

DES IMAGES FRÉQUENTIELLES POUR L'ANALYSE DES DENSITÉS URBAINES

Charles SCHNEIDER

URA 902 du CNRS
Université de Strasbourg

Résumé

La contribution proposée est une application du procédé IRISOS de traitement d'image géographique que j'avais présenté lors des premières Rencontres de Théo Quant.

A partir d'une surface de densités urbaines connues, on reconstitue, à l'aide d'un référentiel ondulatoire, la structure des mouvements de densification, de leur emboîtement et de leur superposition. On passe de la forme à une image des processus qui rendent compte de la forme.

Mots-Clés

*Analyse spatiale - Densité - Imagerie fréquentielle - Traitement d'image
Strasbourg*

La cartographie fréquentielle consiste à changer de base de représentation en modélisant les surfaces géographiques selon le spectre des fréquences spatiales qui composent la surface. A partir de ce principe de structuration on aboutit à une image où les corrélations spatiales et les interactions entre les objets sont privilégiées par rapport à tous les autres attributs de la surface, et où l'agencement des niveaux d'échelle constitue l'information principale.

La transformation en image fréquentielle est effectuée au moyen d'outils de traitement d'image et a déjà été présentée dans des publications antérieures. Elle est appliquée ici à une surface des densités urbaines dont elle simule les mouvements de densification : la surface des densités est convertie en empilement de strates spatiales de différentes échelles qui s'imbriquent et se chevauchent.

Au delà des questions liées aux techniques de transformation mises en oeuvre, se pose le problème du positionnement d'un nouveau concept de représentation et de son insertion dans le processus d'analyse géographique. Après un rappel des caractéristiques de l'outil, on examine les résultats de la transformation sur une surface de densités urbaines et sa signification en termes d'analyse spatiale.

1. L'outil

1.1. Fondements

La représentation graphique des fréquences spatiales est fondée sur la correspondance entre deux caractéristiques bien connues, dont l'analogie est particulièrement intéressante lorsqu'on se préoccupe d'analyse de formes et de traitement graphique ; il s'agit du parallélisme que l'on observe entre la « nature ondulatoire et l'organisation spectrale » de la lumière et des couleurs d'une part, et le « principe ondulatoire et spectral » des transformations de Fourier d'autre part ; cette correspondance signifie que, dans la panoplie des outils d'ana-

lyse géographique, on dispose d'une variable graphique, la couleur, et d'un outil mathématique, l'analyse fréquentielle, qui fonctionnent selon une logique identique de distinction de strates superposées et d'intercorrélation d'une multiplicité de composantes de différente nature.

A partir de là on développe un outil d'analyse graphique décrivant la distribution spectrale de l'énergie de la surface et la variété des forces qui sous-tendent les formes.

1.2. Mise en perspective

Le procédé proprement dit consiste à réaliser la synthèse graphique des trajectoires fréquentielles ajustées à une surface, géographique ou autre, en exploitant le parallélisme, indiqué ci-dessus, entre la variable graphique « couleur » et le principe d'analyse mathématique : on utilise les règles de traitement simples mais efficaces de la première pour rendre visibles les résultats du second.

Du point de vue du principe physique, la méthode s'apparente au procédé mis au point vers 1800 par l'acousticien E. Chladni pour l'étude des instruments de musique. Ce procédé consiste à mettre en évidence les modes de vibrations propres des plaques de résonance musicales : lorsque la plaque est mise en vibration, il se forme une configuration qui tient compte des variations de densité et de la forme du contour de la plaque. Des traitements comparables se font aujourd'hui par interférométrie.

Par rapport aux cartes où les formes observées sont représentées au moyen de descripteurs tels que la valeur, surtout aptes à exprimer l'enveloppe des formes en termes de masse et d'intensités globales indifférenciées, la transformation correspond à un changement de vision. A partir de la forme on cherche à comprendre comment elle s'est constituée, à en trouver la recette : de quoi c'est fait ? comment c'est lié ? A partir de l'image en valeurs –topographie, surface de densités, etc.– on effectue une restructuration de tous les éléments de la surface par échelles et niveaux d'organisation, pour aboutir à une image des rythmes spatiaux qui composent la surface.

Par rapport à la démarche analytique et à la modélisation où la forme observée est décrite par une suite de variables explicatives, la transformation fréquentielle est un outil de mise en ordre préalable et de réexamen des surfaces observées : les surfaces sont décomposées et réorganisées au moyen de fréquences *virtuelles* qui tiennent lieu de grille d'analyse et de support aux concepts de propagation et d'interaction des forces géographiques plutôt que de modèle.

Bien que l'on utilise les outils mathématiques de l'analyse spectrale, le but de la démarche est fondamentalement différent des filtrages spectraux où l'on effectue des décompositions de la surface pour y déceler des régularités. D'une part on ne fait pas d'hypothèse de régularité, mais seulement celle de liens entre les objets. D'autre part la phase de filtrage est prolongée par une étape essentielle, celle de la superposition des plans fréquentiels, qui restitue par interférence les objets réels et permet de détecter leurs interactions.

1.3. Les principales hypothèses

- La surface est analysée en tant que résultante de l'interaction de forces géographiques qui se propagent : dans le cas d'une surface de densités ce seront « les forces de densification ».

- Tous les points de la surface sont reliés par un système de champs de forces multiples.

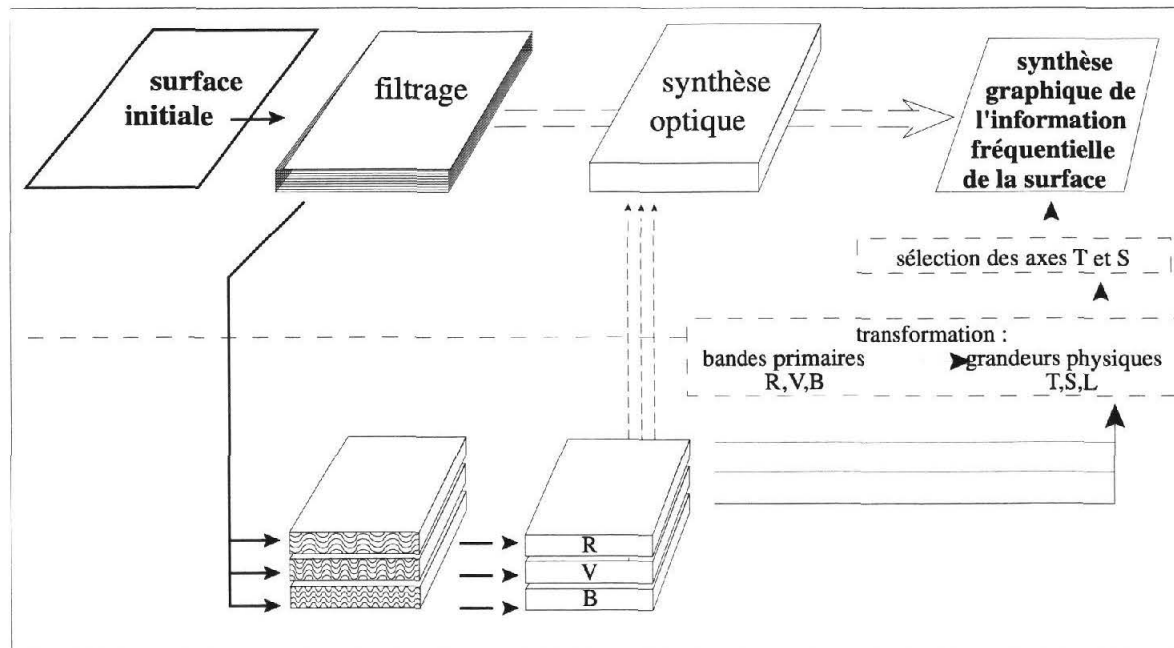
- La surface est décomposée en une série infinie de trajectoires sinusoïdales virtuelles qui représentent ces champs de forces d'échelle et de nature diverses.

- Les trajectoires isolées sont utilisées comme moyens d'analyse théorique et non en raison de leur existence réelle. La réalité est dans la recombinaison : la superposition graphique des trajectoires permet de revenir aux objets réels, avec des caractéristiques fréquentielles identifiées et localisées.

Pour une surface de densités, ces caractéristiques seront l'échelle et la nature des forces de densification.

1.4. La solution proposée : le procédé IRISOS (fig. 1)

Figure 1 : Organigramme du procédé IRISOS



Le procédé est composé d'une séquence de traitements de transformation et de réduction de l'information ; il permet de passer de la forme aux forces, puis aux rythmes et à la nature des objets en suivant des règles de transformations éprouvées :

Valeur \rightarrow Série fréquentielle « infinie » (TF) \rightarrow Série finie (FFT) \rightarrow 3 Plages de fréquences \rightarrow 2 Grandeurs fréquentielles + Intensité

La première transformation, la décomposition en série de Fourier, est une mathématisation du phénomène de diffraction de la lumière ; dans la suite du traitement on applique différentes règles physiques et graphiques : réduction de la totalité de l'information spectrale à trois plages de fréquences ; algorithme de changement d'espace couleur ; synthèse par superposition. La perte d'information consécutive à ces transformations est négligeable du point de vue de la représentation graphique.

1.5. Les grandeurs fréquentielles

En fin de traitement, le changement d'espace, emprunté à la colorimétrie, de trois axes représentant des plages de fréquences spatiales (de type « primaires ») vers trois axes représentant des propriétés physiques, constitue l'étape clé du procédé.

Au niveau logique, ce changement d'espace se traduit par le recodage de l'information, éclatée sur trois bandes, selon un mode de comparaison globale des caractéristiques fréquentielles :

- la fréquence spatiale dominante est repérée sur une échelle spectrale continue allant des basses aux hautes fréquences : Tonalité (T). La reproduction graphique et la perception visuelle ont pour effet de ramener cette information à quelques groupes (cf. § 2.2.) ;
- le contexte fréquentiel est identifié par un indice signalant le degré de mélange ou d'intercorrélation des fréquences : Saturation (S) ;
- l'intensité totale : Luminance (L).

Au niveau graphique, le changement d'espace permet de dissocier l'information fréquentielle recherchée (T et S) et l'information en valeur (L) déjà connue, et par conséquent de représenter séparément l'information fréquentielle.

2. Application aux densités urbaines

2.1. Image des densités urbaines de Strasbourg

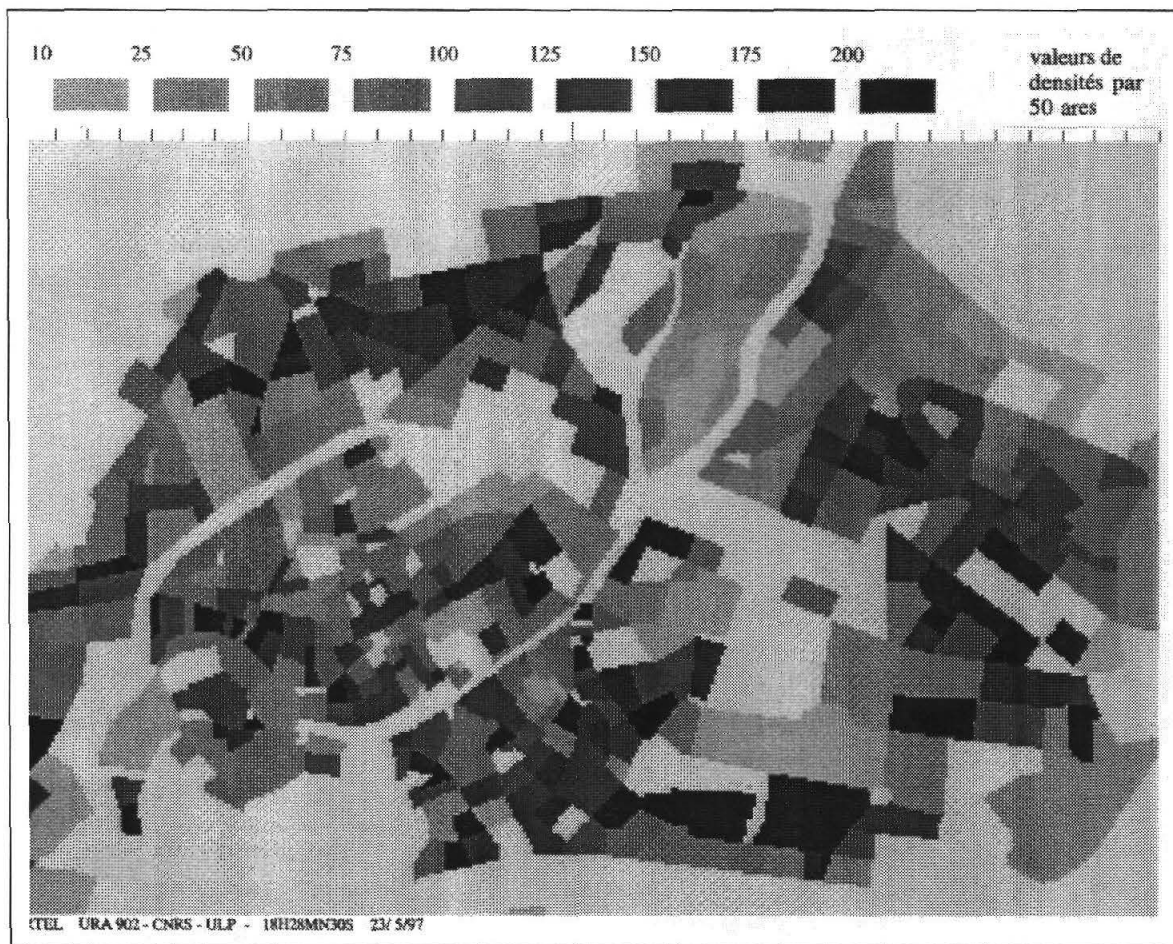
L'objectif étant de changer de grille d'observation, c'est la forme observée elle-même qui est transformée et éventuellement restructurée, et c'est à une donnée homogène et supposée significative du phénomène observé que le traitement doit être appliqué.

Les densités de population constituent une caractéristique essentielle du fait urbain et donnent une bonne approximation de la forme urbaine, du degré de concentration spatiale des habitants et de leur mode de répartition. En raison de la globalisation statistique, la surface des densités agrège une multiplicité de niveaux d'organisation sous-jacents, qui se masquent réciproquement et qui font la complexité de la ville.

Peut-on dissocier certains de ces niveaux ? Améliorer la perception de la forme observée ? Identifier une structure ?

La donnée traitée est celle de la population par îlot au recensement de 1990, ventilée par pixels de un are (pour une raison de codage la variable utilisée pour le traitement est la densité par 50 ares). La transformation fréquentielle est appliquée à cette surface définie en x, y, z. Taille de la matrice traitée : 1024 lignes x 1024 colonnes. Ci-dessous on ne présente que l'extrait correspondant au centre ville (fig. 2). Taille de l'extrait : 240 x 380.

Figure 2 : Strasbourg : les densités de population par îlot au centre-ville



2.2. Interprétation

A l'issue de la transformation on obtient l'image en composition colorée des grandeurs tonalité (T) et saturation (S) où les tonalités du spectre, du rouge pour les basses fréquences au bleu pour les hautes fréquences,

correspondent à des fréquences spatiales dominantes ; les couleurs désaturées, grisâtres à grises, correspondent à des mélanges de fréquences (fig. 3).

2.2.1. Aspect classificatoire : « De quoi c'est fait ? »

Les fréquences spatiales, c'est-à-dire les tonalités étalées sur toute l'étendue du spectre, ont été regroupées en trois groupes principaux ; ce regroupement est guidé par la perception visuelle. L'information aurait également pu être répartie en un nombre de groupes supérieur ; en revanche, l'organisation ternaire semble être un système de réduction minimal pour les phénomènes d'essence multiple.

Le fondement principal de ce découpage des fréquences, c'est que les trois groupes retenus ici coïncident avec des principes d'organisation géographique.

- Le noyau fonctionnel : les basses fréquences ou grandes longueurs d'onde (en rouge et orangé) indiquent le ou les noyaux principaux du système examiné. Ici, le noyau est relativement étendu par rapport à la surface totale du centre ; il est centré sur un espace qui regroupe de nombreuses activités, essentiellement administratives, commerciales, universitaires et culturelles ; il correspond à un ensemble de densités de valeur moyenne réparties dans les interstices des espaces fonctionnels. Ce noyau fonctionnel est décalé vers l'est par rapport au centre historique, à cheval sur la ville ancienne et la ville moderne.
- Les aires de concentration de la population urbaine : les zones de fréquence et de longueur d'onde moyennes (en jaune, vert et cyan) indiquent la partie complémentaire au noyau central ; il s'agit d'un ensemble de quartiers essentiellement résidentiels, avec des densités élevées, qui entourent le noyau central et dont la population représente la masse critique du centre-ville.
- Les inclusions d'îlots disséminés de très forte densité : les hautes fréquences ou petites longueurs d'onde (en bleu) signalent un troisième groupe d'objets constitutif du centre ville. Des îlots ou petits groupes d'îlots de très forte densité sont éparpillés sans ordre net dans le noyau central ou à sa proximité. Ces inclusions multiples représentent l'un des éléments de diversité de la structure du centre.

Figure 3 : Strasbourg : structure fréquentielle de la surface des densités au centre-ville



N.B. : La décomposition de Fourier crée des artefacts de hautes fréquences pour des îlots situés aux extrémités ultimes de la surface des densités

2.2.2. Agencement et interaction des unités fréquentielles : « Comment c'est lié ? »

La structuration spectrale établit une hiérarchie des objets suivant les fréquences spatiales ; mais, dans le même temps, elle affecte un degré de prépondérance ou d'importance (selon une progression de type fondamental > complémentaire > additionnel > accessoire) aux objets ou groupes d'objets classés par ces fréquences : à la fonction de découpage spatial par structuration fréquentielle est associé un principe d'ordination des objets.

Selon cet ordre, la composante fondamentale du centre de Strasbourg serait la composante fonctionnelle localisée par les basses fréquences ; viendraient ensuite la composante gravitaire de concentration de population, puis celle de diversité ou de variété qualitative. L'entité « centre ville » résulte de l'addition de ces trois composantes et des principes d'urbanisation qui y sont associés. C'est la seule partie de l'agglomération où les trois éléments (en gros les taches rouges, vertes et bleues) apparaissent aussi nettement ; dans les quartiers périphériques, non visibles sur l'extrait mais présents sur l'image totale traitée, on ne retrouve pas de combinaison équivalente.

La notion de diversité urbaine n'apparaît pas seulement dans l'agencement spatial horizontal par emboîtement et inclusion et par la co-présence des trois ensembles identifiés, mais également sous la forme de combinaisons verticales par superposition de fréquences.

Les formes de combinaison verticale sont moins immédiatement visibles et apparaissent à première vue comme « des bruits qui brouillent les cartes » : la superposition de diverses strates fréquentielles est signalée par des tonalités intermédiaires et grisâtres ; exprimée par la grandeur Saturation, elle constitue un indice de la diversité et de la variété qualitative des forces en action.

Les plages de superposition apparaissent surtout en brun dans la partie Ouest du noyau central, la plus animée, où coexistent l'aspect fonctionnel et des densités élevées. Dans ces zones de pluralité des champs de forces, les transitions sont progressives et les limites floues ; d'un point de vue purement morphologique la grandeur S, constitue néanmoins un détecteur de lieux d'urbanité où le potentiel d'échange est plus élevé et où les interactions sont plus efficaces.

2.3. Intérêt pour l'analyse spatiale

D'un point de vue pratique, la transformation fréquentielle peut être considérée comme un simple outil de structuration des formes selon des règles précises et reproductibles. Le changement de référentiel et le recours aux principes de fréquence et de spectre comme opérateurs de description donnent toutefois à l'outil des possibilités autres que celles d'un seuillage : celles d'évaluer et de tester graphiquement des hypothèses géographiques.

L'image fréquentielle relève d'une logique du fluide et du continu. Les hypothèses de représentation, liaison des objets avec leur contexte et propagation de champs de forces continus, s'accordent avec les théories géographiques qui privilégient la continuité des phénomènes et refusent les délimitations tranchées.

Un autre ensemble de notions peut trouver un moyen d'expression dans les images fréquentielles : ce sont toutes celles qui se rapportent à l'idée de *décomposition* et qui sont utilisées pour analyser les phénomènes complexes (stratification, arborescence, fractalité...). L'image *recomposée* de la multiplicité fréquentielle peut leur servir de moyen d'approche ou d'évaluation rapide.

L'image fréquentielle montre une réalité faite de liens et d'interactions plutôt que d'objets au repos avec des attributs bien individualisés. Cette propriété lui vient de son référentiel ondulatoire et du concept de propagation et de superposition d'énergie qui lui est associé. Il en ressort une structure qui apparaît comme la trace d'une dynamique globale.

Si on compare les deux images, celle des valeurs et celle des fréquences spatiales, les structures ne sont pas fondamentalement différentes ; a posteriori on peut retrouver une partie de la structure fréquentielle sur l'image des densités : l'information y est incluse en filigrane, le procédé IRISOS ne fait que la démasquer.

Les formes détectées restent à être confrontées à d'autres analyses. La révélation de formes non familières fait partie de la vocation exploratoire des images scientifiques et des cartes : les questions induites par un changement de vue sont aussi importantes que le résultat immédiat.

Bibliographie

- [1] BEGUIN H., 1996 : « Faut-il définir la ville ? », in DERYCKE, HURIOT, PUMAIN : *Penser la ville, Théories et modèles*, Paris, Anthropos, pp. 301-320
- [2] CAUVIN C., REYMOND H., SCHNEIDER C., 1996 : « Filtrage spatial et densités intra-urbaines - Le cas de l'agglomération strasbourgeoise », in « Villes - Cities - Ciudades », *Le Courrier du CNRS*, n° 82
- [3] HUBBARD B.B., 1995 : « Ondes et Ondelettes », *Pour la science*
- [4] LEVY J. 1996 : « La ville, concept géographique, objet politique », *Le débat* n° 92
- [5] PUMAIN D. ROBIC M.C., 1996 : « Théoriser la ville ? », in DERYCKE, HURIOT, PUMAIN : *Penser la ville, Théories et modèles*, Paris, Anthropos, pp. 107-161
- [6] RIMBERT S., 1973 : « Des «bruits» qui brouillent les cartes », *L'espace géographique*, n° 4
- [7] SAUNDERS F., 1995 : « Physique et musique », in « *Les instruments de l'orchestre* », *Pour la science*
- [8] SCHNEIDER C., 1993 : « Le procédé IRISOS », *Premières Rencontres de Théo Quant*, Besançon, pp. 51-57
- [9] SCHNEIDER C., 1994 : « IRISOS ou les ondoiements dévoilés », in *Dessine-moi une carte... quelques explorations cartographiques pour Sylvie Rimbert*, Presses Universitaires de Strasbourg
- [10] VOIRON-CANICIO C., 1993 : « Espace, structures et dynamiques régionales : L'arc méditerranéen », *Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, n° 33
- [11] WEBBER M.M., 1996 : « L'urbain sans lieu ni bornes », *La Tour d'Aigues, éditions de l'Aube*