MAPPE MONDE 87/3

Représentation des flux en CAO*

Elisabeth RENAULT**

RESUME La technologie offerte par l'informatique graphique permet un regard neuf sur un domaine particulier de la cartographie : la représentation des flux. Plusieurs exemples montrent quelques-unes des possibilités envisagées dans la conception d'un logiciel spécialisé.

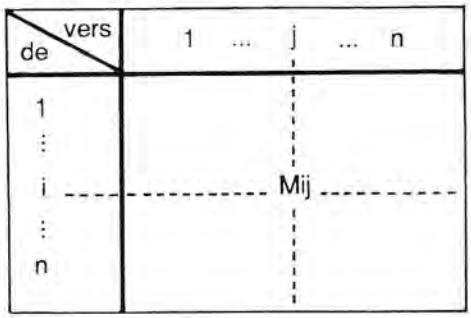
• CARTOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR • FLUX • FRANCE • INTERACTIONS SPATIALES • REPRESENTATION GRAPHIQUE

ABSTRACT Computer assisted cartography opens a new field of research in flow representation. Examples show a few of the possibilities considered in the conceiving of a specialized software.

• COMPUTER ASSISTED CARTOGRAPHY • FLOW • FRANCE • GRAPHIC DESIGN • SPATIAL INTERACTIONS

RESUMEN La tecnología facilitada por la informática gráfica permite una visión nueva sobre un campo particular de la cartografía : la representacíon de los flujos. Varios ejemplos muestran algunas de las posibilidades consideradas en la concepción de un logicial especializado.

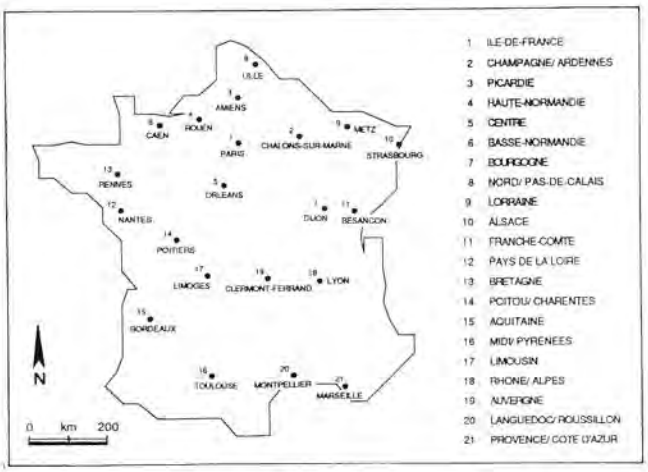
• CARTOGRAFIA ASISTADA POR ORDENADOR • FLUJO • FRANCIA • INTERACCIONES ESPACIALES • REPRESENTACION GRAFICA



1. Exemple d'un tableau de mouvements (M_{ij}) d'origine (i) à destination (j)

La représentation des flux demeure encore, à l'heure actuelle, un domaine de la cartographie où la recherche et l'innovation se placent en retrait d'une production qui véhicule bon nombre de conventions plus ou moins justifiées. Une raison primordiale à cela réside dans les difficultés techniques rencontrées jusqu'à présent pour réaliser les cartes de ce type : la complexité qu'elles recouvrent souvent nécessite en effet une mise en œuvre qui a lieu de décourager l'examen de plusieurs solutions. Désormais, la rapidité d'exécution qui caractérise l'assistance informatique ouvre l'accès à un large champ d'expérimentation. W.R. Tobler a été parmi les premiers à envisager, par ce biais, le renouvellement des conceptions traditionnelles en ce domaine (Tobler, 1976). D'un point de vue opérationnel, sa recherche a donné lieu à l'élaboration de différents programmes (1). Ceux-ci constituent le support technique d'un logiciel de cartographie des flux dont nous avons, pour notre part, entrepris la création(2).

Ainsi, dans un premier temps, avons-nous procédé à l'adaptation du programme permettant de cartographier les flux par la méthode usuelle des bandes et flèches proportionnelles (Tobler, 1979). Nous faisons ici état du stade atteint actuellement, qui constitue une approche provisoire des aspects à traiter : nous



2. La France et ses capitales régionales (Corse exceptée) : carte de référence

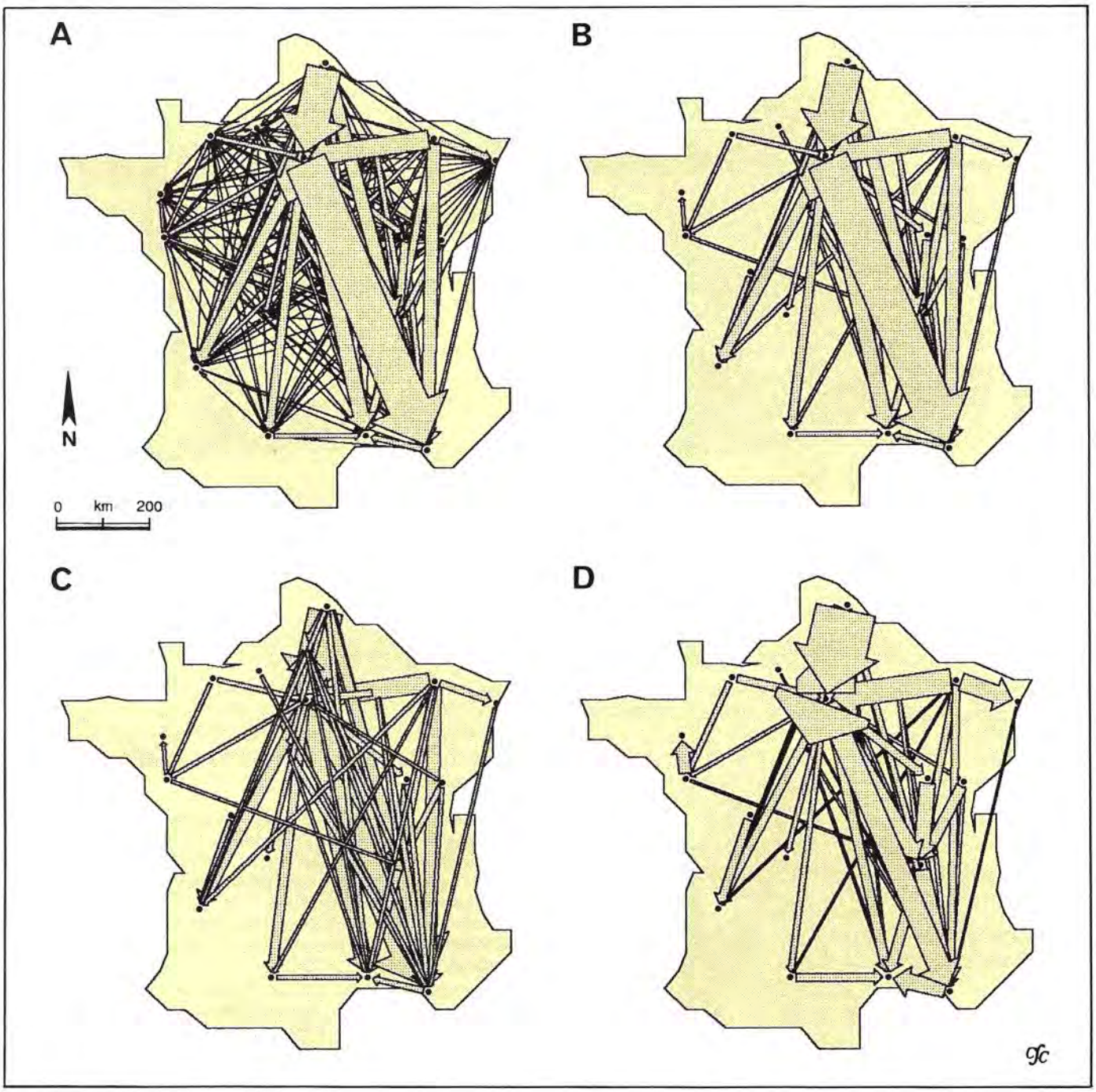
présentons d'abord une description sommaire de la procédure, dégageant les principales possibilités techniques et méthodologiques que nous sommes en mesure d'effectuer dès à présent. Celles-ci sont ensuite illustrées par des applications thématiques avec deux échelles distinctes d'analyse et de représentation.

Aspects techniques et méthodologiques

Partant de mouvements bruts répartis entre un ensemble de lieux et présentés dans un tableau « origines-destinations » (fig. 1), le traitement est déterminé par plusieurs options. Globalement, celles-ci interviennent à deux niveaux :
- d'une part, la sélection et la transformation des données
- d'autre part, les procédés graphiques utilisés.

Concernant la première étape, se poseront successivement les choix suivants :

* Cartographie assistée par ordinateur.
** Sous la direction de C. Cauvin et de H. Reymond (Laboratoire de Géographie Théorique de Strasbourg).



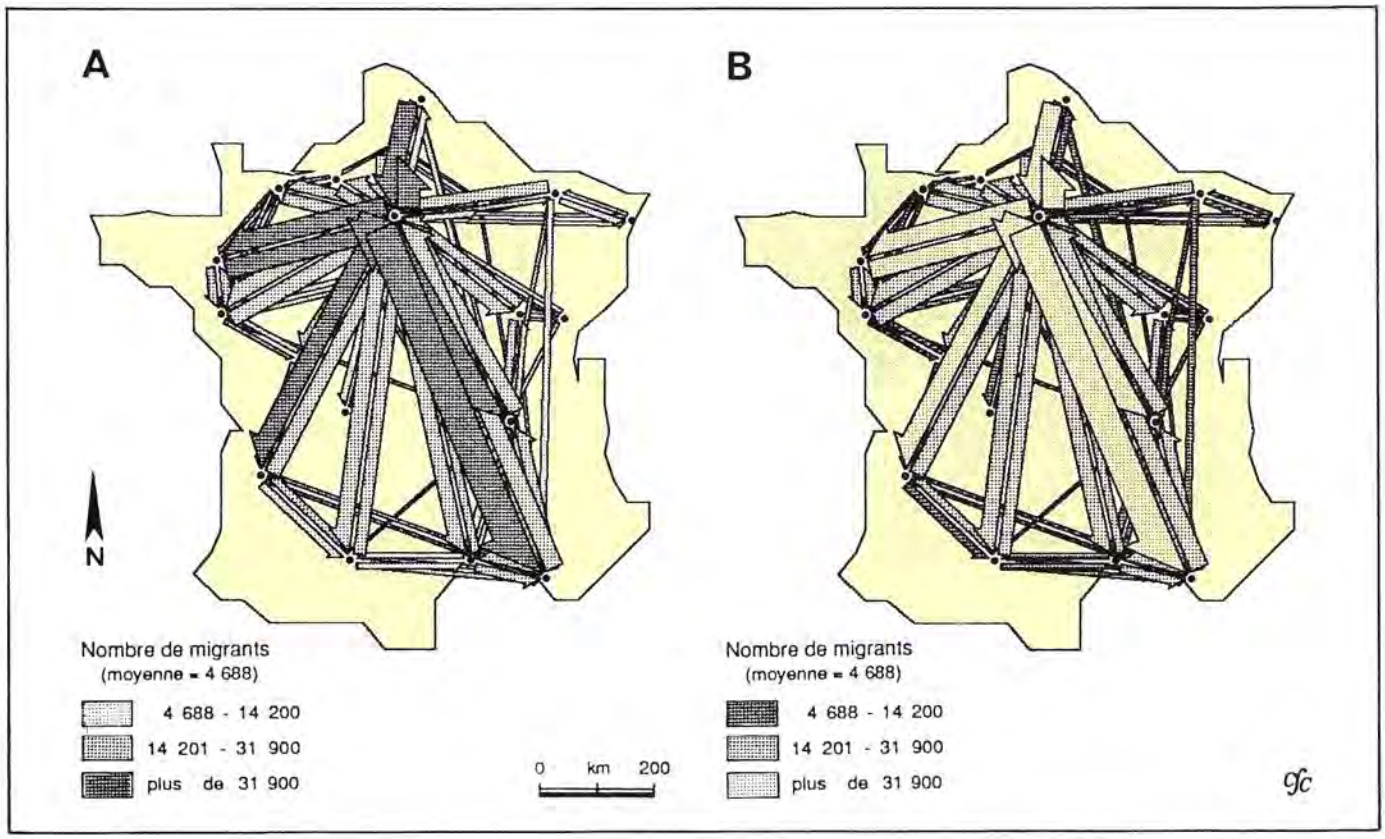
3. Migrations interrégionales en France. Représentation des flux nets

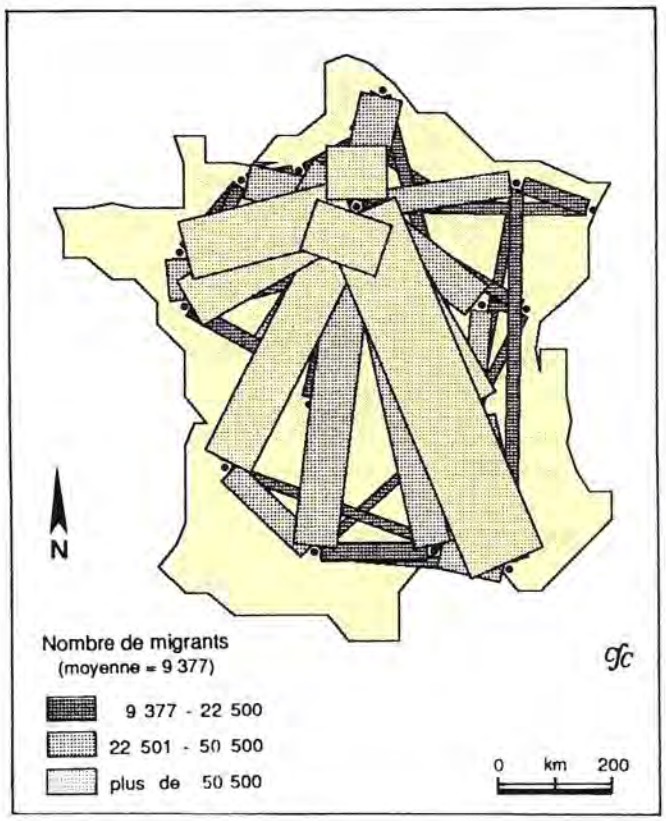
3.A Tous les flux sont figurés, les plus importants étant superposés aux plus faibles. Le remplissage des flèches est identique pour tous les flux et les largeurs sont proportionnelles à leurs volumes (les traits continus orientés correspondent aux flux trop petits pour être dessinés par ce procédé, compte tenu de la largeur attribuée au départ au flux maximal). Une dizaine de flux seulement ressort nettement sur le mouvement total.

3.B Les options graphiques précédentes sont conservées, mais les flux inférieurs à la moyenne de la distribution ne sont pas pris en compte : malgré cette restriction, l'essentiel du mouvement semble pourtant décrit.

3.C Par rapport à la carte 3.B, l'ordre de superposition graphique des flux est inversé : l'image obtenue perd en lisibilité. Notons que ce résultat vient à l'encontre de l'idée généralement acceptée selon laquelle il est préférable d'interrompre les symboles (par exemple les cercles) les plus grands pour faire apparaître les plus petits.

3.D Toujours par rapport à la carte 3.B, ce sont ici les surfaces des flèches et non plus leurs largeurs qui expriment la proportionnalité aux volumes des flux. De ce fait, des flux échangés entre deux régions éloignées deviennent beaucoup plus étroits. Visuellement, il s'ensuit une certaine ambiguïté entre la taille de la flèche et l'importance du flux, mais il peut être intéressant d'approfondir cette nouvelle logique en considérant, par exemple, l'influence de la distance relativement au phénomène étudié.





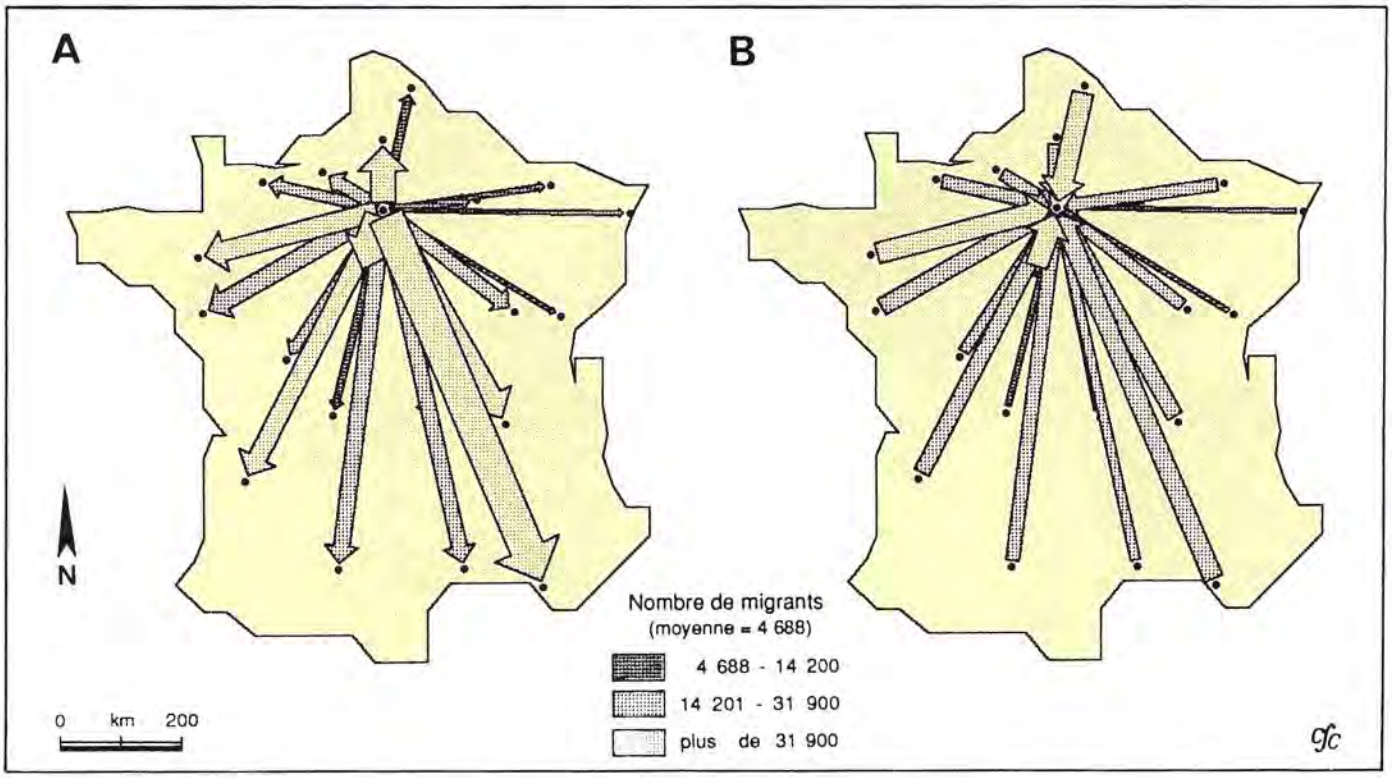
4. Migrations interrégionales en France. Représentation des flux bi-directionnels (ci-dessus)

4.A A ce type de flux correspond une nouvelle forme de flèches : elles sont asymétriques et montrent, dans chaque direction, les flux échangés entre une paire de lieux. On n'a conservé que les flux supérieurs à la moyenne de la distribution, les plus importants étant superposés aux plus faibles. Le remplissage des flèches est ordonné selon trois classes (transformation par racines carrées). Un effet de redondance est réalisé entre la proportionnalité des largeurs et la valeur des grisés, en attribuant ceux-ci, du plus sombre au plus clair, respectivement aux classes supérieure, intermédiaire, inférieure.

4.B Par rapport à la carte 4.A, l'ordre des grisés est inversé : il y a maintenant divergence entre les procédés graphiques utilisés pour traduire l'importance des flux. Le mouvement global est rendu plus explicite que sur la carte précédente, elle-même conforme aux conventions ; cependant, l'imbrication des flèches, accentuée par le dédoublement des flux, donne à l'ensemble une image encore confuse.

5. Migrations interrégionales en France. Représentation des flux cumulatifs (ci-contre)

Seuls apparaissent les flux supérieurs à la moyenne de la distribution, les plus importants étant superposés aux plus faibles. Les flèches sont remplacées par des bandes (non directionnelles) dont le remplissage est ordonné selon trois classes, le grisé le plus clair correspondant aux flux les plus élevés. Les largeurs des bandes sont proportionnelles aux volumes des flux.



6. Migrations interrégionales en France. Sélection d'une région

Les flèches symétriques sont reprises ici, pour décrire en deux cartes, d'une part les flux d'émigrants (A), d'autre part les flux d'immigrants (B) rattachés à la région Ile-de-France. La totalité des flux est représentée, avec largeurs proportionnelles et remplissage ordonné selon trois classes (comparer à la carte 4.B).

• soit conserver l'ensemble de la matrice initiale, soit isoler la ligne ou la colonne correspondant à un lieu particulier.

• considérer les mouvements donnés tels quels (nous parlerons alors de flux bi-directionnels : M_{ij} et M_{ji}) ou au contraire, prendre en compte l'interaction nette ou totale (appelées, respectivement, flux nets : M_{ij}-M_{ji}, et flux cumulatifs : $M_{ij} + M_{ji}$) (Tobler, 1979).

• éliminer une partie des flux, relativement à une ou deux valeurs spécifiques de la distribution.

Les options graphiques quant à elles, portent sur :

• la forme des flux (bandes, flèches...) et des lieux d'échanges (cercles, carrés...).

• la grandeur visuelle traduisant l'importance des flux (il s'agira en l'occurrence de la largeur, de la surface ou du remplissage des flèches).

• le principe graphique de détourage intervenant sur l'ordre de superposition des flèches entre elles.

Les combinaisons sont multiples et conduisent à des images très diverses, engendrant des lectures et des connaissances différentes d'un même phénomène. Les applications que nous allons observer maintenant ont, en fait, un intérêt essentiellement méthodologique et technique en raison du développement actuel du logiciel. Elles en montrent, pour l'instant, les possibilités ; leurs conséquences thématiques et leur valeur au niveau de la qualité de la lecture seront considérées dans une phase ultérieure.

Applications

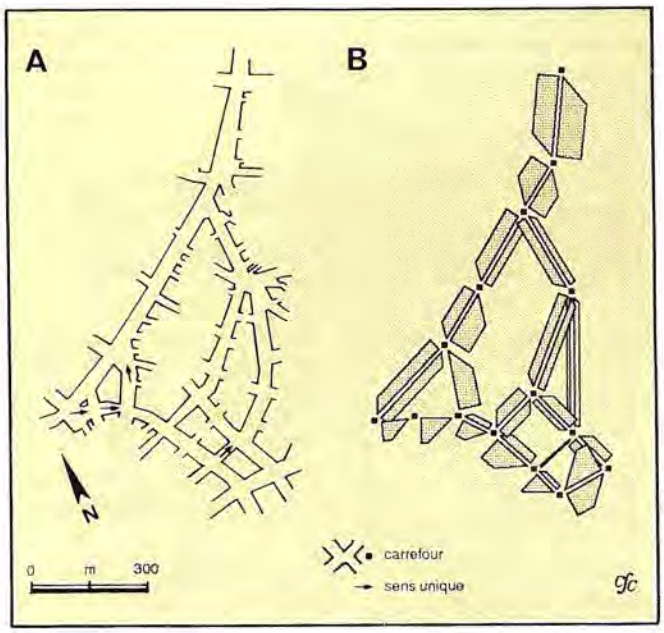
L'ensemble des cartes présentées permet d'appréhender deux échelles différentes d'application : une première série d'exemples décrit les migrations de population à l'échelle de la France et de ses régions tandis que la dernière figure proposée est à l'échelle intra-urbaine (3).

Applications à l'échelle interrégionale

Plusieurs cartes illustrent les flux de migrants échangés entre les régions françaises de 1975 à 1982 (source : INSEE) ; celles-ci sont représentées par leurs capitales (fig. 2).

Nous avons utilisé les flux nets (M_{ij}-M_{ji}) pour montrer simplement, d'une part l'implication d'un seuil de suppression des flux, d'autre part l'intérêt de pouvoir juger l'ordre de leur superposition graphique. Nous pourrons également comparer les résultats obtenus en choisissant, soit la largeur, soit la surface des flèches comme grandeur proportionnelle (fig. 3).

Reprenant les options de la carte 3.B (largeurs proportionnelles, seuil de suppression égal à la moyenne de la distribution, grands flux superposés aux plus petits), pour décrire maintenant les flux bi-directionnels (c'est-à-dire l'ensemble des flux d'émigrants M_{ij} et d'immigrants M_{ji}), nous avons de plus introduit des classes, dont la plus élevée est d'abord représentée avec le grisé le plus foncé. L'effet inverse (le grisé le plus clair pour les flux les plus importants) est ensuite observé (fig. 4). Nous retiendrons cette dernière solution pour montrer enfin les



7. Circulation intra-urbaine (centre-ville de Strasbourg, 1979)

Source : CETE de l'Est

La carte de référence (A) montre les rues et les carrefours principaux. Pour chaque tronçon de rue ainsi délimité, les flèches (B) indiquent, par leur largeur, le volume des débits et, par leur orientation, le sens de circulation (il y a quelques sens uniques). Les flux sont bi-directionnels, avec largeurs proportionnelles et remplissage uniforme. Le réseau, dans son ensemble, apparaît clairement, mais l'accumulation des flèches, en certains carrefours, perturbe la lecture de la carte.

flux cumulatifs ($M_{ij}+M_{ji}$) (fig. 5), ainsi que les flux résultant de la sélection d'une des capitales régionales (fig. 6).

En parcourant cette série d'exemples, certaines orientations spécifiques d'une cartographie des flux se révèlent, mais plusieurs questions se posent aussi. Notre propos n'est pas d'en discuter ici, car elles continueront de solliciter notre attention et de se préciser au fur et à mesure de l'expérimentation que nous poursuivons. D'ores et déjà, nous pouvons néammoins apprécier l'accès donné à diverses observations, grâce au traitement automatique, et cela sur une même application. Théoriquement, divers types de phénomènes peuvent cependant être étudiés par les mêmes méthodes. Il est vraisemblable alors, qu'à une application donnée pourraient correspondre des caractères graphiques particuliers. Ces points restent à approfondir, mais nous allons encore aborder un nouvel aspect de cette cartographie des flux avec un dernier exemple qui présente une configuration d'échelle différente, appelant des considérations autres que celles vues précédemment.

Application à l'échelle intra-urbaine

Un échantillon de faible dimension (4) a été cartographié à partir de données de circulation (5) recueillies sur un centre-ville, le long des principales rues (fig. 7). Par rapport aux exemples précédents, la forme des flèches, ainsi que les figures symbolisant les carrefours, sont modifiées. Les traces des flux ne se recouvrent pratiquement pas, puisqu'ils suivent les tronçons successifs ; en conséquence, l'ordre de superposition graphique des flèches est à peine visible.

En l'état actuel de notre recherche, le présent article vise seulement à préciser et à formaliser certaines notions relatives à la cartographie des flux (dans sa représentation la plus traditionnelle qui est celle des bandes et flèches proportionnelles), telles qu'elles ont pu être soulignées par l'apport de la CAO. Toutefois, bien d'autres tests restent à faire d'un point de vue technique et méthodologique, suivant diverses réflexions sur le plan thématique, ainsi que dans le domaine de la perception. A ce niveau, une phase d'enquêtes devrait être nécessaire. D'autre part, des représentations moins classiques sont à l'étude, toujours sur la base des travaux de W.R. Tobler, qui associent la cartographie des flux à l'exploitation d'un modèle gravitaire et d'un traitement numérique particulier (Tobler, 1981) ; cette dernière direction ne rejoindra pas nécessairement la première. Notre but, en tout cas, est que l'ensemble de ces recherches contribue à l'élaboration d'un outil véritablement adapté à la cartographie des flux.

(1) Nous remercions W.R. Tobler qui a laissé l'ensemble de ces programmes à notre disposition.
(2) La mise au point d'un tel logiciel nous est permise grâce au soutien apporté par le GIP Reclus.
(3) Les sorties ont été obtenues sur Varian (imprimante électrostatique Benson), au Centre de Calcul du C.N.R.S. de Strasbourg ; les sous-programmes graphiques utilisés appartiennent au logiciel UNIRAS.
(4) Nous avons limité la taille de cet échantillon pour simplifier l'expérimentation, mais la procédure peut être appliquée à un réseau beaucoup plus grand.
(5) Débits par tronçon et par sens mesurés en UVP/h (unité de voiture par heure) ; source : CETE de l'Est, 1979.

Références bibliographiques

BERTIN J., 1967, *Sémiologie graphique*, Paris, Gauthier-Villars et Mouton, 431 p..

CETE de l'Est, 1979, *Indicateurs de circulation et de stationnement (Strasbourg)*, Etude réalisée par le Béprim, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie - Ministère des Transports.

RIMBERT S. et al., 1980, *Cartographie informatisée et géographie humaine*, tome 2, fascicule A (Expérimentations en cartographie transformationnelle), ATP n°3457 CNRS, Informatique et Sciences Humaines, 76 p..

TOBLER W.R., 1976, « Spatial interaction patterns », *Journal Environmental Systems*, 6 (4), pp. 271-301.

TOBLER W.R., 1979, *A geographical flow mapping program*, Geographical Interactions Project, Dept. of Geography, Univ. of California, Santa Barbara, 39 p. (ronéotées).

TOBLER W.R., 1981, « A model of geographical movement », *Geographical Analysis*, 13 (1), pp. 1-20.

TOBLER W.R., 1986, « The geographic movement of wealth in the United States », *Mappemonde*, Montpellier, GIP Reclus, Maison de la Géographie, n° 86/3, pp. 37-39.