

LE PROCÉDÉ IRISOS

SCHNEIDER Charles

Laboratoire des Dynamiques des espaces géographiques : processus, cartographie, images, URA 902, Strasbourg

Résumé

Présentation d'une nouvelle méthode graphique de description spatiale. Le procédé IRISOS aboutit à la reconstruction graphique des composantes spectrales d'une surface. Il peut être considéré comme une mise en correspondance de deux systèmes d'interférences : la couleur qui équivaut à des interférences lumineuses et la surface considérée comme une résultante de l'interférence d'ondes spatiales.

La redéfinition spectrale de la couleur aboutit à un changement de vision de la surface.

Mots Clés

Analyse de surface - Décomposition spectrale - Synthèse graphique - Traitement d'image

IR.I.S.O.S. (Imagerie par Reconstruction de l'Information Spectrale des Ondes Spatiales) est un outil cartographique d'analyse spatiale lié à l'analyse spectrale.

L'analyse des fréquences spatiales est utilisée en géographie comme dans de nombreuses disciplines pour décomposer des phénomènes complexes : le modèle de référence est l'onde périodique, et l'outil de décomposition est la transformation de Fourier (nous employons indifféremment, soit la notion de longueur d'onde, soit celle de fréquence pour parler des comportements ondulatoires).

Lorsqu'on applique la transformation de Fourier à des surfaces 2D, on est confronté au problème de la représentation, dans un espace réel, de la partie proprement fréquentielle des résultats ; comment synthétiser l'information spectrale, et comment l'exprimer par rapport à des coordonnées géographiques ?

Pour aboutir à cette synthèse et à son expression graphique le procédé IRISOS simule certains comportements de la lumière, soit par des fonctions numériques de traitement d'image, pour l'analyse, soit par des fonctions graphiques pour la recombinaison ; le résultat constitue une sorte de spectrogramme de la surface, et il est interprétable suivant la logique ondulatoire de la lumière.

Le procédé résulte de la mise en relations de méthodes et techniques relevant de différents domaines : traitement du signal, optique, techniques graphiques ; dans cette présentation rapide de l'ensemble de la démarche, ces notions sont décrites de façon très simplifiée. Certains aspects de la méthode sont encore en phase de développement.

Principe

Pour la représentation cartographique habituelle des surfaces géographiques, les variations d'amplitudes du phénomène étudié sont projetées «en élévation» sur un axe Z, et transcrites au moyen des variables visuelles.

Pour l'étude fréquentielle on change d'espace de représentation : la variation d'amplitudes de la surface n'est plus projetée sur un axe, mais sur une série de trajectoires ondulatoires ; ce changement de référentiel appelle un changement d'espace graphique et un mode représentation approprié.

L'outil mathématique de ce changement de vue est la transformation de Fourier : elle permet de reclasser les amplitudes suivant les longueurs d'onde spatiales. Par masquage du spectre des longueurs d'onde et en effectuant la transformation inverse on peut filtrer des composantes harmoniques de la surface en sous-surfaces.

En termes d'optique, la transformée de Fourier équivaut à une diffraction ; or la variable graphique «couleur» est également issue d'une diffraction, celle de la lumière.

En fait c'est le même modèle, l'onde, qui intervient dans les deux cas, sous une forme soit mathématique, soit physique. On en conclut que les propriétés fondamentales du modèle ondulatoire peuvent être simulées par la représentation graphique.

En adoptant le modèle du comportement ondulatoire de la lumière et de la couleur pour retranscrire graphiquement les propriétés ondulatoires d'une surface, on n'apporte pas seulement une réponse au problème de la représentation : cette solution aboutit également à une nouvelle logique d'interprétation.

Démarche

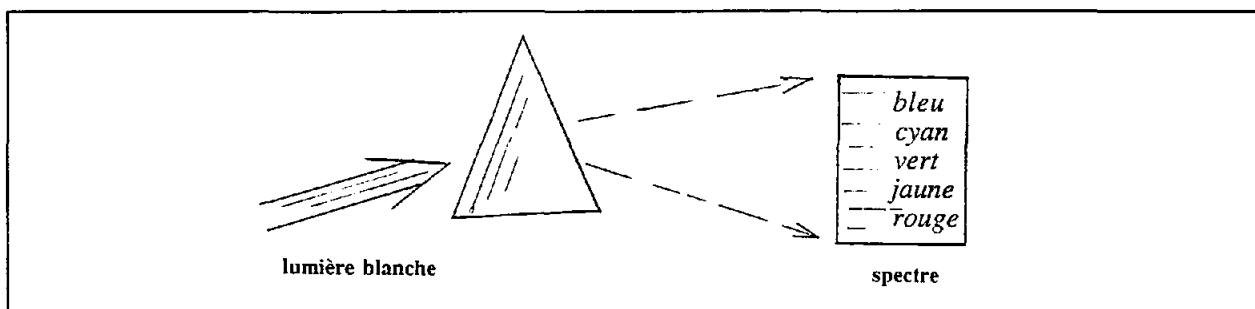
Les transformations de Fourier permettant de décomposer un phénomène en une série de composantes (sous-surfaces), un problème capital de ce type d'analyse consiste à isoler et à synthétiser la partie spectrale des informations contenues dans une séquence de décomposition.

Par l'addition pure et simple des composantes filtrées précédemment on restitue les valeurs de la surface initiale : la contribution des différents types de fréquences disparaît dans l'opération ; or le comportement ondulatoire de la lumière et de la couleur permet de combiner des grandeurs selon une logique autre que celle des amplitudes, c'est celle de la synthèse par superposition.

Dans *Certitudes et Incertitudes de la Science*, L. de Broglie souligne l'avantage de la superposition : «Si on considère une grandeur qui peut être représentée à la manière de Fourier, par une superposition de composantes monochromatiques, c'est la superposition qui a un sens physique, et non pas les composantes de Fourier considérées isolément».

Si on superpose les composantes spatiales suivant le modèle des couleurs, les informations fréquentielles restent localisées, leur diversité est préservée et leurs interactions sont mises en évidence.

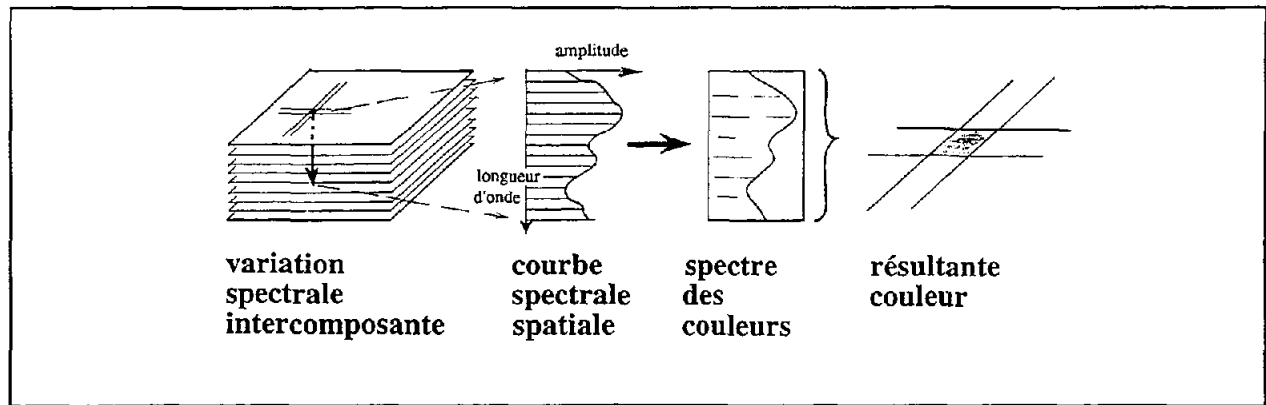
Schéma 1 : Décomposition de la lumière



La décomposition de la lumière en spectre des couleurs a été démontrée par Newton ; on peut encore relever deux corollaires du comportement ondulatoire de la couleur : toutes les couleurs peuvent être considérées comme des résultantes de combinaisons d'ondes ; il y a une continuité logique entre l'axe graphique noir-blanc et l'espace des couleurs.

La démarche proposée consiste alors à traiter, en chaque point de la surface, la contribution des différentes composantes fréquentielles, par reconstitution de la courbe spectrale spatiale de ce point, et de restituer cette courbe spectrale intercomposante au moyen du spectre des couleurs.

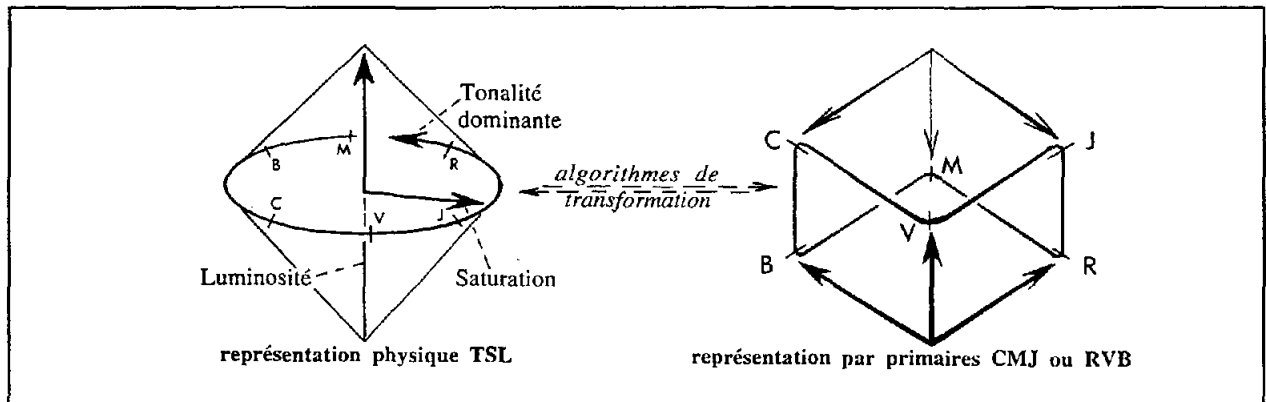
Schéma 2 : Du spectre spatial vers spectre couleur



Pour la réalisation concrète de cette démarche nous nous inspirons des solutions utilisées de façon standard dans les techniques de reproduction des couleurs, où tout l'espace des couleurs peut être reproduit par la modulation de trois couleurs primaires ; ces trois primaires « fonctionnent » comme trois bandes de fréquences dont la superposition permet de recréer toutes les tonalités du spectre.

L'espace des couleurs est décrit par une infinité de modèles que l'on peut ramener à deux familles principales : les modèles de primaires (RVB ou CMJ) où l'on affecte à chacun des trois axes une fraction de la variation fréquentielle ; et les modèles physiques qui comportent trois axes de nature différente : un axe fréquentiel qui contient l'ensemble les informations de longueurs d'onde, un axe de pureté/saturation qui décrit les mélanges de fréquences, et un axe qui enregistre les quantités de luminosité.

Schéma 3 : Espaces couleurs



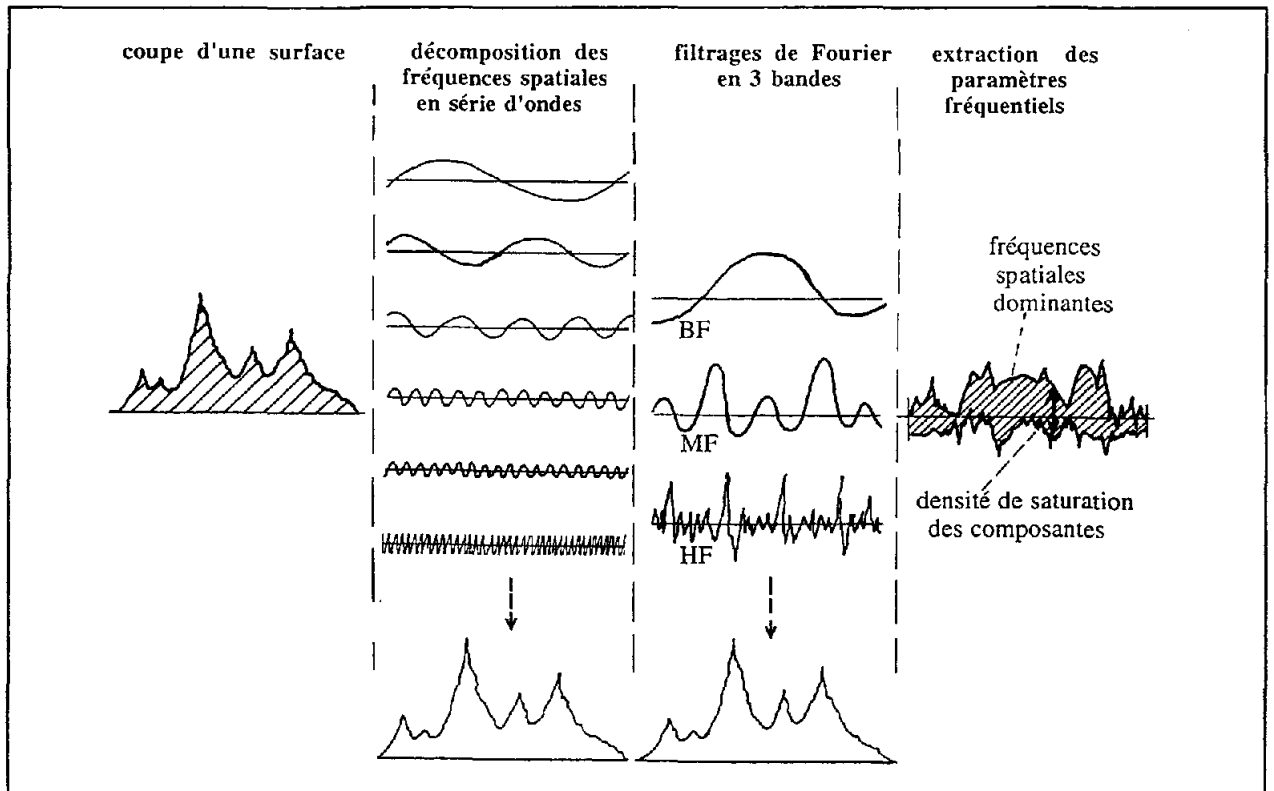
L'intérêt de ce double système de description des couleurs c'est que, quel que soit le modèle il y a permanence de l'ordre spectral, et que les algorithmes de passage d'un modèle à l'autre sont connus.

On applique alors le principe ternaire du modèle des couleurs primaires, à la décomposition de la surface par transformation de Fourier : au lieu du filtrage en une série infinie de composantes, la variation totale de la surface géographique étudiée est filtrée en trois bandes de basses, moyennes, et hautes fréquences spatiales ; les calculs sont effectués au moyen des algorithmes rapides de traitement du signal «Fast Fourier Transformation» (FFT) ; pour la partition en trois fractions équivalentes on se fonde sur la variance expliquée.

A ces trois bandes ou ondes complexes, qui contiennent toute l'information de la surface, et que l'on pourrait utiliser pour une superposition directe, on va appliquer un algorithme emprunté aux méthodes infographiques de changement d'espace des couleurs ; celui-ci nous restitue la même information globale, mais maintenant elle est organisée suivant des paramètres de la description physique de la couleur : un axe des longueurs d'onde spatiales, un second qui décrit les interactions entre ces différentes longueurs d'ondes, et un axe des amplitudes ; ce dernier n'est pas utilisé

pour l'image IRISOS, car la vision spectrale d'un phénomène consiste justement à filtrer les effets d'amplitude pour ne garder que les fréquences.

Schéma 4 : Les transfos sur une coupe schématique



Interprétation

La caractéristique fondamentale des données extraites, découle du modèle et de la formalisation fréquentielle des axes de description : les informations de relations et d'interactions spatiales sont calculées pour chaque point de l'image.

L'axe « fréquence dominante » réordonne et différencie les longueurs d'ondes spatiales, c'est-à-dire des composantes d'échelle et/ou des niveaux d'organisation de la surface étudiée : il va des fréquences basses à moyennes, qui correspondent aux aires les plus stables et aux tendances lourdes du phénomène, aux hautes fréquences qui traduisent une stabilité moindre : transformations diverses, extensions, décroissances. En couleurs spectrales, les basses fréquences « sortent » en rouge, les hautes fréquences en bleu, et les fréquences moyennes en vert et jaune.

L'axe « saturation/interférences » indique le degré d'interaction verticale entre les composantes. Les zones saturées (interférences faibles) correspondent aux espaces bien caractérisés spectralement où domine un certain type de fréquences. Les zones d'interférences denses (moirages) peuvent être interprétées à la fois comme des surfaces non déterminées et/ou à potentiel important, et comme des limites, nettes ou floues, des zones saturées différenciées précédemment.

A défaut de couleur on peut suivre l'ordre des fréquences spatiales en même temps que leurs interactions, sur l'image de la « saturation » (en noir et blanc) qui concentre les résultats essentiels du traitement ; les basses fréquences y correspondent aux surfaces saturées de grande taille et les hautes fréquences aux taches les plus petites.

Les typologies et limites découlent directement de l'application de la logique fréquentielle à l'image : on n'utilise aucune autre hypothèse pour "seuiller" la surface.

Exemples

La transformation s'applique à des surfaces numérisées sous une forme raster, et pertinentes pour le phénomène à étudier. En raison des algorithmes FFT utilisés, les résultats ne sont pas significatifs pour les bords de l'image.

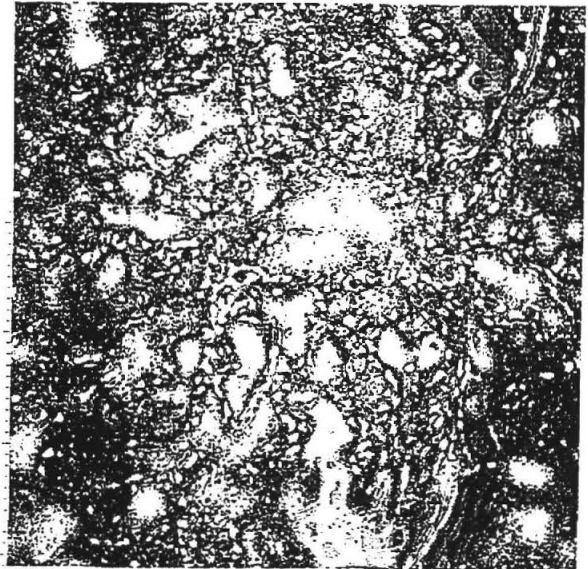
Le premier exemple (figure 1) concerne une surface urbaine : comme forme urbaine à analyser, on a choisi une image des variances locales d'une scène Spot panchromatique de Strasbourg. On considère que la variance peut constituer un indicateur de l'extension du phénomène urbain car elle traduit la densité de fragmentation de la surface, soit d'une certaine façon, la pression sur l'espace.

L'image des « saturations/interférences » (figure 2) résultant de la transformation a un aspect biologique ; les cellules saturées grandes (de basses à moyennes fréquences) indiquent les zones de stabilité, ou de tendances lourdes dans le processus d'urbanisation : ville médiévale et ville du 19e, séparées par un axe de jonction central ; en périphérie on observe différentes aires saturées, de tailles moyennes, qui ressortent comme des obstacles à l'expansion régulière à partir du centre. Les petites cellules de hautes fréquences indiquent les zones de changements plus rapides, et constituent des espaces interstitiels ou périphériques par rapport aux précédents.

La caractérisation fréquentielle ne tient pas compte du contenu de la surface, mais seulement de son modelé et de l'arrangement des formes. C'est une image des rythmes spatiaux et temporels de l'objet urbain, qui semble émerger de la transformation.

Les figures 3 à 5 correspondent à un essai d'application à des données bathymétriques de l'océan Indien. Les données ont été acquises lors des campagnes Rodriguez du N/O Charcot, organisées en 1984 par le laboratoire de géophysique marine de l'Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg.

Ici on s'est plus intéressé aux limites des aires fréquentielles qu'à leur typologie ; l'image de la saturation est utilisée pour faire apparaître des structures qui ne sont pas directement visibles sur l'image de la surface réelle.



1 agglomération de Strasbourg, image des variances sur données Spot panchromatique

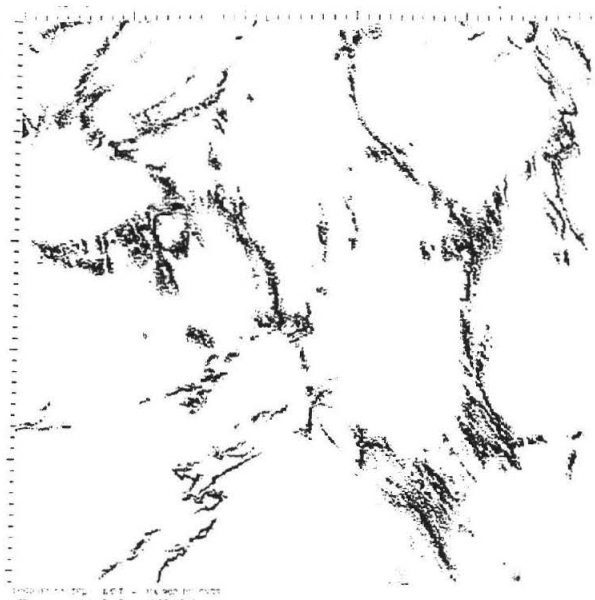
2 résultats de la transformation IRISOS : axe 'saturation / interférences spatiales'

1	2
3	4
4	5

3 image bathymétrique du point triple de Rodriguez (laboratoire de géophysique marine de l'Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg)

4 résultats de la transformation IRISOS : axe 'saturation / interférences spatiales'

5 extraction des densités d'interférences élevées pour l'interprétation structurale



Conclusions

Le passage par le domaine couleur permet de mener l'analyse fréquentielle jusqu'à son terme naturel, la synthèse.

Mais aucune image ne peut rendre compte de l'intégralité d'un phénomène, et la formalisation et la visualisation fréquentielles constituent elles aussi une forme de réduction. On ne propose donc pas ce procédé de cartographie des fréquences spatiales comme un modèle explicatif, mais seulement comme un point de vue exploratoire, complémentaire de la représentation des formes réelles.

En changeant de référentiel de traitement et de représentation on passe de la position des points aux relations entre les points ; d'où d'autres formes, d'autres limites, et d'autres modes d'interprétation.

Les images résultantes reflètent des notions de dynamique, ce qui est conforme à la nature ondulatoire du modèle sous-jacent. On accède à une représentation des rythmes associées à la structure des objets ; peut-on parler d'images du processus ? De nouvelles applications devraient permettre de préciser, ou de nuancer les interprétations.

Sur le plan graphique, le domaine de la couleur est abordé d'une façon plus restrictive que dans la pratique habituelle, mais avec une cohérence accrue ; ici c'est la logique de la couleur qui importe : tout en restant ordonnée et différentiable, la couleur est d'abord utilisée comme outil de superposition d'un ensemble complexe de données.

En fait ce procédé réalise l'articulation logique des deux variables graphiques issues de la lumière, la valeur et le couleur.

L'articulation entre ces deux logiques graphiques complémentaires correspond à celle des deux niveaux de description de l'optique. Cette articulation peut-elle être considérée comme un équivalent «image» de la dualité des modes d'approche de la réalité, macroscopique ou microscopique, quantitative ou qualitative,... ?

Références bibliographiques

KÜPPERS H., 1975 : *La couleur : origine, méthodologie, application*, Office du Livre, Dessain et Tolra, Paris

MOLES A., 1972 : *Théorie de l'information et perception esthétique*, Denoël, Paris

PINSON G., DEMAILLY A., FAVRE D., 1985 : *La pensée, approche holographique*, Presses universitaires de Lyon

RIMBERT S., 1990 : *Carto-graphies*, Hermès, Paris

SCHWEIZER P., 1987 : *Infographie II*, Presses polytechniques Romandes, Lausanne

SCHLICH R., MUNSCHY M., BLANCK M., 1988 : *Notice des cartes bathymétriques, gravimétriques et magnétiques du point triple de Rodriguez...*, Institut de Physique du Globe, Strasbourg

SCHNEIDER C., 1993 : Représentation graphique et analyse de surfaces avec le procédé IRISOS, *Proceedings (1) 16. International Cartographic Conference*, Cologne, pp 682-691