

# L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES ET DE L'OCCUPATION DU SOL OBSERVÉE PAR SATELLITES

Dominique LAFFLY\*

**RÉSUMÉ** La télédétection spatiale permet une cartographie précise de l'occupation du sol et de la dynamique des paysages. Il est aujourd'hui possible d'obtenir des images acquises à vingt années d'intervalle. Une telle échelle temporelle privilégie la reconnaissance des principales évolutions sur de vastes ensembles spatiaux. De l'interprétation manuelle à l'automatisation complète, les résultats obtenus offrent des degrés variés de pertinence. La finesse des diagnostics est liée aux qualités géométriques et radiométriques ainsi qu'aux dates d'acquisition des images.

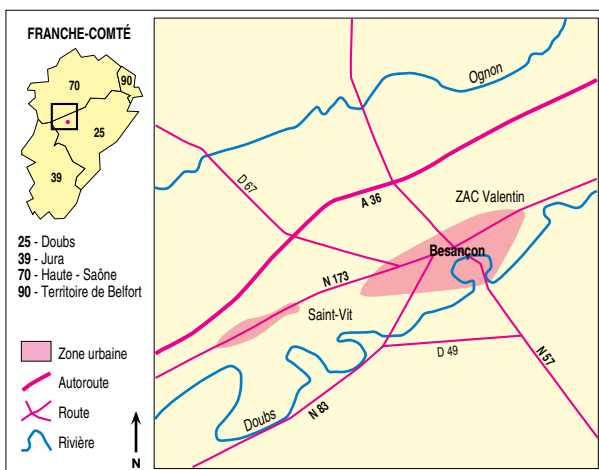
**ABSTRACT** Remote sensing allows the detailed mapping of land occupation and landscape evolution. Images taken within twenty years of each other can be obtained today a time scale which gives particular prominence to the major changes occurring in large spatial units. The relevance of results varies greatly between manual interpretation and entirely automatic processing. The degree of precision of the analysis depends on dates as well as on the quality of the images in terms of geometry and radiometry.

**RESUMEN** La teledetección espacial permite una cartografía precisa de la ocupación del suelo y de la dinámica de los paisajes. Hoy día, es posible obtener imágenes con veinte años de intervalo. Esta escala temporal privilegia el reconocimiento de las principales evoluciones en amplios conjuntos espaciales. De la interpretación manual a la completa automatización, los resultados ofrecen varios grados de pertinencia. La precisión de los diagnósticos se relaciona con las cualidades geométricas y radiométricas y también con las fechas de obtención de las imágenes.

• ANALYSE D'IMAGES • DYNAMIQUE DES PAYSAGES • ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE • MÉTHODOLOGIE • TÉLÉDÉTECTION

• CHANGES IN LANDSCAPE • IMAGE ANALYSIS • METHODOLOGY • REMOTE SENSING • SPACE-TIME SCALE

• ANÁLISIS DE IMÁGENES • DINÁMICA DE LOS PAISAJES • ESCALA ESPACIO-TEMPORAL • METODOLOGÍA • TELEDETECCIÓN



## 1. Besançon et ses environs

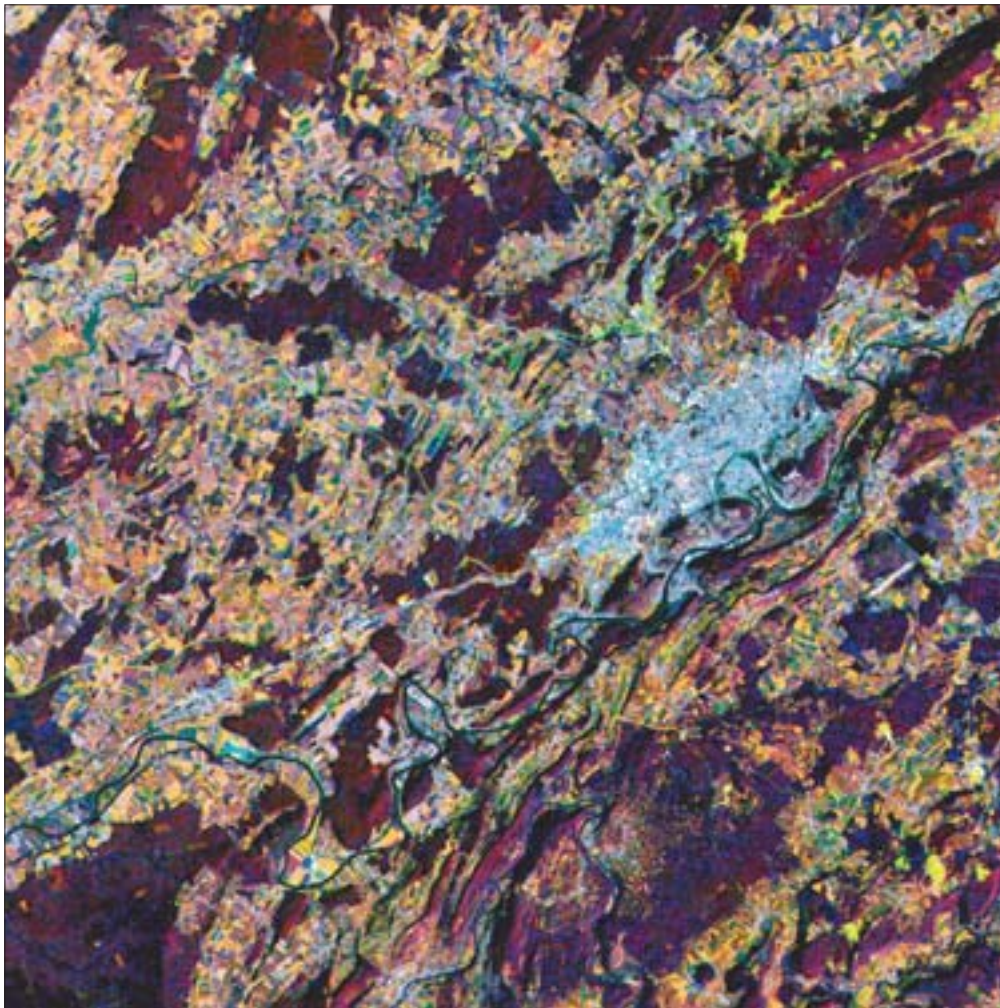
Le paysage est désormais considéré comme un bien rare qu'il convient d'aménager en connaissance de cause. À cette fin, il est utile de disposer d'outils qui permettent de faire l'inventaire des traits de l'usage du sol, et d'en suivre les évolutions dans la continuité de l'espace et du temps. La télédétection spatiale offre une vision synoptique et répétée. Grâce aux images acquises il y a bientôt vingt ans (1), les modifications de l'occupation du sol au niveau régional peuvent être recensées. Cet avantage de l'imagerie satellitaire est d'autant plus important que les traitements sont réalisables sur micro-ordinateurs (2) et ne nécessitent plus, comme c'était le cas récemment encore, d'importantes et coûteuses configurations informatiques.

Dans le cadre de cette approche, nous disposons d'une scène MSS du 15 mai 1975 et d'une image TM du 25 juillet 1988.

\* Laboratoire de Géographie Physique, URA 908 du CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon.

En théorie, une comparaison entre deux dates demande des images acquises à la même saison dans l'année. Mais, en pratique, et surtout si l'on vise à couvrir une longue période, cela n'est pas toujours possible. Du point de vue thématique, entre le mois de mai et celui de juillet, les modifications du paysage sont importantes, avec de grandes conséquences sur le signal mesuré par le satellite. Ces effets sont d'autant plus forts que les capteurs n'enregistrent pas les mêmes bandes spectrales. Au printemps, le réveil de la végétation se caractérise par des confusions entre les objets «verts» du paysage; champs, prairies et forêts de feuillus se distinguent mal. Les images sont peu nuancées car l'activité chlorophyllienne, décelable surtout dans les rapports des canaux rouge et infrarouge, est très importante pour la majorité des plantes. En été, les stades phénologiques des plantes sont plus variés. Les images paraissent plus lisibles et diversifiées, et les biomasses aisées à diversifier par les rapports des canaux rouge et infrarouge. À ces disparités, viennent s'ajouter celles des cultures en opposition de phase entre les deux saisons, ainsi le blé et le maïs. Enfin, certains objets ont un même signal radiométrique alors que leur occupation du sol est différente: sols nus secs et parkings, champs secs et zones d'activités...

Du point de vue géométrique, les données brutes ne sont ni superposables géographiquement ni compatibles géométriquement: un pixel MSS mesure 56 x 79 mètres, une tachèle (3) TM 30 x 30 mètres. D'importantes corrections sont à entreprendre pour constituer une banque de données homogènes. Retenons que ces traitements (4) s'accompagnent, pour l'image MSS, d'une perte de qualité des données du fait de l'éclatement de la taille des pixels.



**2. Besançon, composition colorée multidade (R.V.B. TM5 - TM2 -MSS1)**

Échelle approximative, 1/210 000. Le nord se trouve en haut de l'image.

Toutes ces contraintes fixent le domaine de définition de l'étude. Les évolutions se caractérisant par une croissance urbaine sur le végétal ont été retenues car elles sont les plus lisibles sur les images. La zone géographique centrée sur Besançon qui sert d'exemple (image de 30 km de côté), ne représente qu'une portion de l'espace analysé (fig. 1). L'étude globale porte sur l'ensemble de la Franche-Comté (147 km sur 205). Pour comparer des images de satellites acquises à des dates différentes, trois méthodes sont généralement mises en œuvre.

### **Analyse visuelle d'une composition colorée multidade**

Il s'agit d'un travail comparable à celui de la photo-interprétation. L'image analysée est une composition colorée multidade et multisystème (fig. 2) sur les canaux TM5 (infrarouge), TM2 (visible vert) et MSS1 (visible vert).

La synthèse des couleurs réalisée par la composition colorée donne la grille de lecture suivante.



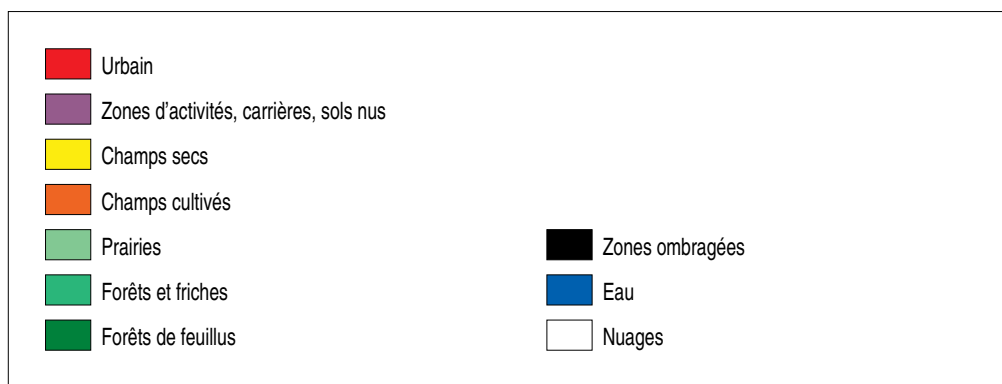
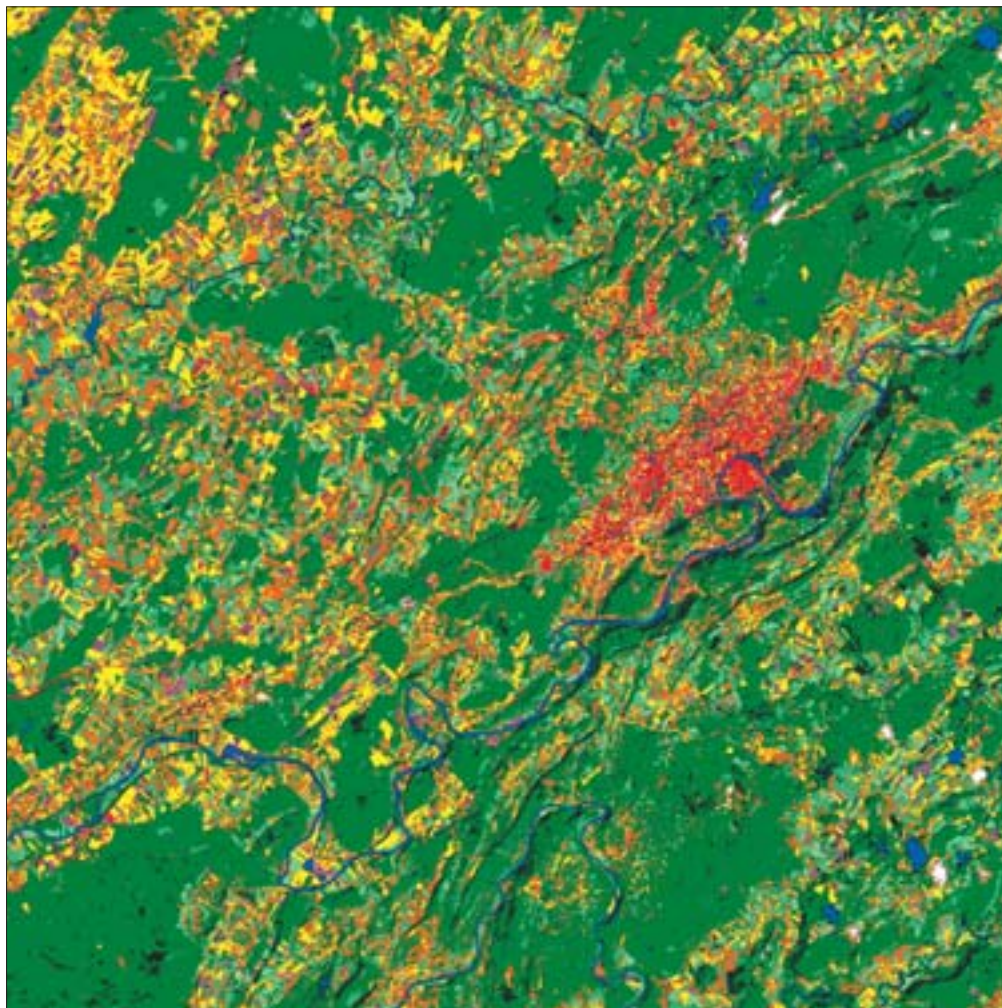
- Le noir, qui correspond à une faible réflectance pour les trois canaux, concerne l'eau et les zones ombragées.

- Les teintes à dominante rouge violacé, de réflectance moyenne à faible pour le vert et le bleu mais à valeur plus ou moins forte pour le rouge, caractérisent des milieux végétaux chlorophylliens.

- Les violets, à faible valeur dans le vert mais à valeur plus ou moins forte dans le rouge et le bleu, concernent les changements de cultures. En 1975, il s'agissait des champs à activité chlorophyllienne faible, en 1988 des champs très verts comme, par exemple, ceux de maïs.

- Le magenta est caractéristique des milieux urbains.

- Les jaunes et verts vifs sont caractéristiques d'une déprise agricole. Il s'agit de la croissance des milieux urbains et des réseaux routiers mais aussi de l'apparition de nuages et de changements de cultures. Ces derniers se font dans le sens inverse de ceux décrits plus haut et caractérisent essentiellement le blé.

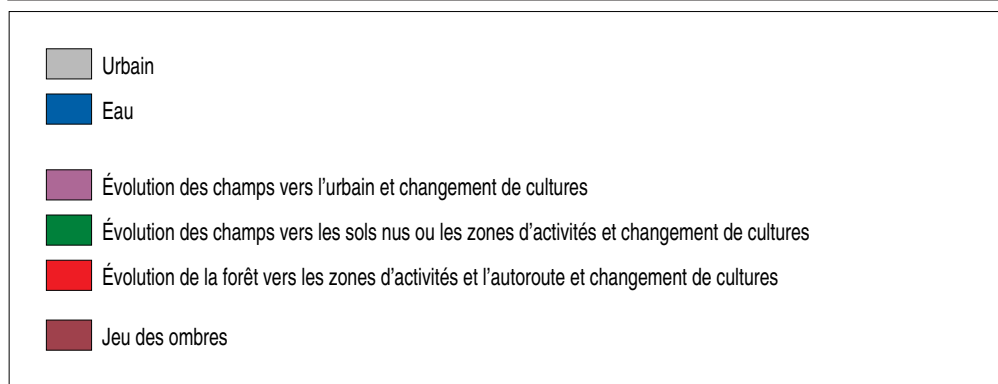
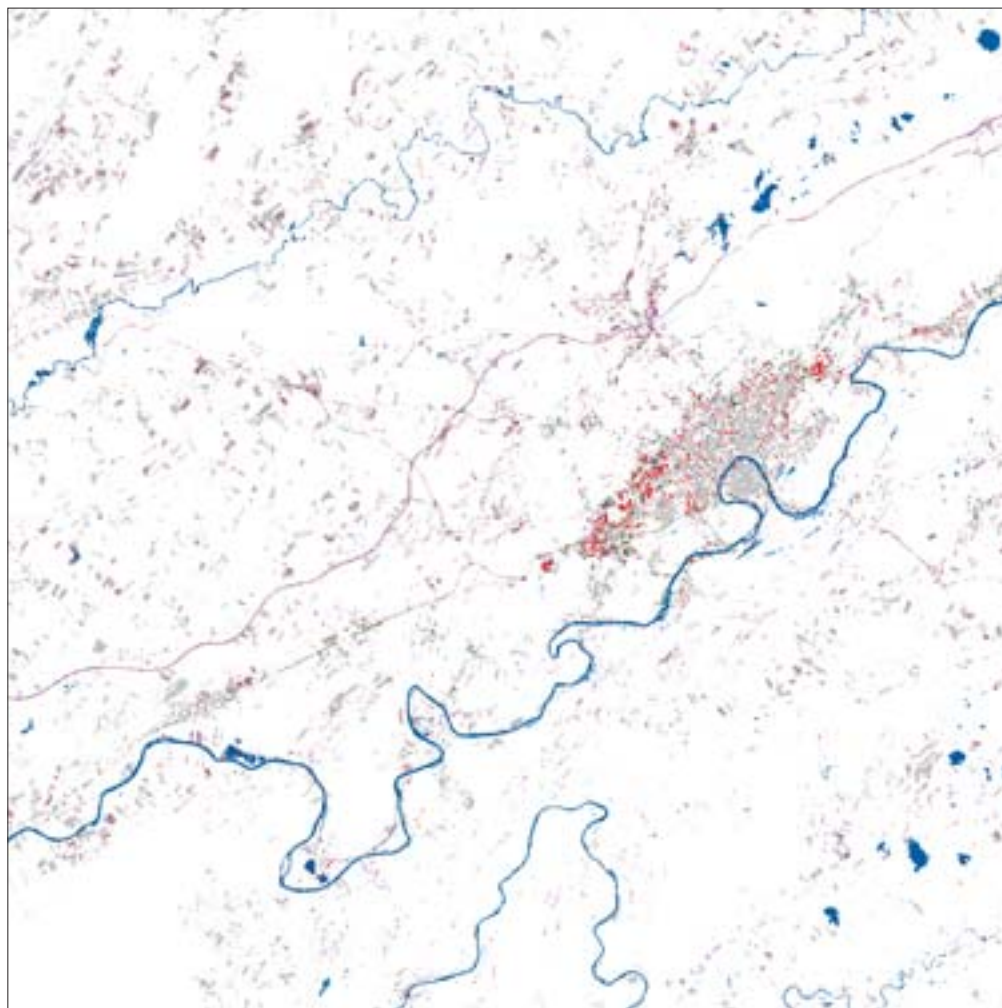


### 3. Classification supervisée. Image TM 25/07/88

#### Comparaison de classifications supervisées

L'interprétation manuelle des images permet d'introduire des connaissances de terrain et de limiter les confusions thématiques. L'accès aux données numériques n'est plus possible et la qualité de l'interprétation dépend de celle du document de papier. C'est un travail précis mais fort long et coûteux.

Les images de satellites sont des matrices de points définies par une information radiométrique. En théorie, pour chaque bande spectrale, tous les objets qui composent un paysage se caractérisent par une signature spectrale particulière. L'opération qui consiste à



#### 4. Comparaison des classifications entre les images MSS du 15/05/75 et TM du 25/07/88

regrouper les thèmes d'occupation du sol selon des descripteurs radiométriques définis *a priori* est appelée classification supervisée. Les résultats peuvent facilement s'exprimer en surfaces d'occupation du sol. C'est une méthode qui offre l'avantage d'être assez rapide et moyennement onéreuse (fig. 3).

nuages, les jeux d'ombres... 5 054 pixels, (0,5%). Néanmoins, certains changements de cultures se confondent avec la croissance urbaine. Les résultats peuvent être considérés comme fiables en périphérie des villes et le long des principaux axes pour ce type d'évolution.

Cependant, les résultats ne sont pas complètement fiables (5). Le critère de regroupement étant uniquement radiométrique, il subsiste quelques confusions, notamment entre les champs secs et sols nus avec les parkings et les zones d'activités. Toutefois, ces erreurs sont marginales pour un travail d'échelle régionale. Une classification supervisée est réalisée aux deux dates. Les images sont superposées pour obtenir une carte des évolutions (fig. 4). Six thèmes sont nettement discernables et quantifiables:

1 - Ce qui est lié à l'urbain et correspond aux confusions citées plus haut, aux deux dates, soit 40 761 pixels (4,48%);

2 - Les rivières et l'eau, soit 13 381 pixels (1,33%);

3 - Ce qui était champ en 1975 et qui est urbain en 1988, soit 3 905 pixels (0,39%);

4 - Ce qui était champ en 1975 et qui est sol nu en 1988, soit 2 979 pixels (0,29%);

5 - Ce qui était forêt en 1975 et qui est artificialisé en 1988, soit 12 550 pixels (1,25%);

6 - Les «bruits» divers, c'est-à-dire les



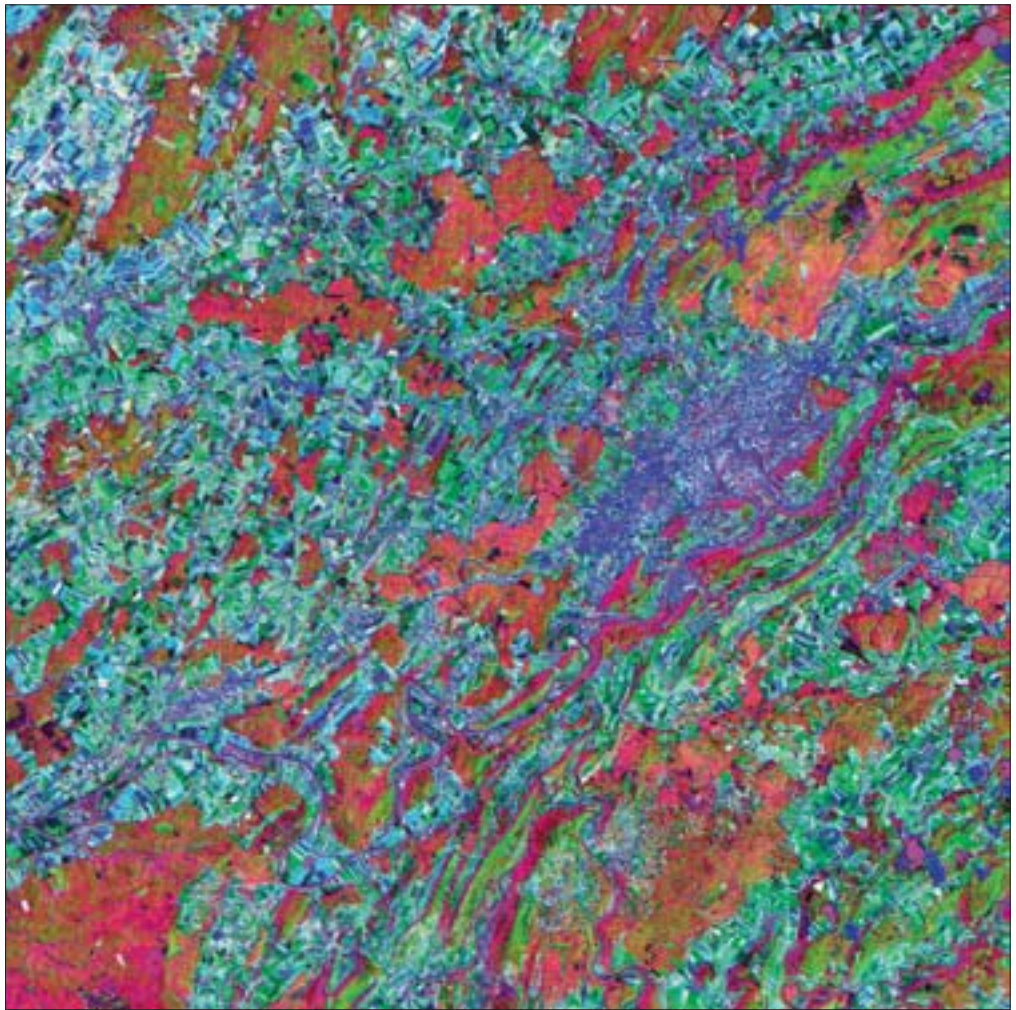
## Classification d'une comparaison automatique à plusieurs dates

Les images de satellites sont des tableaux statistiques dont on cherche à regrouper les individus en classes significatives par analyse multivariée. Les caractères sont ici les canaux spectraux; les individus, l'ensemble des tachètes de l'image. La première composante, d'une inertie supérieure à 85%, indique un état de brillance plus ou moins fort. Les éléments urbains et les sols nus s'opposent au monde végétal. Le second facteur, dont l'inertie varie de 10 à 15%, est lié à une plus ou moins importante activité chlorophyllienne. Quant à la troisième composante, d'une inertie inférieure à 5%, elle dégage l'eau et l'ombre pour les images TM et le «bruit» pour les autres capteurs.

Visualisés en composition colorée (fig. 5), les résultats d'une analyse factorielle des correspondances (AFC), donnent une image originale, où les objets du paysage se distinguent nettement les uns des autres.

Les premiers axes des AFC de 1975 et de 1988 représentent des données directement comparables (6). L'image des évolutions (fig. 6) s'interprète de la manière suivante:

- thème 1* - Ce qui est lié à l'urbain aux deux dates (4,48%);
- thème 2* - Les rivières et les ombres (1,33%);
- thème 3* - Faible opposition de brillance. Sol nus en 1975 et champs secs ou zones d'activités en 1988 (2,24%);
- thème 4* - Opposition moyenne. Même évolution que la précédente, légèrement plus marquée. On trouve une partie de l'autoroute (1,148%);
- thème 5* - Forte différence de brillance. Caractérise le passage d'un milieu chlorophyllien à une zone artificialisée: développement des zones d'activités, par exemple (0,8%);

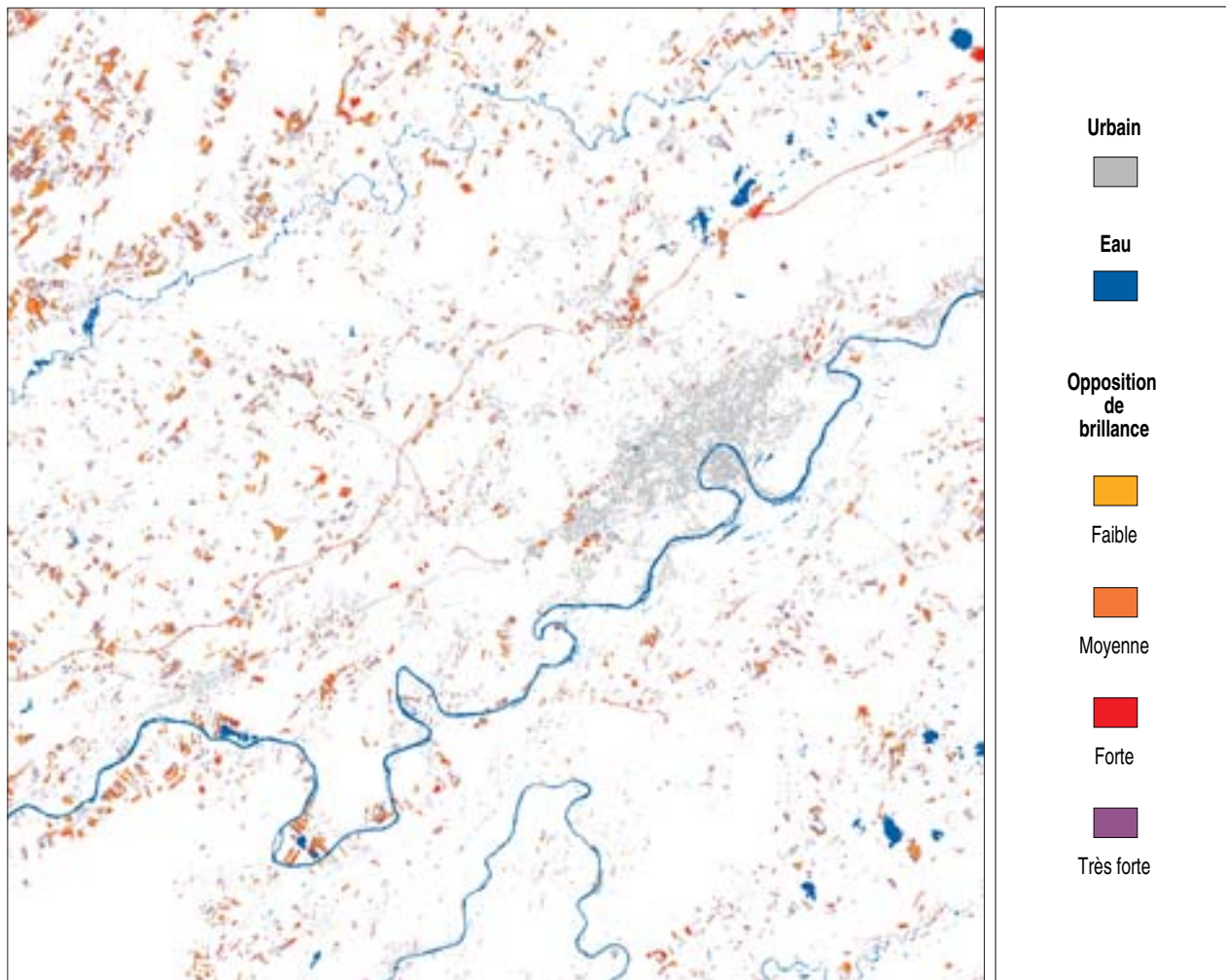


5. Composition colorée des néo-canaux issus de l'AFC sur l'image TM du 25/07/88

*thème 6* - Très forte opposition différenciant l'autoroute de la forêt, mais des confusions supplémentaires apparaissent: les nuages au-dessus des forêts, par exemple (0,2%).

La signification des évolutions est à définir *a posteriori* (7). On retrouve le tracé de l'autoroute, les évolutions péri-urbaines et les changements de cultures. Par rapport aux classifications supervisées, les modifications de cultures sont plus visibles. Le développement des zones d'activités en bordure des villes est plus conforme à la réalité et les transformations liées à la construction sont mieux ajustées.

La dernière image présentée (fig. 7) combine une composition colorée multodate et les résultats des évolutions reconnues d'une manière automatique. Ce procédé permet une approche intermédiaire entre l'interprétation visuelle et les comparaisons automatiques. Les zones marquées par une forte dynamique sont reconnues par des analyses statistiques multivariées. L'interprétation des résultats se fait ensuite sur la composition colorée de manière à introduire des connaissances de terrain



## 6. Comparaison entre les premiers axes des AFC sur les images MSS du 15/05/75 et TM du 25/07/88

en vue de diminuer les confusions possibles entre changements de cultures et artificialisation.

Comparer directement les résultats obtenus par l'une ou l'autre des méthodes est sans grand intérêt, la signification des évolutions dégagées étant difficilement comparable. Les comparaisons de classifications dégagent des types normés d'évolution, directement dépendants de la qualité et de la diversité thématique des classifications. Les variations dans un espace factoriel multivariate renseignent sur des modifications globales d'un état de brillance et d'activité chlorophyllienne, sans restriction induite par un premier filtre comparable à une classification. Le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépend de l'échelle spatio-temporelle de l'étude, de la compatibilité géométrique des images et des saisons de prise de vue. Les analyses statistiques multivariées donnent de meilleurs résultats à une échelle spatio-temporelle telle que celle présentée dans cet article. En fait, plus les données sont fines et compatibles, plus les possibilités de traitements sont variées.

Suivre la dynamique des paysages est chose possible avec la télédétection spatiale. Les qualités radiométriques et géométriques des images précisent le domaine de définition spatio-temporel de l'analyse multivariate. Avec des images peu compatibles, comme celles qui illustrent cet article, il subsiste certes des confusions thématiques quel que soit le traitement utilisé. Cependant, les méthodes automatiques de reconnaissance des dynamiques spatiales donnent de bons résultats. Avec les capteurs modernes qui fournissent des images plus aisément comparables (TM et HRV, par exemple), les inconvénients rencontrés ici sont nettement moins grands. Toutefois, il paraissait important d'aborder ce problème avec les instruments les moins parfaits; dans la recherche des évolutions temporelles, on restera encore longtemps tributaire de l'importante collection d'archives que constituent les images MSS.

(1) Landsat 1, équipé du scanner MSS (Multi Spectral Scanner), a été lancé en 1972.

(2) À l'exception de la mise en forme géométrique réalisée à la société



UNISFERE, les traitements se font sur un micro-ordinateur compatible PC équipé d'un micro-processeur 486 et d'une carte graphique SVGA Impression couleur sur CANON FP 510.

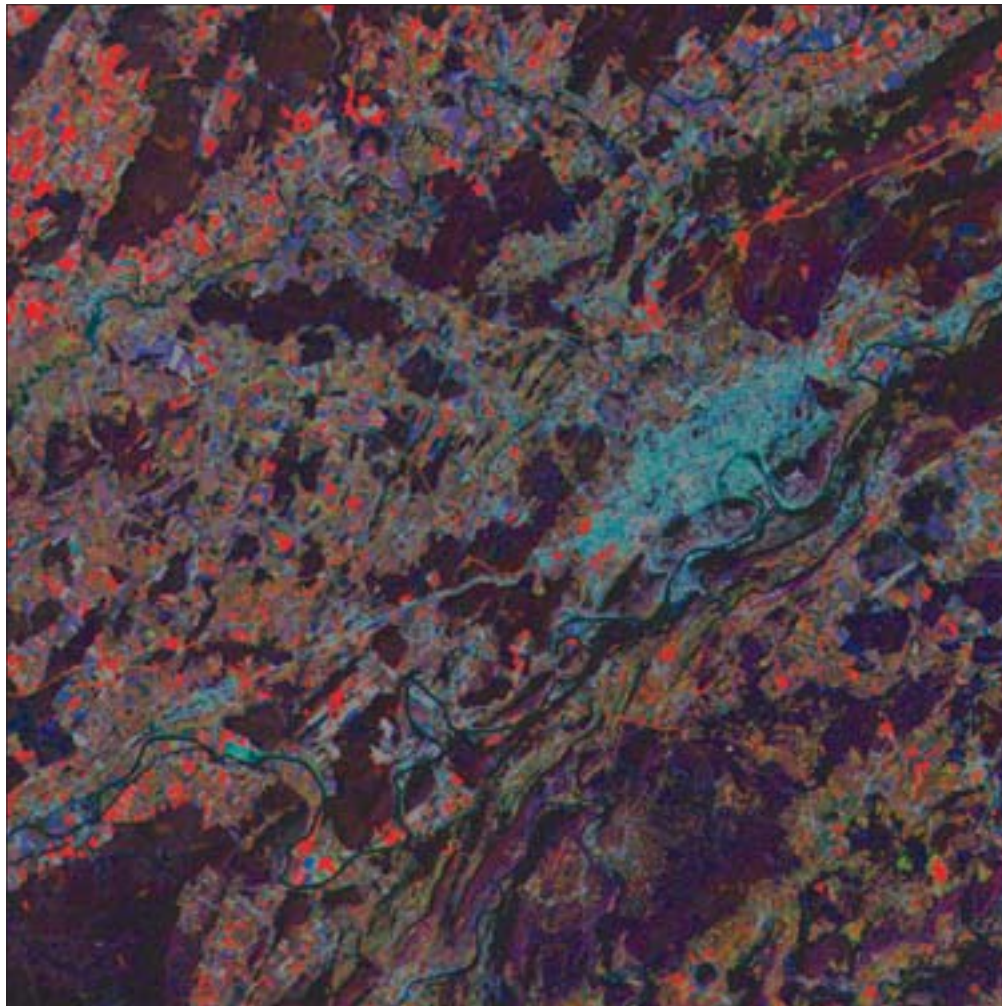
(3) Contraction de l'expression «tache élémentaire», *tachèle* est la traduction officielle du mot anglais *pixel*.

(4) Correction géométrique (modèle rigide) et rééchantillonnage (restauration).

(5) Les classifications sont à utiliser avec précaution. Quelle que soit la stratégie d'échantillonnage retenue pour déterminer l'emplacement, la forme et la taille des sites d'apprentissage, les résultats varient sensiblement. Ces écarts sont principalement dus à la non-homogénéité du signal de part et d'autre de la scène, et aux algorithmes utilisés. Une image classée donne les grandes lignes de l'occupation du sol mais reste limitée pour une analyse dans le détail.

(6) Ce qui n'est pas le cas avec les données brutes, les bandes spectrales et les modes d'enregistrement du signal étant différents.

(7) Il s'agit en fait de vecteurs d'évolution dans un espace factoriel multidate, auxquels on fait correspondre une signification thématique pour faciliter la lecture des images.



### 7. Combinaison de la composition colorée multidate et des évolutions dégagées par l'AFC

Les évolutions sont en rouge. L'image sous *Photoshop* fait mieux ressortir les classes en rouge; la palette des autres couleurs est définie avec un degré moindre de brillance par rapport à la figure 2.

### Références bibliographiques

HOWARTH P. J. et WICKWARE G. M., 1983, «Multivariate analysis techniques for land cover classification using multispectral scanner data», 8<sup>e</sup> *Symposium canadien de télédétection* et 4<sup>e</sup> *Congrès québécois de télédétection*, Montréal, Québec, 3-6 mai, pp. 463-474.

IAURIF, 1985, «Méthodologie d'étude sur l'évolution de l'occupation du sol en région d'Île-de-France à partir des images des satellites Landsat entre mars 1973 et mars 1983», Paris, mai.

CAMPAGNE M., 1987, «Suivi de la croissance urbaine: Le Caire», *Urbanisme et Télédétection Satellitaire*, ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, STU, CNES, octobre.

KEERSMAECKER (de) M.-L., 1987, «Stratégie d'échantillonnage des données de terrain intégrées dans l'analyse des images satellites», *L'Espace Géographique*, n° 3, pp. 195-205.

D. LAFFLY, 1990, «Enrichissement des banques de données géographiques issues de la télédétection: croisement et combinaison des images multidates et multisystèmes», *Symposium International de Cartographie Thématique dérivée des Images Satellites*, Saint-Mandé, 2-4 octobre, pp. 20-25.

HAINES-YOUNG R. H., 1992, «The use of remotely-sensed satellite imagery for landscape classification in Wales (U.K.)», *Landscape Ecology*, vol. 7, n° 4, pp. 253-274.