

EMBOÎTEMENT D'ÉCHELLES ET TÉLÉDÉTECTION : L'AMBIGUÏTÉ DU PIXEL

Christine ALLAIN, Marie CLAIRAY

COSTEL, UMR 6554 du CNRS
Université de RENNES 2

Résumé

L'analyse des paysages ne peut actuellement se faire sans mentionner clairement les échelles, qui méritent de faire l'objet d'une recherche à part entière. Dans la littérature, quand il est fait allusion à telle ou telle échelle, il s'agit implicitement de la surface étudiée. Les géographes manipulent aisément les échelles et intègrent de plus en plus le passage de l'une à l'autre, qualifié par nombre d'auteurs d'emboîtements d'échelles.

En télédétection, l'étude des paysages fait appel à différents satellites d'observation de la Terre. Chacun d'entre eux est doté de caractéristiques spécifiques qui déterminent les résolutions spatiales et spectrales. Les images résultantes sont constituées par une mosaïque de pixels dont le contenu est étroitement lié à l'EIFOV (Effective Instantaneous Field Of View). Ces différences inter-capteurs interpellent le géographe quant à la validité des emboîtements successifs d'espaces ainsi que celle des limites des unités paysagères mises en évidence.

Mots-Clés

*Echelles - Paysages - Pixel - Résolutions spatiale et spectrale - Télédétection
Bretagne*

Dans le cadre d'un suivi de paysage agricole et de l'agriculture en Bretagne orientale, la télédétection est retenue comme outil prépondérant de la recherche. Les données issues de différents satellites (NOAA, Landsat 5 TM et SPOT) sont traitées afin de pouvoir étudier les principales composantes des paysages à différents niveaux scalaires. Les premiers résultats mettent en évidence des différences en fonction de la résolution spatiale des données issues de plusieurs capteurs. Les données du satellite NOAA mettent en évidence les grandes unités paysagères de la Bretagne ; les pixels intègrent la structure du paysage et l'occupation du sol. Sur des images de Landsat 5 TM, la structure du paysage et l'occupation du sol peuvent être analysées de manière individuelle et superposable. L'unité paysagère est créée, au niveau de Landsat, par la juxtaposition de pixels, soit identiques, soit statistiquement équi-répartis. De quelle manière l'hétérogénéité apparente des images Landsat rend-elle compte de l'homogénéité des images NOAA ? Ce qui revient à repenser, via la télédétection, les problèmes de changements d'échelles, classiques en géographie, problèmes inhérents à toute étude du paysage. Ainsi, en amont de l'analyse des paysages ruraux par télédétection, les échelles font l'objet d'une réflexion préalable.

Si le terme d'échelle fait aussi bien référence à l'espace, au temps mais aussi au couple espace-temps, seul l'espace est retenu pour cet article. Les géographes utilisent couramment le concept d'échelle spatiale et pourtant il est important de préciser quelques définitions afin d'éviter tout abus de langage. De plus, les recherches intègrent de plus en plus des connaissances acquises à différentes échelles, passant ainsi de l'une à l'autre. Dans la littérature actuelle, le terme d'emboîtement d'échelles ou d'emboîtement d'espaces qualifie régulièrement ces changements d'échelles. Quelle est la définition de l'emboîtement d'échelles, le terme peut-il être employé dans le cadre des traitements d'images pluri-capteurs ? Ces images numériques sont composées de pixels (picture elements) obtenus à partir d'un champ optique appelé EIFOV (Effective Instantaneous Field Of View). La notion d'EIFOV est étroitement dépendante de la résolution spatiale et influe sur le contenu du pixel.

1. Echelle, changement d'échelles et emboîtement

Pour R. Ferras, « Géographie et cartographie sont inséparables de l'échelle » [5] et pour J.B. Racine « l'échelle cartographique rend compte de la représentation de l'espace en tant que « formes géométriques », tandis que l'échelle qu'on pourrait, à de multiples égards, qualifier de géographique rend compte de la représentation du rapport que les sociétés entretiennent avec cette « forme géométrique » [11]. L'échelle cartographique ne sera pas analysée ici.

Beaucoup d'erreurs sont encore commises vis-à-vis de ce terme d'échelle et, comme le rappelle R. Ferras [5] « grande et petite échelles ne signifient pas la même chose dans l'écrit géographique et dans le parler courant ». Dans les écrits géographiques et de manière générale dans les écrits scientifiques, plus l'échelle est grande et plus le secteur considéré est de petite taille. Ainsi, à grande échelle, les détails de l'analyse menée sont importants alors qu'à petite échelle, seule l'information plus globale est retenue pour un secteur de grande taille.

De l'échelle planétaire pour l'étude des déserts, par exemple, à l'échelle parcellaire pour le suivi floristique lors de la déprise agricole, toute une gamme d'échelles est offerte. Dans les années 60, R. Brunet et G. Bertrand ont proposé différents ordres de grandeur couvrant tous les niveaux scalaires planétaires [3]. En fonction de l'objet de la recherche et de la discipline, les valeurs de grande et petite échelle ne seront pas identiques. Dans le cadre de cet article, la fourchette d'échelles est comprise entre le niveau régional et le niveau parcellaire. Ainsi, à petite échelle, les unités paysagères sont étudiées et à grande échelle, seules les propriétés de la parcelle sont retenues.

Les géographes manipulent aisément les échelles et intègrent de plus en plus le passage de l'une à l'autre. Le changement d'échelles dont il est question ici est d'ordre thématique et non graphique ; « ce dernier consiste à obtenir un document au 1/x^e en indiquant la taille de l'impact du pixel sur le papier » [10]. Nombres d'auteurs utilisent le terme d'emboîtement d'échelles ou d'emboîtement successif d'espaces pour qualifier ces changements d'échelles. Quels que soient les études menées et les outils utilisés, ce terme est-il bien adapté ? Afin de répondre à cette question, il est nécessaire de donner une définition qui servira de base pour le reste de l'article.

Les changements d'échelles se font aussi bien des grandes échelles vers les petites qu'inversement. L'emboîtement d'échelles semble être considéré par la plupart des chercheurs comme le passage vers les grandes échelles. En parcourant la littérature, il apparaît que, selon les géographes, les emboîtements d'échelles ne se font pas dans le même sens. L'un d'entre eux, D. Joly [8] écrit : « Côté spatial, l'agrégation des digits relatifs aux échelles les plus grandes au sein d'unités plus vastes permet d'accéder, par échelles emboîtées successives, aux échelles supérieures... on passe ainsi de l'échelle micro-locale, aux échelles locales puis régionales » considérant ainsi l'emboîtement d'échelles vers les niveaux inférieurs, alors que ce changement d'échelles est défini par R. Ferras « comme des mises en valeur de stratégies vers les niveaux planétaires ».

Quoique très utilisé dans les articles, peu de définitions de l'emboîtement sont données ; seule celle de R. Ferras [5] est retenue ici et complétée. Une échelle descendante vers les niveaux géographiques les plus grands met en valeur des emboîtements successifs d'espaces. Ces espaces sont caractérisés par des indicateurs du paysage définis par le chercheur et diffèrent en fonction de l'échelle d'étude. A une petite échelle, ils se trouvent intégrés pour constituer une base de descripteurs ; à une grande échelle, ils constituent des entités indépendantes. Un exemple, appliqué à l'analyse des paysages ruraux bretons, peut illustrer cette définition. Une correspondance avec les découpages de G. Bertrand sera effectuée (tab. 1).

Tableau 1 : Emboîtement d'échelles en Bretagne

E M B O I T E M E N T	Unités de G. Bertrand			
	ZONE DOMAINE	NIVEAU SCALAIRE	EXEMPLE	INDICATEURS DU PAYSAGE
	REGION NATURELLE	Région	Bretagne	un archétype : le bocage juxtaposition d'unités paysagères
	GEOSYSTEME	Pays	le Coglais	maillage bocager plus ou moins dense (définition d'une unité paysagère)
		Local	St-Marc-le-Blanc	maillage dense avec parcelles identifiées
GEOFACIES	Parcelle	le rocher Hue	petite parcelle entourée de haies	
GEOTOPE				

2. Télédétection et « emboîtement d'échelles »

En télédétection, les réponses des éléments terrestres, qu'ils soient minéraux ou végétaux, sont enregistrées par les capteurs des satellites dans différentes fenêtres et codées numériquement. En fonction des recherches effectuées, le choix des satellites varie afin de répondre à la problématique posée. Certains chercheurs n'utilisent que les données d'un seul satellite alors que dans le cadre du suivi du paysage agricole de Bretagne orientale, les données de trois satellites sont traitées. Les unités paysagères sont juxtaposées grâce aux données du satellite américain NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer) alors que l'occupation du sol est étudiée avec les données des satellites américains Landsat 5 TM (Thematic Mapper) et français SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre). Les traitements numériques réalisés à partir des données d'un ou de plusieurs satellites différents, ce qui entraîne des changements d'échelles non comparables.

De plus, il faut savoir qu'en télédétection, « la notion d'échelle est moins significative que la notion de résolution spatiale » [1]. Le degré de précision des résultats est, en effet déterminé par les résolutions spatiales des capteurs et non pas par l'échelle graphique du document. En revanche, un parallèle peut être effectué entre la notion d'échelle géographique et celle de résolution spatiale. Il est donc indispensable de voir les choses sous deux angles (intra et inter-capteurs), afin de répondre à l'adéquation ou non du terme d'emboîtement d'échelles ou d'emboîtement successif d'espaces, qui semble mieux convenir à l'outil utilisé.

2.1. Données intra-capteurs

Des paysages sont analysés à partir des données d'un seul satellite dont les pixels sont agrégés afin d'effectuer des changements de résolutions spatiales donc des changements d'échelles. Ainsi, C-E. Woodcock, A-H. Strahler en 1987 [14] réalisent des dégradations de pixels et calculent la variance locale de chaque image résultat. Cette méthode est destinée à choisir une échelle appropriée pour l'observation de l'élément, c'est-à-dire l'objet structurant du paysage.

Si des techniques de dégradations de pixels sont utilisées, deux types de changements d'échelles existent. M. Raffy [12] se pose le problème essentiel à savoir : « How to condense a large amount of information into a smaller amount, and conversely, how to obtain more information from a poor set of data ». Seul le premier type de changement est à l'origine de nombreuses publications. D. Laffly [10] donne une définition qui résume bien ces changements d'échelle intra-capteurs : « Le changement d'échelle thématique consiste à agréger des unités de base entre elles afin de créer une nouvelle banque de données aux caractéristiques de forme, de taille et de thématique différentes des données originales ». Tous ces traitements sont donc effectués à partir des données ayant une résolution de base, de 30 m dans les cas du satellite Landsat TM, pour passer à des résolutions de 90, 240 voire 990 m.

Ces nouvelles images issues d'agrégations des données peuvent être éventuellement comparées avec des données exogènes telles que les résultats Corine Land-cover (maillage de 250 m) ou TER-UTI (maillage d'1 km), ou encore avec des données de satellites ayant de plus faibles résolutions (NOAA, 1,1 km). Ces comparaisons ont-elles vraiment un sens dans la mesure où le pixel NOAA possède une valeur unique intégrant directement les réponses des différents éléments au sol, alors que la valeur du nouvel agrégat est calculée à partir de plusieurs pixels selon différentes méthodes qui privilégient des directions ou des surfaces avec des calculs de valeur d'occurrences ou de séries ? De nombreux problèmes surgissent lors de ces agrégations, qui selon la répartition spatiale des pixels, ne donnent pas les mêmes résultats. La transformation respecte, en effet l'hétérogénéité et l'homogénéité de l'image d'origine ce qui influe directement sur les nouvelles valeurs d'agrégat. Si ces agrégations sont mathématiquement correctes, se pose la question de leur validité géographique.

Dans tous ces cas précis d'agrégations de données issues d'un seul satellite, les descripteurs du paysage sont intégrés pour constituer une nouvelle base de données. Mais il ne s'agit pas d'emboîtements d'échelles ou d'emboîtements successifs d'espaces selon la définition précédemment formulée, dans la mesure où le passage des échelles a lieu vers les petites échelles. En revanche, ce type d'agrégation est tout à fait en accord avec la citation de D. Joly [8].

2.2. Données inter-capteurs

Les recherches actuelles ayant pour objectif de déterminer une méthode de suivi des paysages ruraux et de l'agriculture en Bretagne, requièrent des données issues de capteurs de résolutions spatiales différentes, les trois satellites d'observation de la terre : NOAA-AVHRR, Landsat 5 TM et SPOT. Outre des résolutions spatiales différentes, les satellites sont dotés de caractéristiques spécifiques qu'il est utile de connaître avant de pouvoir répondre à la question : est-il adéquat de parler d'emboîtements successifs d'espaces dans le cas d'analyse du paysage à partir de plusieurs satellites ?

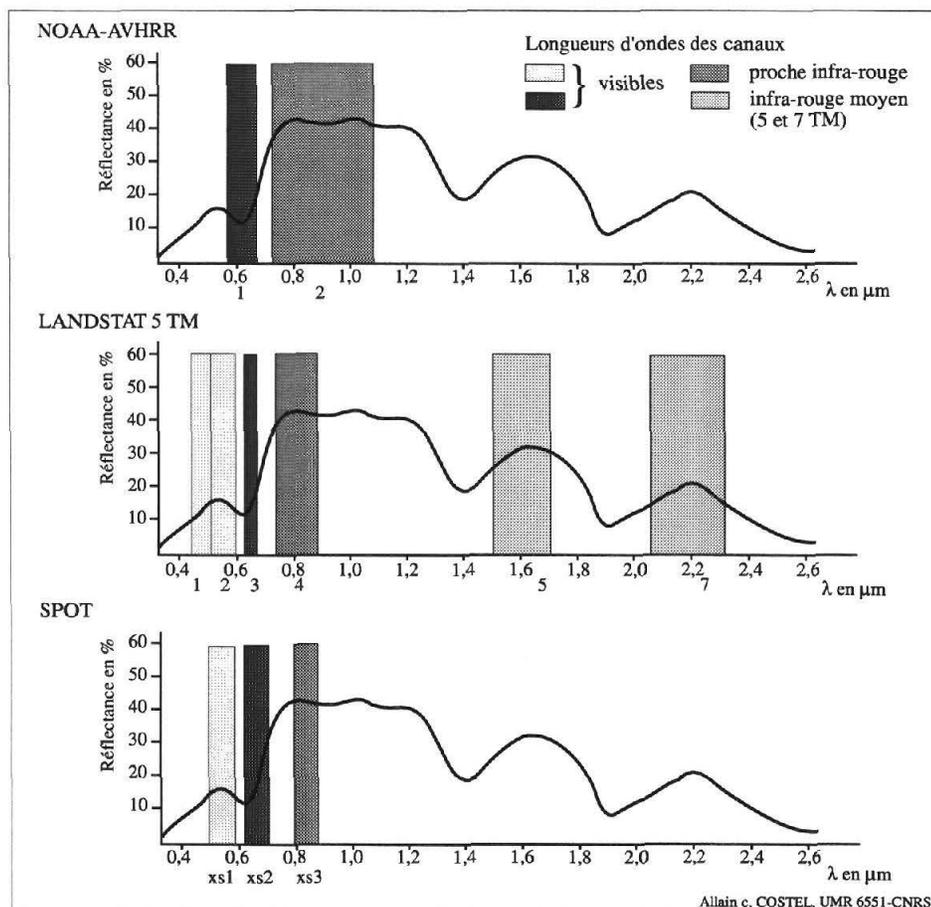
2.2.1. Les caractéristiques des satellites

Les divergences inter-capteurs se distinguent entre autres par leurs résolutions qui sont d'ordre spectral, spatial, temporel et radiométrique.

– Les résolutions spectrales

L'atmosphère possède des fenêtres de longueurs d'ondes dans lesquelles les informations terrestres sont captées. Les longueurs d'ondes choisies dans le visible et le proche infra-rouge ne sont pas exactement identiques d'un capteur à l'autre. Prenons pour exemple la réflectance d'un végétal sain obtenue aux différentes longueurs d'ondes pour les trois satellites retenus (fig. 1). Alors que pour les canaux du proche infra-rouge, les valeurs numériques du végétal sont relativement équivalentes, elles sont bien différentes dans le visible. Les bornes des canaux dans le visible ne sont, en effet, pas identiques ce qui influe directement sur les valeurs des réponses des objets terrestres, comme le montre la comparaison des canaux 1 de NOAA, 3 de Landsat et 2 de SPOT.

Figure 1 : Influence de la résolution spatiale



– Les résolutions spatiales

Trop souvent l'expression résolution spatiale est affectée uniquement d'une mesure linéaire : cette valeur exprime le pas d'échantillonnage auquel la résolution spatiale est étroitement liée ; le tableau 2 en témoigne. Cependant « ...il y a une insuffisance à vouloir attribuer aux différents capteurs une signification générale absolue de la résolution spatiale car trop de paramètres sont impliqués, et si de nombreuses définitions existent aucune d'entre elles n'est sans ambiguïté » [6].

Tableau 2 : Résolutions spatiales des différents capteurs et indicateurs du paysage.

satellite	NOAA-AVHRR	LANDSAT 5 TM	SPOT	
résolution	1.100 m	30 m	20 m	10 m
Quelques indicateurs du paysage	un archétype Juxtaposition des unités paysagères	Définition d'unités paysagère Qualité du maillage	Identification du parcellaire	

Exemple de résolution pour SPOT : altitude moyenne du satellite multipliée par la focale et par la distance entre deux détecteurs

$$832.10^3 \times 1,082 \times 13.10^{-6} = 10 \text{ m}$$

La résolution spatiale fait appel à deux notions principales : l'une, la plus commune, concerne une dimension géométrique et l'autre s'exprime en termes de fréquence ou de capacité à mesurer les propriétés spectrales d'un objet-cible au sol.

- Pour la première c'est la taille du pas d'échantillonnage qui va correspondre au diamètre de la projection optique au sol. Ce champ de vue théorique forme un disque qui est qualifié d'IFOV (Instantaneous Field of View ou champ instantané de vue).
- La surface circulaire captée entre deux détecteurs connaît une variation de sa réponse car elle est soumise à une modulation, c'est-à-dire à une diminution du signal électromagnétique qui s'opère de manière centrifuge ; cependant la réponse globale reste une agrégation de l'ensemble des valeurs spectrales qui se trouvent circonscrites.

– Le passage du satellite

Les satellites, mis sur orbite, ne possèdent pas des traces de passage au dessus des mêmes lignes terrestres (fig. 2) et ne balayent pas la surface de la terre sur la même largeur à chaque passage (tab. 3). Chaque satellite balaye la surface de la terre d'Ouest en Est.

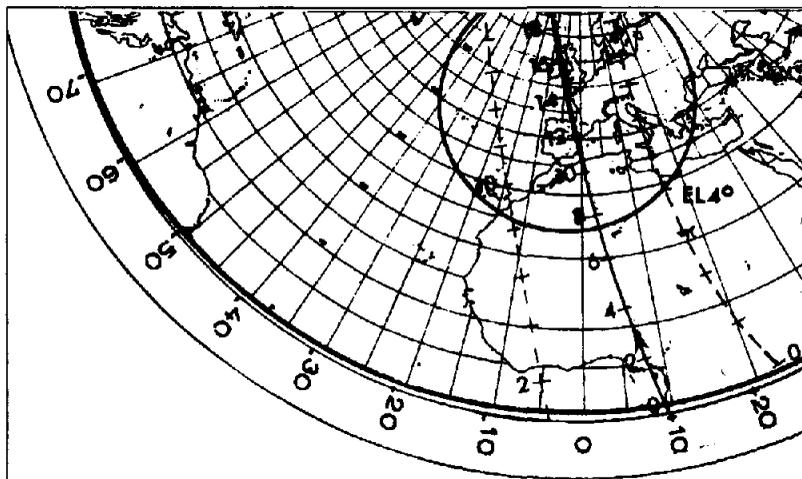
Tableau 3 : Largeur de balayage des passages des satellites

satellite	NOAA-AVHRR	LANDSAT 5 TM	SPOT
largeur de balayage	2700 km	185 km	60 km
heure de passage (TU)	~ 14 h	~ 10 h	~ 11 h 30
fréquence	1 j	16 j	26 j

L'heure et la date de passage ont une conséquence directe sur la réponse des objets en raison d'un certain nombre de paramètres comme : la lumière, l'angle solaire, des ombres portées ou encore de l'état de l'atmosphère (diffusion, absorption...). La probabilité que les trois satellites passent le même jour au dessus de la même zone est très faible étant donné leur répétitivité et l'heure de passage n'est jamais identique.

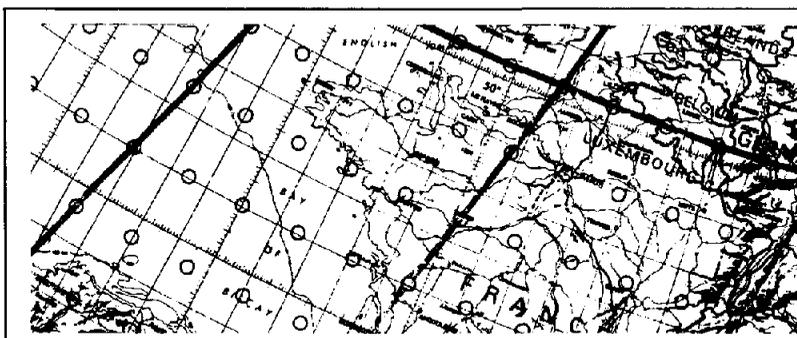
Figure 2 : Tracé au sol des satellites

NOAA-AVHRR



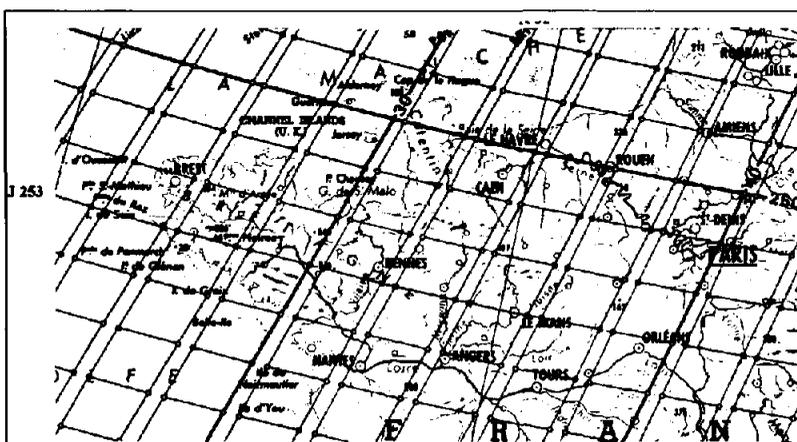
Source : Trajectographe SATMOS CMS Lannion

LANDSAT 5 TM



Source : Landsat 5 TM

SPOT



Source : SPOT Image

2.2.2. La déformation des champs instantanés de vue

Les prises de vue terrestres subissent des imperfections liées essentiellement à des contraintes géophysiques : variabilité orbitale (quelques kilomètres), effets provenant de la latitude (variation de la rotondité terrestre mais aussi du relief), angle de prise de vue (différence entre prise au nadir et aux extrémités de la ligne de balayage), provenance d'informations issues du voisinage qui s'ajoutent ou se retranchent à la « cible » au sol. Pour ces raisons, il convient plutôt d'utiliser le terme d'EIFOV (champ instantané effectif de prise de vue) ; celui-ci tient à la fois compte de l'influence réelle de la forme géométrique et de l'ensemble des éléments qui vont déterminer la valeur numérique du pixel à un instant donné. En d'autres termes les signaux électromagnétiques qui concourent à donner une valeur propre au pixel sont susceptibles, lorsque les informations inter-capteurs sont mises en parallèle, d'être agrégés d'une manière assez différente. Il devient inévitable de s'interroger sur le contenu des pixels.

Le pixel est « la plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage. Dans le cas de la numérisation d'une bande magnétique analogique, par exemple, le pixel est le résultat de l'intégration, selon un pas donné, du signal enregistré sur la bande » [4]. Le pixel, porteur du codage numérique du champ instantané effectif de prise de vue, est impossible à localiser de façon rigoureuse et précise puisqu'il ne subsiste aucune trace de son passage. Néanmoins le pixel peut être la marque d'une zone présentant des caractéristiques identiques ; dans ce cas il sera considéré comme un pixel non mixte. En revanche s'il est induit par divers éléments de la surface terrestre, il portera le qualificatif de mixte. La logique voudrait qu'à une résolution spatiale fine corresponde un nombre important de pixels mixtes qui seraient susceptibles de produire des disparités plus nombreuses et donc l'identification d'unités paysagères et d'occupation du sol complexes. Mais si le paysage à étudier présente une uniformité, le problème ne se pose pas sous le même angle que lorsqu'il s'agit d'un paysage très diversifié ; il apparaît donc nécessaire de séparer au préalable les grands types de paysages avant d'envisager une conclusion.

3. Application au paysage breton

Les résolutions spatiales influent la problématique des analyses du paysage rural et réciproquement. Les unités paysagères de la Bretagne sont déterminées grâce aux données du satellite NOAA, alors que l'occupation du sol ainsi que les caractéristiques du parcellaire ne peuvent être analysés qu'avec les données des satellites Landsat TM et SPOT. L'étude faite sur les changements d'échelles n'est pas réalisée de manière globale mais de façon stricte au niveau du pixel ou d'un groupement de pixels.

Figure 3 : Classification des unités paysagères issues de données NOAA

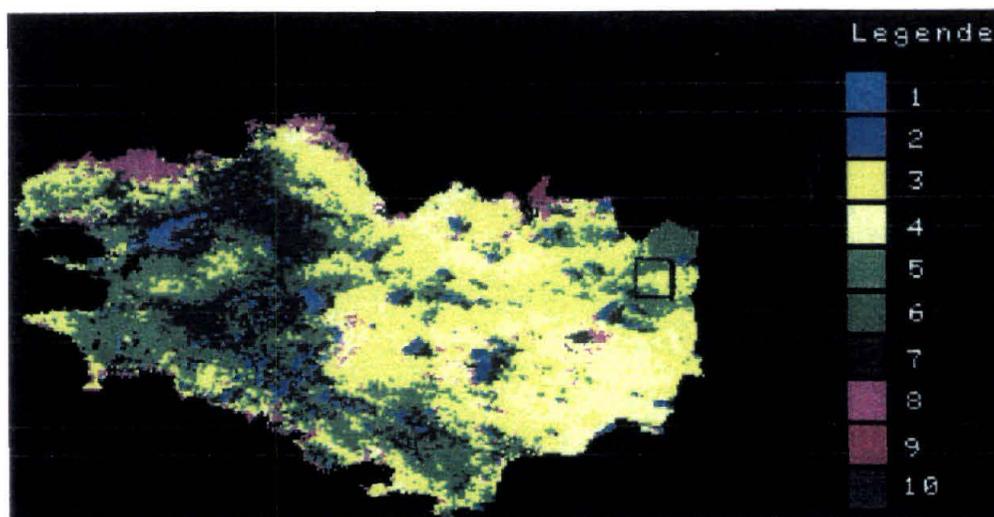
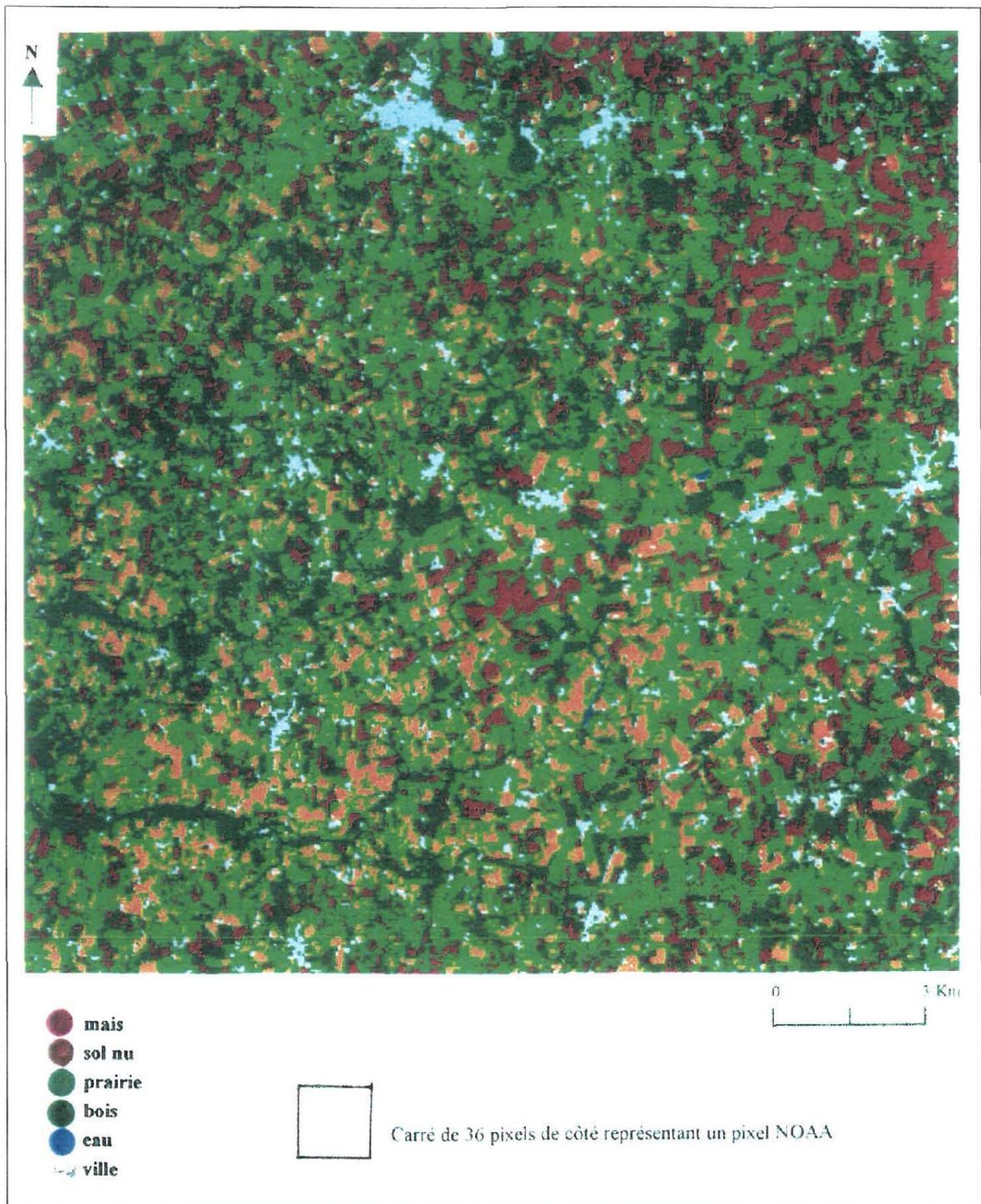


Figure 4 : Occupation du sol du secteur de Minette. Classification effectuée à partir de l'image Landsat 5 TM du 18 août 1993



Les résolutions spectrales ont mis en évidence les différences de réponses numériques des éléments terrestres intégrés au sein du champ instantané effectif de prise de vue. Ainsi comme le souligne J. Wilmet [13] « il est malaisé d'agrèger des données de capteurs travaillant à des résolutions différentes car ils fournissent des types d'informations différentes dans la mesure où ils captent des informations dans des fenêtres d'ondes variables ». De plus, étant donné la différence de la trace de chacun des satellites au nadir, il est difficile d'agrèger de manière

stricte des données provenant de satellites différents. Afin d'illustrer ce problème, deux images traitées sont comparées. Il s'agit :

- d'une classification de données NOAA de 1990 prises à plusieurs dates permettant de mettre en évidence les unités paysagères de la Bretagne (fig. 3),
- d'une classification thématique d'occupation du sol d'une image Landsat 5 TM extraite d'une scène du 18-08-1993 dans la région nord-est de la Bretagne (définie par un carré de 14 pixels de côté noté sur la classification thématique de NOAA) (fig. 4).

Du fait de la différence de trace à la verticale des satellites et abstraction faite des déformations des champs instantanés effectifs de prise de vue, réside déjà le problème de localiser, sur l'image Landsat une zone de 36 pixels de côté équivalent à un seul pixel de NOAA (Carré figuré sur la classification de Landsat 5 TM). En effet, afin de réaliser un emboîtement d'espaces, il faut pouvoir intégrer de manière exacte les 1296 pixels de Landsat correspondant au pixel NOAA. La déformation des champs instantanés effectifs de prise de vue ne fait qu'accroître ces problèmes d'intégration du fait du manque de précision de localisation des pixels.

Si l'information d'un pixel NOAA se résume à une seule valeur correspondant à une unité de paysage, les 1296 pixels Landsat révèlent déjà les caractéristiques de la structure agraire et de l'occupation du sol. Il est alors possible d'esquisser le type d'unité paysagère contenu dans le pixel NOAA.

Dans le cas d'analyses de paysage provenant d'images inter-capteurs, étant donné les problèmes d'intégration au niveau spatial et spectral, il est impossible de parler d'emboîtements d'espaces de manière stricto-sensu, même si la lecture des images résultats semble dire le contraire.

Si les termes d'échelle, d'emboîtement et de pixel sont couramment utilisés par les géographes, leur usage est source de multiples ambiguïtés. L'emboîtement d'échelles, défini ici comme passage vers les grandes échelles est bien admis dans le langage courant des analyses spatiales, mais il semble moins évident lors de l'utilisation d'outils telle que la télédétection où subsiste toute l'ambiguïté liée au pixel. Ces données numériques dépendent du champ instantané effectif de prise de vue qui détermine la géométrie et le contenu du pixel, variables d'un capteur à l'autre. Si l'emboîtement d'espaces ne peut être effectué dans le cadre de traitements intra-capteurs, il semble plus cohérent d'analyser ces nouvelles données en passant des grandes échelles vers les plus petites comme le préconisait D. Joly. Dans le cas des données pluri-capteur, il est plus approprié de parler de complémentarité d'informations inter-capteurs. Les données des satellites ayant une fine résolution peuvent venir en complément des traitements des données de capteurs de résolution plus importante et inversement, alors qu'ils ne peuvent pas être intégrés de manière « stricto sensu ». Ces intégrations peuvent être analysées en abordant la problématique d'un point de vue non pas géométrique mais thématique.

Toutes ces réflexions sont menées dans le cadre de l'étude précise d'une région caractérisée par des parcelles de grande, moyenne voire petite taille où subsiste encore le bocage. Les réponses seraient-elles identiques si l'archétype régional était l'open-field comme en Beauce ?

Bibliographie

[1] ANTROP M., 1985 : « Télédétection et analyse du paysage », in *Paysage et systèmes*, sous la direction de V. Berdoulay, M. Phipps, éd. de l'Université d'Ottawa, pp. 125-140

[2] BARIOU R. et al., 1985 à 1996 : *Les dossiers de télédétection*, n° 1 à n° 7, Presses de l'Université de Rennes

- [3] BERTRAND G., 1968 : « Paysage et géographie physique globale », *Revue géographique des Pyrénées et du sud-ouest*, tome 39, fasc. 3, pp. 249-272
- [4] BONN F., ROCHON G., 1992 : *Précis de télédétection, vol. 1 : Principes et méthodes*, Presses Universitaires du Québec, AUPELF, 485 pages
- [5] FERRAS R., 1992 : « Niveaux géographiques, échelles spatiales », in *L'encyclopédie de la géographie*, sous la direction de A. Bailly, R. Ferras, D. Pumain, Paris, éd. Économica, pp. 403-421
- [6] FORSHAW M.R.B. et al., 1983 : « Spatial resolution of remotely sensed imagery, A review paper », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 4, n° 3, pp. 829-834
- [7] GIRARD C.M., 1993 : « Etude de l'occupation du sol de la parcelle au paysage », in *Changement d'échelle dans les modèles de l'environnement et de la télédétection*, 2e réunion, CNRS, Strasbourg, 17-19 mai, pp. 117-123
- [8] JOLY D., 1990 : « Structures cognitives, niveaux d'échelles et statistiques dans l'espace et le temps des géographes », in *Geopoint 90*, pp. 179-182
- [9] LAQUES A.E., 1996 : « Jeux d'échelles... jeux d'approche du concept au fonctionnel », Colloque *Géopoint 1996*, Avignon (à paraître)
- [11] RACINE J.B., RAFFESTIN C., RUFFY V., 1980 : « Echelle et action, contributions à une interprétation du mécanisme de l'échelle dans la pratique de la géographie », *Géographica Helvetica*, vol. 35, n° 5, pp. 87-94
- [12] RAFFY M., 1994 : « Change of scale theory : a capital challenge for space observation of earth », *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, n° 12, pp. 2353-2357
- [13] WILMET J., 1994 : *Questions spéciales de Géographie régionale : géomatique*, Cours de l'Université de Louvain-la-Neuve, Belgique, 61 pages
- [14] WOODCOCK C.E., STRAHLER A.H., 1987 : « The factor of scale in Remote Sensing », *Remote Sensing of Environment*, n° 21, pp. 311-332