market", *Paper and proceedings of the regional science association*, vol. 7, 1961, pp. 207-220.
- (25). MILLS E.S. : "An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area", *American Economic Review*, may 1967, p. 196
- (26). C'est le cas d'un modèle récent de l'Université de Harvard, Cf. SPRECHER T. et BARAGUE B. : "Urbanization and Change", *Metropolis*, n° 8, août-septembre 1974, pp. 43-51.
- (27). KAIN J.F., INGRAM G.K. : op. cit., p. 21, notre traduction.
- (28). Centre d'Etude et de Recherche sur l'Aménagement Urbain.
- (29). TAIEB F. : *Modèle de développement spatial de l'agglomération lyonnaise*, rapport de synthèse, 1972, CERAU, Ministère de l'Équipement et du Logement.
- (30). op. cit., p. 3.

- (31). op. cit. p. 10.
- (32). Cf. BISSIERE R. (dir.) : Modèles urbains de localisation résidentielle, in : *Modèles mathématiques de répartition des populations urbaines*, C.R.U., Paris, 1974.  
Voir aussi : WILSON A.G. : *Entropy in urban and regional modelling*, Pion, Londres, 1970.
- (33). Cf. BISSIERE R., op. cit., pp. 66 et suivantes, voir aussi ce chapitre p. 319.
- (34). Source : - pour le taux du marché monétaire, le taux d'activité et l'indice de la PIB : *Tendances de la conjoncture*, n° 7, 15 juillet 1976.  
- pour les logements disponibles à la vente : *Point d'Appui, Rhône-Alpes*, n° 5, 1976 (valeur effective).
- (35). Cf. GOUX J.F. et ESSEVAZ-ROULET M. : *Compte-rendu d'une première exploration du marché immobilier de Lyon*, Saint-Etienne, Grenoble, Service Régional de l'Équipement, Lyon, 1972.