

# Transports en commun et représentation automatique

François PLASSARD

*Chargé de Recherches C.N.R.S.*

*Institut des Etudes Economiques - Université Lyon II*

L'accroissement des difficultés de circulation en milieu urbain ont conduit, ces dernières années, à un développement important des recherches sur ce thème, et pour donner une base solide à ces travaux, les divers organismes concernés procèdent à des recueils statistiques de plus en plus nombreux. On se retrouve alors face à une quantité d'informations souvent énorme dont il convient de dégager rapidement les données importantes. Depuis de nombreuses années, les représentations sous forme de cartes ou de graphiques ont permis de réaliser cette simplification de l'information, et le développement des techniques informatiques a facilité la tâche grâce aux procédures de représentation automatisées.

Jusqu'à présent la mise en œuvre de ces programmes de représentation automatique nécessitait le recours à des ordinateurs de grande taille, dont le coût d'utilisation élevé limitait à la fois le nombre de demandeurs potentiels et, pour ceux qui avaient la chance de disposer des machines et des programmes, la quantité des représentations demandées. L'avènement de la micro-informatique est de nature à bouleverser de fond en comble cette situation, car non seulement elle permet la réalisation, à un coût très réduit, d'un travail comparable à celui des grands ordinateurs, mais encore elle peut conduire à des représentations de qualité supérieure.

C'est à l'occasion d'une étude de transports réalisée par l'Institut des Etudes Economiques de Lyon, que nous avons mis au point une série de programmes de cartographie automatique associés à un calculateur Hewlett-Packard 9830. Dans l'ensemble des méthodes cartographiques existantes, les réalisations obtenues présentent le double avantage d'une automatisation beaucoup plus commode et d'une représentation plus souple et plus parlante.

C'est au cours des premiers mois de l'année 1977 que l'Institut des Etudes Economiques de Lyon a réalisé pour le compte de la S.E.M.A.L.Y. un recensement des déplacements en transports en commun à l'heure de pointe du soir<sup>(1)</sup>. Des enquêtes identiques avaient déjà été réalisées en 1970 et 1973. L'ensemble de l'agglomération lyonnaise avait été découpé en 141 zones, et à l'issue du dépouillement, on disposait pour chaque individu recensé des renseignements suivants : description des trajets effectués avec mention des différentes lignes éventuellement empruntées et des zones où s'étaient effectuées les correspondances, motif à l'origine et à la destination du déplacement. Ces motifs étaient limités à quatre : domicile, travail, école, et autres motifs.

Pour les quelques 97.000 individus recensés, on dispose donc d'une quantité d'informations considérable qu'il faut simplifier pour la rendre parlante. Il est certes possible de donner de ces déplacements une représentation sous forme de matrices origine-destination de taille 141 x 141, mais cette représentation, bien qu'indispensable, est peu utilisable pour dégager la structure des déplacements en transports en commun. C'est pourquoi des représentations graphiques ont été utilisées. On peut alors envisager deux techniques de représentation, l'une sous forme de flux, l'autre sous forme de cartes de l'agglomération lyonnaise.

Deux obstacles apparaissent alors, le premier d'ordre technique, le second d'ordre financier. Dès qu'il s'agit de représenter graphiquement des phénomènes quelconques, tout le monde sait que le mode de représentation retenu influe sur les conclusions que l'on peut en tirer : ce sont des problèmes bien connus de sémiologie graphique. Il apparaît donc souhaitable de pouvoir procéder à plusieurs types de représentation, de façon à éliminer autant que possible les biais d'interprétation. Mais la seconde difficulté surgit alors : les représentations cartographiques demandent du temps pour être menées à bien, et il n'est pas toujours possible de s'offrir le luxe de choisir entre de nombreuses maquettes cartographiques. Les procédures de dessin automatique ont rendu possible la réalisation d'un nombre important d'ébauches en un temps réduit et à un coût insignifiant, nous permettant ainsi de retenir celles qui semblaient le mieux mettre en évidence certaines structures des déplacements.

## 1 - LA REPRESENTATION DES FLUX.

L'usage d'un traceur permet la représentation des diagrammes de charge par ligne. Plutôt que de retenir la présentation linéaire traditionnelle de ceux-ci, il est possible de les tracer de telle façon qu'ils se superposent à fond de carte préalablement choisi, à condition de prévoir une représentation simplifiée du réseau T.C. correspondant à ce plan. C'est le choix que nous avons retenu pour l'agglomération lyonnaise, en construisant un graphe simplifié du réseau de transports en commun à partir d'une carte au 1/50 000.

Les programmes de traçage mis au point ne comportent pas d'originalité particulière, par rapport à ceux disponibles habituellement sur traceur. Ils ont simplement été adaptés à partir de programmes que nous

---

(1) Nous tenons à remercier Monsieur Herve CHAINE, de la S.E.M.A.L.Y., qui nous a autorisé à faire état des résultats de l'enquête dans cet article.

avions déjà réalisés pour du matériel Benson asservi à un ordinateur C.I.I., pour tenir compte des particularités de l'imprimante à impact H.P. 9861A.

De cette façon, le graphique de la charge du réseau total à l'heure de pointe du soir a pu être obtenu (carte n° 1). La lecture permet d'en tirer des conclusions d'autant plus intéressantes qu'on peut le comparer à celui de 1973. On constate alors que les flux les plus importants se situent dans la presqu'île, entre Rhône et Saône, et sur les grands axes Ouest-Est en direction de l'Est lyonnais qui a connu une forte urbanisation. L'étude de ce graphe, jointe à celle des diagrammes de charge par ligne qui ont été obtenus par la même technique, permet une bonne approche des déplacements T.C. à l'heure de pointe du soir.

Les travaux et les résultats que nous venons de décrire n'ont rien en soi de très original. On ne saurait toutefois trop insister sur l'intérêt d'une telle procédure qui rend totalement compatibles les graphiques et les résultats chiffrés des diverses enquêtes, sans que puisse intervenir d'erreur au moment de l'établissement des graphiques. Mais le grand nombre de résultats de l'enquête 1977 concernant les diverses zones de l'agglomération a conduit à élaborer une méthode de cartographie automatique originale.

## 2 - LA CARTOGRAPHIE DES RESULTATS PAR ZONE.

A l'issue de l'enquête, nous disposions d'un nombre impressionnant de renseignements pour chacune des 141 zones qui constituaient l'agglomération lyonnaise. Il aurait été certes possible de publier les tableaux de chiffres correspondant à ces résultats, mais il est bien évident que la représentation cartographique est plus efficace pour mettre en évidence la structure des déplacements. Nous avons, pour cela, mis au point une méthode qui, à notre avis, ne présente pas certains inconvénients des programmes de cartographie existants. Nous nous sommes heurté toutefois aux problèmes classiques que pose toute représentation graphique dès qu'il faut établir des classes dans l'ensemble des valeurs à représenter. C'est à l'aide de deux exemples de cartes réalisées pour la publication des résultats de l'enquête que nous allons préciser les avantages de la méthode proposée et les solutions possibles à l'épineuse question du choix des classes.

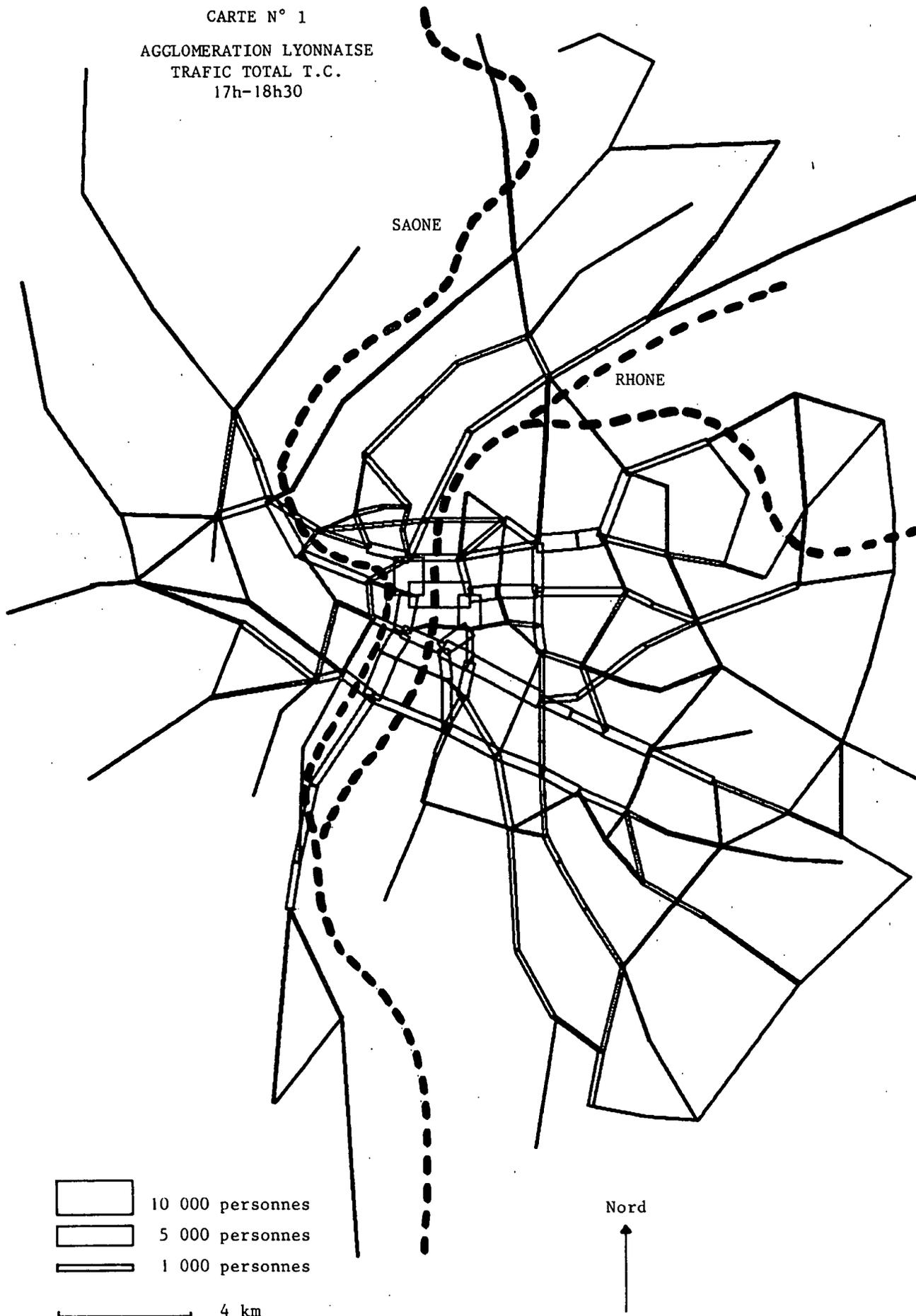
### 2.1 - La représentation cartographique mise au point.

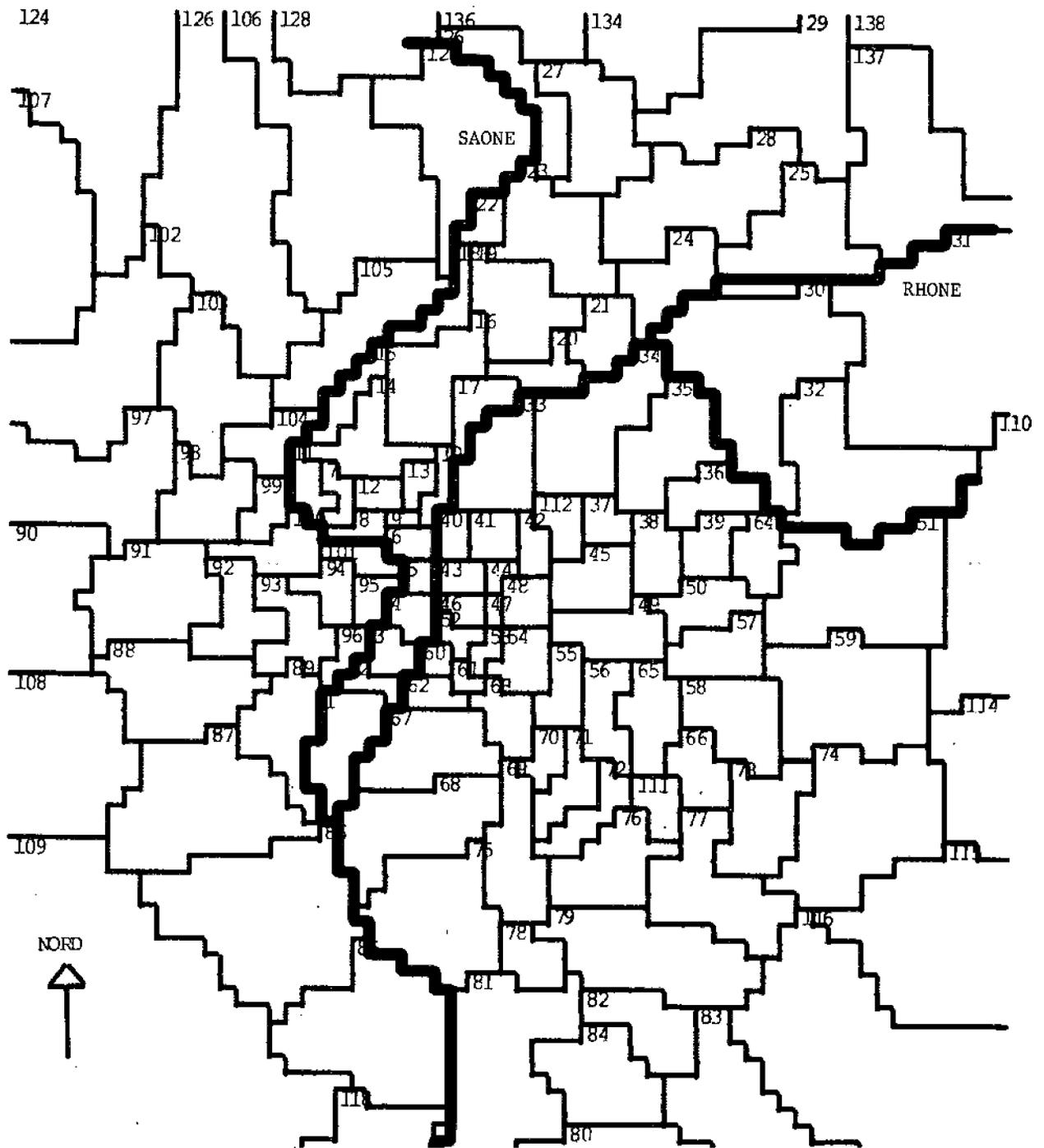
Les méthodes de cartographie disponibles actuellement sur les gros ordinateurs reposent sur un découpage de l'espace à représenter en zones dont chacune correspond à la surface occupée par un caractère sur un listing d'ordinateur (2). Pour établir une carte, il suffit d'affecter à chacune de ces zones une densité de noir variable en superposant divers caractères. Les caractères à retenir et à superposer éventuellement sont bien connus, mais on s'accorde aussi pour reconnaître qu'on ne peut faire figurer plus de cinq à six nuances différentes si l'on veut que l'observateur les distingue aisément. En outre, il est impossible d'obtenir une représentation à une autre échelle qu'à l'échelle originale, à moins de réaliser des réductions par procédé photographique ou par photocopie, et la trame que forment les caractères demeure relativement grossière, sauf dans les cas où la carte définitive résulte d'une forte réduction du listing original.

(1) C'est le plus souvent un rectangle de 1/6 de pouce de hauteur, et de 1/10 de pouce de largeur.

CARTE N° 1

AGGLOMERATION LYONNAISE  
TRAFIC TOTAL T.C.  
17h-18h30





CARTE N°2

La méthode mise au point pour le matériel Hewlett-Packard est identique à la méthode usuelle dans son point de départ, puisque l'espace à représenter est toujours découpé en zones élémentaires. Mais les caractéristiques de la machine permettent de retenir des dimensions quelconques pour ces carrés ou ces rectangles. Dans l'exemple présenté, l'agglomération lyonnaise a été découpée en carrés de 1 cm de côté à partir d'une carte au 1/25 000. Chacune des 141 zones de l'agglomération est donc en fait la réunion d'un ensemble de carrés, comme le montre la carte n° 2. A chacune des zones de l'agglomération est affectée la valeur de la variable à représenter. Les caractéristiques de l'imprimante utilisée ont permis la réalisation d'un procédé qui associe à chaque valeur une trame de points de densité variable. Comme on le constate sur les cartes jointes, on échappe donc totalement à la sujétion des caractères. De plus, cette technique se prête immédiatement à une représentation à une échelle quelconque, évitant le recours à un procédé de réduction pour amener la carte au format ou à l'échelle désirée.

Mais l'utilisation de trames, fussent-elles obtenues par un procédé automatique, pose des difficultés que connaissent bien tous les cartographes. Deux solutions peuvent être retenues, l'une qui consiste à choisir une trame de densité continuellement variable en fonction des valeurs à représenter, l'autre qui repose sur une partition en classes des différentes zones et sur l'affectation d'une trame unique à toute la classe. Toutes deux présentent des avantages et des inconvénients : la première est plus fidèle aux particularités mais masque les continuités en raison des raccords de trame, et contraint en outre à se donner une fonction de passage de la valeur de la variable à celle de la densité ; la seconde met bien en évidence les continuités, mais masque les particularités et pose le redoutable problème du choix des classes.

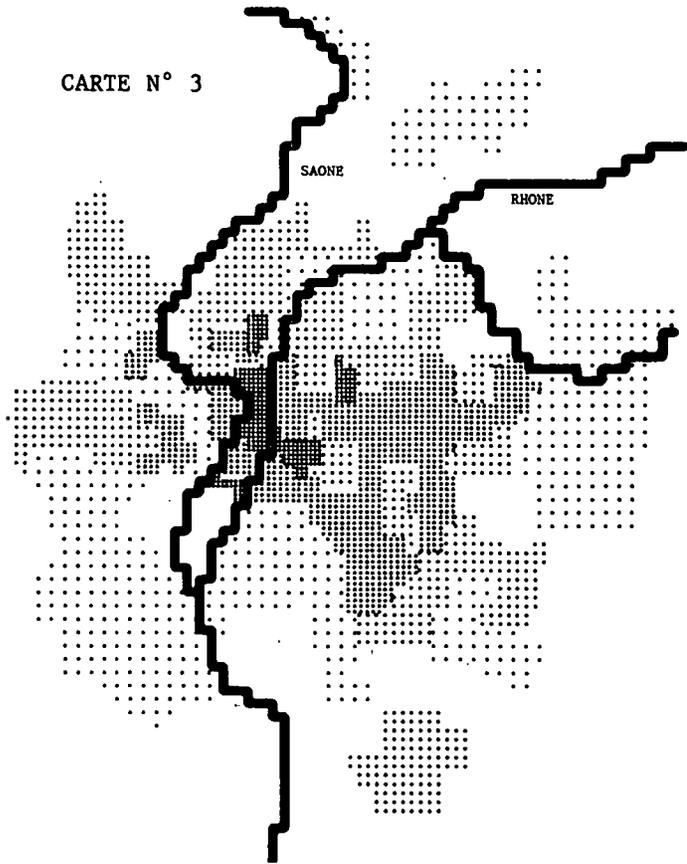
Pour la présentation de l'enquête transports en commun mentionnée, la seconde solution a été retenue. La représentation des origines et des destinations des déplacements (appelées émissions ou réceptions) permet de dégager quelques grandes conclusions (cartes n° 3 et 4). On constate que la majorité des déplacements se réalise dans la zone d'habitat dense de l'agglomération, correspondant à la pointe sud de la presqu'île, entre Rhône et Saône, et aux quartiers situés à l'est du Rhône (Part-Dieu, Villeurbanne). Les déplacements ont leur origine et leur destination dans cette zone. Pour l'essentiel, il ne s'agit donc pas d'un trafic du centre vers la périphérie, ou de la périphérie vers le centre. Au contraire, les zones centrales qui sont génératrices du plus fort trafic sont aussi celles qui reçoivent le plus grand nombre de déplacements. Au-delà de cette zone, l'importance du trafic en transports en commun décroît très rapidement pour devenir insignifiante lorsque l'on atteint la périphérie. Ces conclusions appellent des nuances en fonction des autres résultats de l'enquête, tels les taux de correspondance et les motifs de déplacement (1).

## 2.2 - Les difficultés d'interprétation inhérentes à la représentation

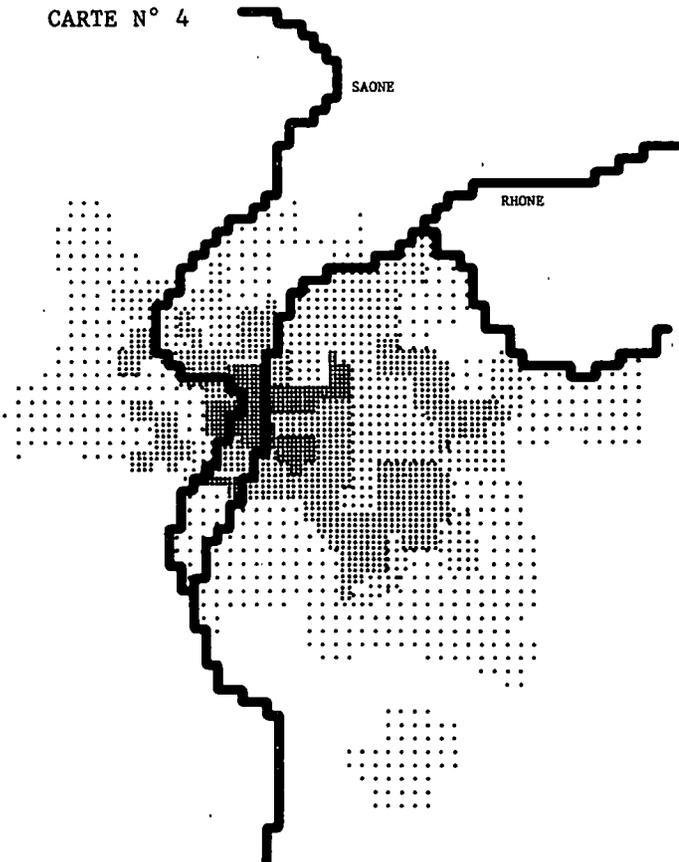
Le type de représentation choisie n'est pas exempt de défauts, et dans les cartes publiées (n° 3 et 4), la détermination des limites de classe est davantage le résultat d'un compromis que l'application de règles précises. Mais il est évident que la variation de ces limites peut conduire à des conclusions quelque peu différentes. Pour le montrer,

(1) Pour des résultats détaillés, voir "Les flux de transport en commun dans l'agglomération lyonnaise en 1977". Institut des Etudes Economiques, 16, quai Claude Bernard - 69007 LYON.

CARTE N° 3



CARTE N° 4



nous avons retenu six exemples de représentation des mêmes données, à savoir les déplacements en fonction de leur zone d'origine (carte n° 3): les quatre premiers exemples sont fondés sur une répartition en classes (exemples 1 à 4), les deux derniers sur une représentation en continu (exemples 5 et 6). Certaines caractéristiques de ces diverses représentations sont reportées en annexes.

Exemple 1 - (carte n° 5)

Cette partition en classes est celle qui a été retenue pour la publication du rapport sur "les flux de transport en commun dans l'agglomération lyonnaise". Elle repose sur quelques hypothèses simples : le nombre maximal de classes a été limité à cinq pour favoriser une meilleure lisibilité de la carte : les limites de classes ont été choisies de façon à bien mettre en évidence les zones à trafic très faible (en blanc) et les zones à très fort trafic. Ce choix correspond donc à la détermination, dans la série des valeurs à représenter, de cinq paquets aussi typés que possible. Il faut alors souligner que les algorithmes bien connus de classification automatique peuvent aider à réaliser cette partition en un nombre de classes souhaité (Annexe 1).

Exemple 2 - (Carte n° 6)

En l'absence de toute information sur la structure à mettre en évidence, on peut chercher une méthode qui permette d'obtenir des classes en toutes circonstances. Une des solutions consiste à classer les zones par valeurs croissantes ou décroissantes de la variable à représenter et à constituer ensuite des classes d'effectifs égaux. Cette répartition en quintiles donne une carte très différente de la précédente dans la mesure où elle regroupe dans la classe supérieure des zones très différentes quant à l'importance du trafic transport en commun. Et à l'autre extrémité de la distribution, elle contraint à considérer comme différentes des zones très semblables par une quasi absence de trafic transport en commun (Annexe 1).

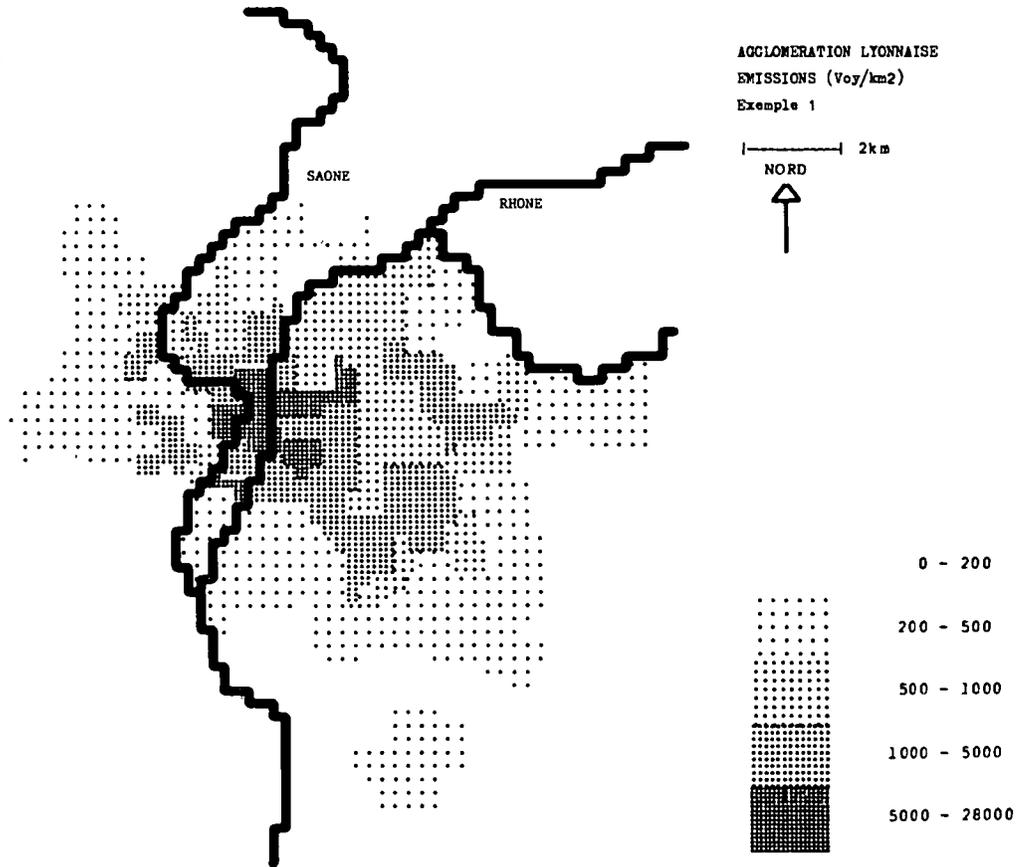
Exemple 3 - (Carte n° 7)

Au lieu de partager l'échantillon en classes d'effectifs égaux, comme nous venons de le faire dans l'exemple précédent, on peut aussi constituer les classes en partageant l'intervalle de variation de la variable à représenter en cinq parties égales. Cette technique de constitution des classes est d'autant plus pertinente que la distribution de la variable est proche d'une distribution uniforme. Dans le cas contraire, comme dans cet exemple, cette solution conduit à la constitution de classes vides et concentre presque toutes les observations dans une seule classe (Annexe 1).

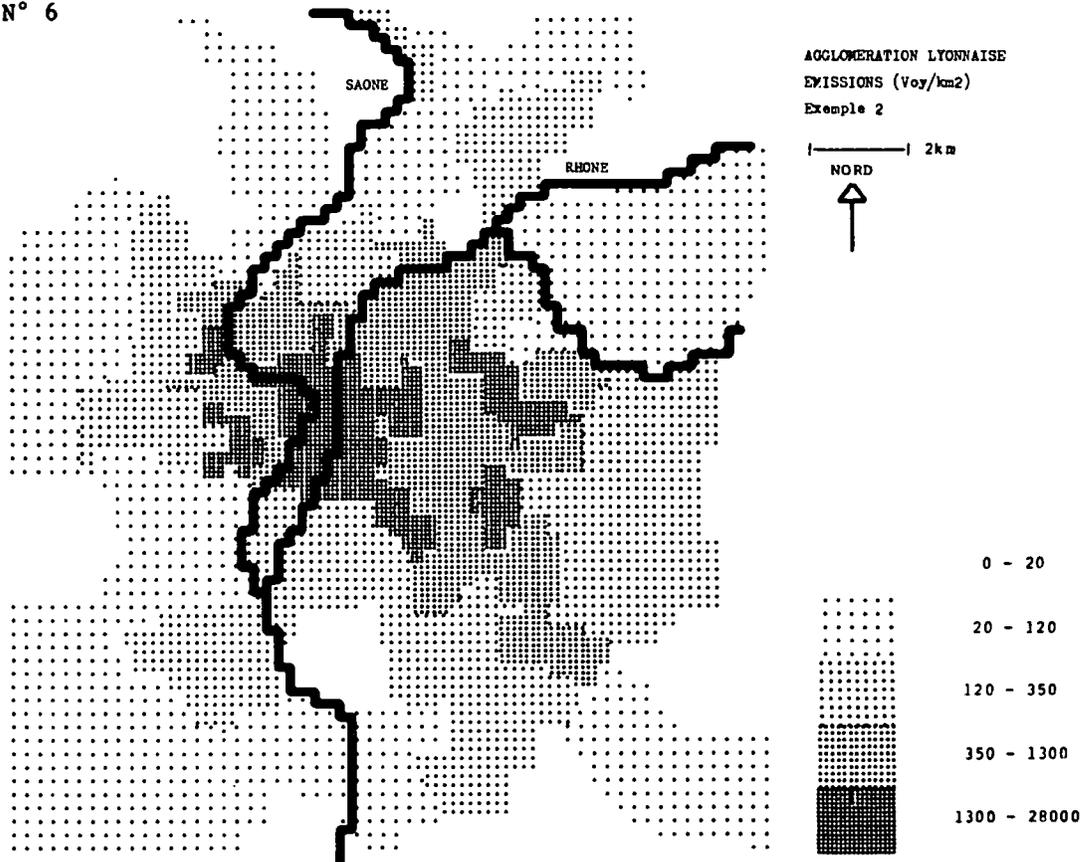
Exemple 4 - (Carte n° 8).

Pour éviter les aberrations auxquelles conduit la méthode précédente, on peut recourir aux logarithmes. En effet, la constitution de classes fondée sur un découpage en parties égales de l'intervalle de variation exprimé en logarithmes, conduit à une représentation plus détaillée des classes inférieures et à un regroupement des valeurs très fortes. Cette représentation, qui n'est d'ailleurs pas très éloignée de celle de l'exemple 1, correspond beaucoup mieux à la nature du phénomène à représenter (Annexe 1).

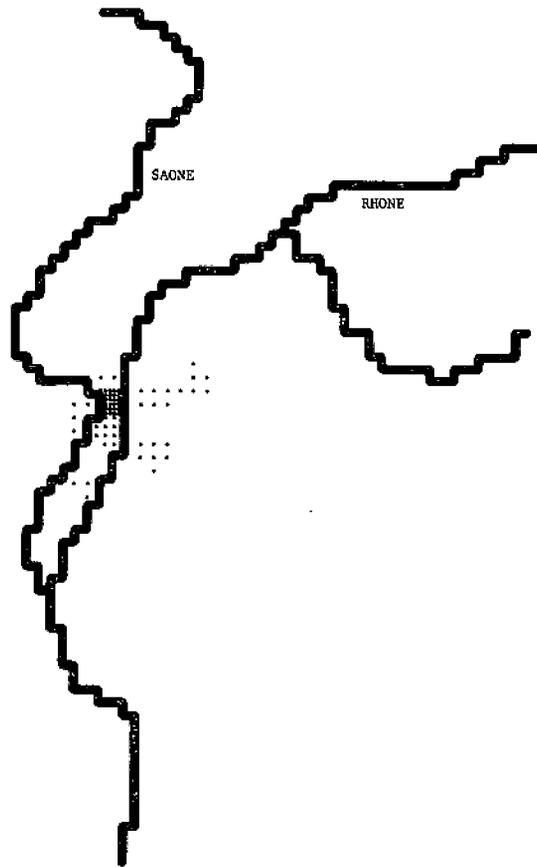
CARTE N° 5



CARTE N° 6



CARTE N° 7



AGGLOMERATION LYONNAISE  
EMISSIONS (Voy/km<sup>2</sup>)  
Exemple 3

2 km

NORD



0 - 5400

5400 - 10800

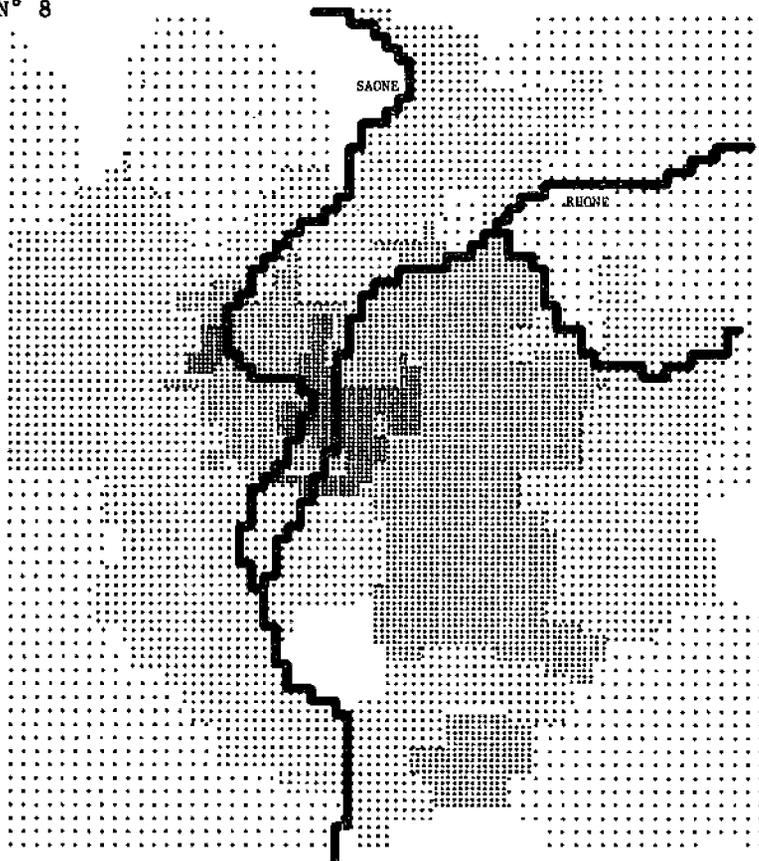
10800 - 16200

16200 - 21600

21600 - 28800



CARTE N° 8



AGGLOMERATION LYONNAISE  
EMISSIONS (Voy/km<sup>2</sup>)  
Exemple 4

2 km

NORD



0 - 3

3 - 28

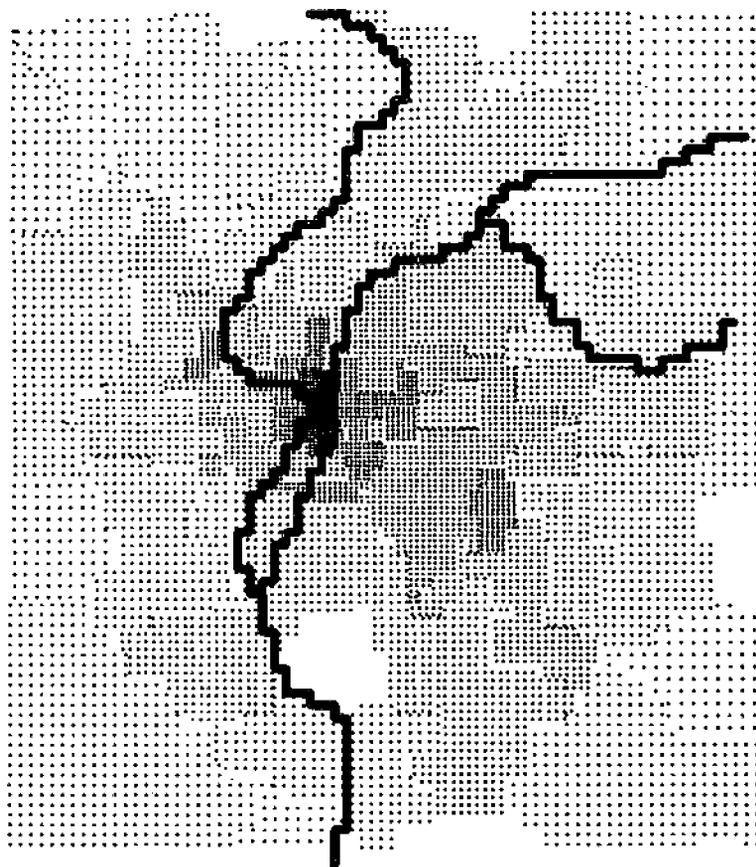
28 - 280

280 - 2800

2800 - 28000



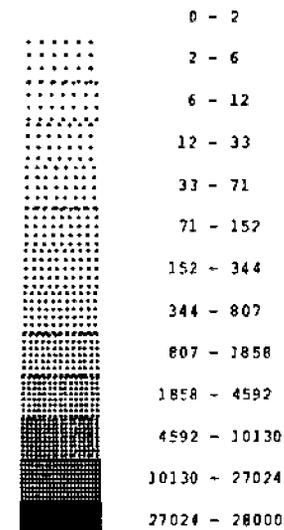
CARTE N° 9



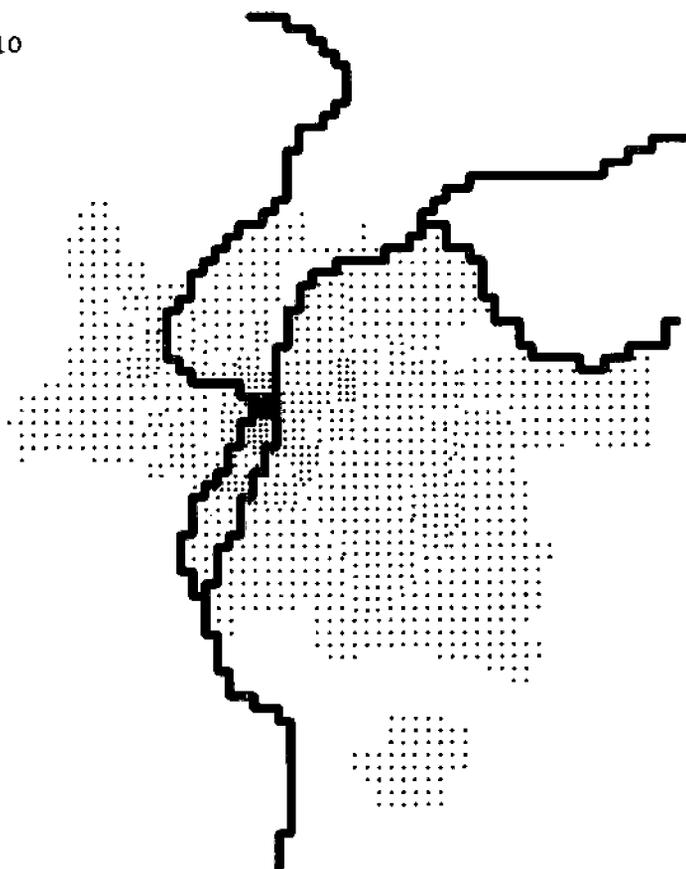
AGGLOMERATION LYONNAISE  
EMISSIONS (Voy/km<sup>2</sup>)  
Exemple 5

2km

NORD



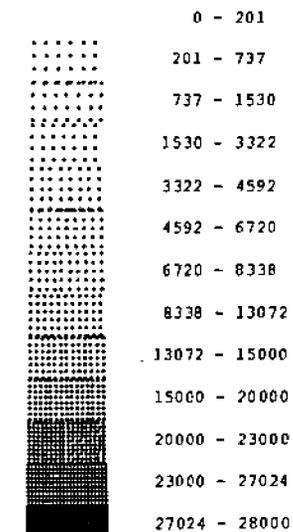
CARTE N° 10



AGGLOMERATION LYONNAISE  
EMISSIONS (Voy/km<sup>2</sup>)  
Exemple 6

2km

NORD



Exemple 5 - (Carte n° 9)

Pour les deux derniers essais, la partition en classes a été abandonnée au profit d'une représentation du phénomène en continu qui associe directement à la valeur à représenter  $x$  une densité qui lui soit proportionnelle. En réalité, cette procédure conduit quand même à une partition en classes, mais beaucoup plus nombreuses. En effet la distance d'entre deux points de la trame ne peut varier que par valeurs entières qui correspondent au nombre de sauts physiques que doit faire la machine pour passer d'un point à un autre ; l'espacement minimum entre deux points est de 1/120 pouce, soit une précision maximale de l'ordre du cinquième de millimètre. Le noir absolu correspond à un pas machine de 3, et nous n'avons pas dépassé la valeur de 15 pour l'établissement d'une trame, car au-delà de cette valeur, il n'est plus possible de distinguer deux trames dont la différence de pas est égale à l'unité. Dans cet exemple, pour les raisons précisées dans l'exemple 4, nous avons choisi une fonction de passage de forme logarithmique, où INT désigne la partie entière :

$$d = 15 - \text{INT} \left( 1,2 \log (x + 1) \right)$$

Les renseignements concernant les bornes et les effectifs associés à chaque trame sont présentés dans l'annexe 2.

Exemple 6 - (Carte n° 10).

Une autre fonction de transformation a été testée dans cet exemple. En raison de la nature de la variable à représenter, qui comporte de très fortes valeurs en nombre réduit, nous avons calculé la valeur de la trame en fonction de la racine carrée de la variable. Pour maintenir le pas de la trame dans les bornes souhaitées, la fonction de transformation a été définie comme suit :

$$d = 15 - \text{INT} (\sqrt{x}/13)$$

Comme pour l'exemple précédent, les données chiffrées sont reportées en annexe 2.

Au terme de cette présentation sommaire de ces six types de représentation de l'origine des déplacements dans l'agglomération lyonnaise à l'heure de pointe du soir, certaines conclusions se dégagent de cette expérimentation. Tout d'abord, il convient de ne pas donner à celle-ci un but qui n'était pas le sien : nous n'avons pas, à travers ces exemples, cherché par tâtonnement une partition des résultats qui aboutirait à une représentation efficace au plan visuel. Nous pensons avoir montré qu'il n'existe pas, sauf cas extrêmes comme l'exemple n° 3, de bonne ou de mauvaise représentation, mais seulement des représentations différentes qui conduisent à des interprétations elles aussi diverses. Quelle carte retenir alors ? Pour répondre à cette question, nous proposerons la distinction entre cartes de travail et documents de publication, et c'est alors que l'apport de la représentation automatique rapide et peu onéreuse est irremplaçable. Il est possible en effet, à l'aide de ces techniques, de réaliser un nombre plus ou moins important d'ébauches fondées sur des hypothèses variées, de proposer des hypothèses d'interprétation à partir de ces diverses cartes, et de modifier au besoin les représentations (limites de classes, densité des trames,...) pour confirmer les hypothèses. Une fois retenus les caractères considérés comme explicatifs du phénomène, alors seulement la carte destinée à la publication pourra être obtenue, car elle visera à produire sur le lecteur une impression telle qu'il soit conduit à considérer l'explication proposée comme pertinente.

Dans la mesure où le résultat important de l'enquête concernant les origines et les destinations des déplacements nous paraissait être que seul un nombre restreint de zones de l'agglomération lyonnaise était concerné, la carte présentée dans l'exemple n° 1 était celle qui, pour nous, représentait le mieux le phénomène. Si une autre interprétation avait été proposée, il aurait fallu retenir une autre représentation.

Enfin, quelques conclusions d'ordre technique s'imposent avec évidence. Les cartes utilisant une représentation en continu du phénomène apportent une représentation plus fine du phénomène, mais moins claire à l'œil ; il semble donc qu'il faille les réserver plutôt aux cartes de travail. Mais d'un autre côté, la lisibilité d'une carte est d'autant plus grande que les trames sont en nombre restreint et aussi différentes que possible les unes des autres ; la cartographie de quelques classes bien choisies devrait alors être réservée à l'illustration d'une hypothèse explicative.

### 2.3 - Des solutions possibles.

Devant les difficultés et les incertitudes que nous venons d'évoquer, deux attitudes sont possibles. La première conduirait soit à faire comme si elles n'existaient pas en se rassurant dans des pratiques héritées du passé, soit à renoncer à une recherche dans le domaine de la représentation sous prétexte que rien ne sera parfait. La seconde consiste à considérer les différences de représentation comme étant elles-mêmes une source d'information supplémentaire. Il est ainsi possible de dépasser la difficulté - et c'est l'objet de nos recherches actuelles - en introduisant dans ce schéma une troisième dimension : le temps. En effet, si l'on ne considère que deux classes, l'une regroupant toutes les zones dont la valeur de la variable à représenter est supérieure à une borne donnée, et l'autre regroupant toutes les zones restantes, on obtient une cartographie en "noir et blanc". En faisant varier de façon continue la valeur de la limite entre les deux classes, on obtient un grand nombre de cartes que l'on peut enchaîner les unes aux autres par un procédé d'animation (cinéma, magnétoscope, écran cathodique relié à un ordinateur, ..). On découvrira alors que la zone sombre s'étend progressivement sur la totalité de l'agglomération, mais à des vitesses variées dans l'espace, et en prenant des formes intermédiaires elles-mêmes révélatrices du phénomène.

Malheureusement, en dépit de l'intérêt que présente une telle présentation animée, il n'est pas possible de faire partager davantage au lecteur l'information supplémentaire que donne le mouvement, en raison des limites mêmes de la technique typographique que nous cherchons à dépasser.

Annexe 1 - VALEURS CARACTERISTIQUES DES CLASSES.

Classe	Limites des classes				Effectifs			
	Ex.1	Ex.2	Ex.3	Ex.4	Ex.1	Ex.2	Ex.3	Ex.4
1	0	0	0	0	67	29	131	13
2	200	20	5400	3	23	29	8	22
3	500	120	10800	28	16	26	1	44
4	1000	350	16200	250	25	28	0	45
5	5000	1300	21600	2800	10	29	1	17
	28000	28000	28000					

Annexe 2 - VALEURS ASSOCIEES AUX DIVERSES TRAMES.

Pas machine	Limites de classes		Effectifs	
	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 5	Ex. 6
Blanc	0	0	11	67
14	2	201	5	30
13	6	737	7	18
12	12	1530	12	9
11	33	3322	13	5
10	71	4592	16	5
9	152	6720	19	2
8	344	8338	17	3
7	807	13072	20	1
6	1858	-	9	0
5	4592	-	9	0
4	10130	-	2	0
3	27024	27204	1	1
	27024	27024		