

Analyse géographique d'une modélisation gravitaire : la circulation routière interurbaine au Québec. Essai de géographie expérimentale

**Thèse soutenue en 1975 par
Henri REYMOND**

1. Introduction : connaissance géographique et méthodes quantitatives

Le travail résumé ici est né d'une perplexité qui a déclenché le besoin d'une expérience. Perplexité devant le fait que la géographie ne semble pas, comme les autres sciences, lier un objet d'étude à une méthode d'approche d'une manière rigoureuse. Précisons de suite qu'il n'y a, là, aucune réaction contre un héritage qu'on trouverait désuet, aucun privilège accordé au quantitatif « face » au qualitatif, mais il y a plutôt perception d'un « manque » qui gêne la transmission de la connaissance scientifique et l'effet de cumul dans sa progression. Précisons encore : le manque est ressenti dans l'absence de lien entre « objet » et « méthode ». Il semble en effet clair, actuellement, que l'on puisse admettre que la géographie utilise les mêmes méthodes de traitement de l'information que les autres sciences humaines ; la demande est identique quant à l'utilisation de modèles pour représenter la réalité, identique l'obligation d'accepter la « mesure », identique en conséquence l'interrogation sur le rôle de ces langages précis que sont la mathématique et la logique. La méthodologie seule n'individualise pas la géographie et, à y bien penser, la carte appartient à l'ordre du « modèle » ; à y bien penser

encore, cette vénérable image de la réalité constitue aussi notre « objet » : exprimant l'organisation de l'espace humanisé, elle s'impose comme synthétique au départ puisqu'étudiant les rapports de situations « multivariées » dans leurs définitions. *Ainsi le géographe est obligé de construire méthodologiquement son objet avant de l'exploiter méthodologiquement.* Cette approche « amont » a été affinée par les travaux des écoles tant anglo-saxonnes que suédoises et par les récentes recherches françaises : il est devenu clair qu'il valait mieux, pour éviter les erreurs dues à notre appareil de perception visuelle, réduire l'information à ses liaisons principales avant de cartographier celles-ci ; il est devenu clair aussi qu'il valait mieux poursuivre la démarche commencée, qu'elle soit inductive ou déductive, en laissant à la statistique le soin de « coter » les résultats de nos hypothèses, la « cote » offrant à la nécessaire transparence scientifique un référentiel commun ; mais il est devenu non moins clair que nous dépendions des statistiques à l'entrée, de la statistique à la sortie et que nous risquions de confondre « aboutissement du calcul » et « acquisition de la connaissance principale ».

2. La problématique : métrique pré-statistique et géographie expérimentale

Devant l'état de fait exposé dans l'introduction, il a semblé que justement le lien « méthode-objet » réclamait une plus grande réflexion : les techniques statistiques et la modélisation mathématique ne sont pas en cause, on l'aura compris, mais bien les limites qu'elles nous imposent au départ ou les erreurs qu'elles risquent de nous faire commettre à l'arrivée. Si un début de solution existe, il se trouve à la fois en deçà de l'« entrée » et au-delà de la « sortie ». Est-il absolument impossible, par exemple, de mettre en évidence une « métrique » spatiale pré-statistique propre à notre objet ? Est-il absolument impossible, ce faisant, de dépasser aussi les indications des tests de signification en essayant de reproduire le « donné brut » de l'observation ? Rejoindre l'objet par les deux bouts des étapes de la méthode scientifique, en faisant, à partir d'observations, une hypothèse vérifiée par une expérimentation, ouvrirait peut-être la route à une *géographie expérimentale*. Le jeu en valait au moins la chandelle ; il exigeait qu'on sélectionne un matériel assez simple, manipulable à l'aide d'un ordre de techniques rigoureuses mais ne présentant pas de complications excessives ; enfin, qu'il se joue à l'air libre, dans la transparence d'un langage, peut-être maladroit, mais qui se forcerait au moins à respecter ses définitions et surtout les exigences de la méthode scientifique.

Cette tentative réclamait donc qu'à partir d'un problème précis, on spécifie clairement le non démontrable et le démontrable, la théorie et les hypothèses, les quantificateurs utilisés et l'analyse quantitative effectuée dans la ligne des hypothèses, les tests statistiques retenus, enfin et surtout, l'adéquation entre les hypothèses faites et le « fait brut » observé. Cette dernière exigence fondamentale, sélectionnait d'emblée la technique régressionnelle des résidus en valeurs absolues :

- les flux fournis en nombre de véhicules entre les villes du Québec offraient les observations exprimant les liaisons spatiales que réclamait le problème posé ;
- le modèle de gravité une relation mathématique productrice de flux théoriques entre les villes, à l'aide de leur taille et des distances qui les séparent.

Mais dès le début, avant même d'écrire le problème en termes de mise en œuvre, la question du démontrable et du non démontrable se pose : que vaut sur le plan de la généralisation scientifique, un espace ainsi réduit non seulement aux études origine-destination disponibles, mais surtout, dans l'aire que couvre chacune d'elles, à des tailles absolues de ville, à des distances absolues, à des flux absolus ? Quel est son *poids démonstratif* alors qu'on ignore les compositions modales des trafics et les structures des villes par exemple ? On peut admettre qu'il exprime *un niveau de l'organisation de l'espace*, mais justement *quel niveau* ? Ce sont ces questions qui commandent notre première partie : l'interprétation géographique de la théorie des systèmes permet de répondre que l'étude ainsi faite intéresse les rapports de la trame et des structures subséquentes, qu'elle touche aux structures conséquentes, mais qu'elle n'atteint pas les paliers situés au-delà. Ainsi, son « non démontrable » disciplinaire, son paradigme, repose sur l'acceptation de l'ordre systémique, pu plutôt postule l'existence d'un ordre géographique systémiste dont on tire un ensemble de définitions imbriquées en un modèle. C'est dire que le concept de modèle constitue un autre non démontrable – le concept pas le modèle – puisqu'il est la croyance en la possibilité de faire coïncider en lui la logique théorique de l'homme et la logique empirique des faits ; croyance en un ordre du monde accessible scientifiquement grâce à sa médiation, ce concept représente l'épistémé dominante actuelle, celle qui est acceptée ici, puisqu'on étudie les modèles de gravité.

Leur sélection implique qu'on les juge capables, convenablement nourris, de simuler géographiquement, donc *de reproduire une distribution spatiale* : si de Valcourt partent 200 flux vers Waterloo et ,de Granby, 1200, ce que l'on veut trouver ce sont des chiffres comme 190-210 ou 1170-1240, et non 100 et 600, qui donneront un excellent test de corrélation et un coefficient de détermination élevé, une excellente distribution « statistique » mais une mauvaise distribution « géographique ».

On se heurte ici à un écueil bien connu : *même s'il ne se compose pas de situations uniques, l'espace est hétérogène, le modèle qui le prend en compte le suppose homogène. Comment reproduire une distribution spatiale hétérogène à l'aide d'un modèle homogène ?* La seule solution logique conduite à la géographisation du modèle. Lequel parmi l'arsenal gravitaire se prêterait le mieux à cette opération, toujours, compte tenu du but poursuivi ?

Le livre II de la thèse, les bases géographiques d'une simulation gravitaire, répond à cette question sans équivoque : le modèle de base dont la simplicité convient mieux à la vérification d'hypothèses exigeant qu'on l'alimente d'hétérogénéité québécoise.

Aussi, n'est-ce qu'avec le livre III qui précise quelles sont les nécessités géographiques d'un modèle québécois que le problème posé au début trouve son aboutissement : *espace d'expérimentation* et *espaces de contrôle* y sont définis et les termes de la question opérationnalisés ; ils se ramènent à deux propositions : une théorie et son hypothèse.

Théorie : les distributions spatiales contiennent en elles mêmes leur *propre métrique*, d'où :

Hypothèse : un modèle gravitaire appuyé sur *cette métrique* peut reproduire une distribution géographique de flux.

Une *réponse positive à la deuxième proposition* indiquera que la méthode expérimentale est applicable en géographie et qu'une géographie expérimentale peut se développer.

3. Les résultats : métrique pré-statistique et champ des opérateurs

Le système routier québécois a donc été analysé puis simulé quant à ses flux automobiles en termes de gravitation, en utilisant uniquement des *variables de trame* : la taille des agglomérations émettrices et la distance, en milles, qui les séparent. Cependant, des distances métriques appartenant à un *même* sous-système d'émission ont été *inégalement réduites ou augmentées pour reproduire* le trafic observé, ce qui revient à dire *qu'une mesure relative des distances en termes métriques a été utilisée à la place d'une mesure absolue*. Nous dirons donc que les distances métriques, comme le modèle de gravité, appartiennent au « champ des opérateurs », concept expérimental dont la raison d'être est d'étudier la plus ou moins grande coïncidence entre l'explication et le vécu. Un « opérateur » est donc un quantificateur *relativisant l'espace absolu* ; le champ des opérateurs l'ensemble de ces quantificateurs ; mais la « relativisation » d'une mesure spatiale brute peut se faire sans raison, sans que la déduction théorique – permise par les concepts de fluidité, complémentarité et substitution rendus opérationnels grâce aux travaux de E.L. Ullman – ne corresponde à l'évidence empirique ; le concept de « champ des opérateurs » dérive directement et de la notion systémique de « syntagme » qu'elle introduit dans le domaine mesurable, et de la pratique quantifiable du concept géographique de champ urbain, c'est-à-dire de l'hétérogénéité de l'organisation spatiale autour d'un ou de plusieurs pôles. Cette hétérogénéité récuse au départ l'emploi d'un modèle homogène en termes de trame absolue et ne peut s'accommoder que d'un modèle en termes de trame relative : la trame « vécue » est forcément déformée par la structure qu'elle « porte » ; la trame analytique sur laquelle nous opérons ignore des « pentes » plus accusées que d'autres qui perturbent les gradients. Le « champ des opérateurs » prend en compte ces déformations et introduit grâce à eux le rôle de la structure dans le calcul des flux. *Le modèle proposé est un modèle qui exprime les structures en relativisant les trames*. Voyons comment, nous dirons ensuite pourquoi, cette solution dérivée a été préférée à l'expression directe des structures.

Un éclairage théorique concrétise facilement e qui vient d'être dit à l'aide des situations de complémentarité socio-économique et de complémentarité topologique.

La première situation idéale peut se décrire ainsi : deux villes de tailles égales sont situées à la même distance d'une troisième ville plus importante. La première des deux villes n'offre qu'une complémentarité commerciale avec le centre fonctionnel, la deuxième ajoute à celle-ci une force industrielle. La trame analytique des tailles et des distances absolues ne traduit pas cette *dissymétrie différentielle des interdépendances structurelles*.

La deuxième situation idéale est aussi simple à imaginer : deux villes de tailles égales et de mêmes structures sont situées à la même distance d'une troisième ville plus importante. La première des deux villes ne dispose que d'une voie d'accès principale, la seconde profite, elle, également d'une pénétrante secondaire : ou l'on comptabilisera le flux sur les deux arêtes de la seconde ville, ou l'on se trouvera en présence d'une substitution d'un côté, d'une complémentarité de l'autre. La même chose se produit si une des agglomérations est rattachée à un seul pôle alors que la deuxième occupe son site au cœur d'une situation de chevauchements. La trame analytique des tailles et des distances absolues ne traduit pas la dissymétrie *différentielle* des interdépendances topologiques et socio-économiques.

L'obligation de combler le potentiel entre l'un ou l'autre de ces types de dissymétries *plus élevées que les dissymétries moyennes du réseau*, lors des parcours quotidiens des migrations pendulaires ou des parcours hebdomadaires des remises au vert citadines ou des distractions urbanisées des villageois, augmente les flux : *les distances plus longues deviennent l'équivalent des distances plus courtes en termes de trafic* ; il faut donc ou raccourcir les unes ou augmenter les autres avant de les entrer dans un modèle qui les considère comme ayant des chiffres équivalents. *La distance métrique « opérée », prise en compte par le modèle, respecte ainsi la valeur relative vécue des distances du champ urbain.*

Venons-en à l'autre question qui n'est pas moindre. Pourquoi ? Pourquoi, en effet, puisqu'on admet que le flux est une structure subséquente, ne pas essayer de l'évaluer à partir des structures conséquentes ? On comprend bien que, si les structures déforment l'espace et qu'on intègre cette déformation à la modélisation, on y introduise indirectement les structures. Alors pourquoi pas elles directement ? La réponse est biblique : parce qu'on le souhaite mais comme ne voit vraiment pas comment le faire ; par défaut et parce qu'on désire ouvrir une route vers ce qui pourrait être un jour des « échelles structurelles de dissymétries spatiales », parce qu'on

pense que cette route passe par l'expérimentation et que celle-ci demande qu'on se représente clairement l'acte expérimental dans une rationalité transmissible. Aussi pensons-nous garder la ligne de conduite suivante pour un certain temps dans le domaine abordé ici :

1. Augmenter notre information théorique sur le rôle des structures dans la production spatiale des flux, à partir des types de flux eux-mêmes, en « remontant » des « effets » aux « causes ».

2. Augmenter notre pratique de terrain sur des sous-systèmes précis de flux à l'intérieur de champs urbains assez clairement délimités : il s'agit toujours de lier les flux à leurs causes mais au niveau de l'observation directe.

3. Utiliser le « champ des opérateurs » : le modèle de gravité et ses résidus – dans des formes plus complexes quant à l'expression de la fluidité – pour faire surgir les dissymétries, les échelles et le code pour les reproduire ; les types de reproduction devraient conduire à des échelles structurelles de dissymétries spatiales... à moins qu'il s'avère que les distorsions spatiales en termes de trames possèdent un effet structurant par inertie suffisamment complexe pour devenir elles-mêmes l'objet principal d'une étude géographique.

On retrouve en effet, ici, les graphes dotés d'une métrique de Claude Ponsard, le problème de la mobilisation spatiale du temps de Pierre George, la notion de distance structurante opposée à celle de distance descriptive de Paul Claval ; pour résumer, toute la problématique qui oppose le concept théorique de « distance absolue » au concept théorique de « distance relative », puisque nous trouvons que *la trame traduit en cas métriques particuliers l'équivalence fondamentale de situations topologiques généralisables*. Le « champ des opérateurs » permet en topologisant la trame d'ouvrir la recherche vers une classification des structures *identiques en termes de distances relatives* : les situations géographiques très différentes pourront être mises en balance utilisant un même ensemble de poids, c'est-à-dire de mesures extérieures, indépendantes du contenu. Mais ceci est une autre histoire : elle commence avec un ordre du modèle qui intègre dans son dessin expérimental, à la fois les qualités du modèle de recherche à déviations externes et à répertoire théorique restreint et celle du modèle de simulation à déviations internes et à répertoire théorique étendu, dans ce type de modèle essentiellement expérimental à double déviation et à répertoire cumulatif, mais beaucoup trop élémentaire que nous avons utilisé. Les travaux de J.B. Ellis et de A.G. Wilson permettent d'envisager une intégration de la théorie gravitaire

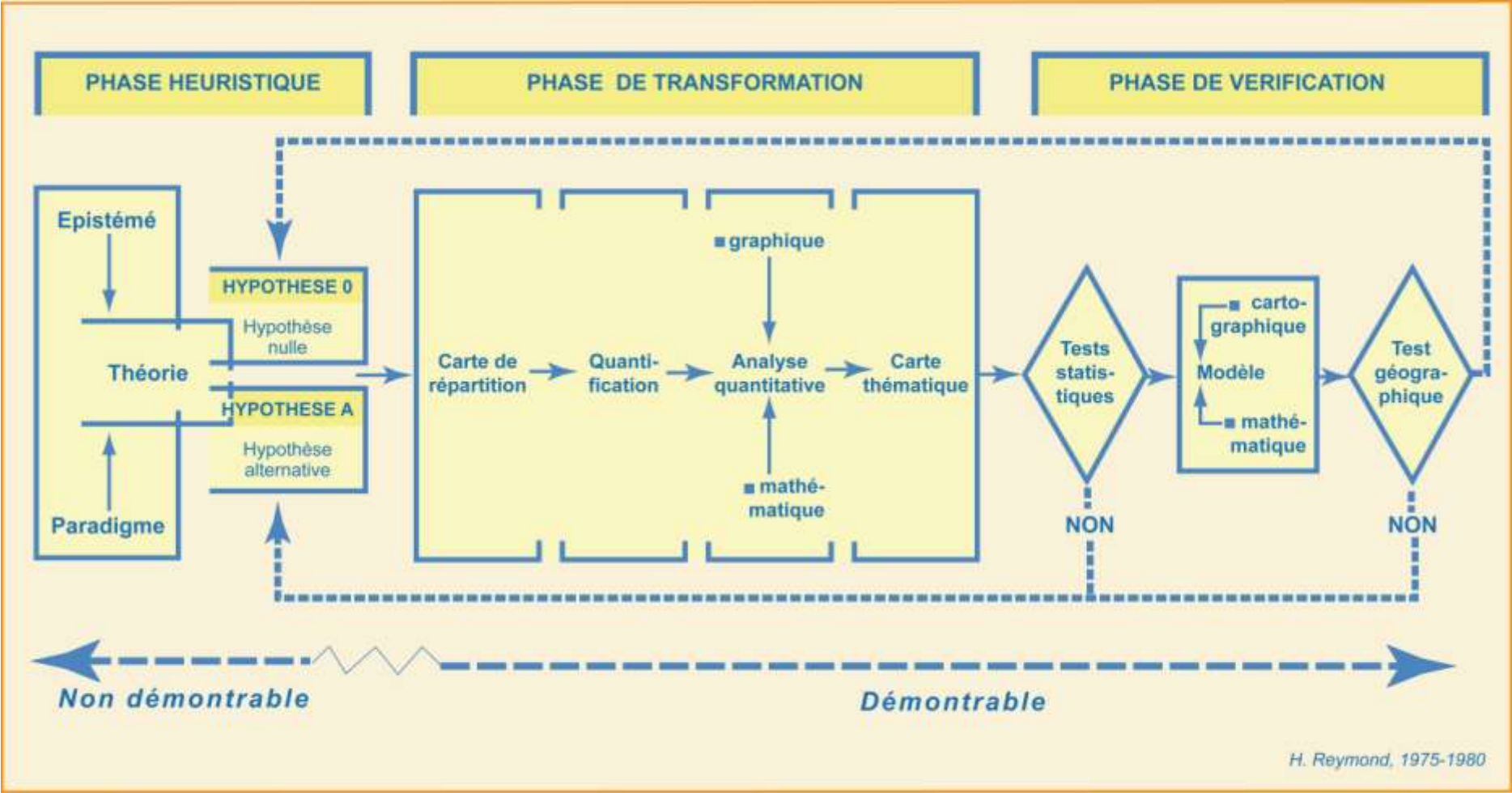
et de la théorie des systèmes, à l'aide d'un modèle expérimental à double déviation, dont ils préciseraient le répertoire cumulatif. Ce nouvel ordre du modèle ouvre aussi la conclusion générale de cet ouvrage.

4. Conclusion : les conditions d'une géographie expérimentale

L'expérimentation est donc possible : elle a montré que l'utilisation d'une métrique spatiale pré-statistique permettait de reconstruire une distribution géographique. Elle a souligné que cette métrique dépendait étroitement, quant à sa découverte, de l'exploitation de concepts théoriques géographiques et de leur jonction ordonnée avec des modèles autorisant le raisonnement par déviation. L'articulation des questions que pose la méthode à son objet s'avère donc primordiale et pour la recherche et pour sa communication. Si dans le schéma d'ensemble de cet enchaînement, le géographe occupe les trois points principaux – les entrées, les sorties, la boucle de régulation – cette position privilégiée a sa contre partie d'exigences qui veut qu'il fasse toutes les étapes du trajet selon le répertoire attendu qui permettra de juger scientifiquement le parcours. Cette notion de répertoire nous a paru, au pas cumulé de la réflexion, passer du profilage en filigrane – qu'est-ce que le vocabulaire systémiste sinon un répertoire de concepts avec lesquels on s'obligera à demeurer conséquent jusqu'à ce qu'un autre répertoire le remplace ? Qu'est-ce qui fait la force d'un modèle théorique sinon la puissance de son répertoire d'analyse et de simulation ? – à la présence intellectuellement obsédante de chapitres de thèse inachevés, jusqu'à s'imposer comme clef fondamentale d'une progression future. L'exemple de la théorie des systèmes, donné plus haut, montre qu'il s'agit d'un ensemble de *concepts orientés* et non d'un sac fourre-tout. Un répertoire actuellement nous paraît mériter très particulièrement une solide vigilance critique, qui est la meilleure forme d'attention qu'on puisse lui accorder : *le répertoire de stations de la méthode scientifique expérimentale adaptée aux besoins de la géographie humaine.*

L'ensemble de cette thèse s'est efforcée d'obéir à des canons mais ils demandent à être regroupés d'une manière plus formelle qu'on perçoive mieux et leur cohésion géographique et leurs insuffisances. Le problème, on le sait, est d'ouvrir la réalité à l'aide de la réalité en la redoublant sur elle-même : le modèle consiste, en effet, à estimer, à partir d'observations mises en *rapport*, la valeur d'autres observations qui conservent leur valeur

brute du terrain. D'où, bien sûr, les précautions qui agencent le répertoire en « deux blocs » aux fonctions complémentaires qui apparaissent sur le schéma-résumé ci-dessous.



Un répertoire expérimental possible pour la géographie humaine

Au niveau du bloc heuristique s'élaborent les *hypothèses* de recherche et, en conséquence, le démontrable y voisine avec le non démontrable. Dans cette zone incertaine, la croyance de base en l'ordre s'enracine dans celle d'un pré-ordre : *l'épistémé* prétend que « l'idéal d'un savoir démontrable » est réalisable grâce au concept de modèle, répertorié dans un vocabulaire transdisciplinaire mais « disciplinable » en *paradigmes* (orientation de recherche privilégiées) capables de représenter *via* les systèmes l'architecture des plans autonomes (niveau holoniques) de notre science, déléguable enfin grâce à la *théorie* – ensemble d'explications anticipées – au sous-bloc plus concret du tamis heuristique. Si la théorie affirme, sa fille (ou ses filles), *l'hypothèse*, rassemble le matériel le plus apte à transposer concrètement son affirmation en une question précise à la réalité : elle décide que « *l'estimé* » de la réalité, son « image », sera, par exemple, représentée par une formule de gravitation, *l'observé*, la réalité du terrain, par un relevé de flux. Le bloc heuristique a fini son travail, c'est au tour du bloc opératoire d'entrer en jeu.

Le tamis (ou test) statistique va renseigner sur la bonne tenue logique des préparatifs de l'hypothèse. Pour cela, après que la *quantification* a été arrêtée (ici, les logarithmes décimaux pour pouvoir calculer les coefficients de régression), *l'analyse quantitative* effectuée (ici, une régression multiple pour le modèle, une régression simple pour comparer les flux qu'il « prédisait » au flux de terrain), une série de tests statistiques évalue la valeur de la régression (F), la valeur des coefficients de cette régression (t), le niveau d'explication obtenu (R^2) ; *si pour ce dernier, le seuil de 0,64 au moins n'est pas atteint entre les estimés et les observés de la régression simple*, les écarts sur toute la distribution géographique seront tels que l'analyse en deviendra très difficile. Ainsi appareillé, le tamis statistique nous a répondu au début qu'il fallait modifier le premier matériel sélectionné *avant* de passer à l'analyse géographique en considérant le *type d'observations* retenues pour la modélisation : aux zones d'origine-destination, il convenait de substituer des *villes* précises.

Le tamis (ou test) géographique commence avec ce *test, géographique* par excellence, que constitue une distribution spatiale de résidus : *elle est le négatif de ce que le modèle n'a pas pris en compte* ; elle nourrit donc *l'analyse géographique* à partir de la carte et de la capacité du géographe ; à lui de choisir, après réflexion, c'est-à-dire confrontation de la théorie et des conditions de terrain, dans *le champ des opérateurs spatiaux*, celui qui effacera l'écart entre l'estimé et l'observé, ceux ensuite qui l'effaceront systématiquement dans les mêmes

situations mais dans des *espaces de contrôle* différents de *l'espace expérimental*. Cette distinction est fondamentale car la transférabilité géographique, seule, constitue le test suprême dans une science qui étudie l'organisation de l'espace : l'hypothèse doit sélectionner aussi soigneusement que possible et le territoire de rodage du modèle et les territoires de transplantation.

Cela fait, on retrouve son hypothèse infirmée ou confirmée.

Dans le premier cas, on recommence en se posant des questions sur la pertinence de celle-ci, bien sûr, mais en vérifiant surtout très soigneusement la *précision* des données, nous voulons dire *l'exactitude physique* de leur mesure ; l'à-peu-près est absolument banni quand on veut reproduire la distribution géographique de valeurs de terrain : plusieurs essais n'ont pas dépassés le tamis statistique parce que deux mesures de distance avaient été interverties ; l'erreur corrigée, l'ajustement obtenu s'est révélé meilleur. Ce qui prouve non seulement *la sensibilité du modèle* mais aussi la confiance qu'on peut avoir en sa *fidélité* : le même opérateur employé sur deux espaces différents donnera dans le même cas-type les mêmes résultats. Ces deux dernières qualités sont essentielles dès que l'on transforme des petites distances « chargées » dans leur petit espace d'une nette dissymétrie différentielle.

Dans le second cas, si l'hypothèse est confirmée, on retourne d'où l'on vient, à son point de départ ; au moins a-t-on pris en chemin par la nouvelle connaissance *produite* un peu de ce « regard froid » dont le géographe a besoin pour aider à aménager l'espace où vivent les hommes. L'expérimentation en géographie, parce qu'elle lie méthodologiquement la théorie géographique au terrain, rejoint la géographie active puisqu'elle essaie, ainsi, de développer la géographie fondamentale.