



URBANISME ET TELEDETECTION SATELLITAIRE



Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme



Service Technique de l'Urbanisme

URBANISME ET

TELEDETECTION

SATELLITAIRE

Service Technique de l'urbanisme
Division Informatique et Cartographie

Centre National d'Études Spatiales

Octobre 1987

© Les Éditions du STU
64 rue de la Fédération
75015 Paris
Tél. (1) 45.67.35.36
ISBN : 2-11-081989-8

PRÉSENTATION

La Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme du Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire, et des Transports a chargé le Service Technique de l'Urbanisme de la mise en place de l'Observatoire des Phénomènes Urbains.

Dans ce cadre, celui-ci a initié une première réflexion sur les différentes actions qu'il faudrait mener sur le thème de l'urbanisme et de la télédétection satellitaire.

Sans préjuger de l'apport réel de cette technique dans le domaine de l'urbanisme et de l'aménagement, il devient en effet nécessaire de fonder un avis, puis de susciter des programmes d'études et d'expérimentations :

- *le satellite d'observation de la terre SPOT actuellement le plus performant en résolution spatiale est français*
- *d'autres départements ministériels, qui ont à administrer partie du territoire (agriculture, environnement, mer) dépassent aujourd'hui le stade des études et expérimentations pour mettre en place les premières applications opérationnelles de la télédétection*
- *les caractéristiques spécifiques de ce nouvel outil au regard des techniques plus traditionnelles comme la photographie aérienne par exemple, semblent faire écho à la problématique actuelle des observatoires et des systèmes d'information localisée*
- *à un niveau d'ordre régional, l'intérêt pour la télédétection se précise.*

Bien entendu, le thème urbanisme et télédétection n'est pas nouveau. Il a déjà donné lieu à de nombreuses études et fait l'objet de colloques et séminaires nationaux, et internationaux. Mais différentes raisons, qui justifient d'ailleurs en partie le retard relatif de notre département ministériel, expliquent que la télédétection n'ait pas encore de véritables débouchés opérationnels en urbanisme :

- *cette technique est portée depuis toujours par la communauté scientifique sans que de véritables échanges avec les partenaires de l'aménagement et de l'urbanisme se soient réellement instaurés*
- *la résolution des capteurs, suffisante depuis de nombreuses années pour des exploitations d'envergure nationale, n'est devenue que depuis peu compatible avec des applications urbaines, notamment dans les pays occidentaux où le parcellaire urbain et péri-urbain est généralement petit*
- *l'information de la télédétection satellitaire n'est pas strictement de même nature que celle de la photographie aérienne. Au-delà de la morphologie, analogue, l'interprétation thématique requiert des raisonnements nouveaux et des procédures friandes de temps d'ordinateur, du moins dans l'état actuel des modes de faire.*

Pour permettre de dégager des actions prioritaires et d'établir de la meilleure façon son programme de travail, le Service Technique de l'Urbanisme a, dans un premier temps, mis en œuvre deux groupes de travail chargés simultanément dans un délai relativement court, d'informer succinctement les partenaires de l'offre et de la demande de l'état actuel des techniques, méthodes et préoccupations ; de repérer et sélectionner des actions prioritaires. Ces deux groupes, baptisés simplement «offre» et «demande» se sont réunis mensuellement de janvier à juin 1987. Indépendamment des suites qui pourraient être données à ces premières réflexions, il a paru intéressant de les diffuser largement, notamment pour que d'autres avis et suggestions s'expriment.

Dans ce but il a été procédé, avec l'aide du CNES, à une mise en forme, adaptée à un large public, de ces premiers éléments de synthèse. Nous espérons ainsi susciter des réactions des partenaires locaux concernés, administrations locales, acteurs professionnels tant en matière de développement d'information, de souhait de formation, d'identification d'expérimentations possibles.

Dès à présent, ce premier travail a confirmé que les interrogations et les réflexions sur le thème des apports de la télédétection aux professionnels de l'urbanisme se multipliaient sensiblement avec une volonté partagée des différents partenaires d'aller ensemble, plus loin. Il montre également la variété et la complexité des actions à entreprendre, qu'à l'évidence le S.T.U. ne pourra et ne devra mener seul. Aussi, parmi les diverses pistes esquissées par chacun des groupes, le S.T.U., dans le cadre de ses missions, retiendra prioritairement deux axes :

- Favoriser l'expression de la demande, en menant notamment des actions de sensibilisation, comme la diffusion large du présent rapport.*
- Affermir les relations entre les différents partenaires concernés, en entretenant avec eux des relations régulières, en offrant des occasions d'échange, d'évaluation et d'approfondissement.*

Pour l'heure, nous souhaitons, qu'au-delà de ses imperfections, ce document retienne votre attention.

LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- M^{me} **BAIN** Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU)
M. **BALLUT** Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France (IAURIF)
M. **BARIOU** Université de Haute Bretagne Rennes II
M^{me} **BASCIANI** Service Technique de l'Urbanisme
M. **BAUDOIN** Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)
M. **BERGEROT** Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Toulousaine (AUAT)
M^{me} **BRIAND** Association pour le Développement des Études Foncières (ADEF)
M. **BURETTE** Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA)
M. **CAMPAGNE** Institut Géographique National (IGN)
M. **CHAMPION** Association BATISSEUR
M^{me} **CHATELAIN** École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS) : CAMS Marseille
M. **DALMASSO** Direction Régionale à l'Architecture et à l'Environnement (DRAE) du Languedoc-Roussillon
M^{me} **DORIAN** Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU)
M. **ECOBICHON** Service Technique de l'Urbanisme (STU)
M. **ERNECQ** Direction de l'Aménagement du Territoire et du Cadre de Vie ; Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais
M. **GARRY** Service Technique de l'Urbanisme (STU)
M. **GILG** École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS) : CAMS Paris
M^{me} **GIRARD** Institut National Agronomique Paris-Grignon (I.N.A.P.G.)
M^{me} **HORTEFEUX** Service Technique de l'Urbanisme (STU)
M. **HUSSON** SODETEG
M^{me} **JAEHRLING** Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Charente-Maritime
M. **MESSELIS** Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise (AUAS)
M. **PIJOURLET** Communauté Urbaine de Lyon (COURLY)
M. **RIST** Direction Régionale de l'Équipement (DRE) de l'Ile-de-France
M. **SPOHR** Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU)
M. **THOMOPOULOS** École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS) : CAMS Paris
M. **WAUTERS** Direction Régionale de l'Équipement (DRE) de Provence-Alpes-Côte d'azur

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| Rapport du groupe demande | 9 |
| Introduction | 11 |
| Les outils et méthodes traditionnels d'observation et de suivi | 13 |
| Le développement actuel des observations | 15 |
| Les caractéristiques d'une information aujourd'hui | 17 |
| Des questions possibles | 20 |
| Conclusions | 23 |
| | |
| Annexe 1 | 25 |
| Extraits du catalogue | 27 |
| Éléments bibliographiques | 32 |
| | |
| Rapport du groupe offre | 33 |
| Introduction | 35 |
| Présentation technique | 36 |
| Des applications possibles (fiches de cas) | 43 |
| Conclusions | 49 |
| | |
| Annexe 2 | 51 |
| Exemples de traitement | 53 |
| Éléments bibliographiques | 63 |
| Formation | 67 |

URBANISME ET

TELEDETECTION

SATELLITAIRE

rapport du groupe demande

Nos grands médias, débordés qu'ils sont par le flot hétéroclite des événements dont ils doivent rendre compte, restent souvent trop généraux. Que la France ait, voici plus d'un an, lancé un satellite performant d'observation de la terre ne nous a pas échappé. Mais quant aux services qu'il pourrait rendre, lui et ses semblables dans notre domaine, l'aménagement, l'urbanisme, peu d'entre nous les connaissent encore précisément. Personne n'ignore non plus qu'il y a eu une importante décentralisation mise en œuvre en 1982, notamment en urbanisme, que la crise économique a des effets sur l'aménagement, que les techniques informatiques inondent progressivement tous les secteurs d'activités. S'il s'agit de proposer des produits ou des outils nouveaux tels que ceux issus de la télédétection spatiale aux acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme, sait-on précisément à qui et pourquoi faire ?

Nous évoquerons dans les chapitres suivants les différents besoins d'information, les moyens existants ou naissants de les obtenir, dans le contexte actuel. Mais au préalable, il a paru utile de rappeler succinctement ce qu'est ce contexte.

LA DÉCENTRALISATION EN AMÉNAGEMENT ET EN URBANISME

Ces dernières années, de nombreux textes législatifs et réglementaires ont modifié profondément le domaine de l'aménagement et de l'urbanisme, notamment la loi relative à la répartition des compétences entre les communes, les départements, les régions et l'État du 7 janvier 1983 et la loi relative à l'aménagement du 18 juillet 1985. Il n'est évidemment pas question ici de dresser le nouveau panorama qu'elles instituent, d'autant que des décrets d'application manquent, des délais de mise en place ont été repoussés, des ajustements nouveaux sont à l'étude. Quoiqu'il en soit les conséquences, sur les transferts de responsabilités et les modes de faire, sont d'importance, même si elles ne sont pas encore toutes clairement maîtrisées.

L'objectif principal est bien la décentralisation, en spécialisant en quelque sorte les différents niveaux territoriaux pour que ne s'exerce pas la tutelle d'une collectivité sur une autre. Ce sont désormais les communes qui, sous certaines conditions, ont les responsabilités en matière d'urbanisme : plani-

fication, occupation du sol et aménagement opérationnel. L'État cependant reste garant des grands équilibres, responsable des protections et des projets d'intérêts généraux. A la région revient la réflexion, l'incitation et l'impulsion en ce qui concerne l'aménagement du territoire et le développement régional. Au département est reconnu une compétence générale en matière d'aménagement rural et touristique.

Dans le cadre de ce rapport, ce sont bien les conséquences en termes de transfert de responsabilités, qu'il faut souligner puisque pour les techniciens, elle multiplie et diversifie les maîtres d'ouvrage, elle ouvre la voie à une expression nouvelle de besoins, sinon de besoins nouveaux.

Quelques éléments bibliographiques ont été recensés en annexe 1.

L'AMÉNAGEMENT ET L'URBANISME DANS LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE ACTUEL

Simultanément aux importantes évolutions législatives et réglementaires, l'aménagement et l'urbanisme ont vu se modifier très sensiblement leurs problématiques et donc les modes de faire.

Des causes de ces modifications, la plus importante est économique. Les crises de la décennie 70 ne sont plus à considérer comme des perturbations passagères d'un processus régulier de croissance. Certains experts s'accordent pour indiquer qu'au contraire, nous sommes entrés dans un nouveau cycle économique, vraisemblablement assez long, qui se caractériserait notamment par une croissance plus faible en moyenne et aux variations annuelles proportionnellement plus importantes. Quoiqu'il en soit, il semble bien que les planifications doivent être plus souples, plus modulables, et, à la gestion de l'espace, s'ajoute de façon très sensible, la gestion du temps.

Ainsi, lorsqu'il s'agit de planifier un équipement, de réserver une zone à l'activité, il faut s'assurer avec beaucoup plus de soin du réalisme de l'échéancier financier, de l'existence réelle de la demande... et prévoir des hypothèses de repli le cas échéant. Les coûts de fonctionnement pèsent plus sensiblement dans la conception et le choix des aménagements et ils doivent être affinés.

Par ailleurs, en matière d'habitat, à la programmation systématique et lourde de la période de reconstruction et de construction des décennies de l'après-guerre a succédé une demande d'un type de plus en plus proche du «marché de remplacement» dont les conséquences se conjuguent avec celles des crises économiques. Le volume de construction connaît une décélération certaine depuis 10 ans, même s'il conduit encore à une consommation d'espaces nouveaux. Qu'il s'agisse de mieux utiliser un patrimoine existant, de reconquérir une friche industrielle ou de favoriser ou simplement maintenir une activité économique, des interventions s'effectuent de plus en plus fréquemment sur le tissu déjà urbanisé.

Dans ces conditions, les outils de mesure et d'analyse traditionnels dont disposent les aménageurs et les urbanistes se révèlent souvent insuffisants ou inadaptés. Les phénomènes à traduire changent pour partie de nature, avec les friches industrielles, le remodelage de quartiers anciens...

Il faut appréhender plus précisément, localiser et mesurer l'interdépendance des phénomènes et des actions. Il devient nécessaire d'évaluer objectivement l'impact des décisions passées pour affermir les nouvelles.

Cette situation conduit de plus en plus les différents partenaires de l'aménagement à associer et déve-

lopper ensemble leurs réflexions, voire à fédérer et compléter leurs dispositifs d'observation.

L'INFORMATIQUE, ENCORE ET DE PLUS EN PLUS

Le secteur de l'aménagement et de l'urbanisme ne découvre pas l'informatique. Les administrations gèrent depuis longtemps de grands fichiers nationaux informatisés, la bureautique touche un nombre croissant de services, l'informatique comptable se banalise dans les communes, et les plus importantes d'entre elles disposent de systèmes d'information urbains informatisés. Mais la quantité souvent importante d'informations à manipuler, l'aspiration à de meilleures localisations d'une part, le développement des réseaux télématiques et les progrès rapides de la micro-informatique graphique d'autre part, sont autant de conditions convergentes pour une nouvelle et profonde modification des modes de faire. En d'autres termes, l'évolution de l'environnement «technologique» des acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme ne sera sans doute pas sans effet sur leur état d'esprit et leur attitude face à des propositions qui pourraient, aujourd'hui encore, être jugées technicistes.

LES OUTILS ET MÉTHODES TRADITIONNELS D'OBSERVATION ET DE SUIVI

Toute utile que pourrait être l'information satellitaire, elle ne sera pour les aménageurs et les urbanistes qu'une source parmi d'autres. Elle devra s'insérer dans des dispositifs d'information plus larges, tenir compte des équipements disponibles ou accessibles, des pratiques... Pour ces raisons, nous présenterons succinctement dans ce chapitre les outils et méthodes traditionnels d'observation et de suivi. Dans les deux chapitres suivants, nous rendrons compte de l'évolution actuelle des besoins d'information et tenterons de dégager les caractéristiques affirmées ou nouvelles de l'information souhaitée.

LES PRINCIPALES SOURCES

D'INFORMATION NATIONALES

Quelque soit le cadre institutionnel, le niveau territorial, l'aménagement et l'urbanisme exigent des informations très diverses qu'il s'agisse de construction, d'emploi, d'équipement, de foncier... Sur ces différents thèmes, les départements ministériels compétents ont mis en place et gèrent des fichiers particuliers, pour la plupart informatisés, couvrant la totalité du territoire.

Bien sûr, ils ont été constitués et organisés avant tout aux fins de gestion de ces départements ministériels. En conséquence, les informations qu'ils contiennent présentent souvent, pour notre usage, des insuffisances dans leur précision, leur localisation, leur actualité, leur fiabilité voire leur accessibilité. Mais elles existent et sont pour la plupart publiques et souvent délivrées au coût marginal.

Nous avons reporté en annexe 1 un extrait du catalogue de ces sources établi en 1978 par le Service Technique de l'Urbanisme. Bien qu'un peu ancien, il manque par exemple le fichier IMO de la Direction Générale des Impôts ou le fichier UTISOL du Ministère de l'Agriculture, SIROCO est devenu SCLONE, il permet de montrer l'ampleur des utilisations possibles. Par grand type de préoccupation, il n'est pas rare d'associer des données de sources variées. Certains grands fichiers nationaux, outre ceux de l'INSEE, peuvent avoir des utilisateurs multiples.

D'autres fichiers, de mise en place plus récente, s'attachant aux procédures comme SIDU qui permet de suivre l'état d'avancement des Schémas Directeurs et des POS ainsi que la surface des différents zonages, sont d'un usage plus restreint et spécifique. Mais leur existence témoigne du développement de la gestion informatisée et de la collecte d'informations au sein des services des administrations. Toutefois, si progressivement une prise en charge décentralisée des tâches de mise à jour de certains grands fichiers nationaux se met en place, la diversité des sources, de leur niveau de localisation, de leur présentation ainsi que de leur accessibilité posent encore de nombreux problèmes à la plupart de leurs utilisateurs. Des réflexions sont en cours au Ministère de l'Équipement pour faciliter le recours des services extérieurs à ces informations mais aussi en permettre une rediffusion vers les collectivités locales, les milieux professionnels,... Il est ainsi envisagé de mettre en place un système d'information localisée géographiquement à la commune qui constituerait :

- une centrale «d'achat» des fichiers nationaux les plus utiles et de «redistribution» après structuration en blocs thématiques et traitement pour les adapter aux moyens dont disposent les services,
- une «structure d'accueil» homogène pour la réalisation de banques de données communales visant à améliorer les conditions d'échange et de comparabilité des informations.

Il faut noter également que différents organismes, de droit public ou privé, ont été mis en place par certaines administrations centrales et leurs différents partenaires pour mener des études plus ou moins périodiques, comme BATISSEUR, l'ADEF,... Il est fréquent que ces organismes rassemblent et manipulent un nombre important d'informations, dans divers domaines, comme la démographie, le marché de l'emploi, le suivi de l'urbanisme opérationnel.

AUTRES SOURCES

En complément des sources précédemment évoquées, sur des territoires plus limités, des informations complémentaires sont souvent collectées ; qu'il s'agisse de dispositifs statistiques d'organismes divers, de données d'enquêtes spécifiques, rassemblées ou collectées à l'occasion d'études ou

d'analyses particulières, leur réutilisation reste encore souvent malcommode. Aussi, différents organismes ont-ils mis en place des répertoires qui facilitent la connaissance de l'existence de ces informations, voire en permettent un accès télématique.

Des démarches de ce type sont de plus en plus nombreuses et nous n'en mentionnerons que deux, indiquées par des membres du groupe de travail.

Ainsi, la Direction Régionale de l'Équipement de l'Île-de-France a créé dès 1978 un groupe permanent des données d'aménagement qui a édité chaque année jusqu'en 1982 un catalogue de recueils de données. Avec la décentralisation, ce groupe a été étendu et restructuré pour devenir le réseau d'administration et d'information sur les données d'aménagement (RESAIDA) comprenant les responsables des différents domaines d'intervention de la Direction Régionale de l'Équipement. Le réseau définit les domaines qui nécessitent des collectes systématiques de données, la politique d'acquisition, les types de traitements, les modalités de diffusion. Un nouveau catalogue a été mis au point qui distingue notamment les données internes des données externes à la DRE.

Au niveau de l'agglomération, l'Agence d'Urbanisme pour l'Agglomération de Strasbourg par exemple a restructuré l'ensemble des données qu'elle a collectées de façon systématique ou à l'occasion d'études particulières, pour en permettre de meilleures exploitations et en faciliter l'accès. Ainsi, est-il possible pour une époque, un thème d'étude, un niveau de localisation, de rassembler rapidement des informations des recensements INSEE, de services économiques de la DDE, d'Offices de HLM, de la Direction Régionale des Impôts, et celles dont l'agence assure la collecte, sur la consommation du sol, par exemple.

Enfin, au niveau des villes, le développement d'applications informatiques diverses montre que fréquemment, aux préoccupations initiales de gestion qui ont motivé la mise en place de systèmes informatisés, s'ajoutent des problématiques de systèmes urbains. Nombreuses sont actuellement les villes, même de taille moyenne, qui envisagent à court ou moyen terme, de se connecter avec des réseaux nationaux, de mettre en place ou de participer à des structures locales d'échange d'informations.

L'ÉTAT DES RÉFLEXIONS

Il apparaît aujourd'hui clairement à tous les partenaires de l'aménagement et de l'urbanisme que les sources existantes d'information constituent un patrimoine important, insuffisamment valorisé. Les profondes modifications structurelles de la décentralisation et la pression technologique de l'informatique alimentent mais aussi complexifient la conception des améliorations à apporter.

En effet, il faudrait tout à la fois réduire l'inertie de dispositifs d'autant plus riches qu'ils sont institués de longue date, normaliser des concepts, des référentiels, des matériels. Il paraît donc peu vraisemblable que se produise à court terme, une avancée spectaculaire. Par contre, la conduite actuelle de la réflexion par grande filière d'exploitation des données (application du droit des sols, zonage,...), la reconnaissance du partage des rôles de chacun des partenaires dans le développement de «bases de données» (aspects «centrale d'achat», centre serveur, instrumentation, diffusion des données) pourraient favoriser une évolution assez rapide des états d'esprit.

LE DÉVELOPPEMENT ACTUEL DES OBSERVATIONS

Même lorsque les aménageurs et urbanistes parviennent à utiliser au mieux les sources existantes, l'évolution des problématiques que nous évoquions en introduction, conduit à des besoins complémentaires, pour appréhender plus précisément, dans l'espace et le temps, les phénomènes, pour en saisir de nouveaux, repérer et analyser leurs relations.

Appréhender plus finement est évidemment une nécessité lorsqu'avec des moyens financiers plus limités, il s'agit de gérer des équilibres locaux, d'appliquer des politiques sociales, de décider d'investissements neufs. La saisie de nouveaux phénomènes se pose avec acuité dans les zones en reconversion, les quartiers anciens, ou les sites concernés par de grands équipements d'infrastructure. Repérer et analyser les inter-relations est indispensable lorsque le chômage perturbe les attitudes habitat-activité, lorsque l'évolution des modes de vie limite la notion de cellule familiale, lorsque les compétitions se font plus sévères en matière d'équipement commercial ou de loisir...

Dans le même temps, les frontières traditionnelles des domaines d'intervention des différents acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme se font moins nettes. Avec la décentralisation bien sûr, qui a transféré des responsabilités de l'État aux Collectivités Locales - nous l'avons vu - mais aussi modifié les rôles et modes d'action des services extérieurs de l'État dont une partie est maintenant sous la responsabilité directe des élus territoriaux, dont une autre peut être mise à disposition. Mais aussi parce que les Collectivités Locales interviennent de plus en plus en matière économique et parce que certains partenaires professionnels adaptent avec pragmatisme leur stratégie.

Dans ces conditions, il est peu étonnant qu'après avoir pris conscience du nécessaire investissement dans l'amélioration de la connaissance de leur domaine, certains partenaires fédèrent leurs moyens non seulement pour valoriser leurs informations respectives, mais aussi mettre en œuvre des procédures spécifiques plus pertinentes. Les propositions de mise en place de l'Observatoire des Phénomènes Urbains se fondent d'ailleurs sur cette dynamique. C'est donc par filières sectorielles et sur les aires géographiques opérationnelles qui leur correspondent que se mettent en place ces structures d'observation.

En matière d'observation foncière par exemple, il y a longtemps que des démarches de ce type ont été entreprises. Tant dans le domaine de la planification, que pour la gestion des sols ou le montage d'opération, il est nécessaire d'avoir des éléments de stock pour connaître le gisement, ses caractéristiques de structure, de niveau d'équipement, de prix..., et des éléments de flux pour analyser son fonctionnement, définir une politique foncière. Les sources d'information en la matière sont diverses (DGI avec le FPNB, les extraits d'actes notariés, Services extérieurs de l'Équipement avec SICLONE et STAAD), et les partenaires a priori concernés, nombreux. Différentes structures au niveau départemental ou de grandes agglomérations se sont donc constituées, qui mettent en œuvre, avec des succès divers, des outils permettant l'élaboration de tableaux de bord essentiellement, mais dont certains évoluent vers des observatoires. Dans cette logique, des questionnements sont formulés sur l'existence d'outils d'observation complémentaires ou permettant l'obtention rapide de données de cadrage homogènes.

En matière d'économie locale, si la création d'activités, le sauvetage d'entreprises, la sauvegarde d'emplois ont toujours été des préoccupations pour les élus, la décentralisation et l'acuité des problèmes intensifient leur rôle. Là encore, le besoin d'une meilleure connaissance du tissu économique qui, au-delà du simple rassemblement de données existantes, met en évidence les mécanismes fonctionnels et décisionnels qui le déterminent, conduit à la mise en place progressive d'observatoires économiques locaux. Dans ce cadre, différentes démarches sont entreprises comme le montre les observatoires initiés par le STU : rassemblement et restructuration des données existantes, enrichissement par enquêtes et éventuellement entretiens, identification de filières de production, affermissement de méthodes d'analyse et de suivi ; prise en compte de la dimension spatiale avec l'intégration de facteurs autres qu'économiques. Les partenaires couramment associés sont les services des collectivités locales, des structures professionnelles comme des Chambres d'Industrie et de Commerce, des représentants de services extérieurs de l'État, des spécialistes de l'observation avec les Directions Régionales de l'INSEE et les Universités. Il est donc à prévoir, notamment pour l'appréhension des aspects spatiaux, que des besoins d'informations nouvelles seront de plus en plus exprimés par ces observatoires.

En matière d'habitat et d'aménagement, et notamment dans des régions affectées par des modifications économiques profondes, les différents responsables souhaitent mieux connaître le parc locatif social, son état, les flux internes et les échanges avec le parc immobilier privé, et la demande de logement de ce type ; mieux connaître le marché immobilier, de la construction neuve et de la réhabilitation, la part du financement aidé, la solvabilité des demandeurs, l'activité du marché de l'immobilier ancien ou encore les problèmes spécifiques de l'habitat insalubre. Dans ce domaine de préoccupation, nous retrouvons encore, de façon plus diversifiée et démultipliée, des partenaires des Collectivités Locales, des Services extérieurs du Ministère de l'Équipement, des acteurs professionnels publics et privés, des spécialistes des Directions Régionales de l'INSEE et d'Universités.

La programmation de grandes infrastructures comme le Transmanche ou le pont de l'Île de Ré donne aussi lieu à l'expression de besoins d'outils d'observation de l'occupation du sol, voire à la constitution «d'état zéro».

Sans que l'on puisse encore véritablement parler d'observatoires, divers partenaires du tourisme réfléchissent actuellement aux moyens de pallier les insuffisances des données existantes en la matière et notamment de la mauvaise prise en compte de leur localisation.

Outre ces raisons objectives, le développement des besoins d'observation se trouve conforté par les recompositions des rôles des différents partenaires, qu'il s'agisse d'affermir une fonction de redistribution d'informations de certains Services extérieurs de l'État, de permettre aux acteurs locaux d'être moins dépendants technologiquement du niveau parisien, ou d'apporter des arguments objectifs dans l'adaptation des logiques privé-public, collectif-individuel...

Au-delà de la formulation de besoins d'informations nouvelles, cette dynamique actuelle en matière d'observation, en amenant les aménageurs et urbanistes à approfondir la réflexion sur les outils et les méthodes, devrait favoriser un échange plus pragmatique et efficient avec les techniciens de l'observation.

LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE INFORMATION AUJOURD'HUI

Nous indiquions, à la fin du chapitre II, que de plus en plus des aménageurs et urbanistes revendiquent des possibilités d'une meilleure valorisation des informations existantes par une meilleure accessibilité et/ou diffusion, par des harmonisations, et des mises en cohérence... Ceci touchait à la forme. Quant au fond, nous venons d'esquisser, au chapitre III, quelques tendances pour une observation plus fine et la mise en évidence d'inter-relations.

Les préoccupations de «systèmes d'information», d'observatoires, qu'ils soient urbains, localisés, géographiques, sont actuelles. Nombreux sont les séminaires, les colloques, les journées qui permettent aux spécialistes d'échanger et d'approfondir. Mais il s'agit le plus souvent des méthodes et des outils et beaucoup plus rarement du contenu, c'est-à-dire de l'information elle-même.

Dans ces conditions, il n'est pas inutile d'essayer de préciser ce que sont aujourd'hui pour les responsables et les techniciens, les caractéristiques des informations utiles ou souhaitées en proposant quelques points de repère. Sans doute, ce qui suit paraîtra-t-il contestable et schématique. Mais cette approche n'est destinée qu'à favoriser la discussion et l'échange.

Quelles sont donc les caractéristiques d'une information aujourd'hui ?

Pour plus de clarté, et par ce que c'est peut-être aussi une caractéristique, nous avons distingué celles qui ont tendance à mettre les informations en concurrence et celles qui les rapprochent.

DES CARACTÉRISTIQUES QUI TENDENT À METTRE EN CONCURRENCE LES INFORMATIONS

En premier lieu, leur nombre ! La quantité d'informations accessibles, manipulées ou souhaitées s'accroît considérablement. Puis leur fraîcheur, sans laquelle elles ne pourront bientôt plus prétendre s'appeler «information». Enfin leur «pureté», leur état «brut», sans lesquels l'utilisateur rechignera de plus en plus à les utiliser.

Bien sûr, toutes les informations ne sont pas concernées avec la même acuité ou la même force par ces caractéristiques nouvelles ou qui tendent à prédominer. Celles destinées aux systèmes d'information statistiques, sur la totalité ou une partie importante du territoire, de niveau «macro», qui alimentent des comptes nationaux ou des indicateurs, le sont moins que celles traitées dans les systèmes d'information de gestion, à usage et évolution quasi-quotidiens. Mais ce n'est sans doute qu'une question de temps...

Des informations toujours plus nombreuses.

Aujourd'hui, les informations que peuvent - doivent ? - traiter les responsables, les gestionnaires, les techniciens, sont en nombre toujours croissant. Elles se développent sous la pression de l'évolution des problématiques qui conduisent à des besoins d'observation complémentaires - d'ordre socio-économique notamment - ou plus fines - pour mieux connaître par exemple la «vitalité» du tissu urbain existant ; de l'offre qui augmente, avec la télé-détection ou les nouvelles possibilités d'accès télématique à des sources existantes ; de modes de faire concurrents. Au-delà des quelques grandes données issues d'inventaires nationaux, se constituent des séries, des familles d'informations utilisables.

Cette évolution modifie plus fondamentalement qu'on ne le pense généralement, le statut d'une information quelconque au sein de cet univers en expansion. Ainsi :

- la fiabilité devient une contrainte forte, à la fois sous l'angle d'une précision adaptée, puisqu'elle doit décrire des phénomènes souvent plus subtiles et sur le plan de la sûreté, car plus une information décrit un phénomène élémentaire et plus sa vérité est immédiatement contrôlable par l'acteur local.
- la pertinence d'une information, qui n'est plus seulement une option pour utilisateur intellectuellement averti, mais signifie tout à la fois son aptitude à répondre correctement à la question posée et l'optimisation du rapport coût/efficacité.
- la pérennité de sa collecte est une condition importante de son utilisation. En effet, de plus en plus, au-delà des bilans quantitatifs, sont demandées des séries chronologiques pour mettre en évidence des flux, des évolutions, des synchronismes ou des tendances. Pour les mêmes raisons, la date de l'in-

formation est de moins en moins dissociable de l'information elle-même.

- son accessibilité est déterminante dans le développement de son utilisation. Tout d'abord, l'information doit faire sa publicité : il faut que l'on sache qu'elle existe. Ensuite, elle doit être accessible aisément, c'est-à-dire l'être dans les conditions normales ou habituelles de travail de son utilisateur potentiel.

Les informations, et par suite leurs systèmes, entrent en quelque sorte en compétition...

L'importance croissante de la fraîcheur

Inutile d'insister : la lenteur de la publication de certains éléments du R.G.P. (Recensement général de la population) ou l'absence du dernier tronçon d'autoroute sur une carte au 1/25 000, par exemple, ont été maintes fois dénoncées. La qualité première d'une information est évidemment d'exister (c'est-à-dire d'être accessible). Dans un certain nombre de cas, des procédures quelque peu perfectionnistes de collecte et de traitement font perdre en intérêt et pertinence, parce que trop longues, ce qu'elles apportent en précision et présentation. Aussi, suivant la durée de vie de l'information concernée, convient-il d'imaginer des procédures à une ou deux vitesses optimisant en quelque sorte ce rapport qualité/fraîcheur selon l'utilisateur, l'urgence et le type de l'utilisation, voire les moyens qui peuvent lui être affectés.

Une information «brute»

Suivant les phénomènes ou les situations qu'elle vise à décrire, l'information n'en transmet qu'un «codage» plus ou moins approximatif et réducteur, par le jeu des typologies ou des représentations cartographiques par exemple.

Chaque fois que cela sera possible, l'information devra être accessible sous sa forme la plus objective ou la plus «brute de saisie», ce qu'autorise l'évolution technologique avec notamment l'utilisation de plus en plus fréquente du support magnétique, mais requiert dans certains cas, des formations particulières de l'utilisateur, qu'il s'agisse de la connaissance des procédures de collecte et de leurs limites ou d'une maîtrise minimale de la statistique ou de la cartographie.

L'utilisateur se chargera de plus en plus lui-même de la manipulation de cette information, de son recoupement avec d'autres, et de sa représentation cartographique. Par suite, il soupçonnera celles des informations offertes qui seront les plus «préformées». Le rôle des techniciens sera tout autant de répondre à des questions précises de l'utilisateur, que de démontrer l'intérêt, la pertinence de telle donnée ou de telle méthode, qui sera ou non reprise par l'utilisateur.

Ceci vaut pour les informations statistiques traditionnelles qui devront être obligatoirement accompagnées de leur «catalogue des sources» (définition, contenu, méthode d'acquisition), pour des produits plus techniques (photographie aérienne et aujourd'hui imagerie satellitaire). De plus, l'évolution technologique fait entrer de plain-pied dans l'information «brute» des informations jusqu'à présent peu utilisées ou encore considérées comme accessoires : par exemple les images d'ouvrages d'art, de façades, d'itinéraires routiers, etc... stockées sur vidéo-disque ou disque optique.

Par ailleurs, l'économie des systèmes d'information va dans ce même sens. Elle sépare en effet de plus en plus la collecte des données qui devient le fait ou de la responsabilité des «auteurs» ou des «observateurs» de ces informations, de l'utilisation proprement dite de l'information. En général, ces dispositions garantissent mieux la fiabilité et l'actualité d'une information, favorisent une utilisation multiple et facilitent le montage financier de la collecte.

DES CARACTÉRISTIQUES QUI RAPPROCHENT LES INFORMATIONS

Besoin d'une gamme étendue

Quelque soit le niveau territorial où se situent les réflexions et les demandes de planification ou d'aménagement, il faut toujours pouvoir articuler ses propres informations avec celles des niveaux territoriaux supérieur et inférieur. Dans ces conditions, pouvoir disposer d'une gamme étendue de produits, à des échelles variées, est intéressant. Que le satellite par exemple, permette une vision simultanée d'un territoire étendu est en soi un atout, et ce d'autant que la parcellisation de sources d'informations traditionnelles, consécutives à la décentralisation, nécessitera des données complémentaires de mise en cohérence, voire de substitution.

Forme numérique

Nous l'avons vu précédemment les informations se prêtent de plus en plus à des usages multiples. La forme numérique d'une information, qui facilite sa manipulation et son intégration dans un système d'information est donc aussi un atout.

Des besoins renouvelés

Malgré le nombre déjà important d'informations collectées traditionnellement, les aménageurs et urbanistes restent quelquefois démunis pour traiter telle ou telle problématique nouvelle. Nous l'avons vu également. Il n'est peut-être pas déraisonnable de penser que l'on puisse mettre au point des cap-

teurs - satellitaires ou aéroportés - adaptés au milieu urbain.

Interactivité et complémentarité

De plus en plus, il faut pouvoir mettre en relation des données localisées et des données statistiques. Avec le développement des matériels et systèmes

informatiques, qui permettent maintenant d'associer sans trop de difficultés, images et nombres pour l'analyse et la présentation, la forme numérique primitive d'une information la prédestine à un usage simplifié. Reste toutefois à établir des normes de localisation de type géographique, sans lesquelles ne pourront correctement se développer de telles applications.

DES QUESTIONS POSSIBLES

Nous avons tenté dans les chapitres précédents de donner une vision rapide mais actualisée des pratiques et besoins d'information en matière d'aménagement et d'urbanisme. Nous allons dans ce chapitre, nous risquer à formuler une série de questions possibles, sûrement non exhaustive.

Le classement de ces différentes questions selon le type de démarche ou le niveau territorial n'a finalement pas été retenu parce qu'en réalité, et le chapitre III le confirme, il n'y a pas rupture mais continuité entre ces démarches et ces niveaux. Nous distinguerons plutôt quatre types principaux de sollicitations : des quantifications régulières plus ou moins espacées dans le temps, une participation à l'analyse de milieux, une démarche de veille, une capacité à apporter des éléments d'information sur des événements ponctuels, soudains ou de brève durée.

DES QUANTIFICATIONS

RÉGULIÈRES

Mesure de l'impact des documents de planification

Le suivi et l'évaluation des politiques publiques ne sont guère développés, d'une façon générale, en France. Les méthodes ne sont que peu nombreuses et souvent contestées. Fréquemment considérées comme non directement productives, elles ne peuvent disposer des moyens qu'elles requièrent. Alors comment mettre commodément au regard d'un plan d'occupation des sols, l'évolution réelle sur 5 ans d'une commune ? au regard d'un schéma directeur, l'évolution réelle sur 10 ou 20 ans d'une agglomération ? Ceci suppose de pouvoir discriminer l'occupation du sol selon les types d'habitat ou d'activité, leur densité, ... et de pouvoir les situer dans les zonages réglementaires ou les localisations prévues.

Suivre les effets de l'urbanisation sur les milieux agricoles et naturels

Le territoire est nécessairement inégalement couvert en matière de documents de planification. En supposant même que certains dispositifs puissent exister là où des documents de planification ont été établis, comment de façon plus générale, constater objectivement et complètement l'impact de l'urbanisation sur les milieux agricoles et naturels et déceler de cette façon des effets induits ? Il s'agit

moins ici de respecter le vocabulaire préétabli d'une réglementation que de repérer avec sûreté des modifications, si possible en les identifiant.

Mesurer l'impact des grandes infrastructures

Ainsi il est intéressant d'évaluer les conséquences des travaux des constructions des nouvelles autoroutes, du Transmanche, du pont reliant l'Île de Ré au continent...

Suivre les mutations du tissu économique

Pour les raisons que nous indiquons dans les précédents chapitres, cette meilleure connaissance de l'évolution du tissu économique est essentielle en aménagement et en urbanisme. Peut-on mieux quantifier et qualifier ces espaces et suivre leur dynamique dans leur extension ou leur recomposition interne et notamment leurs «délaiés» avec les friches industrielles ? Il n'est pas aussi aisé qu'on pourrait l'imaginer de connaître par exemple, la part des activités industrielles, administratives, des aires de stockage, des réserves dans un tissu donné.

Suivre les mutations d'un bassin d'activité

Plus largement, les mutations économiques ont des effets sur l'ensemble de l'urbanisation, en termes d'habitat par exemple, effets d'autant plus importants que prédominait une activité aujourd'hui en crise, ce qui est le cas de bassins miniers. Il n'est toutefois pas question ici de procéder comme au point précédent à une observation affinée d'un milieu, mais plutôt de permettre une première approche rapide et économiquement raisonnable.

Analyse des espaces en désuétude

Cette analyse se situe dans le prolongement du suivi du tissu économique. Il arrive assez fréquemment que des espaces particuliers liés à des zones d'activité tombent en désuétude sans pour autant qu'il y ait crise économique, mais parce que des techniques ou des organisations évoluent. Il peut s'agir d'annexes aux secteurs industriels, d'emprises SNCF, etc... Est-il possible d'isoler commodément ce type d'espace, avec une garantie suffisante de leur réel abandon ?

Évaluation des mesures de protection des espaces naturels

Autant il est aisé de connaître ponctuellement, par diverses sources des conflits particuliers entre urbanisation et espaces naturels, autant il est difficile

d'effectuer une évaluation globale de l'efficacité de mesures de protection des espaces naturels. Une observation périodique de ce type d'espace autoriserait-elle une analyse pertinente des évolutions, une identification minimum de leurs causes et de leurs effets ?

D'autres questions pourraient également être précisées sur différents thèmes comme la pollution des sols (points d'émission, modèle de dispersion), l'imperméabilisation des sols, le suivi de nappes phréatiques, les taux d'occupation de voirie ou densité de circulation.

UNE PARTICIPATION A L'ANALYSE DES MILIEUX.

En matière d'aménagement et d'urbanisme, pour l'analyse et le suivi de l'urbanisation se posent souvent, outre la disponibilité d'informations diverses, des problèmes de méthode et d'approche. La vision différente et nouvelle du monde urbanisé qu'apporte la télédétection satellitaire peut-elle alors contribuer à l'amélioration de ces méthodes ? Ainsi par exemple :

Tissus urbains «perturbés»

Tout comme on décèle des forêts «malades», peut-on imaginer percevoir des perturbations de tissus urbains par la mise en évidence de déséquilibres dans la composition habitat-activité ou par le repérage de quartiers «morts» sous l'angle énergétique ?

Mesure d'indice de végétation

Connaître l'indice de végétation d'une agglomération, surtout en partie périphérique n'est pas chose commode : l'information sur les espaces privés manque, les dénombrements ne sont pas souvent connus, les aspects qualitatifs ne sont pas intégrés. Est-il possible de construire un tel indice à partir d'observations de l'occupation du sol et, le cas échéant, avec quelle précision ?

Densité d'activité économique

Tout comme certaines activités biologiques sont parfaitement mesurables, est-il concevable de préciser et mesurer l'activité économique humaine ?

Dynamique, mobilité du «front» urbain

A l'image du trait de côte dont la complexité varie selon l'échelle de représentation, le front urbain prend des significations variables suivant que l'on se situe dans un quartier, une commune ou une agglomération. A un niveau d'ordre régional, mieux connaître la dynamique du front urbain serait riche

d'enseignement. Quelle(s) conception(s) de ce front urbain, la télédétection autorise-t-elle ?

«Mutabilité» des tissus des banlieues industrielles

De la même façon, peut-on imaginer percevoir des instabilités de structure, de proximité, propices à des mutations du tissu urbain et notamment en banlieues industrielles ? Ou encore de «sous-occupations» du tissu urbain ?

Zones de «sensibilité»

Par une grande couverture géographique simultanée et par le transfert de modèles, est-il concevable de valider des hypothèses de sensibilités différenciées des espaces à proximité d'infrastructures ?

Mesure et suivi de «conflits» d'usage, en zone littorale notamment

En zone littorale particulièrement, les conflits d'usage sont nombreux et fréquents qu'il s'agisse de tourisme et espace naturel, d'activité portuaire et ville... Dans la mesure où de tels conflits seraient d'une façon ou d'une autre décelables, pourrait-on en suivre l'évolution.

Et, de façon plus générale :

Les typologies de tissus urbains traditionnelles sont essentiellement socio-économiques. D'autres approches tenant compte de la nature, de l'âge des matériaux, des structures et des densités sont-elles envisageables ?

D'autres interrogations seront sans doute permises s'il s'avérait que la télédétection offrait une bonne maîtrise des inter-actions entre la densité et la texture du tissu urbain ouvrant ainsi la voie à des typologies plus qualitatives et des indications de dynamique interne.

En zone frontalière, les analyses sont rendues plus difficiles en raison de l'hétérogénéité des informations accessibles de part et d'autre. La télédétection peut-elle permettre d'établir un lien, une cohérence et des compléments éventuels ?

UNE DÉMARCHÉ DE VEILLE

Nombre de thèmes ne justifient pas une observation régulière souvent lourde. Toute la difficulté réside dans l'optimisation d'un dispositif raisonnable qui permette toutefois de repérer avec pertinence des évolutions significatives.

Dans cette catégorie de demande, les besoins sont multiples. Citons par exemple des évolutions périphériques aux aires urbaines comme la cabanisation, la fragilisation de secteurs agricoles par modi-

fication de la taille et de l'organisation parcellaire ou encore le suivi et l'analyse de l'évolution du trait de côte.

UNE INFORMATION SUR DES ÉVÈNEMENTS PONCTUELS, SOUDAINS.

Face à toute une série de phénomènes ou d'évènements imprévus, de brève durée ou très localisés, les aménageurs et urbanistes restent assez démunis de moyens d'information.

Sans développer ce thème, nous nous interrogeons sur les apports de la télédétection satellitaire pour l'analyse du comportement et des conséquences de phénomènes comme les inondations, les incendies de forêts, la sécheresse, les grandes marées ou les glissements de terrains.

Lors des différents échanges que nous avons eus dans le groupe de travail, il est clairement apparu que dans l'état actuel de la technique, il existait vraisemblablement un seuil d'utilisation de la télédétection satellitaire à partir d'une certaine densité urbaine. La question se pose alors de savoir s'il n'existe pas des moyens réalistes de compléter l'information satellitaire par une information de même type mais de meilleure résolution spatiale obtenue depuis des capteurs aéroportés.

CONCLUSIONS



Le rapport de notre groupe de demande peut paraître quelque peu succinct et incomplet. Mais il ne s'agissait, dans une formation transitoire, que d'effectuer une information rapide des partenaires du groupe offre.

Dans ces conditions, nous présentons nos conclusions sous la forme d'une série de thèmes ou d'actions qu'il nous paraît intéressant de pouvoir approfondir ou mener. Bien sûr, les découpages opérés tiennent autant de commodités d'écriture que d'une articulation logique et rigide ; l'ampleur et la hiérarchie des travaux à poursuivre dépendront des moyens qu'il aura été possible de fédérer.

LES PRATIQUES ÉTRANGÈRES

Ce thème est l'un des points que nous aurions souhaité développer. Mais il semble qu'il n'existe pas d'informations véritablement complètes et structurées, sur les pratiques étrangères et notamment dans les pays occidentaux.

La recherche documentaire et l'analyse pourraient s'organiser selon deux axes aux finalités sensiblement différentes. Un premier axe sur les pratiques « occidentales » qui permettrait d'une part d'enrichir les réflexions sur les méthodes, leurs apports, leurs limites, et d'autre part de n'être pas pris au dépourvu dans l'hypothèse où des prestataires étrangers proposeraient dans quelque temps des produits finis. Un second axe sur les pratiques dans les pays en développement, démunis de sources traditionnelles d'information, pour lesquels il semble que l'on passe actuellement du stade d'expérimentations plus ou moins exploitées, à celui d'applications opérationnelles raccrochées, comme à QUITO, à un système d'informations urbain. Il n'est pas dit effectivement que certains des concepts développés dans ce cadre, ne soient pas transposables aux milieux urbains occidentaux. Par ailleurs, la télédétection appliquée à l'aménagement dans ces pays n'entre-t-elle pas dans le secteur d'activités de l'information géographique au sein duquel des professionnels cherchent à garder ou à conquérir un marché extérieur ?

LA FORMATION, L'INFORMATION

Sans méconnaître les efforts actuels de sensibilisation du CNES, de SPOT-IMAGE, de l'IGN, et de différents scientifiques et universitaires, le dialogue

avec les techniciens est loin d'être véritablement établi. Deux actions sont à mener simultanément, car il leur faudra du temps pour qu'elles produisent des effets.

Tout d'abord, il faut que l'information touchant à l'évolution de ce secteur technique, sur les expérimentations en cours et leur évaluation, circule dans les médias professionnels des aménageurs et urbanistes. En second lieu, et il semble bien que ce soit une condition déterminante du développement d'applications, il faut que des aménageurs et des urbanistes se forment aux techniques de la télédétection. Ce n'est que par la réflexion au sein d'équipes pluri-disciplinaires que la prise en compte de nos préoccupations pourra véritablement s'opérer comme cela a été le cas en agriculture ou en géologie par exemple. C'est aussi le moyen de pouvoir participer valablement à l'évolution de cette technique, si la définition de capteurs nouveaux s'avérait nécessaire... et possible.

TÉLÉDÉTECTION ET SYSTÈMES D'INFORMATION

Ce thème déborde bien sur le cadre du groupe de travail. Mais la forme très contemporaine de l'information de la télédétection satellitaire, à la fois numérique et en mode « maillé » est peut-être propice à une formulation nouvelle de problèmes non ou mal résolus que pose le développement des systèmes d'information.

Au-delà de l'intégration proprement dite de l'information satellitaire dans un système d'information, il convient effectivement de réfléchir également aux difficultés d'association d'informations aux typologies quelquefois très variées et peu cohérentes, ou l'usage de localisants différents. Il serait intéressant de connaître à cet égard, le point de vue des spécialistes de l'IGN qui mettent en place la banque de données cartographiques ou des techniciens qui développent et gèrent les systèmes d'information de grandes agglomérations qui ont nécessairement des approches prospectives.

DES EXPÉRIMENTATIONS SIMPLES ET REPORTABLES

Simultanément aux développements méthodologiques que propose le groupe offre, il paraît complémentaire et important de pouvoir mener quelques expérimentations légères, en collaboration complète avec les partenaires locaux concernés,

pour déboucher rapidement sur de premiers exemples d'application, même simples, mais immédiatement «portables» sur d'autres sites. Pour que se développe la demande et s'intensifie le dialogue, il est effectivement indispensable de disposer de manipulations en vraie grandeur, assorties de leur évaluation par les acteurs locaux. Le travail récemment effectué par l'agence d'urbanisme pour l'agglomération strasbourgeoise, «téléde-

tection et paysages urbains», est illustratif de la démarche que nous proposons.

Dès à présent, nous étudions quatre sites de problématiques différentes, pour lesquels une participation locale active pourrait être obtenue et serait alors proposée dans le programme «aval» de SPOT, mise en place par le CNES.

ANNEXE 1

Extraits du catalogue

Éléments bibliographiques

EXTRAITS DU CATALOGUE DES PRINCIPALES SOURCES D'INFORMATION

AGRICULTURE

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|----------------------|---------------------------------------|--|
| Recensement Général de l'Agriculture FICHE N° 24 | - Commune | - Individu - Exploitation agricole | Les seuls individus décrits sont ceux qui vivent ou travaillent sur l'exploitation agricole |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| Enquête annuelle sur la structure des emplois FICHE N° 11 | - Commune | - Établissement | Les établissements agricoles ne peuvent faire partie du champ de l'enquête qu'au dessus de 15 salariés. Le secteur privé est couvert en totalité. Le secteur public partiellement. |

BATI

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|---|---|--|
| Fichier des propriétés bâties FICHE N° 15 | - Adresse complète en code | - Entreprise, Individu - Local - Immeuble | Les seuls entreprises ou individus sont les propriétaires du local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires |
| Fichier des matrices cadastrales bâties FICHE N° 17 | - Adresse complète en code et en clair | - Entreprise, Individu - Local | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local, et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| SIROCO FICHE N° 23 | - Adresse en clair selon les départements, îlots, section cadastrale au coordonnées Lambert | - Permis de construire - Bâtiment - Local | Les logements sont décrits par bâtiments et les autres locaux par destination. |
| Fichier des taxes d'habitation | - Adresse complète en code | - Logement | |

COMMERCES ET SERVICES

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|---|----------------------------------|---|
| Fichier des grandes surfaces commerciales (I.F.L.S.) FICHE N° 29 | - Adresse postale en clair - Commune | - Point de vente | |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| SIRENE FICHE N° 12 | - Adresse complète en code | - Établissement - Entreprise | En principe, le système SIRENE ne répertorie que les activités industrielles, commerciales, et des services employant des salariés mais, en pratique, il a été étendu partiellement aux administrations et aux professions libérales. |
| Enquête annuelle sur la structure des emplois | - Commune | - Établissement | Les établissements commerciaux et de services ne peuvent faire partie du champ de l'enquête qu'au-dessus de 10 salariés. Le secteur privé est ouvert en totalité, le secteur public partiellement. |

EMPLOI

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|--|---|--|
| Demandes et offres d'emploi non satisfaites FICHE N° 21 | - Agence locale pour l'emploi | - Individu - Emploi offert | Demondeur d'emploi |
| Enquête annuelle sur la structure des emplois FICHE N° 11 | - Commune | - Établissement | Les établissements agricoles ne peuvent faire partie du champ de l'enquête qu'au dessus de 15 salariés, les établissements industriels, commerciaux et des services qu'au dessus de 10 salariés. Le secteur privé est ouvert en totalité, le secteur public partiellement. |
| Population active au lieu de travail 1968 FICHE N° 5 | - Commune | - Commune | |
| Préimprimés au lieu de résidence (recensements de population 1968 et 1975) FICHES N° 4 ET 8 | - Commune | - Commune | |
| Recensement de population 1968 et 1975 bande détail FICHES N° 1 ET 6 | - Îlot - Adresse complète en code (en 1975 seulement) | - Individu - Famille - Ménage - Logement - Bâtiment | |
| Recensement général de l'agriculture | - Commune | - Individu - Exploitation agricole | Les seuls individus décrits sont ceux qui vivent ou travaillent sur l'exploitation agricole |

ENVIRONNEMENT

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|-------------------------------|----------------------------------|---|
| Inventaire de la qualité eaux superficielles FICHE N° 26 | - Point d'observation en code | - Point d'observation | Il existe environ 230 stations permanentes |
| Banque des données de pollution atmosphérique FICHE N° 27 | - Point d'observation en code | - Point d'observation | Il s'agit de stations implantées dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants et autour des établissements industriels polluants, ces stations constituent une centaine de réseaux de surveillance. |
| Liste des immeubles monuments et sites protégés FICHE N° 28 | - Commune | - Immeuble, monument ou site | |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture | - Commune | - Commune | |

ÉQUIPEMENTS DE SUPERSTRUCTURE

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|----------------------|----------------------------------|--|
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture | - Commune | - Commune | |

FISCALITÉ

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|--|---|---|
| Fichier des propriétés bâties (FPB) FICHE N° 15 | - Adresse complète en code et en clair | - Entreprise ou individu - Local - Immeuble | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires du local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichier des propriétés non bâties (FPNB) FICHE n° 16 | - Adresse complète en code et en clair | - Entreprise ou individu - Parcelle | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires, et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichiers des matrices cadastrales bâties FICHE N° 17 | - Adresse complète en code ou en clair | - Entreprise ou individu - Local | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichiers des matrices cadastrales bâties FICHE N° 18 | - Adresse complète en code ou en clair | - Entreprise ou individu - Parcelle | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de parcelles et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| Fichier de la taxe d'habitation | - Adresse complète en code | - Logement | |

FONCIER

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|---|--|---|
| Fichiers des propriétés non bâties (FPNB) FICHE N° 16 | - Adresse complète en code ou en clair | - Parcelle - Entreprise ou individu | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichiers des matrices cadastrales non bâties FICHE N° 18 | - Adresse complète en code ou en clair | - Entreprise ou individu - Parcelle | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de parcelles et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| Fichier général des propriétaires (FGRP) FICHE N° 14 | - Adresse postale en clair, Commune | - Individu, Entreprise | |
| Recensement général de l'agriculture (RGA) FICHE N° 24 | - Commune | - Individu - Exploitation agricole | Les seuls individus recensés sont ceux qui vivent ou travaillent sur l'exploitation agricole |
| Fichier d'édition des matrices de propriétaires | - Adresse postale en clair - Commune | - Individu ou Entreprise | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |

HABITAT

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|---|---|--|
| Recensement de population de 1968 et 1975 bande détail FICHE N°s 1 ET 6 | - Ilot - Adresse complète en code (en 1975 seulement) | - Individu - Famille - Ménage - Logement - Immeuble | |
| Préimprimé au lieu de résidence (recensement de population de 1968 et 1975) FICHE N°s 3,4,8,9 | - Commune | - Commune | |
| Enquête logement 1973 FICHE N° 10 | - Catégorie de commune - Région de programme | - Individu - Ménage - Logement - Immeuble | |
| Fichier ilots «lourd» FICHE N° 0 | - Ilot | - Ilot | |
| SIROCO FICHE N° 23 | - Adresse en clair - Selon les départements. Ilot, section cadastrale ou coordonnées Lambert | - Permis de construire - Bâtiment - Local | Les logements sont décrits par bâtiment et les autres locaux par destination |
| Fichier communal de Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| Fichier des propriétés bâties (FPB) FICHE N° 15 | - Adresse complète en code et en clair | - Entreprise, Individu - Local - Immeuble | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires |
| Fichier des motrices cadastrales bâties FICHE N° 17 | - Adresse complète en code et en clair | - Individu, Entreprise - Local | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires |
| Fichier de la taxe d'habitation | - Adresse complète en code | - Logement | |

INDUSTRIE

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|----------------------------|----------------------------------|--|
| SIRENE FICHE N° 12 | - Adresse complète en code | - Établissement - Entreprise | |
| Enquête annuelle sur la structure des emplois | - Commune | - Établissement | Les établissements industriels ne peuvent faire partie du champ de l'enquête qu'au dessus de 10 salariés. Le secteur privé est couvert en totalité. Le secteur public partiellement. |

INFRASTRUCTURES (VOIRIE)

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|---|--|---|
| Répertoire Géographique Urbain (R.G.U.) FICHE N° 22 | - Nœud - Segment - Ilot - Section cadastrale | - Coordonnées Lambert - Nœud - Segment - Ilot - Section cadastrale | Ces unités statistiques permettent d'établir une correspondance entre, d'une part un réseau de voies et de limites administratives définies par des logements (tronçons du réseau) et des nœuds (intersections de segment) et, d'autre part, les ilots de zones denses des plus grandes unités urbaines et des sections cadastrales de leurs périphériques. |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture | - Commune | - Commune | |

POPULATION

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|--|---|---|
| Recensement de population de 1968 et 1975 bande détail FICHE N° 1 ET 6 | - Ilot - Adresse complète en code (en 1975 seulement) | - Individu - Famille - Ménage - Logement - Immeuble | |
| Tableaux préimprimés au lieu de résidence recensements de population de 1968 et 1975 FICHE N° 4, 8 | - Commune | - Commune | |
| Population active au lieu de travail FICHE N° 5 | - Commune | - Commune | |
| BDCOM (foscules orange) recensements de population de 1968 et 1975 FICHE N° 2, 7 | - Commune | - Commune | |
| Recensement général de l'agriculture FICHE N° 24 | - Commune | - Individu - Exploitation agricole | Les seuls individus décrits sont ceux qui vivent ou travaillent sur l'exploitation agricole |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture | - Commune | - Commune | |

TOURISME

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|--|----------------------|----------------------------------|--|
| Liste des immeubles monuments historiques et sites protégés FICHE N° 28 | - Commune | - Immeuble, monument, ou site | |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture | - Commune | - Commune | |

UTILISATION DU SOL

| FICHIERS SE RAPPORTANT AU THÈME | UNITÉS GÉOGRAPHIQUES | UNITÉS STATISTIQUES DES FICHIERS | OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS STATISTIQUES |
|---|---|---|--|
| Recensement général de l'agriculture FICHE N° 24 | - Commune | - Individu - Exploitation agricole | Les seuls individus décrits sont ceux qui vivent ou travaillent sur l'exploitation agricole |
| Fichier communal du Ministère de l'Agriculture FICHE N° 25 | - Commune | - Commune | |
| Fichier des propriétés non bâties FICHE N° 16 | - Adresse complète en code et en clair | - Entreprise, individu - Parcelle | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de local et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires |
| Fichier des motrices cadastrales non bâties FICHE N° 18 | - Adresse complète en code et en clair | - Individu, Entreprise - Parcelle | Les seuls entreprises ou individus pris en compte sont les propriétaires de parcelle et l'unique information qui les concerne est un identifiant sommaire permettant de croiser ce fichier avec celui des propriétaires. |
| SIROCO FICHE N° 23 | - Adresse en clair - Selon les départements, ilot, section cadastrale ou coordonnées Lambert | - Permis de construire - Bâtiment - Local | Les logements sont décrits par bâtiment et les autres locaux par destination |

ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LA DÉCENTRALISATION

Source URBAMET

Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Dunkerquoise

La procédure pôles de conversion. Illustration du rôle possible des agences d'urbanisme dans le domaine du développement
Source : AGUR, Dunkerque 1985

J. Baguenard

La décentralisation, Ed. PUF, Paris 1985
Collection que sais-je ? n° 1879, 2^e édition refondue.

Y.M. Danan, J.P. Forget

Processor : procédures d'aménagement et d'urbanisme ; vol. 1 ; planification et autorisations, 2^e édition, Ed. Dalloz Paris 1986

R. Dosière, J.C. Fortier, J. Mastias

Le nouveau conseil général
Les Editions Ouvrières, Paris 1985

X. Frege

La décentralisation
Ed. La Découverte 1986 Paris,
collection Repères

J. Lajugie, P. Delfaud, C. Lacour

Espace régional et aménagement du territoire
-2^e édition - Ed. Dalloz, Paris 1985

A. Lefebvre, J.C. Meyer

Planification et aménagement des communes, des départements et des régions
Ed. Berger-Levrault, Paris 1985

J.J. Liard

La pratique du POS décentralisé
Ed. du Moniteur, Paris 1985

Ministère de l'Intérieur

La fonction publique territoriale ; guide pratique
Direction Générale des Collectivités Locales
Paris juin 1985

F. Moderne

Les nouvelles compétences locales. De la loi du 7 janvier 1983 à la loi du 25 janvier 1985.
Ed. Economica, Paris 1985
Collection «Collectivités Territoriales».

J.P. Ollivaux

La décentralisation - 6 - La Région et l'aménagement du territoire
Avant propos de G. Gontcharoff
Ed. Syros, ADELS, Paris 1985
Collection la France des Points Chauds

M. Piquemal, F. Lecot

Les nouvelles fonction publiques
Ed. Berger-Levrault, Nancy janvier 1986.

J. Rondin

Le sacre des notables : la France en décentralisation, Ed. Fayard, Paris 1985
Collection l'Espace du politique

Code pratique de la décentralisation - Edition à jour au 7 février 1985. Préface d'E. Giuly
Ed. Berger-Levrault, Paris 1985

URBANISME ET

TELEDETECTION

SATELLITAIRE

rapport du groupe offre

D'une façon générale et (très) schématique, le développement d'une technique suit une ligne brisée. Après que telle ou telle découverte ait été annoncée, semble suivre une période d'assoupissement : les affres techniques et financières de la gestation des applications n'intéressent guère nos médias. Et puis, plus ou moins rapidement, le processus s'accélère. La technique se banalise, se diffuse, rendant souvent caduques, en partie sinon complètement, des procédures plus anciennes... et dépités leurs tenants... Qu'il s'agisse du micro-processeur, du scanner, du rayon laser, les exemples foisonnent.

Les applications de la technologie spatiale n'échappent pas à ce mécanisme et notamment dans le domaine de l'observation de la terre. Avec un premier pas franchi voici plus de dix ans, en donnant de notre monde une vision certes grossière, mais globale. Les estimations de récoltes ou les prévisions météorologiques, même encore imparfaites, en témoignent. Un second pas vient d'être franchi, avec une nouvelle génération de satellites d'observation de la terre : Landsat TM et SPOT.

Il s'agit bien en effet d'un stade nouveau. Alors que leurs prédécesseurs n'apportaient du milieu urbain

qu'une image floue et souvent approximative -cause des désillusions du début des années 70 -Landsat TM et surtout SPOT autorisent a priori aujourd'hui des approches péri-urbaines, voire infra-urbaines, crédibles et variées, ouvrant ainsi un nouveau domaine d'application à l'observation satellitaire.

Dans le même temps, on note une évolution de la demande d'information de la plupart des acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme à laquelle semble bien faire écho l'information satellitaire par son actualité, sa répétitivité ou encore sa forme numérique.

Certes, cette information est d'un type encore inhabituel. Proche en apparence de la photographie aérienne, qu'elle «prolonge» plutôt que concurrence, elle en diffère sous bien des aspects, dans ce qu'elle montre ou indique, et dans les façons de la manipuler et de la traiter. Elle demandera donc encore beaucoup d'analyse, de formation, de développement de méthodes et d'appareillages adaptés à un public large, pour s'affirmer. Mais, alors que la compétition spatiale s'accélère et s'intensifie, que le nombre de nations participantes ou seulement concernées augmente, peut-on raisonnablement l'ignorer ?

PRÉSENTATION TECHNIQUE

L'objet principal de ce rapport est avant tout de présenter, aussi concrètement que possible, une série d'applications, immédiates ou possibles, de la télédétection satellitaire à l'usage des aménageurs et des urbanistes. Mais, comme dans nombre d'autres domaines, les relations entre techniciens d'une part, et utilisateurs des outils ou des informations proposés d'autre part, sont devenues plus complexes : avec l'informatique, les produits peuvent être livrés à des stades d'élaboration et sous des formes de mise à disposition divers, les contenus et les méthodes sont de plus en plus discutés sinon remis en cause, etc... Bien comprise, cette évolution normale est souvent fructueuse. C'est dans cet esprit qu'il nous a paru utile d'aborder en premier lieu une présentation technique succincte. Outre qu'elle pourra apporter un début de réponse aux esprits curieux, elle permettra de resituer le «segment» des techniques de télédétection satellitaire dans l'ensemble beaucoup plus vaste, et qui ne nous concerne pas nécessairement, de l'observation à distance, préalable qui, nous l'espérons, favorisera l'échange indispensable avec les partenaires de la «demande».

Ainsi, nous verrons tout d'abord que la télédétection satellitaire n'est qu'une partie de la télédétection, technique plus ancienne qu'on ne l'imagine souvent. Sans vraiment le savoir, Félix Tournachon, plus connu sous le patronyme de Nadar, effectuant depuis un ballon la première photographie aérienne, télédétectait... en 1858. Qu'ensuite, la télédétection satellitaire n'a encore développé que des outils à destination d'utilisations majeures, comme les prévisions météorologiques ou l'utilisation des sols et l'estimation des superficies au ni-

veau continental ou mondial, déjà citées, ou à caractère militaire par exemple. Aucun des satellites civils opérationnels actuellement ou prochainement, n'a été conçu pour répondre avant tout aux applications que nous évoquerons au chapitre suivant. D'où certaines insuffisances, qui peuvent étonner et gêner, mais ne doivent pas décourager, au contraire. Et enfin, que la télédétection satellitaire est une technique nouvelle et donc encore en développement important. Des améliorations sensibles, à l'égard des contraintes actuelles, sont prévisibles à moyen terme concernant les «outils» (résolution, capteurs type radar...) et à plus court terme s'agissant des méthodes (micro-informatique, traitement d'image,...).

LA TÉLÉDÉTECTION. PLACE DE LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE

La télédétection, littéralement détection à distance, recouvre l'ensemble des techniques qui, sans contact entre objet et instrument, depuis l'atmosphère, permettent de déterminer des propriétés d'objets ou de phénomènes, et de restituer les mesures sous la forme d'images couvrant exhaustivement un territoire. D'autres techniques de détection à distance, comme l'astronomie, la gravitétrie ou les sondages sous-marins par sonar n'entrent pas dans son champ. Elle se décompose en grandes familles, suivant la distance d'observation, la nature de ces observations, les catégories d'objets ou de phénomènes observés. Effectivement, l'analyse de la couverture nuageuse, le suivi d'un vol d'avion, la mise en évidence de processus de désertification, l'examen de l'occupation du sol d'un bocage ou tout «simplement» la vision humaine, ne requièrent ni les mêmes instruments, ni les mêmes procédures.

Glossaire :

source : dictionnaire de spatologie

Sciences et techniques spatiales 2^e édition CNES et CILF

Radiation : énergie émise et propagée sous forme d'ondes à travers un milieu naturel.

Rayonnement : ensemble de radiations de nature similaire ou voisine, mais dont les longueurs d'ondes et les énergies peuvent être différentes.







Électromagnétisme : inter-actions entre courants électriques et champs magnétiques.

Vecteur : synonyme de véhicule spatial en télédétection.

Radiomètre : appareil destiné à mesurer l'intensité d'un rayonnement et spécialement des rayons solaires.

Radar : système ou appareil de détection qui émet un faisceau d'ondes électromagnétiques très courtes et en reçoit l'écho permettant ainsi de déterminer la direction et la distance d'un objet.

Capteur : dispositif permettant de détecter en vue de le représenter, un phénomène physique sous la forme d'un signal (généralement électrique).

| Vecteurs | | Altitudes | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------|---|--|---|---|-------------|
|  | Satellites géostationnaires | 36 000 km | | | | METEOSAT (77) météorologie courantologie | |
|  | Satellites héliosynchrones | 900 km | | | NIMBUS (78) océanologie sédimentologie pollution atmosphérique | LANDSAT (72) ressources terrestres NOAA (80) océanologie hydrologie glaciologie SPOT (86) ressources terrestres | |
|  | Navettes spatiales | 250 km | SPACELAB (83) cartographie géomorphologie occupation du sol | | | | |
|  | Ballons stratosphériques | 40 km | | | | | |
|  | Avions | 12 km | applications cartographiques | ARIÈS DAEDALUS ressources terrestres cartographie | VARAN S SLAR observations tous temps | | |
|  | Ballons atmosphériques | 4 km | | | | | |
| | | | Chambres photographiques | Appareillages de mesures d'environnement | Scanners | Radars | Radiomètres |
| Systèmes d'acquisition des données | | | | | | | |

Ce tableau, nécessairement très simplifié, montre toutefois le rôle décisif de l'évolution des dernières décennies en matière de vecteurs [satellite, navette spatiale] dans le développement de la télédétection. Il indique en outre que des combinaisons possibles entre vecteurs et capteurs diversifient méthodes et applications. (Source : poster IGN Paris 1985)

La famille qui nous intéresse ici est celle de l'observation spatiale de la surface terrestre à l'aide du **rayonnement électromagnétique**. Elle se subdivise elle-même en diverses branches, notamment en fonction de la distance d'observation, ici de l'altitude, puisque lui correspondent des types différents de **vecteurs** (avion, ballon, satellite), de l'appareillage mis en œuvre pour l'observation (caméra, **radiomètre**, radar), et des longueurs d'onde utilisées pour procéder à la mesure.

**LE DÉVELOPPEMENT DE LA
TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE.
LES GRANDES APPLICATIONS
ACTUELLES.**

L'évolution d'une technique et le développement de ses applications sont bien sur très interdépendants. Tantôt la commande suscite l'évolution technique, tantôt les capacités ou au contraire les limites de la technique accélèrent ou freinent les applications... sans parler des perturbations d'ordre tactique ou financier. Mais avant de présenter le mécanisme propre à la télédétection satellitaire, un préalable technique s'impose.

Une incursion chez les physiciens

La télédétection spatiale est le domaine particulier de la télédétection qui depuis un vecteur de type satellite permet de mesurer le rayonnement électromagnétique de la surface terrestre. Mais quel est ce rayonnement, quelle en est la source, comment se comporte-t-il et comment l'observer ?

Bien qu'affublé d'un nom quelque peu rébarbatif, rayonnement électromagnétique, le phénomène qu'il s'agit d'observer est un des phénomènes majeurs de l'univers ! Pour le rappeler, nous nous inspirerons des formulations efficaces de Hubert Reeves («l'heure de s'énivrer», Seuil 1986). Les trois forces fondamentales de l'univers sont la force de gravité, la force électromagnétique, la force nucléaire (les physiciens distinguent la force nucléaire forte et la force de Fermi encore appelée nucléaire faible). Ces trois forces engendrent les structures

stables de l'univers. La gravité soude les planètes, les étoiles et les galaxies ; la force électromagnétique soude les atomes et les molécules ; la force nucléaire forte soude les noyaux des atomes. Le principe de la soudure est toujours le même : en associant les éléments, la force transforme en énergie une partie de leur masse. Cette énergie, dite de liaison, est éjectée dans l'espace, généralement sous forme de photons.

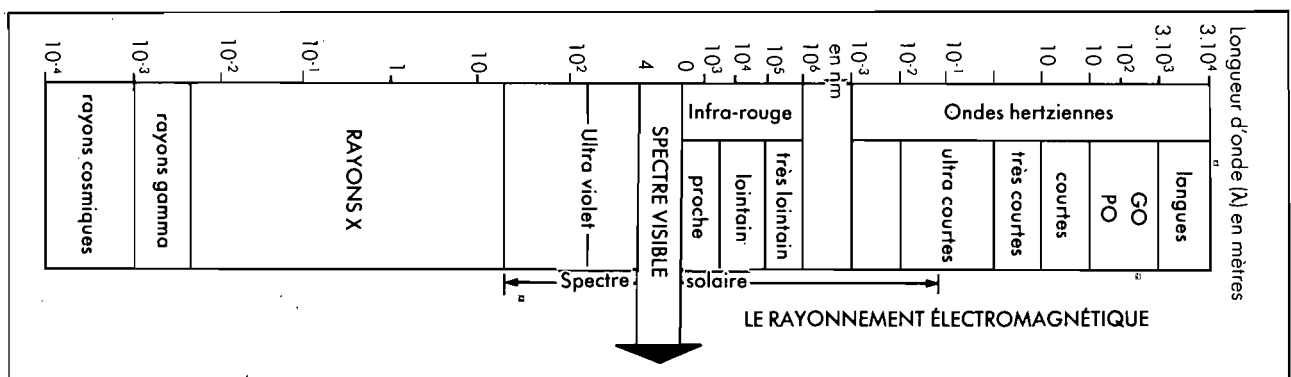
Cette énergie de liaison est donc diffusée par tous les corps et par l'ensemble des éléments constitutifs de ces corps. Bien sur, elle prend des valeurs très différentes suivant la taille, la composition et la température de ces corps. Le soleil «transforme» chaque seconde près de quatre millions de tonnes de sa matière en lumière soit de l'ordre de $2 \cdot 10^{45}$ photons ! La terre émet elle aussi une telle énergie et l'on peut générer artificiellement ce phénomène en allumant une ampoule électrique par exemple (c'est-à-dire en élevant la température du filament de tungstène).

C'est donc ce transfert, ce déplacement d'énergie que nous appelons **radiations électromagnétiques**. Ce que nous mesurons aujourd'hui en télédétection satellitaire, ce sont les résultats de l'interaction entre radiations solaires et surface terrestre, le rayonnement propre de la terre ou l'écho «retour» de la source artificielle.

Revenons donc sur terre

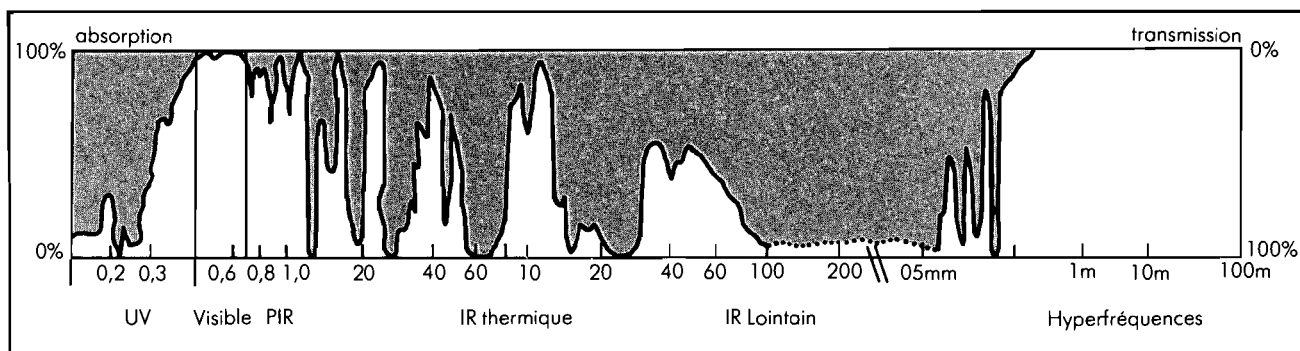
Le rayonnement électromagnétique d'un corps est une combinaison des radiations émises par ses constituants. Ces diverses **radiations**, de même nature, sont toutefois caractérisées par la quantité d'énergie qu'elles transportent et les modalités de ce transport, notamment sa **longueur d'onde**.

L'ensemble des valeurs que peuvent prendre les longueurs d'ondes des différentes radiations d'un rayonnement s'appelle le spectre électromagnétique. Dans le cas de corps célestes, ce spectre est pratiquement continu et en relation principale avec leur température.



Mais ces rayonnements inter-agissent avec les milieux qu'ils traversent. Suivant que ces milieux sont plus ou moins conducteurs électriquement, selon leur structure... les radiations peuvent être plus ou moins absorbées (c'est-à-dire que l'énergie transportée est transformée en chaleur), diffusée (c'est-

à-dire éclatée en radiations multiples de moindre énergie), réfractée (déviiée de sa trajectoire dans un milieu hétérogène) et, bien sur, réémise. Le rayonnement solaire, qui doit traverser l'atmosphère terrestre, ne nous parvient, pour ces raisons, que partiellement :



Pour celles des radiations qui parviennent malgré tout à la surface terrestre, un mécanisme complexe s'engage au contact du sol : une partie est réfléchie, celle qu'observe le satellite, une partie est absorbée, une partie est diffusée et interfère avec les radiations solaires voisines. Les proportions entre ces différentes radiations résultantes, longueur d'onde par longueur d'onde, varient en fonction des propriétés particulières de l'élément de surface terrestre considéré. En théorie, chaque catégorie d'éléments possède une combinaison de ces proportions, pour l'ensemble des longueurs d'onde, qui lui est spécifique. C'est ce que l'on appelle les **caractéristiques spectrales**.

Un peu de technique

Nous venons, très succinctement, de répondre à trois des quatre questions que nous nous étions posées : quel est ce rayonnement, quelle est sa source, comment se comporte-t-il ? Reste à savoir l'observer. Si l'état de la science nous a permis d'appréhender de façon satisfaisante le phénomène du rayonnement électromagnétique (il reste encore beaucoup d'analyses à mener pour le comprendre très précisément), l'état de la technologie limite nos capacités à nous en servir pleinement. Quels sont les dispositifs qui nous permettent aujourd'hui de distinguer les objets et leurs propriétés en fonction de leurs caractéristiques spectrales ? En premier lieu, l'œil, dont les batonnets et les cônes rétiens, sensibles à la partie visible du spectre électromagnétique transmettent au cerveau les variations de couleurs dans un ensemble d'objets. Puis l'appareil photographique qui permet d'utiliser l'énergie des radiations pour transformer chimiquement des molécules d'une surface sensible, avec l'avantage d'en fournir une image durable. L'image obtenue contient une information tout à fait comparable à l'image que forme l'œil puisque c'est la même partie du spectre électroma-

gnétique qui est utilisée, la partie «visible». Que certaines émulsions réagissent un peu au-delà du spectre visible, dans le proche infra-rouge, tout comme l'œil de certains animaux, n'altère que peu cette analogie.

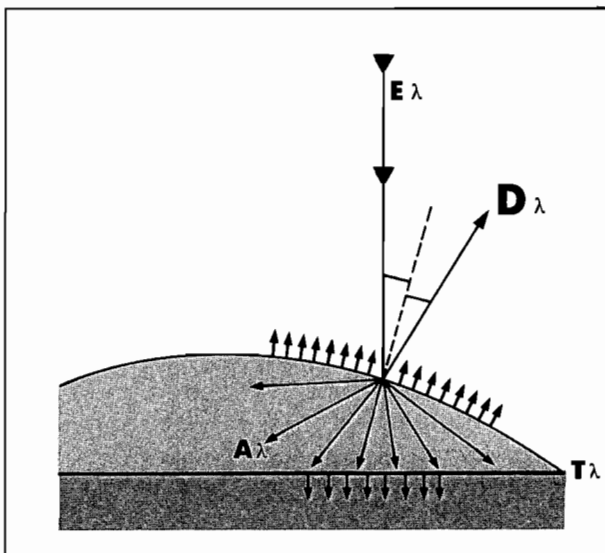
Avec l'apparition des **radiomètres**, c'est une tout autre «vision» qui est permise. La méthode utilisée cette fois est la transformation de la radiation électromagnétique en une tension électrique dont on mesure et enregistre la différence de potentiel. En effet, les photons, sous diverses conditions, peuvent fournir leur énergie de libération aux électrons de certains atomes, notamment de métaux et cristaux. Ils génèrent ainsi un courant électrique : c'est l'effet «photo-électrique». La différence de potentiel créée est liée au nombre de photons, c'est-à-dire à l'énergie électromagnétique. Mesurer cette différence de potentiel nous renseigne donc sur le niveau d'énergie reçu du rayonnement électromagnétique, que l'on appelle **luminance** (ou brillance). Ce dispositif a l'avantage d'avoir une grande finesse. Il permet de distinguer un nombre important de niveaux énergétiques, plusieurs centaines en général, et bien plus que l'œil ne peut distinguer de niveaux de «gris». Par contre, il ne fournit qu'une seule mesure, à un moment donné, pour l'ensemble du rayonnement reçu, dans la petite partie du spectre électromagnétique, la longueur d'onde, où il est actif.

Pour pouvoir établir une relation entre un élément de la surface terrestre et le rayonnement reçu, et donc situer la mesure effectuée dans les caractéristiques spectrales de cet élément, il faut limiter fortement la variété des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique parvenant au radiomètre par l'emploi de filtres divers. Comme les caractéristiques spectrales des éléments de nature différente de la surface terrestre peuvent partiellement être voisines, voire identiques, il sera alors nécessaire d'effectuer simultanément des mesures adaptées

à plusieurs des zones du spectre, où les caractéristiques spectrales des éléments à observer diffèrent, et qui ne se situent pas obligatoirement dans sa partie visible. On parle alors de radiomètre multi-spectral.

Pour illustrer la «vision» large du radiomètre, citons par exemple, ceux appropriés aux longueurs d'onde situées dans la partie du spectre de l'infrarouge thermique. L'énergie des radiations électromagnétiques est là en relation principale avec la température des corps. Ce type de radiomètre nous permet ainsi de «voir», de loin, la température des corps à mieux que le degré !

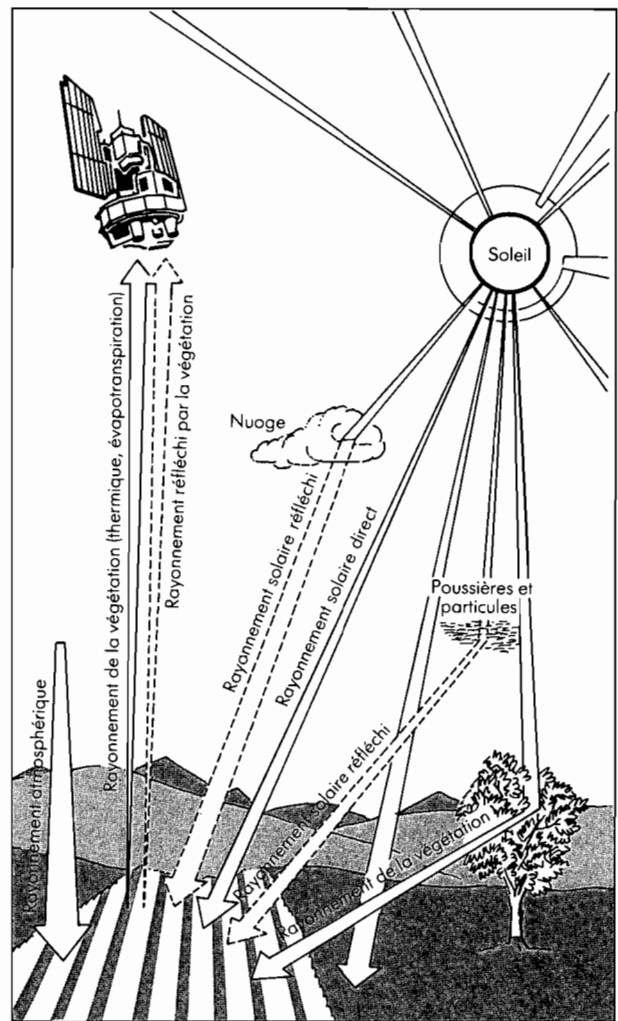
Au cours de notre préalable technique, nous avons présenté de façon générale le phénomène physique qu'analyse la télédétection satellitaire pour l'observation de la terre, son comportement, la façon de le mesurer. Reste à analyser la procédure technique mise en œuvre pour comprendre l'intervention des facteurs limitants et la chronologie du développement des applications. Pour ce faire, situons sur un schéma les différentes phases :



Tout d'abord, une portion de la surface terrestre réfléchit une certaine partie du rayonnement solaire, ou émet un rayonnement propre. Quelle portion ? Quel rayonnement ?

La portion de surface terrestre accessible actuellement aux radiomètres embarqués sur un satellite, l'unité d'observation, est un carré de quelques dizaines de mètres de côté (10 et 20 pour SPOT, 30 pour Landsat TM), que l'on appelle **pixel** : c'est la **résolution spatiale**, celle-ci est une unité d'observation, une unité de mesure. Une telle portion de la surface terrestre est toujours de nature hétérogène, mais plus ou moins, suivant qu'il s'agit d'un océan, d'un champ de blé ou du centre ancien d'une agglomération par exemple. Dans ce dernier cas, il ne sera pas possible d'établir de correspondance bi-univoque entre la mesure effectuée

PRINCIPES DE LA TÉLÉDETECTION



Source : Extrait de : «Exploration de la Terre par les satellites»
A. et M. Chabreuil 1980.

et la composition interne du pixel, puisque le rayonnement réfléchi enregistré résulte de la combinaison des caractéristiques spectrales des objets composant le pixel.

Quant au rayonnement réfléchi, il peut varier de façon très importante dans le temps. De même que la couleur d'un champ de tournesol varie selon la saison sur une photographie, les caractéristiques spectrales d'éléments de la surface terrestre varient avec l'intensité de la fonction chlorophyllienne, la teneur en eau, la température, etc... Une connaissance complémentaire du comportement dans le temps et selon les conditions «d'ambiance» des éléments terrestres que l'on veut observer, est indispensable.

Ensuite, le rayonnement électromagnétique réfléchi traverse l'atmosphère en direction du radiomètre. Dans ce trajet, jouent les phénomènes perturbateurs que nous avons déjà évoqués, d'absorption, de réflexion, de réfraction et de diffusion. Ils peuvent être quelques fois majeurs et rédhibitoires, comme dans le cas d'une couverture nuageuse : le

rayonnement n'atteint plus le radiomètre (pour les parties du spectre que nous utilisons). Ils peuvent être plus faibles, mais suffisants pour «décaler» ou perturber la mesure effectuée. Une bonne connaissance des différents paramètres correspondant à ces perturbations est donc nécessaire pour affiner l'étalonnage de la mesure, notamment lorsque l'on veut comparer des zones éloignées ou comparer la même zone à des dates différentes.

Enfin, le rayonnement parvient au radiomètre. Nous avons vu qu'en théorie, si chaque élément possède des caractéristiques spectrales spécifiques, des parties de ces caractéristiques peuvent

être identiques pour des éléments différents. Il faut donc effectuer simultanément des mesures dans diverses portions du spectre, que l'on appelle canaux, sélectionner ces portions en fonction de la différenciation qu'elles autorisent. Ce nombre de canaux et la pertinence de leur choix définissent la **sensibilité spectrale (résolution spectrale)**, qui varie suivant les thèmes d'étude.

Dans ces conditions, on comprend que les premières applications de la télédétection satellitaire aient concerné de grands territoires en raison de la taille du pixel, pour des phénomènes relativement homogènes à l'intérieur de ce pixel.

Glossaire :

source : dictionnaire de spatologie

sciences et techniques spatiales 2^e édition CNES et CILF

Rayonnement électromagnétique : énergie émise ou réfléchiée par les objets de la surface terrestre dans le spectre électromagnétique. Cette énergie est enregistrée par les capteurs de télédétection.

Longueur d'onde : espace parcouru par l'onde pendant une période de temps donnée.

Caractéristiques spectrales : intensité des radiations solaires réfléchies au du rayonnement émis par un objet en fonction de leur longueur d'onde dans des conditions de temps et d'ambiance données.

Luminance : quantité de radiations réfléchies par un objet pour une longueur d'onde donnée et suivant un angle et une surface donnés. $L = W/cm^2/stéradiant$.

Pixel : élément le plus petit d'une surface de visualisation ou d'une image échantillonnée, auquel on puisse affecter individuellement des caractéristiques visuelles.

Résolution spatiale : distance ou écart angulaire le plus petit permettant de discriminer deux objets voisins.

Résolution spectrale : différence de fréquence ou de longueur d'onde la plus petite permettant de discriminer deux fréquences ou longueurs d'ondes voisines.

LA TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE :

UNE TECHNIQUE EN

DÉVELOPPEMENT

La télédétection satellitaire est récente : une vingtaine d'années. Déjà, des progrès importants ont été réalisés notamment en divisant par plus de dix la surface du pixel (4 800 m² pour Landsat I en 1972, 400 m² pour SPOT 1 en 1986). Mais les axes de développement sont multiples. Nous n'entrons pas dans le détail, mais espérons montrer, en illustrant leur variété, qu'un développement rapide est probable, comme nous en connaissons dans d'autres domaines, la télématique ou la micro-informatique graphique par exemple.

Concernant les capteurs tout d'abord, l'amélioration technique tant de la résolution spectrale que spatiale est constante. D'autres parties du spectre électromagnétique vont devenir également accessibles avec le développement de détecteurs ther-

miques ou de systèmes actifs - la radiation réfléchiée enregistrée n'émane plus du soleil, mais de l'appareil lui-même à la fois émetteur et récepteur avec les radars imageurs. Le frein majeur en la matière est évidemment le coût de l'élaboration du satellite et de sa mise sur orbite. N'oublions toutefois pas que le nombre de nations capables de le faire, augmente.

Concernant les méthodes, de très nombreux facteurs interviennent. Une première série suit de près le développement des techniques informatiques, qu'il s'agisse de capacité de traitement de données, d'accessibilité micro-informatique, des formes de mise à disposition...

Une seconde série est liée à l'accroissement de la clientèle qui provoque, ou devrait provoquer, par l'échange d'expériences, entre techniciens certes, mais aussi entre techniciens et utilisateurs, l'affermissement et la diversification des méthodes. Dans ce domaine aussi, il ne faut pas oublier que des informations de même type, émanant d'un même satellite, sont utilisées aux quatre coins du globe et

que l'art de s'en bien servir est aussi un produit commercial.

Dès à présent, la télédétection satellitaire devient une technique possible parmi d'autres, pour un nombre grandissant de partenaires. Des ministères comme ceux de l'Agriculture ou de l'Environnement ont des réflexions très avancées dans l'aide qu'apporte la télédétection satellitaire pour le recensement et le suivi de l'occupation agricole des sols et des zones naturelles sensibles. Dans le domaine de l'aménagement et de l'urbanisme, les atouts très importants qu'elle offre seront vraisemblablement déterminants.

En premier lieu, elle apporte une réponse originale au problème lancinant de la collecte d'informations. Nombre d'analyses restent limitées, sinon absentes, parce que la collecte de l'information nécessaire est trop lourde et que sa durée en atténue sensiblement la pertinence. La télédétection satellitaire n'est autre qu'une collecte anticipée d'informations, systématique et indépendante d'usages particuliers, qu'elle fédère d'une certaine façon. La disponibilité et l'actualité des informations auxquelles elle permet d'accéder, à moindre coût, sont des bénéfices de l'investissement que représente la mise sur orbite du satellite pour la collectivité.

Par ailleurs, les problèmes évoluent et les partenaires se diversifient. Fréquemment, ce sont les évolutions, les dynamiques ou les flux que l'on souhaite repérer et mesurer. La cohérence de présentation est ressentie comme importante pour de meilleurs arbitrages aux différents niveaux territoriaux. A cela, l'homogénéité sur de grandes parties du territoire, la répétitivité de l'information satellitaire apportent des réponses incontestables.

Enfin, c'est un lieu commun, l'informatique entre en force dans le domaine de l'aménagement et de l'urbanisme. La gestion informatisée de l'information localisée des villes, après n'avoir concerné

que quelques grandes agglomérations, devient beaucoup plus largement accessible avec l'évolution des coûts et les progrès de la micro-informatique graphique notamment. Parallèlement, se développent des besoins d'observations, moins fines mais sur des territoires plus importants, auxquels l'informatique peut apporter des aides variées. Certes, à cet égard, des problèmes importants de cohérence, d'identifiants, de «tables géographiques» entre autres ne sont pas encore résolus. Mais des dispositifs importants se mettent actuellement en place, pour lesquels la forme numérique de l'information satellitaire est un atout majeur, qui vont modifier, plus ou moins certes, les modes d'utilisation de l'information géographique en général. Ainsi, la mise en place, par l'Institut Géographique National (cf. annexe 2), de deux banques de données, cartographique et topographique. La première, à petite et moyenne échelle (1/100 000, 1/50 000), vise l'information de niveau régional et privilégie l'interconnexion des données d'altimétrie, d'occupation du sol, de planimétrie et de toponymie. Grâce à des outils d'analyse thématique et des outils sémiologiques, elle permettra des présentations de résultats sous les formes les plus variées. La seconde, d'une précision de localisation plus grande (1 à 2 mètres) permettra à la fois l'amélioration de la production de la carte de base à 1/25 000 et le développement de services à l'utilisateur d'une information sectorielle adaptée.

Dans l'état actuel de la maîtrise des techniques de numérisation de l'information géographique, les applications développées ne concernent plus seulement l'amélioration des processus de fabrication des documents graphiques, ce qui ne concernait guère l'utilisateur. Elles autorisent aussi des manipulations multiples et des fabrications de produits particuliers qui ne pouvaient jusqu'à présent être envisagées et très prochainement, l'accès direct de l'utilisateur, par le réseau télématique, à la forme numérique de l'information géographique, dont certaines émaneront de télédétection satellitaire.

DES APPLICATIONS POSSIBLES

Dans le chapitre précédent, nous avons tenté de préciser comment la télédétection satellitaire permettait, aujourd'hui, l'observation de la terre, en mesurant l'énergie du rayonnement solaire réfléchi par un élément de cette surface, le pixel. Comme chaque élément de nature différente et de taille supérieure au pixel, possède des caractéristiques spectrales distinctes, une mesure simultanée dans plusieurs zones du spectre électromagnétique, peut nous permettre de les discerner. Les données satellitaires, ainsi que toute collection d'informations, peuvent donner lieu à des traitements et des formes d'élaboration diverses, en fonction du but poursuivi, des moyens mis en œuvre, etc... Nous avons donc regroupé dans ce chapitre, sous la forme de fiches de cas, une série d'applications possibles. Bien que nous nous soyons efforcés de les faire simples et pratiques en essayant d'indiquer autant que possible l'utilité, le coût, la faisabilité, il reste nécessaire de préciser préalablement en quoi consistent les divers types de traitements évoqués dans ces fiches.

Nous verrons donc successivement quelles manipulations l'information initiale subit pour être réceptionnée au sol, quelles corrections lui sont systématiquement appliquées - les pré-traitements - avant d'être diffusée et sous quelles formes. Nous présenterons ensuite les grandes familles de traitements, qu'illustreront alors les fiches.

RECUEIL DE L'INFORMATION

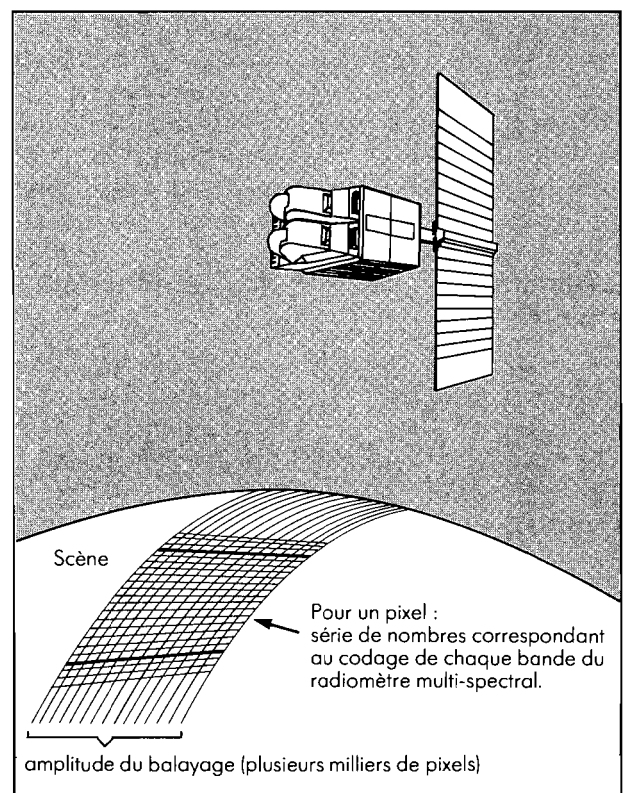
CAPTÉE

L'information saisie par le capteur, la luminance spectrale, est une mesure physique. Elle s'exprime en watts par m^2 et peut prendre n'importe quelle valeur dans un sous-ensemble des nombres réels positifs. Pour sa transmission et sa réception au sol, elle doit être codée en système binaire. Pour des raisons de format informatique, la mesure transformée en nombre binaire, ne peut alors prendre qu'une valeur parmi 256 possibles et devient un nombre entier abstrait lié aux caractéristiques du radiomètre et du codage.

Par ailleurs, différents dispositifs mécaniques ou électroniques de balayage, permettent d'assurer une succession régulière des mesures pixel par pixel ou série de pixels par série de pixels. Schéma-

tiquement, L'information immédiatement accessible fournie par la télédétection satellitaire est organisée sous la forme d'un maillage.

Ce maillage n'est pas strictement rectangulaire en raison du déplacement du satellite pendant le balayage d'une ligne. Pour des raisons de commodité, le maillage est généralement découpé, dans le sens de la longueur, en tronçons comportant le même nombre de pixels que dans la largeur du champ couvert. C'est ce tronçon que l'on appelle la **scène**.



LES PRÉ-TRAITEMENTS

Compte tenu de l'ensemble des conditions opératoires, les mesures effectuées et transmises ont été affectées par différentes perturbations dont certaines peuvent être corrigées, leurs valeurs étant enregistrées simultanément à la mesure radiométrique et transmises de la même façon au sol. Nous distinguerons des pré-traitements standard qui ne peuvent être faits qu'en connaissance de ces paramètres «système» détenus par le maître d'œuvre et qui s'appliquent à la totalité d'une scène et des pré-traitements optionnels qui peuvent éventuellement être effectués par l'utilisateur lui-même sur la partie de la scène qui l'intéresse.

Les pré-traitements standard

Les corrections géométriques

Elles sont liées à l'attitude du vecteur. Il s'agit de corriger les effets des différents mouvements secondaires du satellite, lacet, roulis, tangage, enregistrés à bord en temps réel, qui déforment la géométrie de l'image. Il faut insister sur le fait que ces corrections ne changent pas le système de projection initial et à ce stade une scène n'est toujours pas superposable à un plan. Simplement, la scène est devenue analogue à celle qu'aurait fourni un satellite respectant scrupuleusement la trajectoire théorique.

Les corrections radiométriques

Comme tout appareil de mesure, le radiomètre doit être périodiquement étalonné. A partir de paramètres régulièrement enregistrés à bord, il est donc procédé à ce stade à une calibration radiométrique qui permet d'ajuster les valeurs des détecteurs et d'assurer ainsi une «égalisation» relative des mesures de ces détecteurs dans leurs différents secteurs de longueurs d'ondes.

L'élimination des bruits systématiques (restauration)

Comme dans tout système de captage et de transmission d'un signal, différents phénomènes secondaires peuvent le perturber plus ou moins en se superposant à lui. Ces phénomènes perturbateurs sont appelés «bruit». Dans la mesure où ils se produisent avec un systématisme décelable, sur une ligne de pixels par exemple, leur valeur peut être évaluée et une correction peut être portée sur les mesures radiométriques.

Les pré-traitements optionnels

Les pré-traitements standard visent donc à corriger d'imperfections de mesures, autant que possible les scènes délivrées, grâce aux différentes indications complémentaires fournies par le système d'acquisition. D'autres pré-traitements peuvent être envisagés en amont de l'exploitation proprement dite de la scène, ou d'une partie de scène, dans le but d'optimiser cette exploitation. Ils peuvent être éventuellement réalisés par l'utilisateur lui-même.

Les corrections géométriques

Elles ont pour but cette fois de transformer l'image satellitaire dans un système de projection cartographique traditionnel. Cette correction peut être légère et approchée, comme dans le redressement photographique, en assurant une mise à l'échelle sur quelques points de calage identifiés sur une carte et dans l'image. Dans ce cas, les déforma-

tions dues au relief ne sont pas corrigées. Il peut aussi être effectuée une mise à l'échelle systématique de l'image par superposition à un modèle numérique de terrain. Dans ce cas l'image est totalement superposable à un plan, mais les traitements numériques sont plus lourds.

Les corrections radiométriques liées aux conditions opératoires

Nous avons vu que les données numériques enregistrées au sol ne traduisaient plus directement l'énergie électro-magnétique solaire réfléchie par les éléments de la surface terrestre, par suite du codage en système binaire, du niveau relatif de la calibration radiométrique, mais aussi parce qu'il n'a pas encore été tenu compte de certaines conditions opératoires enregistrées, comme la hauteur du soleil, qui intervient à l'évidence sur le niveau énergétique du rayonnement. Pour nombre d'exploitations au sein d'une même image, ce fait est indifférent, toutes les mesures étant en quelque sorte «décalées» de la même façon. Pour d'autres, comme le calcul d'une grandeur physique, un taux d'humidité, ou une comparaison de deux scènes enregistrées à des époques différentes, il faut alors impérativement revenir aux valeurs énergétiques. Dans ces cas, on utilise les paramètres auxiliaires, fournis sur chaque scène, qui permettent de réintroduire les calibrations absolues des capteurs, la hauteur du soleil...

Des manipulations radiométriques complémentaires

Une première série a pour but notamment de réduire le «bruit» sur l'ensemble ou sur une partie par des filtrages appropriés.

Une seconde partie vise à simplifier l'exploitation ultérieure en limitant par différentes procédures le nombre des niveaux initiaux (théoriquement 256) à ceux qui sont a priori les plus pertinents. C'est ce que l'on appelle des seuillages.

Il est aussi possible de procéder à des réétalements de la dynamique.

LES FORMES DE MISE A

DISPOSITION DE

L'INFORMATION

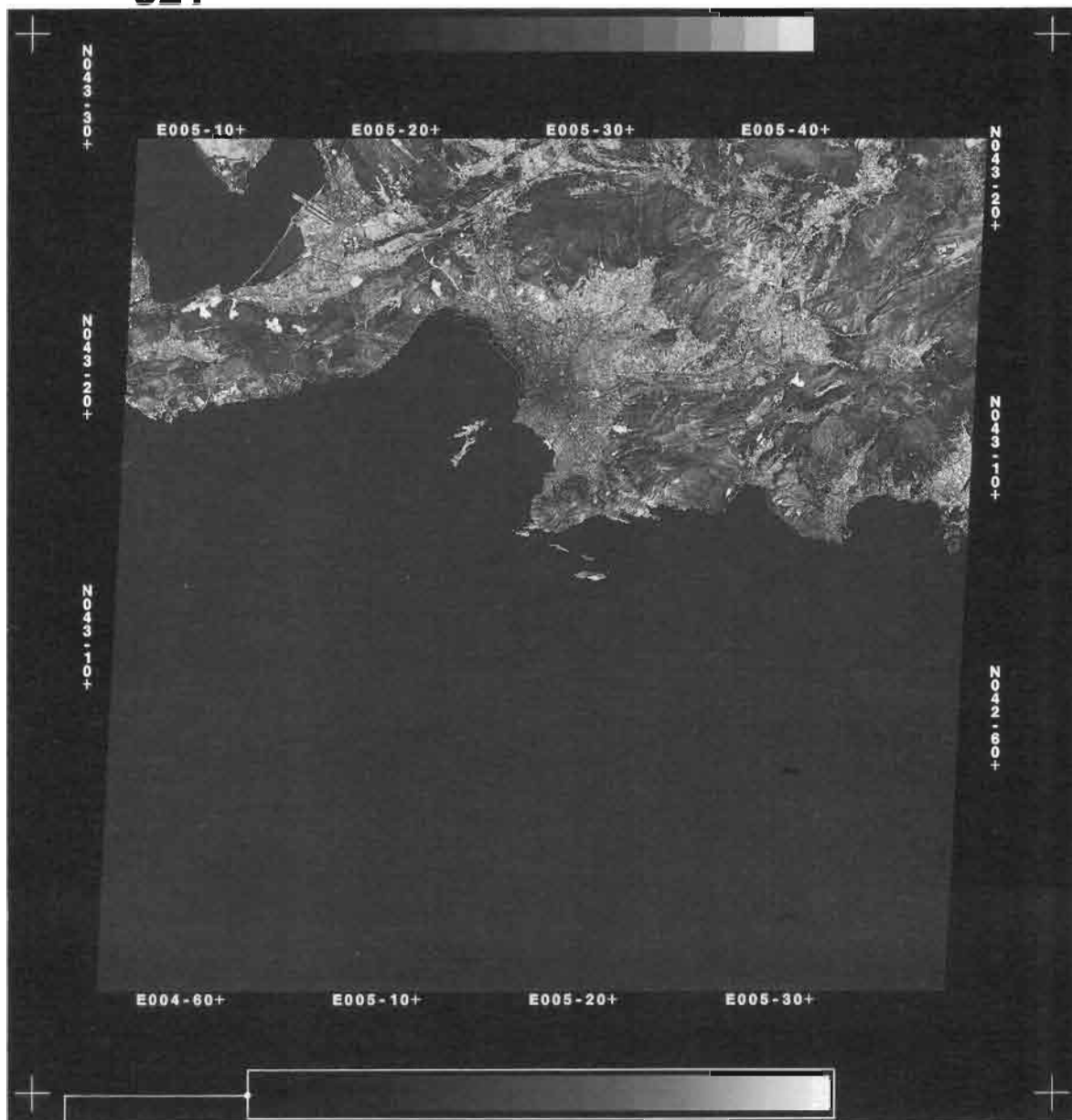
A ce stade, nous disposons toujours, même si la géométrie des pixels et leurs valeurs radiométriques ont été plus ou moins affinées par les pré-traitements, de séries de nombres que nous savons situer dans le maillage d'une scène. La diffusion de cette information peut se faire sous deux formes :

- sous forme analogique, le support photographi-

que qui fait correspondre un niveau de gris à des classes de réponses radiométriques. C'est le produit le moins onéreux, mais il conduit à une perte d'information, l'œil humain étant incapable de distinguer plusieurs dizaines de niveaux de gris.

- sous forme numérique, le support magnétique qui permet de conserver la totalité de l'information et de reporter à un stade ultérieur des pré-traitements optionnels, les paramètres nécessaires figurant également sur ce support magnétique.

| Satellite | Instrument de prise de vues | Référence dans la grille SPOT | Date de prise de vues |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| SPOT 1 321 | HRV 1 | 50-263 | 07 JUN 86 |



| | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|----------------|------------------------|
| N 43°11'/E005°20' | AZ:145°11' EL:86°18' OR:11°36'00" | INCID:R3°4 | 10H 39MN 18S | Q: N1B |
| cct:ST008586 Id/Id/Id SPOT © PRODUCT.CNES-IGN/DIST.SPOT IMAGE © CNES 1986 | | | | |
| Coordonnées du centre de scène | Identification de la bande | © | Angle de visée | Heure de prise de vues |
| Niveau du produit | | | | |

Mire absolue

LES GRANDES FAMILLES DE TRAITEMENTS

Il existe différentes typologies des traitements, sur lesquelles les spécialistes ne s'accordent pas toujours. Dans notre présentation, nous nous attachons à suivre plutôt un ordre croissant d'accessibilité ou de développement sans pour autant porter un quelconque jugement.

Une **première grande famille** consiste à fabriquer une image améliorée en la transformant que l'on appelle **composition colorée**, en faisant correspondre à des classes de valeurs radiométriques, des densités optiques d'un support photographique. Cette image est ensuite exploitée par photo-interprétation humaine, avec obligatoirement l'appui de références de terrain. Les classes de valeurs radiométriques peuvent être celles d'un canal ou de la combinaison de plusieurs canaux (que l'on appelle parfois néo-canaux (cf. annexe 2). En général, on conserve, pour l'insolation du support photographique, deux ou trois canaux ou canaux combinés, auxquels on affecte les couleurs primaires du spectre visible (bleu, vert, rouge). On peut bien sûr choisir n'importe laquelle de ces couleurs pour un canal, mais généralement, on respecte l'ordre du spectre visible. Comme très fréquemment le canal du proche infra-rouge, non visible, est utilisé, la plupart des compositions colorées arborent des couleurs «décalées», les forêts devenant rouges et les milieux urbanisés bleus par exemple.

On peut obtenir une composition colorée à partir des deux grands types de produits :

L'utilisation des produits standards sur support photographique

Dans ce cas, on applique à l'image différents traitements destinés à faciliter l'interprétation comme l'agrandissement, l'amélioration des contrastes. Ces procédés requièrent un soin certain, mais ne nécessitent pas d'équipements sophistiqués.

La production d'images améliorées numériquement

Le produit initial est cette fois la bande magnétique. De la même façon, par calcul informatique, on peut améliorer des contrastes, modifier des échelles, mais on peut également privilégier des thèmes, en supprimant les valeurs extrêmes et en «étalant la dynamique» sur une gamme pertinente de valeurs qui sera ainsi mieux perçue par l'œil humain sur le produit photographique final.

Par ailleurs, l'application de méthodes factorielles à l'ensemble des valeurs de tous les canaux permet de mettre en évidence des aspects morphologiques (mais on perd la correspondance avec la mesure physique), des dominantes thématiques en utilisant par exemple l'analyse en composantes principales, l'analyse factorielle discriminante.

La seconde grande famille est l'extraction automatique de l'information.

Elle concerne les démarches de recherche d'information particulière, comme l'indice de végétation ou la classification thématique, et nécessite une connaissance préalable du site traité pour guider la procédure. Elle fait notamment appel à l'utilisation des méthodes factorielles partant de l'hypothèse qu'il existe un petit nombre de caractères indépendants, non directement observables, qui rendent compte des dépendances entre les caractères étudiés (analyse en composantes principales, analyse factorielle discriminante).

- Les méthodes de classification (opérations sur les valeurs spectrales) :

Il s'agit là de faire correspondre des groupements de valeurs radiométriques dans les différents canaux ou les néo-canaux, à une thématique donnée. Une information complémentaire de terrain est toujours nécessaire pour initialiser la classification, puis l'évaluer. Il faut également formuler une hypothèse statistique qui impose ainsi une connaissance minimale du comportement du phénomène que l'on observe.

- Les opérations sur les répartitions spatiales :

Ce sont les notions mathématiques de structure et de texture qui sont ici prioritairement utilisées. La structure permet de décrire des arrangements spatiaux dans l'image, à partir de mesures de type statistique de fréquence ou de densité des éléments texturaux et de mesures structurales qui les décrivent géométriquement. L'analyse texturale cherche à identifier des éléments texturaux de base, définis comme des ensembles connexes de pixels auxquels on associe des caractères d'intensité, de forme, de taille. Différentes méthodes permettent de rechercher des frontières, de sélectionner des éléments linéaires, de déterminer des fréquences d'orientation...

- Les opérations qui combinent valeurs spectrales et répartitions spatiales.

Nombreux sont actuellement les chercheurs qui combinent les deux approches dans le domaine particulier de l'imagerie de télédétection.

Glossaire

Compilation et mise en forme par M^{me} H. Geroyannis et ME. Thomopoulos du CAMS à l'EHESS

Statistique, problème statistique : l'étude d'un problème statistique peut se décomposer en quatre étapes :

- recueil des données,
- classement et réduction de ces données (statistique descriptive),
- analyse des données visant à les rattacher à des modèles probabilistes,
- déduction de prévisions.

Ces étapes peuvent être appliquées telles quelles aux procédures de traitement des images satellitaires.

Population (individus) : terme statistique, la population en télédétection désigne un ensemble de pixels, d'une ou des images satellitaires à traiter, à partir duquel sont tirés les échantillons.

individu : en statistique, élément d'une population ; en télédétection, pixel.

Échantillon : partie d'une population, isolée le plus souvent par sondage, sur laquelle s'effectue une étude statistique.

Caractère, (variable) : le critère sur lequel repose une étude statistique est appelé caractère. On distingue deux types de caractères : ceux auxquels on peut faire correspondre des nombres et les autres. Les premiers sont des caractères quantitatifs, ils sont encore appelés variables statistiques ; en télédétection, surtout pour les méthodes d'analyse en composantes principales et d'analyse discriminante, par le terme variable, on désigne les canaux ou les néo-canaux. Les autres sont des caractères qualitatifs.

Analyse de données : branche de la statistique incluant un ensemble de méthodes, élaborées au cours des dernières décennies, basées sur l'approche multidimensionnelle des données provenant de domaines forts différents (sciences naturelles, sciences humaines, physique, etc...).

Si la statistique classique a développé les notions d'estimations et de tests fondées sur des hypothèses probabilistes très restrictives, à propos d'un nombre restreint de caractères mesurés sur un petit ensemble d'individus, les méthodes d'analyse des données essaient de dégager les paramètres caractéristiques d'un grand nombre de données, permettant ainsi une étude globale des individus décrits par un grand nombre de caractères et de variables (cf. - Que sais-je ? n° 1854 : Analyse des données par J.M. BOUROCHE et G. SAPORTA édition PUF 1983).

Alors les données peuvent être analysées selon plusieurs points de vue, en considérant les individus (en télédétection les pixels) de la population étudiée comme éléments d'un espace de dimension n (où n est le nombre de caractères, de variables). L'espace ainsi obtenu peut être représenté par des graphiques adéquats.

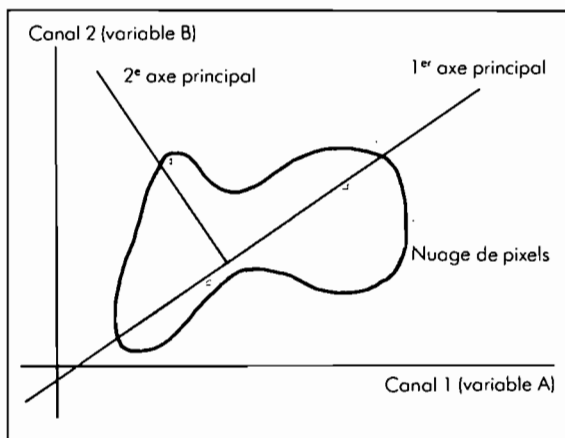
Les buts de ces méthodes sont d'apporter des éléments de réponse à des questions de type suivant : existe-t-il des corrélations entre certains des caractères ? Quels sont les caractères qui discriminent le plus les individus ? Existe-t-il

des caractères globaux (auxquels il reste à donner un sens) permettant de remplacer des groupes de caractères par un caractère unique ou deux caractères ? (cf. Dictionnaire des mathématiques par A. BOUVIER et M. GEORGE sous la direction de F. LE LIONNAIS édition PUF 1983).

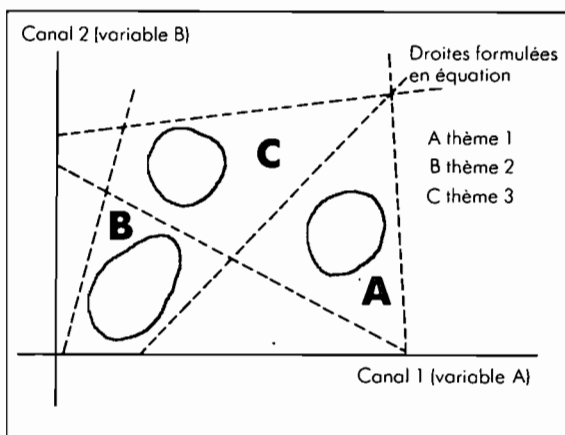
Parmi les méthodes d'analyse des données on peut citer l'analyse en composantes principales et l'analyse discriminante.

L'analyse en composantes principales (ACP) : méthode du domaine de l'analyse des données. En général cette méthode a pour objet la description des données contenues dans un tableau individus-caractères numériques (ou variables).

Dans le cas de la télédétection ou du traitement d'images satellitaires (à titre d'exemple) une ACP peut être appliquée à la totalité de l'image à traiter (à étudier) dans le but de dégager les axes principaux ou les axes de variances maxima. La variance est la moyenne des carrés des écarts par rapport à la moyenne.



Analyse discriminante : elle a pour but la minimisation des variances entre des groupes (thèmes) déterminés préalablement. Elle se fait toujours à partir d'un échantillon connu et sur l'ensemble de l'image.



Opérateur : dans le domaine de l'imagerie satellitaire, on a souvent besoin de transformer les images initiales afin d'en obtenir de nouvelles correspondant aux résultats recherchés. Ces transformations peuvent être effectuées au moyen d'opérateurs qui permettent de faire correspondre une image de sortie à un ensemble d'images d'entrée. Comme opérateurs on peut citer par exemple : la convolution, l'écart type local, et les opérateurs de mise en évidence des contours (Sobel, Robinson, Kirsh, Roberts...).

Il existe des opérateurs linéaires : ce sont ceux qui respectent l'addition et la multiplication par un scalaire (nombre réel).

Il existe aussi des opérateurs non linéaires.

Morphologie mathématique : Ensemble des procédures ayant pour but la quantification des formes.

Les opérateurs de la morphologie mathématique sont des opérateurs non linéaires qui font appel à la théorie ensembliste. Dans le domaine du traitement d'images satellitaires, ceux-ci peuvent être appliqués en tant qu'opérateurs d'érosion, de dilatation, de squelettisation, etc... des formes reconnues dans l'image.

CONCLUSIONS

Nos conclusions comprennent, des propositions d'actions qui découlent des discussions que nous avons eues, mais également des souhaits de poursuivre des investigations complémentaires sur des thèmes que nous avons insuffisamment traités. Nous aborderons successivement deux axes, à caractère quelque peu stratégique : des réflexions en commun, des expérimentations portées.

DES RÉFLEXIONS EN COMMUN

A l'évidence, et c'est la raison d'être de nos groupes de travail, le dialogue entre les techniciens de la télédétection et les aménageurs n'est guère développé. Même s'il existe un nombre sensiblement croissant d'expérimentations menées avec la collaboration active d'utilisateurs potentiels, il faut très largement développer les échanges et les réflexions en commun.

Faire connaître et développer la formation à l'usage des aménageurs et urbanistes.

Il existe aujourd'hui, différentes possibilités de formation à la télédétection. Plusieurs modules en particulier ont été mis au point à l'usage des professionnels de l'aménagement et de l'urbanisme. Mais sont-ils connus et adaptés ? Les programmes de formation continue des principales écoles ou des différents établissements formant les aménageurs et urbanistes, intègrent-ils ce sujet ou l'approfondissent-ils ? (voir annexe 2).

Mettre en place une structure d'échange entre utilisateurs et techniciens de la télédétection dans le champ de l'aménagement et de l'urbanisme. Différents groupements existent déjà bien sûr, mais la plupart sont d'initiative scientifique, ne comprennent que peu d'utilisateurs et ne sont pas principalement orientés sur le domaine de l'aménagement.

Par ailleurs, cette structure pourrait être chargée de mieux faire circuler l'information technique dans les médias habituels des aménageurs et urbanistes.

Entreprendre dès à présent, les rapprochements possibles

Si dans d'autres domaines, comme l'agriculture ou la géologie par exemple, les applications de la télédétection satellitaire sont plus développées, c'est

sans doute en raison de la meilleure adaptation des capteurs à ces analyses, mais aussi parce que depuis longtemps, des spécialistes de ces domaines ont acquis la maîtrise technique de la télédétection et ont pu participer activement aux développements nécessaires au sein d'équipes pluri-disciplinaires. Sans attendre les effets d'une formation étendue vers les aménageurs et urbanistes, plusieurs thèmes particuliers peuvent dès à présent faire l'objet d'analyses communes :

● L'évolution des moyens de traitement

Des développements sont actuellement menés pour adapter des logiciels de traitement d'images satellitaires sur des configurations à base de micro-ordinateurs. Des échanges pourraient intervenir tant sur l'évolution des fonctionnalités que sur les compatibilités matérielles, compte-tenu des perspectives d'informatisation du secteur de l'aménagement.

● L'association technicien-thématicien

Une meilleure information vers les aménageurs et urbanistes, des recherches et expérimentations, en cours ou prévues prochainement, favoriserait l'implication sinon l'intégration de thématiciens aux côtés des scientifiques et techniciens qui mènent ces expérimentations. Avec le triple intérêt d'affiner les objectifs, de contribuer à d'éventuelles réorientations de ces expérimentations et d'en affermir l'évaluation.

● L'approche statistique

Les milieux de la télédétection satellitaire et de l'urbanisme ont au moins un point commun : parmi leurs spécialistes, figurent des statisticiens. Leur rapprochement peut être de nature à faciliter la formulation et la mise en œuvre de nouvelles orientations ou approches plus efficaces.

● Information numérique et système d'information

Ce thème dépasse le cadre de notre travail. Mais comme nous l'avons indiqué à la fin de la présentation technique, l'évolution dans ce domaine est rapide et d'importance. Alors, sans se substituer à d'autres instances dont c'est le rôle, n'est-il pas utile au minimum d'appréhender ensemble cette évolution et ses conséquences, tant sur le « statut » de l'information que sur les modes de faire des aménageurs et urbanistes ?

DES EXPÉRIMENTATIONS

PORTÉES.

Dans la mesure où les réflexions communes, entre techniciens et aménageurs se seront intensifiées, il est vraisemblable que la mise au point de programmes de recherches et d'expérimentations se fera, elle aussi, en concertation. Ce n'est encore que peu le cas aujourd'hui, alors que différents programmes scientifiques du C.N.R.S., du C.N.E.S.,... le permettraient.

Il nous semble qu'il y a relative urgence à concevoir un minimum de propositions bénéficiant non seulement d'un accord de principe des aménageurs, mais également d'un suivi actif du déroulement et d'une implication dans l'évaluation. Deux actions seraient à mener dès à présent :

- Poursuivre l'analyse des démarches existantes.

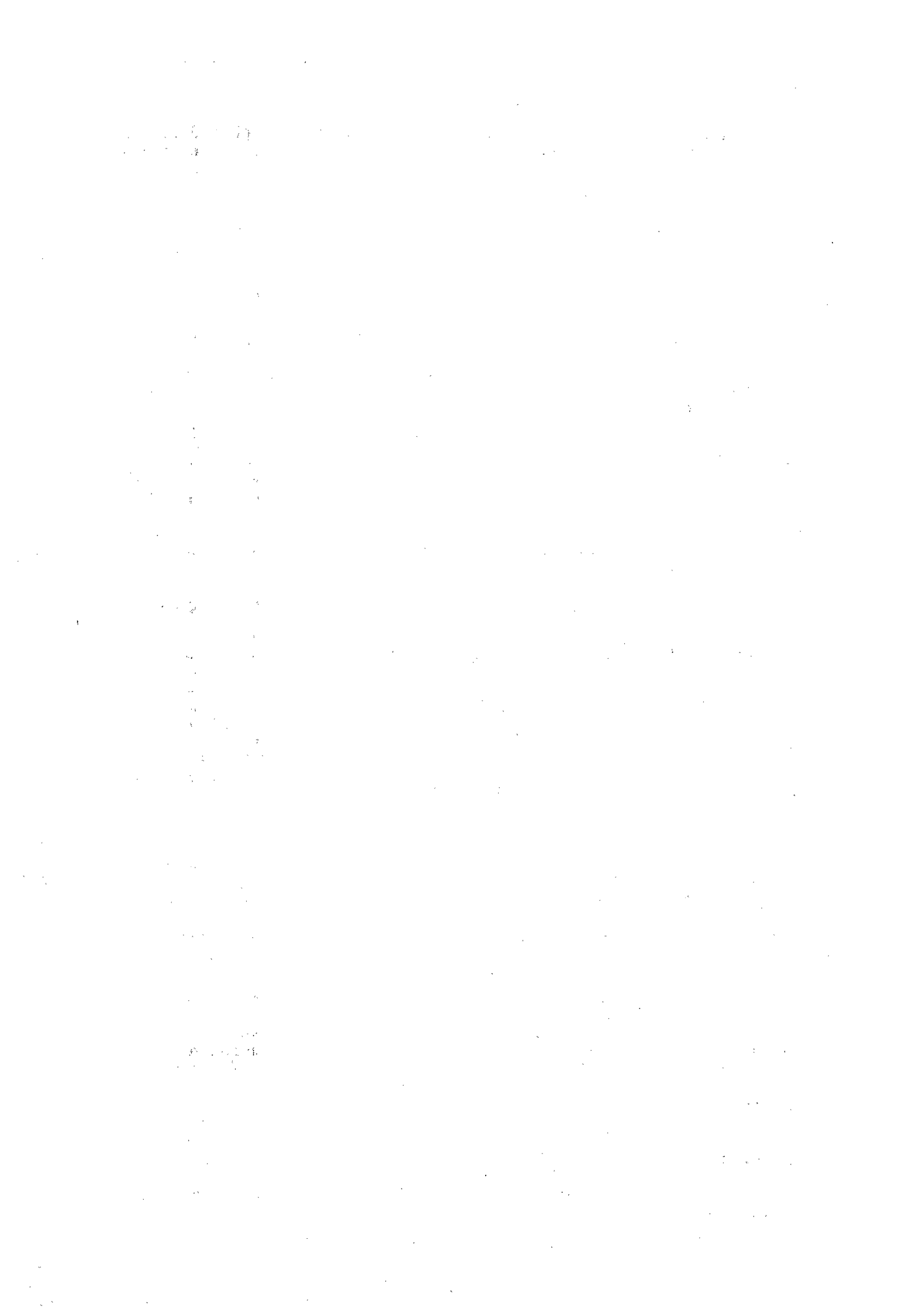
Différentes recherches ou expérimentations sont actuellement menées en France ou à l'étranger. Il convient de recenser et surtout d'évaluer plus complètement ces démarches, pour pouvoir structurer nos propres propositions et, si possible, amorcer des échanges dans le domaine de l'aménagement et de l'urbanisme.

- Établir de premières propositions.

Différents programmes de recherche tel que le Programme National Télédétection Spatiale, soutenu par dix organismes de recherche permettent d'obtenir, dans de bonnes conditions techniques, la prise en compte de demandes d'aménageurs et d'urbanistes.

ANNEXE 2

**exemples de traitement
éléments bibliographiques
formation**



CLASSIFICATION SUPERVISÉE DES ENSEMBLES URBAINS ET PÉRI-URBAINS DE LA RÉGION D'AIX-EN-PROVENCE : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

par Pierre OLIVA (*) et André HUSSON (**)

(*) Laboratoire de Télédétection
Institut de Géographie
29, avenue R. Schuman
13621 Aix-en-Provence

(**) Centre de Télédétection et d'Analyse des
Milieux Naturels
École Nationale Supérieure
des Mines de Paris
Rue Claude Daunesse
Sophia-Antipolis, 06565 Valbonne Cédex

Avertissement :

Cet exemple bien qu'ancien a été choisi car la méthodologie qu'il développe est toujours d'actualité.

L'approche par télédétection spatiale d'un milieu aussi complexe et aussi bien suivi que les agglomérations de la région d'Aix-en-Provence peut paraître peu convaincante, compte tenu des limites de résolution du capteur de Landsat. L'objet de l'étude n'est donc pas un recensement ni même une reconnaissance approximative des ensembles urbains, mais la mise en évidence de nouvelles unités de classification de l'espace urbain, réalisées à partir de matrices multispectrales et diachroniques. Ces unités taxonomiques, intégrant des données spécifiques telles que les mesures énergétiques dans différentes longueurs d'onde de l'espace urbain ramené à un maillage de 80 x 80 m et l'évolution de ces valeurs dans la durée saisonnière, relèvent de concepts qui ne sont pas pris en compte par les référentiels de terrain. Le découpage effectué conserve cependant l'aspect général rassurant de la morphologie urbaine. Il fournit la base d'une réflexion sur le contenu de ces unités taxonomiques recoupant les classifications traditionnelles du tissu urbain. Il ne constitue qu'un test d'application de l'outil Landsat, en attendant l'utilisation des données Spot.

L'APPROCHE PAR TÉLÉDÉTECTION SPATIALE : NÉCESSITÉ D'UNE NEOTAXONOMIE

La démarche suivie repose sur le traitement numérique entièrement supervisé sur écran interactif d'un processeur d'images colorées. Elle asservit complètement les calculs à l'interprétation de l'opérateur, qui doit assurer la maîtrise et le contrôle de la réalité-terrain. Il doit intégrer dans un référentiel commun les données physiques recueillies par Landsat, multispectrales et multitemporelles, et les données de terrain classées dans les thématiques traditionnelles. Celles-ci sont soigneusement collationnées par des enquêtes de terrain et des études de photo-interprétation. La méthodologie utilise des combinaisons de canaux discriminantes (quotients, différences, indices) et des choix chronologiques précis. Elle exige du même coup une connaissance encore plus fine de la nature et de la dynamique des objets urbains mesurés physiquement, puisqu'il faut redéfinir leur relation mutuelle.

L'expérimentation s'est déroulée en deux phases :

Une phase initiale de discrimination,

s'appliquant à la reconnaissance des objets, à l'identification et au recensement des données, compte tenu des contraintes du milieu et de la faible résolution du capteur :

- contraintes d'une topographie différenciée et compartimentée, faussant les « signatures spectrales » et diversifiant les angles d'incidence du rayonnement ;
- émiettement du paysage, où parcellaire rural et dynamique péri-urbaine engendrent des structures qui se combinent de façon complexe avec le maillage du capteur ;
- résolution du senseur actuel, définissant un maillage pratique de 80m de côté.

Les cartographies réalisées offrent alors des caractéristiques qui les différencient fortement des cartographies usuelles urbaines :

- Les pixels ne représentent pas chacun un objet isolé, mais une unité de paysage élémentaire. Quelle que soit sa résolution (80m pour Landsat, 10 et 20m pour Spot), le système d'enregistrement restitue une information globale. L'exploitation de ces données pose donc le problème d'une nouvelle conception d'approche des phénomènes. Ces données radiométriques sont la résultante d'ensembles qu'il faut recomposer en fonction de leurs propriétés physiques et de leur situation géographique. Or, les nomenclatures actuelles n'ont pas été faites dans ce but ; il est donc nécessaire, pour définir les pixels, de composer une néotaxonomie intégrant des données dispersées ou ignorées des taxonomies urbaines, d'élaborer une nomenclature adaptée aux comportements radiométriques des divers types de morphologie urbaine.

- Les pixels s'organisent en zones mosaïques à petite échelle caractérisées par une association de couleurs ou unité de paysage élémentaire, et par une texture cartographique.

Une phase de reconstruction et de redéfinition.

Cette phase privilégie la réflexion sur le contenu taxonomique des unités discriminées, et sur la validité des référentiels de terrain intégrés par l'opérateur.

En effet, nous avons été conduits à nous intéresser au contenu taxonomique des classes, que des traitements axés essentiellement sur l'environnement et l'interface ville/campagne projetaient à l'intérieur des zones urbaines. Celles-ci ne correspondaient pas aux segmentations attendues ou inconsciemment désirées.

Les classifications élaborées à partir d'un échantillonnage surtout rural aboutissaient soit à uniformiser l'essentiel de la ville, confondue dans un ensemble «ville, zone à forte densité du bâti, autoroute, etc...», soit à projeter plaisamment la ville à la campagne, en confondant dans les mêmes classes banlieues pavillonnaires et vignes, immeubles résidentiels et vergers, cimetières et champs labourés...

L'étude des modifications de l'environnement péri-urbain présente une problématique familière. La discrimination et l'identification des objets nouveaux introduisant des différences de réflectance significatives d'une date sur l'autre s'appuie sur la répétitivité de l'information. Les comparaisons sur deux années sélectionnées, d'une même saison permettent d'orienter la recherche vers l'optimisation des combinaisons discriminantes.

Mais à l'intérieur des périmètres urbains, dont le taux de variation d'affectation demeure très faible (de 1 à 5%), on peut se demander quelle est l'utilité réelle d'un outil comme Landsat pour l'étude d'objets très bien connus au sol, renseignés par une cartographie de qualité et une photographie abondante. Plutôt que de masquer ces zones apparemment sous-informées par Landsat, nous nous sommes efforcés de réfléchir sur la relation qu'il pouvait exister entre les objets au sol et leur expression dans les classifications. Nous avons donc axé nos efforts sur le contenu taxonomique des masques urbains et péri-urbains des classifications de l'occupation du sol.

Il faut abandonner l'utilisation des nomenclatures traditionnelles pour interpréter les données de télédétection en milieu urbain. Plutôt que d'essayer de retrouver des ensembles catalogués et répertoriés selon leur fonction (centre-ville, zone industrielle, terrain de sport...), nous avons surtout tenté de décrire les associations physiques semblant correspondre à des types de comportement radiométriques. Ces associations correspondent à des types de morphologie urbaine, souvent héritée de l'histoire. Leur comportement radiométrique semble directement fonction de la fréquence, de la nature et de la taille des objets bâtis, combinés à la nature et à l'implantation des espaces intersticiels environnants.

Si les concepts de variance ou d'invariance et de densité de recouvrement sont mis en valeur sans trop de difficultés (le rapport entre espace minéralisé - bâti, voiries... - et espace végétal est le paramètre qui pèse le plus sur le comportement radiométrique des diverses associations), on voit apparaître de nouvelles notions en milieux urbains : les notions d'aération, de densité de l'ombre, d'ensoleillement, d'inter-relation de l'unité avec l'environnement, de degré de végétalisation, se substituent aux référentiels des géographies et peuvent être quantifiées et cartographiées.

MÉTHODOLOGIE DE PRÉ-CLASSIFICATION

La définition d'un référentiel de terrain autorisant une «réalité-terrain» adaptée à l'instrumentation est la première étape de la démarche. A partir de ce référentiel, l'opérateur utilisant des moyens et logiciels spécialisés, détermine une méthodologie d'approche en plusieurs étapes. Deux modes de classification ont été alors établis, une classification statistique par généralisation des zones-test et une classification interactive totale qui est apparue plus satisfaisante car plus maîtrisable.

La réalité-terrain : zonage thématique homogène

MAILLAGE DU RÉFÉRENTIEL

La nécessité d'adapter le référentiel de terrain aux caractéristiques du capteur Landsat nous a conduits à appliquer à la ville un maillage de 80m de côté, calé au mieux pour correspondre à la grille de balayage. Le contenu de chaque élément de résolution (pixel) a été déterminé par les critères éventuellement pris en compte au niveau d'une réponse dans les quatre canaux du spectre du radiomètre Landsat, enregistrant à la verticale la réflectance des objets intégrés dans un élément de résolution de 1/2 hectare. Le travail d'échantillonnage et de recensement au sol (réalité-terrain) a donc été conduit sur ce nouveau référentiel : grille de 80m et fiche de terrain à entrées multiples pour le contenu de chaque maille. Le relevé a été conduit le plus rigoureusement possible, en utilisant au mieux les documents de référence connus (notamment les missions aériennes).

PARAMÈTRES DE SURFACE

Cette étude systématique aboutit à une subdivision en 18 taxons, intégrant après ajustement et simplification, un certain nombre de paramètres de surface (tableau 1) :

- densité du bâti, évalué en pourcentage ;
- pourcentage des espaces nus : sombres (béton ou asphalte) et clairs (terre) ;
- pourcentage des espaces verts avec type de végétalisation (dynamique ou statique, réflectance dans l'infra-rouge proche forte ou faible) ;
- pourcentage des ombres portées et orientation des bâtiments ;
- nature et couleur des toits, pente des toits.

Le maillage à partir de ces paramètres de surface aboutit à un zonage qui reprend les grands traits de la morphologie urbaine.

Mais le zonage présente certains contourages allongés, entraînant la multiplication des pixels de bordures, à rattachement indéterminé ou douteux. D'autres échantillons offrent un contenu réduit, dont on peut douter de la représentativité statistique. C'est ce zonage, implanté par table à digitaliser et superposé aux canaux de travail, qui a servi de référentiel de base et qui a constitué la réalité-terrain.

PRÉTAXONOMIE DU ZONAGE URBAIN ET PÉRI-URBAIN DE LA RÉGION D'AIX-EN-PROVENCE (tableau 1)

| TAXON | DENSITÉ | | ESPACE EN % | | | Divers | Nature des toits dominante | NATURE |
|-------|---------|-------------|-------------|------|-------------------------|----------------------|--|--------|
| | Bâti | Nu et béton | Nu et terre | Vert | | | | |
| 1 | 95 | | | 5 | | Tuiles | Noyau urbain historique : tissu très dense et peu aéré | |
| 2 | 75 | | | 25 | | Tuiles | Ancien tissu urbain central, un peu aéré par la présence d'espaces verts (jardins) | |
| 3 | 60 | 25 | | 15 | | Tuiles | Ancien faubourg du siècle dernier. Tissu assez dense | |
| 4 | 50 | 45 | | 5 | Ombres portées notables | Béton | Secteur de grands ensembles de deux types : couvrant tout un quartier 4a, ou qu'un secteur limité 4b | |
| 5 | 50 | 35 | | 15 | Ombres portées | Tuiles-béton | Zone industrielle insérée dans le tissu urbain. | |
| 6 | 50 | 40 | | 10 | | Tuiles-béton | Extension du noyau ancien, faubourg du siècle dernier. | |
| 7 | 50 | 15 | | 35 | | Tuiles | Pavillonnaire dense. Extension urbaine de la première moitié du siècle. | |
| 8 | 35-40 | 10 | | 50 | | Tuiles | Zone pavillonnaire avec de nombreux jardins. | |
| 9 | 40 | 25 | 10 | 25 | | Tuiles-béton | Mosaïque : pavillons-immeubles. | |
| 10 | 25 | 5 | 20 | 50 | | Tuiles-béton | Mosaïques : pavillons-immeubles : tissu plus lâche, espace vert plus important | |
| 11 | | | 80 | 20 | | | Z.A.C. en construction. | |
| 12 | 15 | 15 | | 70 | | Béton-tôle | Zones industrielles des Milles. | |
| 13 | 20 | 15 | | 65 | | Béton | Zone industrielle de Gardanne. | |
| 14 | 15 | 10 | 15 | 60 | | | Secteur de l'Hôpital Psychiatrique : densité du bâti peu élevée et présence d'important espace vert. | |
| 15 | | | | | | | Tissu péri-urbain : zone récente d'extension de la ville d'Aix-en-Provence. | |
| 16 | 5 | | | 95 | | | Espace vert urbain | |
| 17 | | 70% | | 30% | | Asphalte et bordures | Infrastructure autoroutière | |
| 18 | 5 | 5 | 85 | 5 | | Béton-terre | Infrastructures : stade, cimetière... | |

La chaîne d'opération et de sélection

La chaîne d'opération comporte les étapes suivantes :

EXTRACTION DES ZONES A FORTE OCCUPATION URBAINE ET PÉRI-URBAINE

Cette opération a pour but de limiter le temps de calcul et de donner une image homogène du thème retenu en masquant les valeurs des milieux non urbanisés. Cette stratification de l'image est fondamentale pour qu'un système de raisonnement propre à chaque milieu puisse exister.

On enregistre, à l'aide du curseur de la table à digitaliser, des très grande précision, les limites de ces zones lues sur des cartes IGN au 1/50.000 (programme POLYN). On élimine ainsi tout ce qui concerne le milieu rural. La zone de travail représente 12.600 pixels pour une image de 512 × 512, soit 5% de sa population, organisée en fenêtres.

SÉLECTION DES SCÈNES DE TRAVAIL

La sélection assure, parmi les données disponibles et de bonne qualité, le choix des saisons les plus discriminantes pour les objets urbains. Ainsi, les saisons de maximum végétatif (juin) et de fanaison (octobre) permettent de discriminer les types de végétation et les combinaisons milieu minéral/milieu végétal. La saison d'hiver (janvier), aux ombres longues, introduit des concepts d'ensoleillement ou de variation de couleur des espaces nus.

Trois dates d'une année ont été retenues : 15 janvier, 19 juin et 29 octobre. Ces scènes, de bonne qualité, ont été jugées les plus aptes à assurer une bonne discrimination d'un milieu urbain relativement végétalisé.

Une seule année (1976) a été retenue, car le but n'était pas d'observer l'expansion urbaine, mais d'étudier la dynamique interne saisonnière de l'ensemble urbain. Le volume de données représente 12 canaux, qui ont été travaillés en combinaison à partir d'un disque de capacité de stockage de 9 canaux.

CHOIX DES COMBINAISONS DISCRIMINANTES

Cette étape a pour but de déterminer les combinaisons ou croisements mettant en valeur les thèmes étudiés. Elle comporte deux phases :

a) Création d'images et de leur histogramme

Les images créées sur écran sont photographiées puis utilisées sous forme de diapositives. Cette étude en chambre ou sur le terrain permet de déterminer expérimentalement les combinaisons et croisements les plus significatifs, en évitant d'immobiliser le système interactif.

Les indices, tels le G.V.I. (Green Vegetation Index) ou le S.B.I. (Soil Brightness Index), ont été expérimentés mais écartés, car jugés peu satisfaisants par rapport à l'échantillonnage étudié.

Les combinaisons jugées les plus discriminantes pour l'ensemble urbain ont été des « néocanaux » :

- croisement des canaux 7 et 5 de juin,
- croisement des quotients 7/5 de janvier et 7/5 de juin,
- croisement du quotient 7/5 et différence 4-5 de juin ou d'octobre,
- croisement 7/5 de juin et de la somme 4 + 5 d'octobre.

b) Sélection des croisements retenus

Parmi les combinaisons analysées, on a retenu le croisement du quotient 7/5 de juin et de la somme 4 + 5 d'octobre.

Nous avons vu que la densité de surface bâtie et de surface artificialisée corrélée avec la surface occupée par la végétation, constitue l'indice le plus discriminant en zone urbanisée. Or, le quotient 7/5 de juin est la combinaison qui accentue le mieux le contraste entre milieux végétaux et artificialisés. Il paraît également favorable au tri dans la densité des espaces verts.

La somme 4 + 5 d'octobre donne l'albédo maximum, mais non saturant. La part des ombres est renforcée.

CROISEMENT DES NÉOCANAUX

Le croisement de ces deux nouveaux canaux fournit la base de la classification. L'histogramme croisé est peu parlant, car on ne possède pas de vision intuitive de la fonction 7/5 qui n'est pas linéaire.

La manipulation est cependant simple, correspondant sensiblement à la «verdeur» en juin sur un axe vertical, et à la «brillance» en octobre sur un axe horizontal.

Le **choix des bornes** va déterminer la dispersion de l'information dans la grille de l'histogramme croisé et dans la grille de couleurs. Il est fondamental. Le volume d'information à traiter est énorme (256^2 combinaisons possibles théoriquement entre deux canaux MSS). On transforme donc l'espace de mesure en un espace de représentation simplifiée, grâce à un codage des deux canaux en 16 niveaux, les niveaux 1 et 16 représentant la partie des données extérieures aux bornes. Cette technique permet de réduire le volume d'informations à traiter ($16^2 = 256$), sans pour autant perdre trop d'information.

Par le choix judicieux des bornes, on peut limiter l'étude à une partie des réponses possibles pour chaque canal, le but étant de mettre en valeur les mesures qui apportent le plus d'informations pour l'appréhension des phénomènes étudiés. On limite le traitement à la partie des valeurs radiométriques représentatives des objets urbains.

CLASSIFICATION SUPERVISÉE A PARTIR DES ZONES-TEST

Principes de classification

On effectue le croisement de deux combinaisons de canaux codés sur 16 niveaux, et le calcul de l'histogramme croisé correspondant. La lecture de cet histogramme permet de voir si les bornes ont été correctement choisies.

C'est sur cette image croisée que l'on identifie les spectres caractéristiques des divers «objets» étudiés. Cette identification se fait sur un certain nombre de polygones-test (programme POLYN). Ces polygones-test, déterminés à partir d'études sur le terrain, ont été reportés sur une carte au 1/25.000, puis numérisés à l'aide de la table à digitaliser. Ces polygones-test, thématiquement bien définis, sont ensuite analysés selon l'histogramme croisé des canaux.

L'interprétation des histogrammes donne la «signature spectrale» de la parcelle-test (situation des valeurs des pixels du polygone-test par rapport aux deux canaux) et l'homogénéité spatiale (distribution des valeurs des pixels du polygone à l'intérieur de son histogramme).

On peut ainsi éliminer les polygones peu représentatifs, trop hétérogènes ou ambigus. La classification, selon le maximum de vraisemblance, distribue tous les pixels contenus dans une image, dans une des classes définies par les polygones-test retenus. Les pixels dont les spectres sont trop différents de ceux des pixels des parcelles-test sont regroupés dans une classe de rejet.

Résultats des classifications

La classification obtenue après polygonage, étude de représentativité de chaque polygone, etc..., donne une image finale décevante.

Même simplifiée par l'augmentation du seuil de rejet et l'amélioration de la table couleur, l'image conserve une allure de patchwork : les classes se distribuent en unités trop petites (4 à 5 pixels) sur l'ensemble de la classification. L'examen point par point de cet habit d'arlequin montre que chaque affectation correspond à la prédominance d'un des paramètres de la prétaxonomie - ombre, végétation, couleur, orientation, voisinage - qui écrase brutalement les autres.

Cette voie apparaît sans issue, malgré l'effort de perfectionnement du polygonage et la recherche d'une meilleure représentation.

Ce résultat peu encourageant montre les limites de la classification automatique (même supervisée) des données numériques. Une classification, aussi bien conduite soit-elle, avec les zones-test les plus pertinentes, ne semble pas apte à fournir un résultat fiable pour une étude plurithématique.

Elle doit être réservée aux études monothématiques (eau/non eau ; feu/non feu). La classification ne doit donc pas être considérée comme un résultat en soi, mais comme la base servant à l'interprétation interactive.

CLASSIFICATION INTERACTIVE DIRECTE

Mode de classification : le programme ECOL

La classification repose sur l'exploitation maximale de l'interactivité, comme elle a pu être expérimentée en géomorphologie de surface. Elle utilise le programme ECOL, appliqué à une classification déjà réalisée. Les bornes de croisement retenues, l'histogramme croisé et la grille de croisement, servent à construire, zone par zone, une nouvelle classification.

La grille de croisement est étudiée maille par maille avec présupposé de répartition spectrale dans la grille (ou de situation dans l'histogramme croisé) des différentes entités du milieu urbain. Chaque ensemble de cases, correspondant à un nuage de position spectrale, est affecté d'une couleur dont la distribution dans l'image est contrôlée systématiquement.

La démarche implique l'existence d'une relation entre la position spectrale et la position géographique. La première est identifiée dans le croisement retenu par sa place dans l'histogramme croisé (ou la mire de couleur). La seconde par son occurrence dans le nuage spectral (en pourcentage, ou en valeur, ou en superficie) et par sa distribution dans l'image. Ce système, relativement rapide, d'autant que l'opérateur a une bonne connaissance de la réalité-terrain, est exhaustif, car il permet de traiter l'ensemble des mailles de la grille, à partir du positionnement du centre des nuages spectraux. Ceux-ci sont déterminés expérimentalement après l'étude du modèle spectral théorique réalisé par le croisement.

Il s'établit vite qu'aux zones homogènes dans la grille, correspondent des zones homogènes géographiquement. Le choix des couleurs affectées à chaque classe et le choix de la hiérarchie des contrastes, sont importants pour assurer à l'image résultante une structure recoupant les grandes lignes de la morphologie urbaine. Les seuils de classification ou l'attribution des mailles limites à l'une ou l'autre classe, sont faits interactivement, sur décision de l'opérateur après visualisation de la répartition spatiale de ses éléments.

Classification diachronique supervisée des données Landsat sur la zone d'Aix-en-Provence

RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION

La classification a été effectuée sur le croisement du quotient des valeurs des canaux MSS 7/MSS 5 de la scène du 15 juin 1976, porté en abscisse, et la somme des valeurs des canaux MSS 4 + MSS 5 de la scène du 25 octobre 1976, portée en ordonnée. Les valeurs de chaque nouveau canal, quotient et somme, ont été redistribuées en 16 niveaux et croisées, donnant une grille de 256 cases.

La classification compte 13 classes et une classe de rejet.

La classification peut être jugée satisfaisante, car elle offre des critères de structure et de texture de l'image conformes à la morphologie urbaine.

On ne donne donc pas de définition thématique classique (centre-ville, banlieue résidentielle, etc...), mais des définitions plus physiques faisant ressortir la structure et la composition du milieu urbain dans un espace temps allant de l'été à l'automne.

LE CONTENU TAXONOMIQUE DES CLASSES

(Les pourcentages entre parenthèses se réfèrent à l'ensemble des zones urbaines et péri-urbaines de l'image, et non à la seule ville d'Aix-en-Provence).

a) Centre urbain peu végétalisé

CLASSE 1 (12,43%)

Sa situation spectrale indique qu'elle ne possède pas de couvert végétal, et qu'elle offre un albédo moyen en octobre.

Les facteurs discriminants sont :

- la densité du bâti (rareté ou absence du végétal),
- couleurs sombres (faible albédo),
- densité des ombres portées (notamment dans les zones d'immeubles neufs).

Cette classe correspond au centre urbain ancien et aux quartiers d'immeubles en béton de la ZUP. Les grands ensembles peu végétalisés de la Cité Besson ou de la rocade Sud, sont confondus dans cette classe avec les portions d'autoroute orientées W-E.

CLASSE 2 (8,28%)

Les facteurs discriminants sont la densité du bâti et sa hauteur, et la nature des espaces non bâtis. Elle marque un net éclaircissement de la classe 1, avec un albédo plus prononcé en octobre et en juin. Sa distribution géographique lui attribue les quartiers à bâti pavillonnaire lâche, mais peu végétalisés. Les quartiers du Pignonnet, du Val-St André, des Capucins, qui couronnent la ville, sont bien individualisés. Leur population est relativement forte.

CLASSE 3 (10,9%)

Cette classe correspond à un relèvement du taux de végétalisation de la classe 1, et à une augmentation des ombres portées, abaissant l'albédo d'octobre. Elle renferme les zones d'immeubles modernes (Pasteur ou Val St André) élevés et moyennement végétalisés. Le cours Mirabeau, associant frondaison de platanes et immeubles denses aux toits de tuile, s'inscrit dans cette classe relativement bien représentée.

CLASSE 4 (3,8%)

Elle est peu représentée, et correspond aux ensembles urbains très réfléchifs, sans végétation. Le cimetière d'Aix-en-Provence et l'École Militaire sortent dans cette classe.

b) Ensembles bien végétalisés

CLASSE 5 (13,64%)

La classe s'intègre dans la large couronne aérée de l'expansion moderne. Sa situation sur l'axe médian du graphique et le renforcement de sa valeur dans le quotient 7/5 de juin traduisent une végétalisation plus marquée. Elle englobe les quartiers à bois de pins encore denses (Hôpital Psychiatrique, Cuques, Pont-de-Béraud, Montée d'Avignon). La qualité de l'environnement et de l'aération est nettement supérieure.

CLASSE 6 (17,15%)

Bien peuplée, cette classe correspond au maillage péri-urbain du bâti, relativement lâche en raison des règles de faible densification imposées par les POS, et aux zones incluses dans l'ensemble urbain avec un certain taux de couvert végétal.

CLASSE 7 (8,43%)

Le facteur discriminant reste le pourcentage du bâti par rapport à l'ensemble rural. Le taux de végétalisation est très élevé, et indique un pourcentage important de feuillus ou d'espaces verts, notamment les percées de la route de Vauvenargues ou du quartier des Platanes, ou du Pont de l'Arc. Elles forment une couronne péri-urbaine bien caractérisée.

c) Ensembles non végétalisés, et non bâtis, à albédo élevé

Les classes de ces ensembles, peu peuplées, sont caractérisées par une augmentation croissante de la réflectance.

CLASSE 8 (1,81%)

Elle montre une dynamique saisonnière favorable à octobre. Elle est illustrée dans la ville par le Stade Municipal, et par les labours ou la vigne dans la couronne rurale d'Aix-en-Provence, qui offrent un albédo saisonnier élevé en automne. Ces valeurs s'atténuent ou disparaissent en juin, avec l'apparition d'un voile général.

CLASSE 9 (2,22%)

Offrant des valeurs plus élevées sur l'axe vertical, la classe correspond à des zones de statut intermédiaire, peu caractéristiques, entre les classes 9 et 10. Le quartier très dégagé de la piscine est la seule zone urbaine qui lui soit rattachée.

CLASSE 10 (1,34%)

Elle correspond à la permanence d'une réflectance élevée, aussi bien en juin qu'en octobre. La classe englobe dans le milieu péri-urbain le très grand chantier de la ZAC en construction, où tout l'espace agricole qui a été dénudé par les engins de terrassement offre des sols blancs très réfléchifs. Dans l'espace rural péri-urbain, cette classe correspond à la fois à de nombreux chantiers en construction et aux champs de céréales déjà moissonnés, dont le sol conglomératique réfléchit fortement.

d) Ensembles boisés à mitage péri-urbain

CLASSE 11 (9,09%)

Peu représentée autour d'Aix-en-Provence, elle correspond à des zones forestières peu réfléchives (pinède ancienne ou garrigue), ou situées à l'ombre au moment de l'enregistrement.

CLASSE 12 (8,70%)

C'est la classe des espaces verts et boisés, discriminée fortement par le quotient 7/5 de juin, et n'apparaissant pas dans l'albédo d'octobre. Elle englobe les pinèdes récentes et les feuillus bien exposés du plateau de Bibemus. Elle peut être rattachée aux classes mosaïques pinèdes/feuillus des classifications rurales. Elle marque la frontière du «mitage» en 1976.

CLASSE 13 (1,88%)

Cette classe, à très fortes valeurs dans le quotient de juin et à valeurs faibles ou moyennes dans la somme d'octobre, englobe les espaces ruraux péri-urbains irrigués, très verts en juin, dénudés ou déjà en labour en octobre. Elle est peu peuplée.

CONCLUSION

La classification interactive directe des périmètres urbains et péri-urbains d'Aix-en-Provence par le programme ECOL, aboutit à un zonage qualitatif de l'habitat urbain. L'opposition est nette entre quatre catégories d'espaces : les **espaces densément bâtis** de vieille tradition (centre urbain) ou de conception moderne (ZUP des années 60) sans végétation, les **espaces entièrement végétalisés** correspondant aux zones forestières et zones de loisirs encore protégées. Entre ces deux extrêmes, une **couronne bien végétalisée** traduit une conception différente du confort urbain. La texture de cette couronne montre cependant l'apparition de quartiers où des nuances dans la densification du bâti, dans le type d'occupation des jardins (vieilles vignes ou lambeaux des forêts Aixoises), dans le rapport entre les surfaces bétonnées et les surfaces vertes, dans la hauteur et l'orientation des bâtiments, et donc dans la valeur des ombres... concourent avec bien d'autres facteurs à zoner la qualité du milieu de vie. Les **classes à fort albédo** sont celles du front pionnier Aixois en 1976, dont le chantier gigantesque Ouest représente l'exemple réel d'une action concertée (ZAC).

Ce zonage doit être confronté à des données plurithématiques (valeur des immeubles, densité de la population, du trafic urbain, etc...). Celles-ci pourraient renseigner le maillage réalisé par digitalisation, et constituer alors la banque de données-terrain indispensable à l'exploitation informatique des données de télédétection spatiale.

SPOT
**un outil de saisie et de mise à jour pour la Base
de données Cartographiques de l'IGN**

François Salgé, Marie-José Roos-Josserand, Philippe Campagne
Institut Géographique National 136 bis rue de Grenelle 75700 Paris

Les besoins exprimés ou pressentis, les circonstances conjoncturelles, situés dans l'immédiat et le futur proche, et l'état de l'art en cartographie numérique ont conduit l'I.G.N. à définir parmi ses programmes pour les cinq à dix prochaines années, la création d'une base de données numériques concernant les informations des cartes à petite échelle du 1/100.000 au 1/1.000.000 couvrant le territoire national métropolitain : son nom la BDCarto.

La précision de localisation planimétrique des données de la base est compatible avec la résolution du satellite SPOT et les futures capacités de localisation rapide.

Du fait de la coïncidence calendaire avec le projet SPOT sa constitution a commencé au début de l'année 1986 et s'achèvera vers 1991.

A partir de 1988 on peut espérer commencer à mettre à la disposition de tous les utilisateurs d'informations cartographiques, des fichiers de données topographiques servant de localisant aux études spécifiques, et améliorer les productions cartographiques actuelles de l'I.G.N.

De même multiplier les capacités de cartographies spéciales à toutes échelles comprises entre le 1/100 000 et le 1/500 000(*) et dans tout découpage destiné à mieux satisfaire les besoins spécifiques, est une perspective plausible pour les prochaines années.

Le concept de base de données permettra, tout en assurant une plus grande cohérence des données, de satisfaire la communauté des utilisateurs de données à petite échelle en produits spécifiques régulièrement mis à jour.

Parmi les utilisateurs potentiels de la base de données cartographiques on trouve, sans conteste, ceux concernés par les applications de la télédétection dont l'échelle de prédilection est le 1/100.000 depuis l'avènement de SPOT. En ce qui concerne les aspects traitement des images SPOT il est indéniable que cette base de données apporte les éléments complémentaires de description de la topographie pour la corrélation entre image et terrain.

En retour les images SPOT forment un ensemble de données particulièrement utiles pour sa mise à jour. Il est donc envisagé d'utiliser l'imagerie SPOT pour la mise à jour des informations géométriques des objets de la base de données ce qui permettra d'atteindre les objectifs de précision temporelles de la BDCarto. De par la rigidité interne des images une vérification de la précision géométrique des éléments numérisés à partir des cartes sera alors effectuée. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées, de la simple photo-interprétation à l'extraction automatique de formes.

Les données de surface interprétées à partir de l'imagerie spatiale seront intégrées sous deux formes dans la base de données. La première correspond à une description fine de l'espace et permet de donner la nature de l'occupation du sol en un endroit donné. La seconde consiste en une vision cartographique, donc plus généralisée, de la précédente qui permet de définir les objets de type surface de la BDCarto tels que, par exemple, les forêts, les lacs, c'est-à-dire tout objet d'une certaine étendue pertinente pour la base et à qui on peut associer un toponyme. Ces deux visions seront déduites de traitements d'images SPOT (par classification) en indiquant à quel milieu appartient une surface donnée (bâti, végétal, eau). La consultation BDCarto a permis d'exprimer les classes souhaitables, les recherches sur SPOT fixeront celles possibles.

On peut envisager les phases de traitements suivantes :

- 1) phase de rectification géométrique de niveau 3
- 2) recueil de données exogènes pour la classification et préclassification manuelle (zonage)
- 3) classification supervisée se faisant suivant trois principes a priori :
 - traitement de l'hydrographie en tenant compte des informations hydrographiques déjà présentes dans la BDCarto,

- traitement du bâti en faisant l'hypothèse que tout hameau est relié par le réseau routier,
- le reste (la culture, les forêts, le minéral,...) est traité différemment selon un zonage a priori de la France en unités homogènes (montagne, parcellaire très net, microparcellaire, grands massifs forestiers, petite région agricole,...). Plusieurs techniques peuvent alors être mises en œuvre : segmentation, classification multitemporelle, photo-interprétation, ou mélange de diverses techniques...

4) vérification confrontation à d'autres données (photographies aériennes, données de terrain, données numérisées de la BDCarto,...) par sondage et selon les hypothèses de précision retenues par thème.

La télédétection et la cartographie numérique ont évolué par le passé sur des chemins parallèles et parfois légèrement divergents. Nous assistons actuellement à l'avènement des satellites de la génération de SPOT, les premiers à avoir une dimension cartographique. Les techniques informatiques capables de résoudre les problèmes de saisie (scanneur), de gestion (SGBD relationnels) et de sortie (laser camera) sont à présent opérationnelles et ont atteint un niveau qui permet de mettre en production le concept de bases de données localisées. Enfin, les besoins en données géocodées sont une réalité à prendre en considération. Voilà au moins trois raisons qui font que la technique «télédétection» et la cartographie numérique devront naviguer de concert pour l'amélioration des bases d'informations au service de l'aménagement du territoire, de sa gestion, de sa planification et de sa protection.

(*) Des sorties de travail à des échelles supérieures (jusqu'au 1/50.000) pourront être proposées.

Mots-clefs : systèmes d'informations géographiques, bases de données localisées, cartographie numérique, télédétection opérationnelle, classification, photo-interprétation, mise à jour.

ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

- Anuta P.E., Bartolucci M., Dean M.E., Lozano D.F., Malaret E., Mc Gillen C.D., Valdes J.A., Valenzuela C.R.** 1984 Landsat 4 MSS and Thematic Mapper data quality and information content, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 22 n° 3.
- Association québécoise de télédétection et Société française de photogrammétrie et de télédétection.** Le système SPOT d'observation de la terre.
- Badhwar G.D.; Furster B.C.** Crop emergence date determination from spectral data ; urban residential ground cover using Landsat digital data.
Photogrammetric engineering and remote sensing (USA) volume 46 n°s 3 et 4 - Mars-avril 1980
- Ballut A., Lecup J., Lenco M.,** -Traitement en classification supervisée de l'occupation de l'espace de l'image Ile-de-France du 23/3/1973 sur station précablée active. Utilisation d'image satellite pour décrire l'état et le suivi de l'occupation du sol et de la végétation en Ile-de-France, IAURIF, pp. 22-52.
- Ballut A.,** 1979 - Les limites de la télédétection en milieu urbain, thèse de 3^{ème} cycle, EHESS, Paris.
- Ballut A., Laine D.** - Simulation SPOT sur une zone de l'agglomération de Paris, IAURIF.
- Ballut A.** - Étude de l'occupation du sol par satellite - Note d'information - cahier de l'IAURIF, vol. 61 4^e trimestre 1980.
- Ballut A.** 1984. Les besoins d'information pour l'aménagement urbain et régional : oport de la télédétection spatiale à la satisfaction de ces besoins - SFPT n° 93.
- Ballut A., Boquet E., Nguyen P.T., Fortin M.,** 1984 - Évolution de l'occupation du sol. Recherche de méthodes comparatives et de traitements par utilisation des simulations SPOT de 1981 et 1983. IBM, IAURIF.
- Ballut A., Nguyen P.T.** - Simulation SPOT à Paris ; mutations du tissu urbain/Métropolis n° 70-71, 4^e trimestre 1985.
- Barbary O.** 1985 - Projet de thèse de mathématiques appliquées aux sciences de l'homme, sous la direction de M. Barbut, EHESS. Sujet : «Élaboration de plans de sondage pour l'estimation de données spatio-temporelles, en prenant en compte les informations fournies par la télédétection. Application aux données démographiques en milieu urbain des pays en développement». 20 p.
- Barbary O.,** 1986 - Apport d'une stratification morphologique des districts INSEE de recensement dans l'estimation des effectifs de population à Marseille, Quito, 47 p.
- Bardinet C.,** 1982 - Morphologie urbaine et télédétection : les cas d'Annaba (Algérie) et de N'Jamena (Tchad) par landsat. Journée de télédétection en milieu urbain. Mai 1982 CNRS-IGN.
- Bariou R.,** 1978 - Manuel de télédétection Ed. SODIPE.
- R. Bariou, L. Hubert, F. Le Henaff :** Apport des satellites de deuxième génération à l'analyse urbaine. Le cas d'une ville moyenne, Rennes. Revue «Photo-interprétation» - à paraître 1987.
- Barisano E., Bartholome E., Marcolongo B.,** 1984 Télédétection et archéologie. Interprétation intégrée de données télédéteectées - HCMM Landsat Photos aériennes - corrélée avec des aspects physiographiques et archéologiques dans la plaine vénitienne occidentale. Ed. du CNRS, Paris.
- H. Beguin et al.** - Comparaison of classification methods for urban images interpretation. Congrès ISP Hambourg 1980 vol. 23 Tome 7 Commission VII p. 84-91.
- Bied-Charreton M., Gonfreville P.** - Télédétection et aménagement de l'espace, expression des besoins - OPIT 1979.
- Boasson E., Howarth P.J.,** 1983 - Landsat digital enhancement for change detection in urban environment. Remote Sensing of Environment N° 13 pp. 149-160.
- Boquet E., S.E.P.** - Utilisation d'images SPOT pour l'analyse du milieu urbain - Amélioration d'images classées (SPOT) par intégration d'informations texturales/Actes du colloque FI3G 10-13 juin 1987 Lyon (France).
- Bouillot J., Campagne P., Flouriot J., Laporte J.M., Soudoplatoff S.,** 1984 - Recherche méthodologique sur l'utilisation de la télédétection en aménagement urbain. Simulation SPOT Niamey.
- Bourgery E., Clause P.** - Guide de gestion des plantations d'alignement le long des chemins départementaux de Meurthe-et-Moselle.
Institut pour le développement forestier 1984, 3 fascicules.
- Bozet M., Dotu H., Installe M., Wilmet J.,** 1978 - Méthodes de classification et d'interprétation des données du satellite Landsat pour l'étude des structures urbaines en Europe Occidentale. Bulletin de la société belge de photogrammétrie, n°s 131, 132, sept. 1978.
- Bozet M., Dotu M., Installe M., Wilmet J.,** 1980 - Filtrage spatial des données Landsat en vue de la cartographie urbaine. Annoles des mines, avril, mai 1980.
- Brossier R., Lummaux J.C.** - Cours de télédétection mise à jour 1983, ENSG.
- Buchan G.M. et al.** - Remote sensing in land-use planning : an application in west central Scotland using Spot-simulation data. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, n° 6, p. 767-777.
- Carter P., Gardner W.G., Jackson M.J., Smith T.H.,** 1980 Urban land mapping from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 48, n° 8, pp. 1041-1050.
- Cassanet J.,** Paradigme 1984 - Satellites et capteurs.
- Cazabat C.,** 1975 - Initiation pratique à la télédétection IGN/ENSG.
- Chabreuil A. et M.,** 1979 - Exploration de la terre par les satellites - Ed. Hachette.
- Chatelain A.** - Analyse des morphologies urbaines et de leur évolution à partir des données de télédétection. Informatique et sciences humaines n° 44, pp. 84-105.
- Chen Jun, Guan Zequin, Zhan Qinning, Sunjia Bing, Lu Hueiwein, Zheng Zhixiao** - Urban change detection and analysis using multivariate remote sensed images/actes du symposium de la Commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- Clavaud R.** - La terre vend son image - Expansion (France) n° 279, 21 février-6 mars 1986.
- CNES et Conseil international de la langue française (CILF)** 1985 (2^e édition) - Dictionnaire de spatologie : sciences et techniques spatiales - 2 tomes.
- CNRS,** 1982 : Journées de télédétection en milieu urbain. publ. du CERCG/Cellule de télédétection, 140 p.
- Collet C.** - Comparaison de méthodes de classification appliquées à des données de télédétection - Espace géographique n° 1 janvier-mars 1981.

- Collet C.**, 1983 - Contribution à l'étude de l'occupation du sol et son évolution à l'aide des données MSS de Landsat Thèse université de Fribourg, Suisse 187 p.
- Collins W. Gordon, Kelcey J.G., Benson G.**, 1986 - A remote sensing evaluation of habitat resources in a new town - Planner (Grande-Bretagne) vol. 72, n° 5, mai 1986.
- Colwell R.N., Poulton C.E.**; 1985 - SPOT simulation for urban monitoring : a comparaison with Landsat 4 TM and MSS imagery and with high altitude color/infra red photography. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 51, n° 8, pp. 1093-1101.
- Connors R.W., Harlow C.A., Trivedi M.M.**, 1985 - Segmentation and spatial analysis of urban scenes. XIX International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, pp. 205-225.
- Colwell R.N.**, American Society of photogrammetry 1983 Manual of remote sensing, 2 vol.
- Cousy A.** - La télédétection - Collection Que sais-je ? n° 1919 PUF Paris 127 p.
- Curran P.J.**, Longman 1985 - Principles of remote sensing.
- Daures J.F., Braunstein S.**, 1986 - De la localisation des foyers résiduels à la détection précoce des incendies de forêts. Bulletin d'information de l'IGN n° 53, mai 1986.
- Deangelis R.N., Milazzo V.A.**, 1984 - Application of simulated SPOT data to mapping land cover patterns and changes in urban fringe environments. SPOT Simulation Application handbook, Proceeding of the 1984 SPOT Symposium. May 20-23, Scottsdale, Arizona, pp. 177-186.
- Dedieu J.P., Vandeputte F., Ballut A., Kientz B.** - Méthodologie d'étude sur l'évolution de l'occupation du sol en région Ile-de-France à partir des images des satellites Landsat entre mars 1973 et mars 1983, IAURIF 1985.
- Delavigne R.** - L'Ile-de-France vue par satellite, cahier de l'IAURIF n° 67, mars 1983.
- Delavigne R., Thibault C.** - Apports récents de la télédétection par satellite à la mise en œuvre de la politique régionale de l'environnement en Ile-de-France, grâce à la cartographie quantitative de la végétation urbaine, IAURIF 1984.
- Denardou J.P., Flouzat G., Vauzelle M.** - Cartographie et statistique de l'occupation du territoire de la Haute-Vienne par télédétection spatiale, SCEES 1980 (mars).
- Desachy J.**, 1980 - Contribution à l'étude de la texture en télédétection. Thèse de troisième cycle en Informatique. Université de Toulouse, 325 pp.
- Dinstein I.H., Haralick R.M., Shanmugam K.**, 1973 - Textural features for image classification, IEEE Transaction on Systems, Man and cybernetic, vol. 3, n° 6, pp. 610-621.
- Les Cahiers Français - La Documentation française** - Les enjeux de l'espace.
- Dolan G.M., Martin S.R., Warnick L.J.**, 1984 - Comparative evaluation of simulated SPOT, Landsat TM and NHAP CIR data for urban land cover and impervious surface identification, SPOT Simulation Application handbook, Proceedings of the 1984 SPOT Symposium, May 20-23, Scottsdale, Arizona, pp. 148-156.
- Ducros-Gambart P., Rakariyatham R.**, 1984 - Méthode de classification multidimensionnelle (spectrale et texturale) appliquée à des images satellite. CESTA Biarritz, Mai 1984, vol. 2.
- Duggin M.J. et al.** - The use of multirate multichannel radiance data in urban feature analysis. Remote Sensing of Environment, Vol. 20, n° 1, p. 95-105.
- Dureau F. et Guillaume A.**, 1984 - La démographie depuis l'espace : un nouveau système d'observation ? Paris, STATECO, n° 38, pp. 5-46.
- Dureau F. et Guillaume A.**, 1985 - La population dans l'espace. Télédétection et démographie des villes des pays en développement. Communication au XX^e congrès général de l'Union Internationale pour l'Étude Scientifique de la Population. Florence (Italie), 5-12 juin 1985.
- Dureau F.**, 1986 - A propos du traitement informatique de données localisées. Une expérience en cours : télédétection et observation des populations urbaines. Paris, ORSTOM, Collection Colloques et Séminaires, Numéro sur le traitement des données localisées, pp. 263-286.
- Dureau F.**, 1986 - Marseille : tirage de l'échantillon de travail. Quito, 9 p.
- Dureau F. et Michel A.**, 1986 - Quito : enquête morphologique urbaine. Instructions aux enquêteurs (2 versions : français et espagnol). Quito, 19 p.
- Dureau F., Lortic B., Michel A., Souris M.** - Télédétection et système d'information géographique : application au suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville/ actes du colloque FI3G, 10-13 juin 1987 Lyon (France).
- Dyson S.**, 1986 - Glossaire français, anglais du système SPOT de la télédétection aérospatiale et de leurs applications, document de travail chez l'auteur à Miramont de Quercy.
- Elachi C., Fontanel A.** - L'observation de la terre par radar. Recherche n° 128, décembre 1981.
- Ferrier D., Loodts J.** - Analyse multispectrale de Bruxelles. Bulletin trimestriel de la Société Belge de Photogrammétrie et de télédétection, n° 133-134, pp. 7-41.
- Forster B.C.**, 1985 - Principle and rotated component analysis of urban surface reflectance, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51 n° 4, pp. 475-477.
- Forster B.C.** - Evaluation of combined multiple incident angle SIR. B digital data and Landsat MSS data over an urban complex. Actes du symposium de la Commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- Forster B.**, 1983 - Some urban measurements from Landsat data. Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 49, n° 12, décembre, p. 1693-1707.
- Fueki T., Hong J.K., Shibamo K., Yang L.S.**, 1985 - Analysis of urban spatial structure of Marseille by Landsat Thematic Mapper.
- GDTA** - Simulation d'images. Perspectives d'utilisation GDTA 1981.
- GDTA** - Recherche sur la cartographie de l'occupation des sols par télédétection - Rapport final IGN 1982.
- Girard M.C., Girard C.M., Ribier V.**, 1979 - Analyse des paysages ruraux et de l'humidité des sols, OPIT Paris 1979.
- Girard M.C., Girard C.M., Rogala J.P.**, 1980 - Automatisation de l'interprétation de l'humidité des sols et interprétation des paysages ruraux, OPIT Paris 1980.
- Girard C.M., Girard M.C.**, 1987 - Télédétection appliquée Zones tempérées et intertropicales. Masson 1987.
- Guyot L.** - La surveillance des crues des grands fleuves par télédétection satellitaire. L'exemple du fleuve du Niger/ Bulletin d'information de l'IGN n° 52 octobre 1985.
- Goward S.N. et al.**, 1984 - Use of the TM tasseled Cap transform for Interpretation of spectral contrasts in an urban scene. 10th International Symposium Machine Processing of Remotely sensed data, p. 84-91.

- Haack B.N.**, 1984 - Multisensor data analysis of urban environment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 50, n° 10, pp. 1471-1477.
- Harralick R.H., Shanmugam K., Its'hak Dinstein**, 1973 Textural features for image classification *IEEE Transaction on system Man and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 610-621.
- Hegedus E., Hsaka J.**, 1982 - Population estimation from Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, n° 12, pp. 259-272.
- Henderson F.M., Anuta M.A.**, 1980 - Effects of radar system parameters, population and environmental modulation on settlement visibility. *Int. J. Remote sensing I*, 1980.
- Husson A., Oliva P.**, 1982 - Classification supervisée des ensembles urbains et péri-urbains de la région d'Aix-en-Provence. *Journées de télédétection en milieu urbain*, 13 mai 1982. CNRS IGN, Paris, pp. 28-42.
- Hyatt E.C., Gray J.L., Collins N.G.** - Analysis of remote sensing for monitoring urban derelict land, Actes du symposium de la Commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- IGN** - Spécial télédétection. *Bulletin d'information de l'IGN* n° 44, 1982.
- IGN Paris**, 1984 - Recherches méthodologiques sur l'utilisation de la télédétection spatiale en aménagement urbain. Simulation SPOT sur Niamey, étude réalisée pour le compte du Ministère de l'Urbanisme et du Logement.
- IGN** - L'IGN et le système SPOT. Applications à l'équipement géographique. Pré-traitements et services aux utilisateurs. *Bulletin d'information de l'IGN* n° 53, mai 1986.
- Ioka M., Koda M.**, 1986 - Performance of Landsat 5 TM data in land-cover classification *int. J. Remote Sensing*, Vol. 7, n°12, pp. 1715-1728.
- Irons J.R., Petersen G.W.**, 1981 - Texture transform of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 11, pp. 359-370.
- Jensen J.R.**, 1978 - Spectral and textural features to classify elusive land cover at urban fringe. *The Professional Geographer*, Vol. 31, n° 4, pp. 401-409.
- Joly G.**, Paradigme 1985 - Les données images.
- De Keersmaecker M.L.**, Université de Louvain, Belgique Étude par télédétection des quartiers résidentiels en milieu urbain : la détermination de leurs caractéristiques, suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville/Actes du colloque FI3G 10-13 juin 1987 Lyon (France).
- Kempeneers S., Cabon S., Deflandre V., Rajoot C., Rodriguez A., Thibault C.** - Estimation de la phytomasse aérienne de quelques sites urbains de l'agglomération parisienne pour les besoins de la télédétection spatiale. Travaux réalisés en 1982 et 1983, IAURIF, 1984.
- Kennard R.E., Toll D.L.**, 1984 - Investigation of SPOT spectral and spatial characteristics for discrimination land use and land cover in Prince Georges County, Maryland, SPOT simulation Application handbook, Proceedings of the 1984 SPOT symposium, May 20-23, Scottsdale, Arizona, pp. 165-170.
- Laporte J.M.**, 1983 - Étude de la texture sur des simulations d'image SPOT. Thèse de troisième cycle, Université de Paris VII.
- Laporte J.M., Campagne P.** - Télédétection satellitaire et croissance urbaine dans un pays en voie de développement-Métropolis n° 70-71, 4^e trimestre 1985.
- Le Gorgeu J.P.** - Applications potentielles du satellite SPOT en aménagement et urbanisme. In : Métropolis 84 symposium international des grandes métropoles, IAURIF 1984.
- Le Hegarat G., Meyer-Roux J.** - Intégration de la télédétection dans les méthodes statistiques classiques de connaissance de l'occupation du sol. *Courrier des statistiques* n° 36, octobre 1985.
- Lenco M., Ballut A., Lecup J.** - Utilisation d'images satellite pour décrire l'état et le suivi de l'occupation du sol et de la végétation en Ile-de-France, décembre 1980, IAURIF 1981.
- Le Prieur C.** - La télédétection satellitaire SPOT - Toulouse Métropolis n°s 70-71, 4^e trimestre 1985.
- Lima Rosario Da Tridale F.**, 1985 - Étude par télédétection de l'organisation de l'espace dans la commune de Carbone, DESS, Paris VI, 37 p.
- Lo C.P.** - Some problems of computer assisted mapping of land use from Landsat data : the Hong Kong case.
- Lo C.P.** - Human settlements analysis using shuttle imaging radar a data : an evaluation. Actes du symposium de la commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- Lourdes Neves de Oliveira M.** - Visual aerial texture discrimination for delineating homogeneous residential sectors : an instrument for urban planners. Actes du symposium de la commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- Madec V., Pebayle J.**, 1984 - Intérêt du futur satellite SPOT pour l'étude du milieu urbain, IAURIF, Rapport de stage.
- Mahrouf M.**, 1983 - Réflexions sur la télédétection et l'urbanisme. Colloque télédétection, Alger, mai 1983, 10 p.
- Mandl P.** - Urban land cover type adequate generalization of themal scanner images. Actes du symposium de la commission VII ISPRS (Enschede) 1986.
- Manière R.** - Étude de l'évolution de l'occupation des terres en zone méditerranéenne littorale fragilisée par télédétection spatiale. Toulon-Aubagne. Occupation des terres et mutations observées entre 1975 et 1981. ATP-CNRS.
- Mariette V., Biancale M.** - La télédétection par satellite au service des comptes du patrimoine naturel. Quantifier des productions et des processus de modification des paysages ruraux par la connaissance de leur biomasse, mesurer la qualité de l'environnement urbain grâce à l'indice de végétation, deux perspectives novatrices de la télédétection satellitaire IAURIF 1982.
- Milazzo V.A. et al.**, 1984 - Applications of stimulated Spot data to mapping land cover patterns and changes in an urban fringe environment. «Spot simulation applications handbook». Proceeding of the 1984 Spot Symposium, Arizona. American Society of Photogrammetry, p. 177-186.
- Michel A.**, 1986 - Le point sur la télédétection urbaine en 1986 à travers la bibliographie française et anglo-saxonne sur le sujet. Recueil des fiches de dépouillement des articles et ouvrages. ORSTOM, 49 p.
- Michel A.**, 1986 - Mise au point des méthodes d'analyse des images à haute résolution : étude statistique du descripteur «densité du bâti» (image TM Marseille 1983). ORSTOM, Paris, 44 p.
- Mulder N.J.**, 1986 - What, where, when... why ? Extracting information from remote sensing data. *ITC journal* 1986-2, p. 145-155.
- Nguyen P.T.**, 1984 - La simulation SPOT pour l'étude du milieu urbain.
- Oliva P.** - Télédétection III. Expansion cartographique des résultats de la télédétection, Méditerranée n° spécial T. 54 janvier-février 1985.
- Équipe ORSTOM (Ur 406, ATOB, Unité d'Infographie)**, 1986 - Intégration des données de télédétection dans un

système d'information géographique : suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. Rapport intermédiaire, avril 1986, Paris 109 p.

Pebayle J., 1986 - L'intérêt en géographie des données du satellite SPOT. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, Université de Paris I, 232 p.

Pignal B., 1986 - Le Caire contemporain. Le Caire (Egypte). Ambassade de France.

Quattrochi D.A., 1985 - Analysis of Landsat 4 Thematic Mapper data for classification of the mobile, Alabama metropolitan area, Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, Moy 9-13, pp. 1393-1402.

Rebuffel V., Milalai J.L., 1983 - Utilisation de la morphologie mathématique en télédétection. Mémoire dipl. Ing. ENSMP, Paris.

Richard J.A., 1984 - Thematic Mapping from multitemporal image data using the principal component transformation. Remote sensing of environment, n° 16, pp. 35-46.

Rimbert S., 1982 - Expérience CNES 81/0208. Rapport ATP CNRS n° 1080, LTC Strasbourg 30 p. + figures.

Rimbert S. - Vue image diachronique d'Athènes. Métropolis n°s 70-71, 4^e trimestre 1985.

Sabins F. jr., Freeman 1978 - Remote sensing principles an interpretation.

Saitou I., Ishiharao, Imaizumi S. - Analysis of environmental information of urban areas using Landsat TM data. Actes du colloque IGARSS'87, 18-21 mai 1987.

Serra J., 1982 - Image analysis and mathematical morphology, Londres, Academic Press.

Serra J., 1984 - Structures syntaxiques en morphologie mathématique, 1^{er} colloque Image-traitement, synthèse, technologie et application, Biarritz.

Simonin A. - Journées de télédétection en milieu urbain, 6-7 mai 1982, CNRS 1982.

Slimani M., 1986 - Analyse de texture en télédétection application à la segmentation d'images satellite à haute résolution type SPOT. Thèse de troisième cycle, Université de Rennes I, 98 p.

Société internationale de photogrammétrie - Actes du symposium international de la commission VII de la société internationale de photogrammétrie et télédétection. Toulouse 13-17 septembre 1982. GDTA 1982.

Soudoplatoff S., 1984 - Apport de la simulation SPOT aux études urbaines. Rapport IGN.

Souris M., 1986 - Système d'information géographique et bases de données. Paris, ORSTOM, Collection Colloque et Séminaires, numéro sur le traitement des données localisées, pp. 29-87.

Thibault C. - La télédétection par satellite appliquée au milieu urbain, IAURIF.

Thibault C., Biancale M. - La télédétection par satellite appliquée au milieu urbain, test de validité de l'indice de végétation dans le proche infra-rouge, IAURIF 1983.

Thibault C. - Bases pour des propositions d'exploitation des données Thematic-Mapper, IAURIF 1984.

Thibault C., Poitevin J., 1986 - Un nouveau regard sur l'environnement, Cahier de l'IAURIF n° 79, décembre 86.

Todd W.J., Wrigley R.C. - Spatial resolution requirements for urban land cover mapping from space. Actes du symposium de la commission VII ISPRS (Enschede) 1986.

Toll D.L., 1984 - An evaluation of simulated Thematic Mapper data and Landsat MSS data for discrimination suburban and regional land use Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, n° 12, pp. 1713-1724.

Toll D.L., 1985 - Landsat 4 Thematic Mapper scene characteristics of suburban and rural area, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, n° 9, pp. 1471-1482.

Toll D.L., 1985 - Effect of Landsat Thematic Mapper sensor parameters on land cover classification. Remote Sensing of Environment, Vol. 17, pp. 129-140.

Verger F., 1982 - L'observation de la terre par les satellites. Collection Que sais-je ? Puf.

Verger F. - Spot instrument de la géographie, information géographique, vol. 49, n° 1, 1985.

Wang S.C., 1984 - Analysis methods for Thematic Mapper data of urban regions. Machine processing of Remotely Sensed Data Symposium, pp. 134-143.

Wang F., Newkirk R. - A knowledge-based system for highway network extraction. Actes du colloque IGARSS'87 (18-21 mai 87).

Welch R., 1982 - Spatial resolution requirements for urban studies. international Journal of Remote Sensing. Vol. 3, n° 2 avril-juin, p. 139-146.

Wharton S.W. - Knowledge land recognition of urban land cover in high resolution multispectral data. Actes du colloque IGARSS'87 (18-21 mai 1987).

Wheeler D. - Spectral characterization of urban land covers from thematic Mapper data. Actes du symposium de la commission VII ISPRS (Enschede) 1986.

Wilmet J., Soyer J. - Lubumbashi et le Sud-Est du Haut Sahara : interprétation de données Landsat. Bulletin de la société belge d'études géographiques, Tome LI, n° 1, 1982.

Wilmet J., 1978 - Interprétation des images des satellites Landsat en vue d'études urbaines et régionale, SFPT n° 70.

Wilmet J. - Télédétection par satellite et espaces régionaux. Espace géographique n° 2, avril-juin 1981.

Wilmet J., Dekeersmaecker M.L. - La télédétection satellitaire ; occupation du sol en milieu urbain : Etterbeek. Métropolis n°s 70-71, 4^e trimestre 1985.

FORMATION

Cette annexe n'a pas la prétention d'être exhaustive ; elle présente un certain nombre d'enseignements de la télédétection qu'il a été aisé de recenser. Elle témoigne de la diversité : de niveau, de durée, de complexité, de spécialisation, des possibilités de s'informer et de se former à cette technique.

LISTE DES FORMATIONS UNIVERSITAIRES DE TROISIÈME CYCLE HABILITÉES EN 1986-87 A DISPENSER UN ENSEIGNEMENT DE TÉLÉDÉTECTION

**Source : Ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur :
bureau des formations scientifiques.**

| Établissements principaux | Établissements conjoints | DEA | Secteur |
|--|--|--|---|
| Université Aix-Marseille 2 | | Océanographie (biologie) | Sciences, vie et santé sciences de l'univers |
| Université Clermont 2 | | Physique du cycle de l'eau atmosphérique | Sciences de l'univers environnement |
| Université Lille 1 | | Physique de la matière et du rayonnement | Physique, sciences de l'univers |
| Université Nice | École N ^o le sup. des mines de Paris | Automatique et traitement du signal | EEA informatique |
| École N ^o le sup. des Mines de Paris | Université Paris 6 Université Bordeaux 1 École N ^o le des Ponts et Chaussées de Paris | Géologie de l'ingénieur | Mécanique énergétique sciences de l'univers |
| Institut de Physique du Globe de Paris | Université Paris 7 | Géo physique interne | Sciences de l'univers |
| Université Paris 1 | Université Paris 7 Université Paris 12, Paris 10 | Géomorphologie et dynamique des milieux | Géographie, sciences de l'univers |
| Université Paris 6 | École Normale Supérieure de Paris Université Nancy 1 Université de Besançon École N ^o le sup. Agronomique Rennes Institut N ^o l Agronomique Paris | Géodynamique des continents et des océans Pédologie (science du sol) | Sciences de l'univers Sciences de l'univers |
| | | Océanologie et météorologie | Sciences de l'univers |
| | Université Paris 11 Université Montpellier 2 Université Besançon École N ^o le sup. des Mines de Paris | Hydrologie (DEA national) | Sciences de l'univers environnement |
| | Université Toulouse 3 École N ^o le des sciences géographiques de Saint- Mandé | Télédétection | Sciences de l'univers |
| Université Paris 7 | École N ^o le des sciences géographiques de Saint- Mandé École N ^o le sup. des télé- communications Paris École N ^o le sup. des Mines de Paris | Méthodes physiques en télédétection | Physique, sciences de l'univers |
| Université Strasbourg 1 | Université de Mulhouse | Traitements graphiques traitement d'images | EEA, informatique |
| | Université de Poitiers Université de Mulhouse | Géochimie de la surface | Sciences de l'univers |
| Université Toulouse 3 | | Astrophysique, géophysique et techniques Écologie terrestre et limnique | Sciences de l'univers Sciences, vie et santé sciences agronomiques et alimentaires |

**UNIVERSITÉ DE RENNES 2 HAUTE-BRETAGNE
CENTRE DE TÉLÉDÉTECTION
ÉQUIPE COSTEL : CLIMAT ET OCCUPATION DU SOL PAR TÉLÉDÉTECTION**

**6 avenue Gaston Berger
35043 Rennes Cedex
Tél. 99.54.99.55 postes 1213 et 1215**

L'enseignement universitaire ici dispensé aborde la télédétection aéroportée et satellitaire dans le cadre de :

LA FORMATION UNIVERSITAIRE EN :

Géographie :

DÈS LA 2^e ANNÉE : notions de photogrammétrie

EN 3^e ANNÉE :

- photo-interprétation classique appliquée aux différents domaines de la géographie (morphologie, pédologie, végétation, monde rural et urbain...)
- traitement numérique d'imagerie satellitaire (satellites météorologiques, Landsat, SPOT).

EN DEA : traitement d'imagerie satellitaire.

Environnement :

EN MAÎTRISE : photo-interprétation et quelques notions sur les données satellitaires.

LA FORMATION PERMANENTE :

MST Environnement

Stages

En fonction de la demande une formation personnalisée peut être organisée avec traitement de l'image axé sur un ou plusieurs thèmes. Il s'agit là de modules variables de 3 à 4 jours jusqu'à 3 mois pour les étrangers.

**GROUPEMENT SCIENTIFIQUE TÉLÉDÉTECTION SPATIALE DE L'UNIVERSITÉ
LOUIS PASTEUR DE STRASBOURG : IL REGROUPE CNRS, CNES, ULP, ENSPS,
IN2P3, EPRA.**

**23 rue du Loess BP 20 - 67037 Strasbourg
Tél. 88.28.64.82**

Les formations proposées par le GSTS ou auxquelles il a été associé se situent à plusieurs niveaux

FORMATION INITIALE :

Licence de géographie

- Principes, caractéristiques et avantages de la télédétection.
- Techniques d'acquisition de données : satellites, capteurs.
- Enregistrements de télédétection : photographies, enregistrements numériques.
- Traitement d'images de télédétection.
- Applications de la télédétection.

Niveau DEA

DEA TRAITEMENTS D'IMAGES - TRAITEMENTS GRAPHIQUES

- Synthèse d'images
- Techniques informatiques
- Formation et traitements d'images
- Mathématiques et traitement du signal
- Matériels et logiciels
- Bases de données, systèmes experts
- Télédétection

- Algorithmique
- Reconnaissance de formes
- TD Programmation
- TD Mathématiques

MODULE INTERTHÉMATIQUE DE TÉLÉDÉTECTION

Le GSTS a organisé, depuis l'année universitaire 1984-85, un module interthématique de télédétection destiné aux étudiants de DEA :

- DEA Géographie et Aménagement du Territoire (responsable : H. Reymond)
- DEA Géochimie de la Surface (responsable : M. Hoffert).

Ce module destiné principalement aux étudiants en DEA qui font partie des équipes de télédétection ou des laboratoires du GSTS, peut être suivi par les autres étudiants en DEA dans sa partie théorique.

Le module de télédétection comporte 3 volets :

Intérêts et principes physiques de la Télédétection. Généralités sur le traitement d'images.

- Présentation générale de la Télédétection. Le rayonnement électromagnétique.
- Les systèmes d'acquisition.
- Le signal enregistré et son interprétation.
- Réponses spectrales et angulaires des divers domaines du milieu naturel.
- Généralités sur le traitement d'images.

Traitement d'images et TP associés

- Acquisition de données et d'images.
- Manipulation d'images.
- Les méthodes de traitement d'images (1).
- Les méthodes de traitement d'images (2).

Utilisation thématique de la Télédétection

- Contraintes graphiques de création et de lecture d'images.
- Géographie et cartographie.
- Géographie et cartographie.
- Géologie.
- Géologie.

FORMATION CONTINUE POUR :

1. La formation interne
2. La formation continue dans le cadre du CNRS
3. La formation continue à la demande.

**ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES (ENSG)
DÉPARTEMENT DES STAGES ET DE LA FORMATION CONTINUE**

**2 avenue Pasteur 94160 Saint-Mandé
Tél. 43.74.12.15**

MODULES D'INITIATION DE QUELQUES JOURS :

M 28 - Télédétection

Programme résumé :

- notions sur les bases physiques de la télédétection et les capteurs ;
- contenu des enregistrements, lien avec la date d'acquisition des données ;
- présentation d'exemples de travaux de télédétection (photo-interprétation, thermographie, images spatiales) ;
- systèmes de traitement d'images.

Dates : 2 jours et demi dans la semaine.

M 37 - Initiation au traitement d'images satellite

Programme résumé :

- présentation du système de traitement d'images PERICOLOR 1000 ;
- fonctions principales d'un système de traitement d'image ;
- apprentissage sommaire de l'utilisation du PERICOLOR 1000 ;
- méthodes d'extraction d'informations thématiques dans les images ;
- aperçu sur les prétraitements.

Dates : 3 après-midi.

M 40 - Les satellites d'observation de la terre - Le système SPOT

Programme résumé :

- historique, état actuel et projets ;
- applications géodésiques et cartographiques ;
- caractéristiques du système SPOT ;
- les images SPOT ;
- exemples d'applications.

Dates : 2 jours et demi.

MODULE DE FORMATION ET STAGES DE MOYENNE DURÉE

F 8 - Utilisation des images satellite

Programme résumé :

- examen visuel des images ;
- lecture de documents de télédétection

Dates : 2 semaines.

Stage d'initiation à l'étude des photographies aériennes et à la télédétection

But du stage : sensibiliser l'auditoire aux multiples usages des photographies et des enregistrements aériens et spatiaux.

Programme résumé : (théorie et travaux pratiques).

- 1^{ère} semaine : • géométrie des photographies aériennes, le couple stéréoscopique
- photo-identification ;
 - photo-interprétation.

- 2^{ème} semaine : • télédétection (en particulier exploitation des images de satellites).

Conditions d'admission : avoir une bonne acuité stéréoscopique et une vision normale des couleurs.

Remarque : les 2 semaines de ce stage peuvent être suivies indépendamment.

Stage d'enseignement en télédétection

Programme :

- 1^{ère} semaine : • présentation de la télédétection ;
- bases physiques ;
 - la photographie aérienne, les capteurs aéroportés ;
 - les images enregistrées par satellites ;
 - organisation des travaux de télédétection.
- 2^{ème} semaine : • traitement des images de satellites et applications thématiques (géologie, agriculture et végétation, forêts) ;
- présentation sur le terrain en région parisienne ;
 - choix d'un sujet d'étude par stagiaire.

- 3^{ème} semaine :
- études de cas ;
 - travail sur le thème d'étude choisi, à l'aide d'un important matériel pédagogique : photographies aériennes, système de traitement d'images... ;
 - exposé des résultats sur le sujet d'étude ;
 - conclusion du stage.

Conditions d'admission : avoir une bonne acuité stéréoscopique et une vision normale des couleurs.

CYCLE D'ÉTUDE DE LONGUE DURÉE :

Le cycle d'enseignement de la télédétection (CETEL)

assuré dans le cadre du groupement pour le développement de la télédétection aérospatiale (GDTA).

GROUPEMENT POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA TÉLÉDÉTECTION AÉROSPATIALE (GDTA)

**18 avenue Edouard Belin 31055 Toulouse cedex
Tél. 61.27.42.90**

Le Centre National d'Études Spatiales (CNES) et l'Institut Géographique National (I.G.N.) ont fondé en 1973 : le Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (G.D.T.A.), Groupement d'intérêt économique.

Depuis se sont adjoints 3 membres :

- LE BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (B.R.G.M.) ;
 - L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (I.F.P.) ;
 - LE BUREAU POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION AGRICOLE (B.D.P.A.).
- Le G.D.T.A. collabore aussi avec des organismes publics et parapublics.
 - Le G.D.T.A. joue un rôle de coordinateur entre les différents membres pour la mise en œuvre de leurs moyens en matière de TÉLÉDÉTECTION, (supports spatiaux et aériens, traitement et interprétation des données, présentation des résultats permettant une meilleure connaissance des ressources naturelles).
 - Le G.D.T.A. s'est fixé 3 pôles d'activité principaux :
 - le développement de services en télédétection ;
 - la Formation ;
 - la Promotion et l'Action Commerciale.
 - En outre le G.D.T.A. est le point de contact de l'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (A.S.E.) dans le cadre du réseau EARTHNET. Il est en particulier chargé de la diffusion des données LANDSAT.

Le G.D.T.A. assure principalement trois types de formation :

LE CETEL : CYCLE D'ENSEIGNEMENT DE LA TÉLÉDÉTECTION

L'enseignement de ce cycle a pour objectif de former des professionnels à la maîtrise de l'outil télédétection et à sa mise en œuvre dans la discipline de chacun.

Elle s'adresse donc tout particulièrement :

- Aux thématiciens dans les domaines :
 - végétal (agronomie, agriculture, foresterie) ;
 - minéral (géologues, hydrologues,...) ;
 - occupation humaine (géographes, urbanistes, cartographes,...).
 - Aux physiciens et techniciens affectés au service des matériels ou de la technologie :
 - saisie des données spatiales ;
 - correction des images ;
 - traitement numérique des images de télédétection.
 - Aux futurs responsables des services concernés par la télédétection.
- Les cours sont dispensés en langue française.

La scolarité est organisée en 36 semaines de septembre à juin sous la tutelle pédagogique de l'École Nationale des Sciences Géographiques (E.N.S.G.).

Programme d'enseignement :

MODULES D'INTRODUCTION

- Apprentissage de l'observation stéréoscopique et de la photo-identification.
- Photogrammétrie et procédés courants de mesure simplifiée.
- Rappels des mathématiques et physique.
- Approche de la technologie et des phases de sa mise en œuvre (description de la chaîne de production des images de différents capteurs et de leur exploitation).
- Étude des phénomènes terrain et première utilisation de l'imagerie. Comparaison terrain image selon les grands thèmes (géologie, botanique, aménagement).
- Informatique. Initiation sur didacticiels - langage basic - programmation.

BASES ET MÉTHODES

- Principes physiques de la télédétection - Rayonnement électromagnétique.
- Saisie du signal et formation de l'image - Avions - Satellites - Capteurs optiques - Capteurs à balayage - Radars.
- Bases et techniques de restitution des données spatiales et Cartographie - Couleur - Photographie
- Techniques graphiques - Les reconstituteurs - Les procédures cartographiques.
- Prétraitements et phases pré-cartographiques - Éléments d'analyse - Les statistiques - Les signatures - Les classifications.
- Bases et concepts de l'interprétation - Texture - Structure - Modélisation - Approche analogique et analytique.
- Les images dans le visible et le proche infra-rouge - Méthode d'analyse - Zone stratification - Segmentation - Relations nomenclatures spectrales et thèmes - Classement et classification.
- Les images dans le thermique et micro-ondes - Instrumentation et procédures d'analyse des données thermiques - Champ d'application - Le radar - Méthodes et limites d'utilisation - Panorama des thèmes de mise en œuvre.
- Apprentissage de l'utilisation d'un système de traitement d'image.

APPLICATIONS

Enseignement optionnel basé sur le savoir-faire des professionnels dans l'utilisation de la télédétection et préparation méthodologique du stage pratique. Différentes options sont possibles :

- Phénomènes naturels statiques
- Phénomènes naturels dynamiques.
- Phénomènes liés à l'occupation humaine.
- Traitement numérique de données.

Candidatures

Les candidats doivent :

- être titulaires d'un diplôme d'ingénieur, d'une maîtrise d'enseignement supérieur ou d'un diplôme équivalent.
- avoir une bonne connaissance de la langue française (parlée, comprise et lue). Dans le cas contraire, une préformation linguistique est nécessaire.
- avoir satisfait aux tests préalables d'aptitude en bases scientifiques et langue française.

Diplômes

Les stagiaires ayant suivi la scolarité complète peuvent s'ils le souhaitent, postuler pour l'un des diplômes suivants :

- un DESS délivré conjointement par l'université et l'ENSG
- un Certificat d'Études Supérieures en Télédétection délivré par le Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports et l'ENSG
- un Certificat de Spécialité en Télédétection délivré par l'ENSG.

SITEL : STAGE D'INITIATION A LA TÉLÉDÉTECTION

Objectif

Présenter à des professionnels ou non les principes physiques, les techniques de la Télédétection et des exemples d'application dans des domaines variés : agronomie, géologie, océanographie, occupation du sol...

Organisation - Durée - Programme

Le SITEL est ouvert aux postulants français et étrangers sans conditions particulières..

Le SITEL se déroule 4 fois par an à dates fixes.

Chaque stage a une durée de 4 semaines.

Certains SITEL sont spécialisés dans un domaine d'application.

Chaque semaine est plus particulièrement consacrée à un thème particulier (Bases physiques - Traitement des images - Interprétation des données - Applications...).

STAGES SPÉCIALISÉS A LA DEMANDE

Le GDTA organise différents stages spécialisés sous forme de séminaires de sensibilisation ou de stages de formation de plus ou moins longue durée à Toulouse ou dans le pays demandeur.

Exemple :

- Argos,
- Océanographie,
- Météorologie,
- Opérateurs de station,
- Hydrologie,
- ...

A la demande, le GDTA organise des stages pour des groupes homogènes de demandeurs tels que :

- CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique),
- Professeurs de l'Enseignement secondaire,
- Divers groupes de ressortissants étrangers.

Le programme est alors élaboré en relation avec le demandeur.

L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

L'Institut National Agronomique Paris-Grignon (I.N.A. P-G) résulte de la fusion en 1971 de l'Institut National Agronomique et de l'École Nationale Supérieure Agronomique de Grignon. Il dispense une formation basée sur la recherche et débouchant sur le développement. Sa vocation concerne le secteur agro-alimentaire, incluant les problèmes en rapport avec l'alimentation des hommes et l'environnement, de la production agricole à la consommation des produits.

Son objectif est de former des ingénieurs agronomes à vocation générale capables de s'adapter à l'éventail des carrières où ils sont appelés à exercer leurs activités dans la recherche, l'enseignement, la production, l'industrie et le monde des affaires.

La formation dispensée par l'institut National Agronomique Paris-Grignon est sanctionnée par le diplôme d'ingénieur agronome (I.N.A. P-G) dont la préparation demande au moins cinq années d'études après le baccalauréat, les trois dernières ayant lieu dans l'établissement.

Seuls les domaines utilisant la télédétection sont décrits ici :

CHAIRE DE GÉO-BOTANIQUE

INA Paris Grignon
16 rue Claude Bernard
75231 Paris Cedex 05
Tél. (1) 43.37.15.50 poste 355

Activités d'enseignement

La chaire de géo-botanique fait partie du département : «biologie animale et végétale» de l'INA P-G.

Elle contribue à la formation initiale des ingénieurs agronomes :

- en 1^{ère} année, encadrement de groupes de stage pour l'étude du milieu naturel (210h)
- en 2^{ème} année, deux unités de valeur :

«Botanique et écologie forestières ; applications à la sylviculture» (80h)

«Botanique et écologie prairiales et pastorales ; applications à la gestion et à l'aménagement des prairies et pâturages» (40h) ; en outre, participation à des unités de valeur organisées par d'autres chaires (100h).

- en 3^{ème} année, DAA «Mise en valeur du milieu naturel - mention : bases phyto-écologiques de la mise en valeur», habilitation conjointe à la délivrance du diplôme d'études approfondies «Écologie végétale» en association avec l'université de Paris XI et le Museum National d'Histoire Naturelle (40h).

Une formation par la recherche est assurée, conduisant à la soutenance de thèses (3^{ème} cycle, docteur-ingénieur, doctorat d'État ès sciences naturelles, nouvelle thèse).

Dans le cadre de la formation continue, organisation de stages portant sur :

- l'écologie végétale appliquée à la gestion des prairies et pâturages (Grignon).
- les bioindicateurs végétaux des altérations du milieu naturel (Paris)
- les critères et méthodes d'appréciation des prairies (Rouen).

Recherche et développement

LIAISONS STRUCTURELLES :

Le financement des recherches est (ou a été) partiellement assuré dans le cadre du CNRS (programme PIREN, ATP) et de contrats ou conventions avec divers organismes publics ou parapublics : Parc National de la Vanoise, Parcs naturels régionaux de Lorraine et des Vosges du Nord, Ministère de l'Environnement (zones naturelles d'intérêt écologique, floristique et faunistique), Secrétariat de la faune et de la flore, Centres régionaux de la propriété forestière, Centre National d'Études Spatiales.

PRINCIPAUX THÈMES DE RECHERCHES :

- Typologie agrobiologique des prairies et pâturages et évaluation de leur productivité, en particulier en zone de montagne : possibilités d'extrapolation des références techniques.
- Étude des modifications de composition floristique des prairies et pâturages en fonction des techniques de fertilisation et d'exploitation et de l'âge du peuplement des prairies semées.
- Utilisation des bioindicateurs végétaux pour le diagnostic et la gestion des terrains cultivés, prairies et pâturages, milieux forestiers et potentiellement forestiers (friches, landes,...).
- Mise au point de méthodes non destructives (radiométrie du sol, télédétection) d'évaluation de la productivité des prairies.
- Typologie des stations forestières (préalable à la gestion).
- Écologie et dynamique des milieux préforestiers.

Techniques et équipements utilisés

- Identification précise des végétaux supérieurs et bryophytes.
- Échantillonnage de populations et peuplements végétaux.
- Analyse et traitement informatique des données phytosociologiques et écologiques (surtout analyse factorielle des correspondances et «systèmes expert»).
- Expérimentation sur le terrain.
- Enregistrements radiométriques au sol.
- Traitement et interprétation d'images de télédétection.
- Cartographie géobotanique.

LABORATOIRE DES SOLS

INA P-G Centre de Grignon
78850 THIVERVAL-GRIGNON
Tél. 30.54.45.10

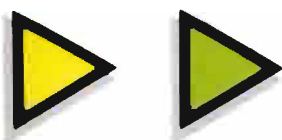
Techniques, équipements et sites d'intervention

- Analyse chimique. Spectrométrie UV - visible. Mesures physiques relatives au sol. Préparation de lames minces de sol. Microscopie optique. Télédétection. Modélisation numérique. Informatique appliquée.
- Sites d'intervention ; dispositifs expérimentaux lourds : Grignon. Zones d'intervention sur le terrain et dispositifs expérimentaux légers : Jura, Normandie, Beauce, Orléanais.

Conception et réalisation CAES

Achevé d'imprimer le 12 Novembre 1987
par l'Imprimerie Royer à Mantes
Dépôt légal 4^e trimestre 1987

Ouvrage en vente au :
Service Technique de l'Urbanisme
64, rue de la Fédération, 75015 Paris



A. MICHEL
Allocataire MRT attaché au département DUR 406.
F. DUREAU
Responsable du programme, département DUR 406,
en poste à Quito.
R. LORTIC
Chercheur associé attaché à l'Atelier de
Télédétection de l'ORSTOM à Bondy (ATOB).
M. SOURIS
Ingénieur de recherche, responsable de l'Unité
d'Infographie.

MISE AU POINT DES MÉTHODES D'ANALYSE DES IMAGES DES SATELLITES À HAUTE RÉSOLUTION ET ÉVALUATION DES INFORMATIONS FOURNIES PAR CES IMAGES

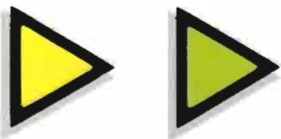
Mise en évidence des réseaux routiers sur une image Spot panchromatique. Etude de faisabilité sur Quito (Équateur).

Nous avons pu constater l'avantage, sur site urbain, du traitement d'image satellite dans des zones prédéfinies pour faire apparaître les phénomènes urbains qui nous intéressent (densité du bâti par exemple) par rapport à un traitement classique par pixel. Cet avantage nous est apparu lorsque nous avons travaillé sur les images de Thematic Mapper du site de Marseille. Ces zones pré-définies résultaient de zonages visuels pour la morphologie du tissu urbain et d'un zonage administratif imposé en ce qui concerne les îlots INSEE. Ces différents zonages ont été numérisés puis superposés à l'image satellite après redressement de cette dernière. Une telle superposition a permis de générer des statistiques radiométriques par zone, le traitement de ces statistiques permettant la différenciation des différents tissus urbains. Tel n'est pas le cas à Quito où nous ne numériserons pas les différentes manzanas (pâtés de maison). C'est justement l'entité qui sert de base pour la définition des unités spatiales d'enquête. Il s'agit donc ici de tester la fiabilité d'une

extraction automatique de la voirie devant permettre la création de zones, une zone étant incluse à l'intérieur des contours de la voirie adjacente. Pour parvenir à cet objectif ambitieux, trois grands problèmes doivent être résolus :

- l'extraction de la voirie
- la reconstruction des contours (réseaux de voirie), chaque zone devant impérativement être fermées.
- la labellisation de toutes les zones.

L'objectif de cette étude est donc d'exposer ces différents traitements, à mettre au point les problèmes qui en découlent, les résultats obtenus comparativement à une méthode visuelle et les choix qui devront être effectués à chaque étape. Cette étude est en cours de réalisation, les résultats présentés sont donc issus des premières expérimentations menée sur un matériel « ancien » (MINI 6) lequel limite les traitements (taille maximum des tableaux en mémoire environ 170*170 pixels) ainsi que les expérimentations compte tenu des temps de calculs très élevés



OBJECTIF

Tester sur une imagerie de 256 pixels de côté l'efficacité des outils de morphologie mathématique simples pour extraire la voirie principale par comparaison avec une extraction visuelle.

DÉMARCHE

La problématique : est-il possible de constituer des zones définies à l'intérieur de contours, ces contours résultant de l'extraction de la voirie.

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE D'EXTRACTION DE LA VOIRIE À L'AIDE D'ALGORITHMES DE MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE.

Nous avons défini une imagerie de 256 pixels de côté extraite d'une scène SPOT panchromatique de Quito. La taille de cette imagerie nous a été imposée par des contingences matérielles, taille des tableaux acceptables par l'ordinateur et temps calcul raisonnable permettant de tester différentes chaînes de traitement en morphologie mathématique. Une multitude de méthodes existent pour détecter puis extraire des contours sur une image. Certaines de ces méthodes parmi les plus classiques et les plus employées dans différents domaines sont exposées dans BASSEVILLE M. 1979. Les méthodes de détection de contours les plus couramment en télédétection sont fondées sur les **gradients** (ROBINSON, KIRSCH, PREWITT, SOBEL, ROBERTS, etc.) ou les **Laplaciens**.

La morphologie mathématique, en teinte de gris sur images en trame carrée, d'un développement plus récent, offre des chaînes de traitements séduisantes, rapides en temps calcul et d'une mise en œuvre aisée, ce qui n'est pas toujours le cas en ce qui concerne les méthodes plus classiques. Nous avons donc décidé de tester ces nouvelles méthodes sur une image satellite SPOT en milieu urbain.

Définition de la chaîne de traitement choisie pour extraire la voirie*.

Les réseaux routiers principaux se singularisent sur une image satellite par 3 facteurs essentiels (Photo 1).

- leur réponse radiométrique (sur image panchromatique) très faible
- leur finesse spatiale
- leur configuration linéaire (suite de pixels connexes)

* Cette chaîne de traitement a été définie avec la collaboration de M. Rakoto-ravalontsalama.

Photo 1 Image en teinte de gris.



Une opération de morphologie mathématique en teinte de gris est particulièrement adaptée pour prendre en compte la combinaison des 2^e caractéristiques ; il s'agit de la transformation « **chapeau haut de forme** ». Il n'est pas en effet possible d'espérer pouvoir extraire la voirie à l'aide d'un simple seuillage, car les réseaux ne sont pas les seuls composants de l'image à répondre très faiblement dans la fenêtre du visible (les forêts offrent une réponse très proche). Par contre, la prise en compte simultanée de ces 2 premiers facteurs est discriminante.

Transformation « chapeau haut de forme ». Cette opération se compose de plusieurs étapes que nous allons maintenant présenter.

EXTRACTION DES VALLÉES. ÉLÉMENTS THÉORIQUES.

Si l'on considère un transect dans l'image sous la forme d'un histogramme des valeurs de gris, les réseaux apparaissent comme une vallée profonde (ils possèdent une très faible valeur) et de faible amplitude (les réseaux ne sont pas larges d'un point de vue spatial). Il s'agit donc de ne conserver que ces phénomènes afin de mieux pouvoir extraire la voirie. Cette mise en évidence est obtenue après les convolutions décrites ci-dessous.

- « **fermeture** » de l'image. Cette transformation se décompose en 2 opérations de base effectuées l'une après l'autre (l'ordre est ici fondamental) :

- une « **dilatation** ».

Soit un élément structurant noté S , la dilatation de l'image notée $F(x)$ par S se définit par :

$$F(x)+S=\text{SUP}(F(s), S S_x) \text{ avec } S_x \text{ l'élément structurant } S \text{ appliqué au point } x \text{ de } F(x).$$

Cela revient donc de façon intuitive à combler les vallées et à épaissir les pics,

- une « **érosion** ».

Avec les mêmes notations, il vient

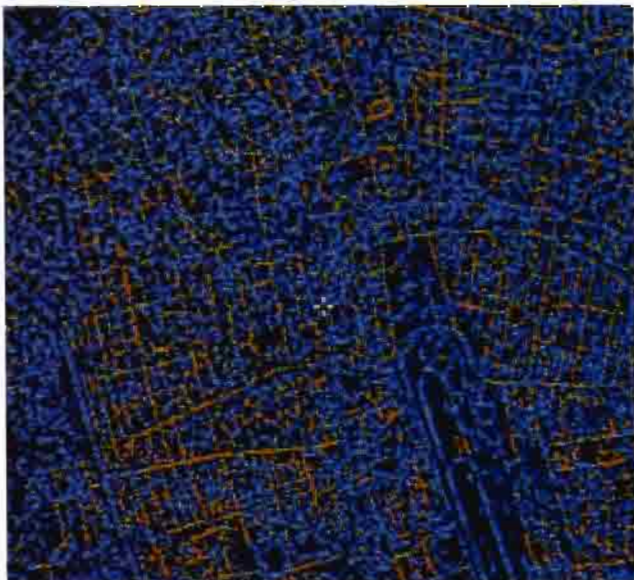
$$F(x)-S=\text{INF}(F(s), S S_x)$$

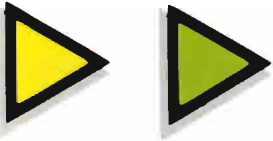
qui revient à l'inverse à réduire les pics et à élargir les vallées.

La fermeture a donc opéré un comblement des vallées, laissant globalement le reste de l'image peu transformé. Il ne reste donc plus qu'à soustraire l'image que nous venons d'obtenir par l'image origine (Photo 2), puis à seuiller ce résultat de façon à ne conserver que l'information qui nous intéresse, c'est à dire les vallées.

- **Soustraction** de l'image « **fermée** » à l'image **origine** et **seuillage**, ce qui s'écrit de façon formalisée de la manière suivante : soit l'image fermée notée $F(x)S$

Photo 2 Fermeture - image originale.





soit l'image résultante notée $G(x)$
soit le seuil noté P

$$G(x) = (x > (F(x)S - F(x))) = P$$

Nous obtenons donc une image binaire où n'apparaissent que les vallées, c'est-à-dire principalement les éléments de voirie qui nous intéressent.

Deux paramètres restent à déterminer : **le type de l'élément structurant et la valeur, du seuil**. Un tel choix n'est possible qu'après avoir testé les différentes valeurs crédibles.

CHOIX DES PARAMÈTRES. ASPECTS PRATIQUES.
En ce qui concerne l'élément structurant, nous avons le choix entre 2 tailles :

- un masque 5*5 pixels
- un masque 3*3 pixels
- connexité 4 (4 voisins)
- connexité 8 (8 voisins)

De même, varier la valeur du seuil influe de façon considérable sur le résultat.

En ce qui concerne la détermination de la valeur du seuil, nous avons opéré par seuillage visuel interactif sur Péricolor 1000. La valeur optimum de ce seuil correspondant à la valeur pour laquelle nous conservons un maximum d'éléments linéaires et un minimum de « taches ». Ce choix est bien évidemment arbitraire.

Amincissement par itérations successives.

Ce qui nous intéresse ici, ce n'est pas de conserver une information sur l'importance (largeur) de la chaussée, mais d'extraire un élément de contour à partir d'éléments de la voirie. Or, l'image que nous avons obtenue à l'issue de ces traitements simples apparaît comme peu exploitable car trop bruitée. Nous allons donc procéder à un amincissement des éléments de voirie extraits afin de ne conserver que la présence des éléments linéaires. Ces éléments de voirie sont codés 1 (élément de contour). Cet amincissement consiste en une succession de 8 érosions de l'image binaire, chacune de ces érosions étant effectuée dans l'une des 8 directions possibles $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ et 315° (image en trame carrée et masque 3*3 pixels).

L'avantage de ce traitement, réside dans le fait qu'il n'interrompt pas les éléments linéaires ; il préserve la connexité des éléments de voirie.

Cette succession de 8 érosions (chacune avec un élément structurant différent) est menée jusqu'à idempotence, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'aucun changement n'intervienne. Cela revient à faire un squelette des éléments linéaires par amincissement successif.



Photo 3 Amincissement après 1 passage.

L'élément structurant employé pour effectuer l'érosion binaire dans la direction 0° est le suivant :

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| X | 1 | X |
| 1 | 1 | 1 |

Le 0 signifie que la valeur 0 (pas de pixel contour) est indispensable

Le 1 signifie que la valeur 1 (pixel contour) est indispensable.

Le X signifie que la valeur du pixel est indifférente.

Compte tenu de la configuration rencontrée, le pixel central qui est un pixel de voirie (de valeur 1) restera un pixel de voirie (de valeur 1) si son voisinage 3*3 est compatible avec l'élément structurant. Sinon, il prendra la valeur 0.

Les éléments structurant des 7 autres directions s'obtiennent en effectuant une rotation de 45° de l'élément structurant de la direction précédente. Ainsi pour la direction 45°, l'élément structurant présente la configuration suivante :

| | | |
|---|---|---|
| X | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | X |

Dans notre exemple, l'idempotence s'obtient après 2 amincissements complets effectués dans chacune des 8 directions. La Photo 3 a été prise après 1 amincissement complet opéré dans les 8 directions.

AMÉLIORATION DE L'EXTRACTION DE LA VOIRIE.

Deux opérations sont indispensables pour améliorer la qualité de l'extraction de la voirie, la connexion de pixels isolés ou en groupes à un segment pour assurer la continuité du réseau ainsi que la suppression des pixels ou groupes de pixels isolés n'appartenant à priori pas à de la voirie.

Tentative de connexion des pixels isolés.

Il se trouve dans l'imagette de nombreux pixels déconnectés de l'élément linéaire dont ils devraient faire partie. Pour tenter de reconstituer ces éléments de contour, nous avons décidé de comparer à l'intérieur d'un masque 5*5 les différentes configurations rencontrées sur l'image avec un certain nombre de configurations de référence pour lesquelles il est convenu de créer un pixel contour. Ces configurations de référence sont définies de telle manière que le pixel central est nul interrompant de la sorte un élément linéaire d'au moins 4 pixels alignés (en 8 connexités). Les 16 configurations de référence se déduisent des 2 suivantes par rotations successives de 45°.

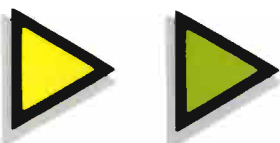


Photo 4 Pixels ajoutés ou supprimés



Photo 5 Image des distances.

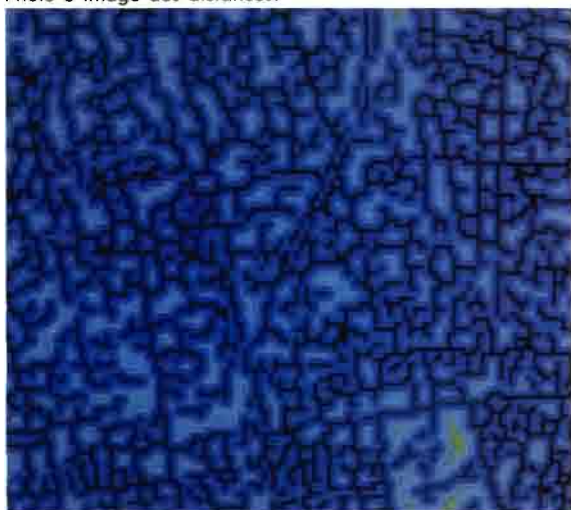


Photo 6 Image avec pixels selle.



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | X | X | X | X | X | 1 | X | X | X |
| X | 1 | 0 | X | X | X | 1 | 0 | X | X |
| X | 0 | 0 | 0 | 0 | X | 0 | 0 | 0 | X |
| X | X | 0 | 1 | 0 | X | X | 0 | 1 | X |
| X | X | X | X | 1 | X | X | X | 1 | X |

Suppression des pixels isolés.

A l'inverse, et pour nettoyer l'imagette des nombreux amas de 1,2 ou 3 pixels déconnectés d'un élément de réseau nous avons balayé l'imagette à l'aide d'une fenêtre 5*5.

Lorsque l'on rencontre une des 15 configurations correspondant à un amas de pixels déconnectés d'un réseau, le pixel central prend la valeur 0. Deux passages ont été exécutés avant de nettoyer effectivement cette image.

La Photo 4 illustre les deux traitements successifs. Les pixels apparaissant en rouge étant ceux qui ont été reconnectés, les pixels jaunes ceux qui ont été supprimés.

Essai de fermeture des contours.

Il est souhaitable de prolonger la méthode que nous avons initialisée en soumettant notre image à des algorithmes de suivi de contour. La littérature est très abondante sur ce sujet. La méthode préconisée par Milgram et A1 qui a été testée sur une photographie aérienne numérisée paraît adaptée à notre cas bien qu'un grand nombre de points selle risquent d'apparaître.

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE (MILGRAM ET A1, 1986).

Cette méthode se fonde sur l'idée principale qu'un point selle, i.e. un éventuel point contour non encore détecté, présente la particularité d'être un point où la fonction « distance au point contour la plus proche » passe à la fois par un maximum dans une direction et par un minimum dans une autre direction. L'algorithme se scinde donc en plusieurs parties :

- génération de l'image des distances au point contour le plus proche
- recherche des points selle. Pour éviter une sur-détection de ces points selle, on élimine les points détectés qui se situent trop loin du point contraste le plus proche.

Cet algorithme peut éventuellement se répéter en transformant les points selle en point contour, puis en recalculant une nouvelle image des distances etc.

L'image des distances est une approximation du double de la distance Euclidienne utilisant les distances de « Chamfer » afin de pouvoir générer une image constituée de nombres entiers. Elle se calcule en deux passages à l'aide de masques. Nous l'avons générée sur une imagette 128*128, en raison d'impératifs liés au matériel (taille limi-

tée des tableaux en mémoire), située au centre de notre image d'essai (Voir Photo 5).

La recherche des points selle nécessite pour chaque pixel le test des 12 configurations d'alignement à l'intérieur d'une fenêtre 3*3 centrée sur l'éventuel point selle.

L'ensemble des deux opérations se fait très rapidement.

La Photo 6 montre l'imagette 128*128 après un passage de l'algorithme. Les pixels-selle sont représentés en rouge.

DIFFICULTÉS ET PERSPECTIVE

L'image résultant de tous ces traitements simples n'est pas vraiment satisfaisante compte tenu de ce nous désirons produire. D'une part, **tous les éléments de voirie ne sont pas extraits**, d'une part **des pixels qui ne sont pas des éléments de voirie ont été pris en compte**.

Plus en amont, **il est envisagé de préparer l'image initiale en la traitant de manière à faire ressortir de façon plus nette le contraste**. Différents filtres ou méthodes seront successivement testés et évalués. Par ailleurs, certaines rues, et en particulier celles de moindre importance peuvent être revêtues d'un matériau autre que le bitume. C'est le cas à Quito où la voirie des quartiers sub-urbains est constituée de terre de couleur claire. Le traitement « chapeau haut de forme » tel qu'il a été ici décrit est bien sûr inapproprié pour les extraire.

De même, nous avons vu que cette opération ne fait apparaître que la voirie bordée de part et d'autre par des bâtiments ou des éléments réfléchissants. Une rue bordant une forêt (élément peu réfléchissant dans la base panchromatique) ne sera donc pas extraite par l'opération « chapeau haut de forme ». La même difficulté est rencontrée lorsqu'il s'agit d'une voie double séparée par un terre plein central. La végétation qui souvent recouvre ce terre plein occulte partiellement l'effet « vallée » indispensable à l'extraction du réseau. Ces difficultés n'ont pour l'instant pas pu être résolues.

En ce qui concerne le second point, il convient de déterminer pourquoi ces pixels ont été identifiés à des éléments de voirie. A première vue, il semblerait que nombre de ces erreurs soient dues à l'ombre de certains bâtiments de grande hauteur. D'une part, la réflectance très faible s'apparente à celle du bitume qui constitue la nature principale de la voirie et d'autre part, les pixels d'ombre se regroupent par petit amas de faible effectif. Il est donc délicat de les séparer des pixels de voirie. Toutefois, l'ombre n'est pas

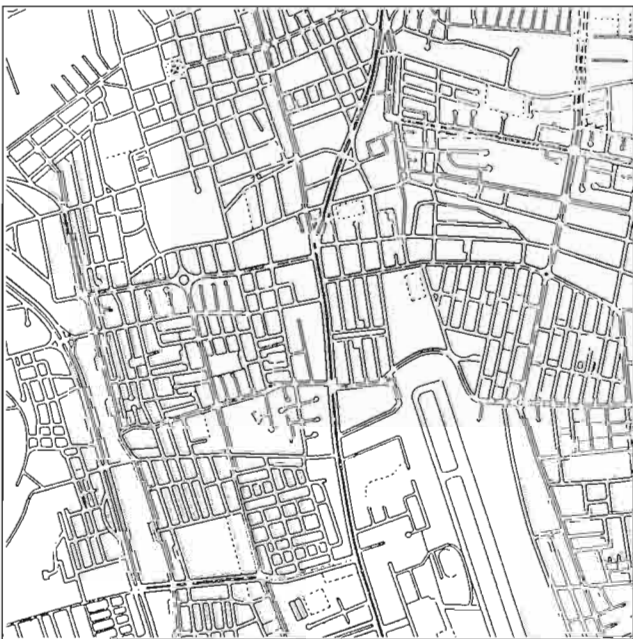
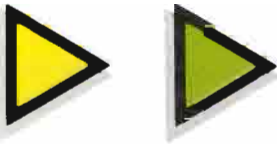
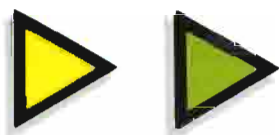


Figure 1 - Extraction des réseaux sur image SPOT, extrait de carte.

la seule possibilité d'erreur, d'autres éléments dont la nature n'est pas déterminée entretiennent la confusion. La superposition d'une partie de l'image SPOT traitée et d'un extrait de carte initialement à l'échelle 1/25 000 (Figure 1) indique clairement que le problème à résoudre est prioritairement lié à une **sur-détection** du réseau de voirie. On notera qu'**une multitude de petits segments sont représentés à l'intérieur des pâtés de maisons et que ce ne sont pas les réseaux les plus importants qui ressortent les plus fidèlement**. La prise en compte du canal infra-rouge proche (XS3) permettra peut-être de lever cette confusion.

La carte ne se superpose pas exactement sur l'image, cette dernière n'ayant pas été encore recalée. En conséquence, il est difficile d'évaluer numériquement la fiabilité de ce traitement en mettant en œuvre un traitement de type matrice de confusion.

Ces premiers résultats montrent la difficulté d'extraire numériquement la voirie en milieu urbain à partir d'une image où visuellement celle-ci apparaît de façon relativement distincte. Cependant, une première comparaison (non quantifiée) permet d'affirmer que **si la méthode visuelle permet de n'extraire que les éléments de voirie et de constituer ainsi des éléments linéaires continus, elle ne permet pas de les extraire tous. Le réseau secondaire extrait visuellement est en effet moins important que celui, extrait par la méthode numérique (de façon discontinue)**. L'algorithme de fermeture des contours a permis la fermeture d'un grand nombre de zones, cependant il ne reconstitue pas le réseau, ce qui n'est d'ailleurs pas son usage initial.



A. MICHEL
Allocataire MRT attaché au département D UR 406
F. DUREAU
Responsable du programme, en poste à Quito,
département D UR 406
B. LORTIC
Chercheur associé, atelier de télédétection de
l'ORSTOM à Bondy (ATOB)
M. SOURIS
Ingénieur de recherche, responsable de l'Unité
d'Infographie, Bondy.

MISE AU POINT DES MÉTHODES D'ANALYSE DES IMAGES DES SATELLITES A HAUTE RÉSOLUTION ET ÉVALUATION DES INFORMATIONS FOURNIES PAR CES IMAGES

Étude statistique du descripteur « densité du bâti ». Présentation des classifications

La communication que nous présentons ici brièvement est un résumé d'une partie du programme « Télédétection et observation suivie de la morphologie et de la démographie des villes des pays en développement » mené par le département D de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement) en collaboration avec l'Unité d'Infographie et l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy.

OBJECTIF

programme de recherche de l'ORSTOM (ATP CNRS/CNES).

Dans les villes des pays en développement, la croissance démographique est telle que les méthodes classiques utilisées jusqu'à présent pour estimer des effectifs de population sont inadéquates. Les coûts technique, financier et humain des recensements exhaustifs rendent prohibitifs

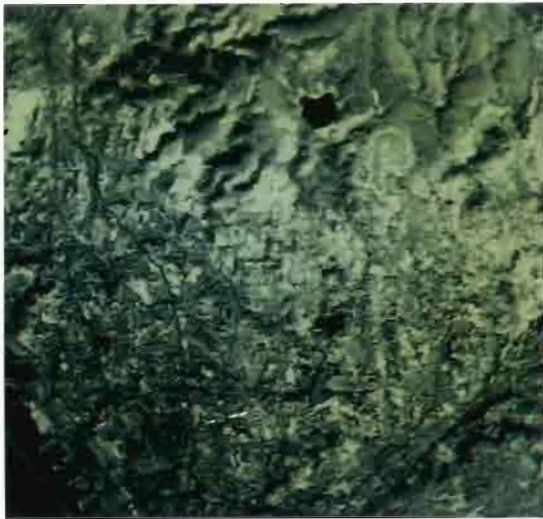
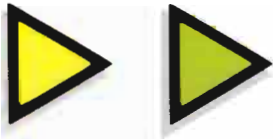


Photo 1 : Image TM Canal 4.



Photo 2 : 1^{re} composante principale.

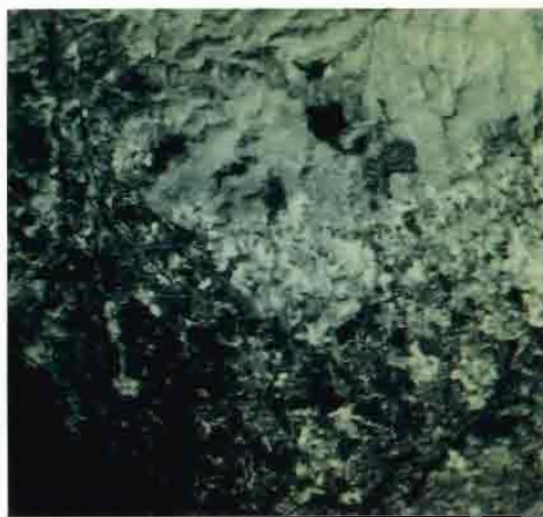


Photo 3 : Indice de végétation.

une telle opération pour une périodicité inférieure à une dizaine d'années. Quant aux enquêtes par sondage, l'absence d'une base de sondage complète et à jour hypothèque fortement leur fiabilité. Cependant, seul un système basé sur la technique des sondages peut remplir les conditions de souplesse et de rapidité nécessaires dans les villes à croissance démographique rapide. Connaître de façon approfondie la morphologie du tissu urbain permet de réaliser une **stratification de l'espace urbanisé** qui ne peut qu'améliorer le résultat d'une enquête effectuée sur une base de sondage **stratifiée** et **exhaustive**.

Les missions aériennes deviennent de plus en plus rares et onéreuses. Par contre les satellites récemment mis sur orbite délivrent des images dont la résolution spatiale est de plus en plus précise. Leur répétitivité, ainsi que la richesse des informations qu'ils enregistrent rendent leur utilisation attractive. Néanmoins, l'interprétation de ces images nouvelles en milieu urbain est plus délicate que celle des photographies aériennes auxquelles nous sommes désormais habitués.

L'objectif principal assigné au programme de recherche est de mettre au point un système d'observation permanent des populations urbaines, en intégrant l'information satellitaire sur la morphologie urbaine : suivi des effectifs et caractéristiques générales des populations et mise en œuvre de sondages spatiaux stratifiés sur image SPOT ou Thematic Mapper pour des investigations approfondies par le comportement des citoyens. La stratification sera obtenue après traitement des images Thematic Mapper ou SPOT de façon à faire apparaître les différents descripteurs de la morphologie urbaine pertinents pour une observation démographique.

Ce sont les étapes de la mise au point de cette stratification, du moins la mise en évidence du premier de ces descripteurs, la densité du bâti, que nous exposons dans cette présentation.

Problématique du travail effectué

Nous posons comme hypothèse et départ qu'**un système de relations étroites existe entre la morphologie urbaine et la démographie**.

L'axe central de notre problématique est simple : est-il possible d'extraire d'une image Landsat Thematic Mapper (résolution spatiale ou IFOV 30 mètres, résolution spectrale 7 bandes allant du visible à l'infra-rouge thermique) des informations pertinentes pour rendre compte de la morphologie urbaine, et plus particulièrement de la **densité du bâti**? Les questions qui en décou-

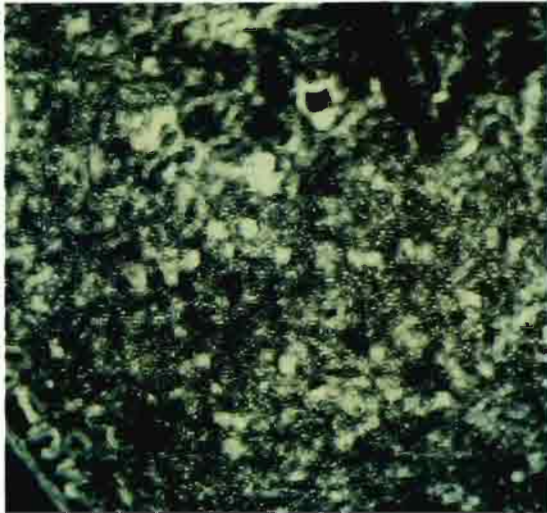


Photo 4 : Ecart type local 5x5.



Photo 5 : Densité du bâti. Ensemble de la zone.

lent immédiatement sont les suivantes :

- Quels sont les moyens les plus appropriés pour traiter les informations initiales (les valeurs du pixel dans les différents canaux) afin de mesurer la densité du bâti? Quelle méthodologie employer?
- Quels sont les paramètres spectraux ou spatiaux qui discriminent le mieux la densité du bâti?
- Comment mesurer la fiabilité des traitements développés?

C'est à toutes ces questions que nous apporterons un début de réponse au cours de cette étude.

DÉMARCHE

Justification du choix du descripteur densité du bâti.

Une analyse de la mosaïque photo-aérienne de la ville de Marseille a été réalisée. Chacune des 542 zones homogènes délimitées a été décrite à l'aide de 11 critères morphologiques. Parmi ces 11 descripteurs retenus et testés sur Marseille, celui décrivant la densité du bâti nous a semblé le plus opportun à mettre en évidence sur l'image satellite en premier lieu. En effet ce sera celui qui interviendra le plus fortement dans l'explication des variations spatiales des indicateurs démographiques. Ce descripteur caractérise l'ensemble de la zone d'étude à l'aide des 6 modalités suivantes : non bâti, très faible, faible, moyenne, forte, très forte.

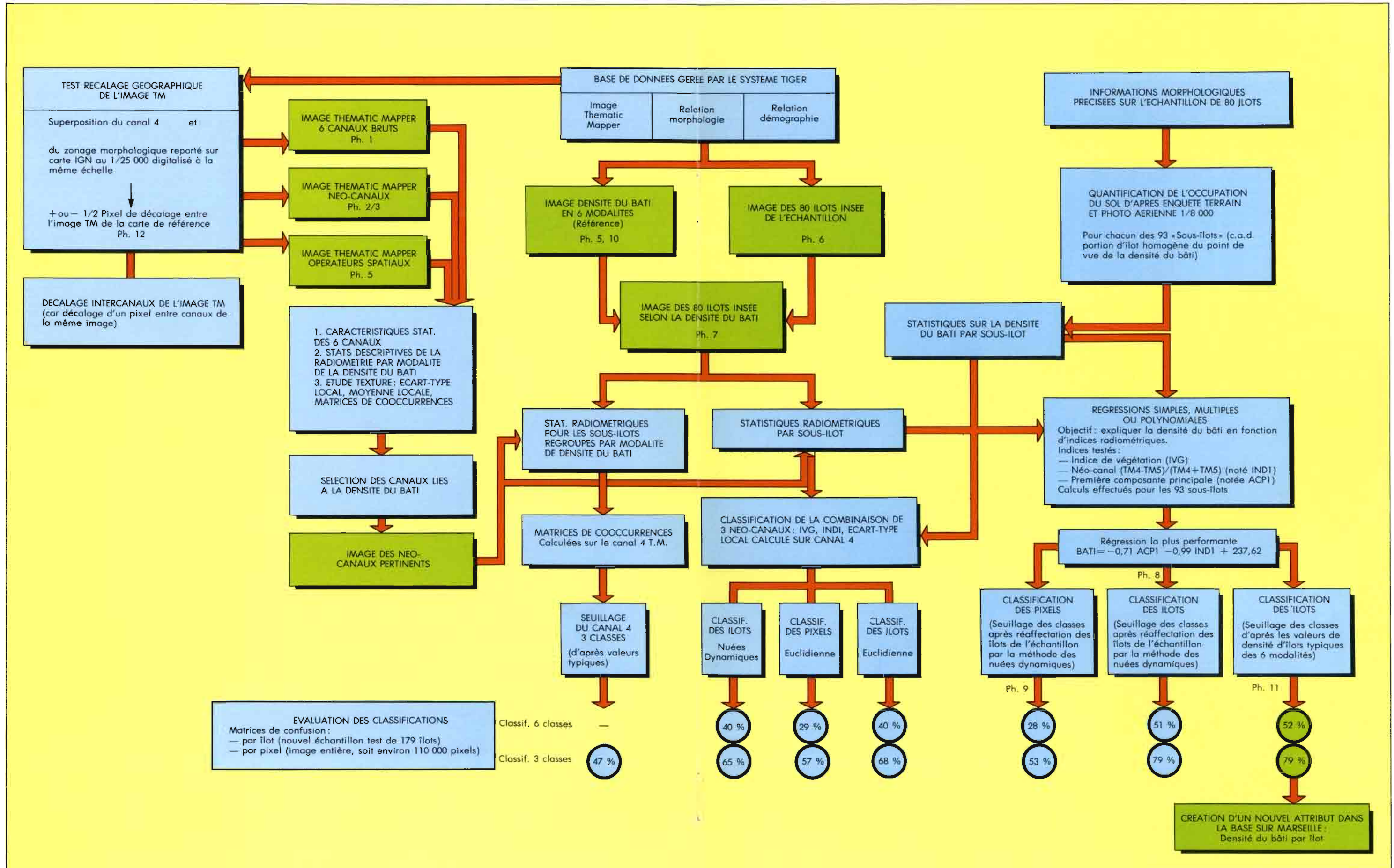
Le but de ce travail est de générer à partir d'images Landsat TM 6 canaux, une image qui rend compte de la densité du bâti observée sur mosaïque, et vérifiée sur le terrain. De façon plus pragmatique, il s'agit donc de classer les images de Landsat TM afin de se rapprocher le plus possible de l'interprétation visuelle de la densité du bâti réalisée sur la mosaïque photo-aérienne échelle 1/23 000.

Explication de la démarche suivie.

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur un fichier image généré par Tiger(*) qui décrit la zone d'étude en fonction des 6 modalités du descripteur densité du bâti. (non bâti, très faible, faible, moyenne, fort, très fort). A chacune des différentes zones, pas nécessairement connexes, est affectée la valeur de sa modalité. Des statistiques descriptives classiques sont ensuite calculées pour chaque modalité et dans

(*) Système de gestion de base de données relationnelles développé à l'Atelier d'Infographie de l'ORSTOM. Une base de données localisées intégrant des données démographiques, morphologiques et satellitaires et pilotée par TIGER a été constituée sur Marseille.

EXTRACTION DE L'INFORMATION SUR LA DENSITÉ DU BÂTI Image Thematic Mapper de Marseille



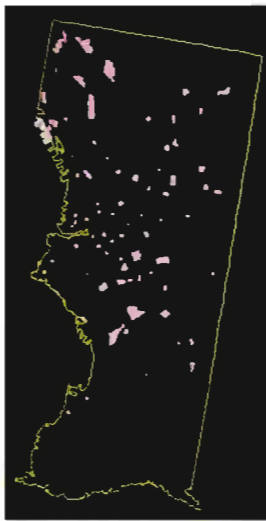
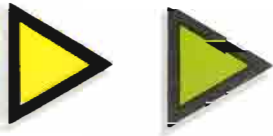


Photo 6 :
Echantillons îlots INSEE



Photo 7 : Croisement-échantillons îlots INSEE et strates.

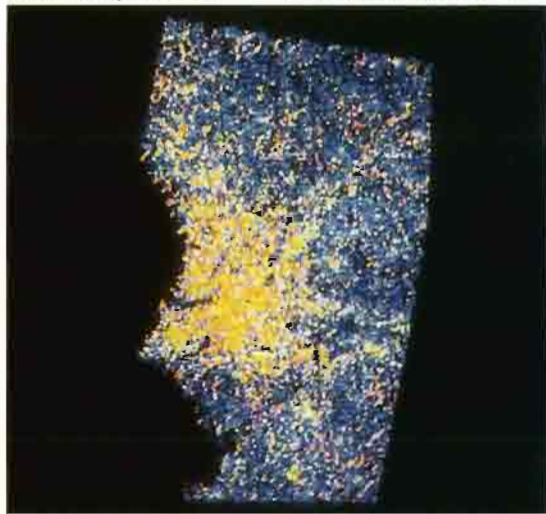


Photo 8 : régression Ilot-Bâti/ACPI, Ind. 1.

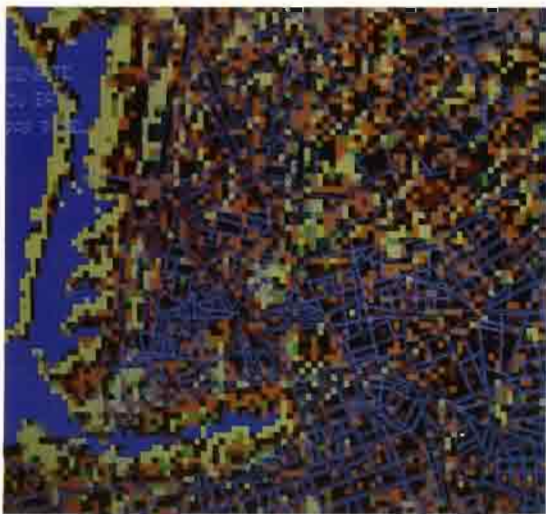


Photo 9 : Densité du bâti par Pixel, contours îlots INSEE (centre ville).

chacun des 6 canaux de Landsat Thematic Mapper. Cette première étape, de « dégrossissage », vise à déterminer les canaux, les combinaisons de canaux (indices) et les opérateurs spatiaux (indices de texture) qui apparaissent les plus discriminants. Aucun résultat statistique issu de cette partie de l'étude ne sera pris en compte pour calculer des coefficients de régression ou pour initialiser une classification. En effet, la démarche choisie consiste à initialiser le processus de classification à partir d'un échantillon (de travail) et à comparer les résultats obtenus soit à l'ensemble de la zone d'étude, soit à un autre échantillon (de vérification).

Après le tirage des 80 îlots échantillons, une nouvelle image multithématique cette fois, a été générée par Tiger, en croisant la **densité du bâti** avec **les îlots échantillons**. Dans l'image résultante l'entité n'est plus l'îlot mais le sous-îlot (portion d'îlot homogène par rapport à la densité du bâti). En effet, compte tenu de la taille de certains îlots ou de la complexité du tissu urbain, il arrive que les îlots INSEE ne soient pas entièrement compris dans des zones morphologiques de même modalité.

Une enquête sur le terrain a eu lieu en juin 1986 afin de tenir compte des éventuelles constructions ou démolitions intervenues entre la date de prise de vue des photographies aériennes et celle de l'enregistrement de l'image TM. De plus il s'est avéré nécessaire de se déplacer sur le terrain afin de pouvoir caler les informations que l'on a recueillies sur la photographie aérienne avec la réalité terrain (nature du toit, hauteur du bâti, etc.). La superficie de l'élément bâti a pu être déterminée, ainsi que le rapport (surface bâti/surface totale de l'îlot) qui est noté **coefficient de densité du bâti** dans ce texte. Ces éléments sont issus de l'analyse fine de photographies aériennes 1/8 000 couleurs naturelles sur lesquelles les îlots de l'échantillon de travail ont été détourés.

Des statistiques descriptives classiques calculées sur les indices qui nous ont paru les plus discriminants ont alors été calculés pour chaque sous-îlot de l'échantillon.

Afin de quantifier le pouvoir de discrimination des différents canaux, néo-canaux (combinaisons de canaux bruts) et opérateurs spatiaux, diverses régressions simples, multiples et polynomiales ont été tentées avec le coefficient de densité du bâti calculé précédemment. Les coefficients de régression entre moyenne radiométrique des sous-îlots et le coefficient de densité de l'espace bâti correspondant ont été calculés sur la base de l'échantillon de travail. Ces coefficients permettent de générer, sur l'ensemble de Marseille, une image de la densité de l'espace bâti à partir de valeurs radiométriques dont les valeurs

varient entre 0 et 100. La valeur du pixel indique donc une densité de l'espace bâti. Diverses algorithmes ou méthodes de classification initialisés sur l'échantillon de travail et testés sur l'ensemble de la zone ou sur un échantillon de vérification ont alors été expérimentés; une comparaison de leur fiabilité est présentée. Les individus classés sont soit des **pixels**, soit des **sous-îlots INSEE**. En télédétection, classer des zones pré-définies et non des pixels est peu courant; nous verrons en quoi cette façon de procéder améliore nos résultats.

DIFFICULTÉS ET PERSPECTIVE D'AVENIR

La conclusion principale à tirer est semble-t-il d'ordre méthodologique. **Il est plus pertinent et plus efficace de classer des zones, ici des îlots INSEE, que des pixels.** Les raisons en sont multiples.

Les différentes statistiques radiométriques ont été calculées sur des îlots INSEE, il est donc logique de classer des entités de même grandeur que celles dont on a extrait l'information. Cela est plus flagrant lorsque l'on s'intéresse aux régressions. Calculer une densité de bâti par pixel est à la limite de l'acceptable. En effet, les régressions ont été obtenues en comparant les valeurs radiométriques de différents néo-canaux avec une densité de bâti par îlot. Il est donc plus logique d'appliquer ces régressions sur les mêmes entités, c'est-à-dire les îlots, que sur des éléments de dimension inférieure (les pixels). De plus, seule une densité calculée sur une surface de taille conséquente est significative de ce paramètre.

De nombreux chercheurs travaillant sur l'interprétation d'images satellite en milieu urbain filtrent par un lissage par la moyenne les images avant classification de façon à se rapprocher le plus possible des valeurs moyennes en fonction desquelles ils ont initialisé leur classification. Cette façon de procéder, qui contribue à dégrader artificiellement la résolution spatiale de l'image s'apparente donc à un artefact qui facilite le classement de pixels de valeurs extrêmes. La résolution spatiale plus fine de TM(*) est en milieu urbain un cadeau empoisonné. En effet alors que les images générées par Landsat MSS étaient constituées d'un assemblage de pixels de valeurs relativement proches dû à un lissage lors de l'enregistrement des données, la résolution spatiale sensiblement meilleure du capteur TM

(*) par rapport à Landsat MSS.



Photo 10 : Densité du bâti par îlot référence (centre ville).



Photo 11 : Densité du bâti par îlot régression 6 classes (centre ville).

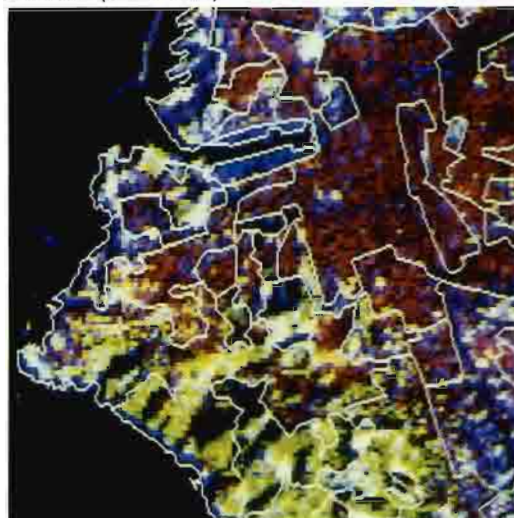
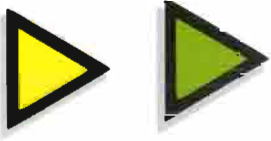


Photo 12 : Composition colorée (canaux 1, 4, 7) avec contours des strates en blanc.



permet l'**émergence d'un nouveau type de pixel jusque-là inconnu dans les villes: le pixel pur** (ou presque pur). Compte tenu de notre problématique et du type de résultat que nous désirons obtenir (une **stratification**, de l'espace urbain en fonction d'un critère bien précis), c'est paradoxalement une résolution spatiale plus grossière qui nous aurait convenu le mieux. La résolution spatiale de TM paraît inadaptée pour l'étude de la densité des villes, trop fine pour classer les pixels, mais pas suffisamment cependant pour se livrer aux joies de la photo-interprétation.

Sauf dans le centre-ville très dense et très homogène où il occupe une surface négligeable, le tissu urbain interstitiel, de part la variété de sa nature induit des valeurs radiométriques qui sont trop éloignées de celles générées par les toits des bâtiments voisins. De plus ceux-ci sont loin d'être semblables et leurs valeurs de réflectance varient sensiblement en fonction des différents matériaux utilisés. C'est ainsi que nous obtenons des classifications qui présentent l'apparence d'un semis de points multicolores là où nous voudrions voir apparaître de grandes plages de mêmes couleurs (dans le but d'obtenir une stratification de l'espace urbain).

Lisser avant ou après la classification est une opération qui entraîne une distorsion de la réalité, car elle n'est pas sélective au niveau spatial (lissage de pixels de mer avec les pixels côtiers pour prendre un exemple significatif), contrairement à une moyenne raisonnée sur une entité spatiale qui possède une réalité, ne serait-ce qu'administrative (les îlots INSEE par exemple). Il faut ajouter que plus cette entité est homogène du point de vue thématique, plus la production de la moyenne radiométrique sur cette zone se justifie. Dans notre cas les îlots INSEE, de part leur petite taille et leur relative homogénéité de contenu, se prêtent relativement bien à ce genre d'exercice.

Enfin, nous pouvons conclure que le découpage initial des modalités, obtenu par photo-interprétation d'une mosaïque 1/23 000 n'était pas adapté à la réalité statistique de la radiométrie dans le canal TM4. Il semble en être de même avec d'autres néo-canaux (indice de végétation: IVG, Canal TM4-TM5 normalisé: IND1, indice de texture: TEXT-C4) ainsi qu'avec les néo-canaux utilisés pour générer les régressions (ACPI).

Passer d'une classification de pixels à une classification de zones prédéfinies améliore les différentes classifications que nous avons effectuées de près de 100 %. Ce type de classification, pour stratifier le milieu urbain, semble être une des méthodes les plus prometteuses, même si sa fiabilité est encore loin d'être excellente.

Travailler dans l'environnement d'un système de gestion de base de données relationnelles en milieu urbain est presque une nécessité:

- pour **repérer** avec exactitude les parcelles des échantillons; ceci suppose une parfaite superposition entre l'image satellite et le fichier des îlots INSEE.
- pour **valider** les traitements de façon quantifiée et précise
- pour **intégrer** dans la base des informations élaborées à partir de la télédétection
- pour **générer** des images à partir de données numériques (fichiers INSEE de recensement), ceci suppose une parfaite connaissance des référents géographiques de l'information saisie (coordonnées géographiques, mode de projection, taille du pixel).
- pour **croiser** entre elles des données de provenances diverses (îlots de l'échantillon et densité du bâti). **La localisation des données est alors une information fondamentale;** seule clé commune, c'est elle qui permet de comparer et de croiser différentes données entre elles, avec des traitements qui conservent la pertinence spatiale des résultats.

EXEMPLES DE RÉPONSES AUX « QUESTIONS POSSIBLES » DES AMÉNAGEURS

Le Groupe Demande a résumé ses questions en 4 types de démarche

Ce tableau récapitule quelques exemples de réponses des spécialistes de la télédétection aux « questions possibles » des aménageurs présentées sous forme : d'une fiche générale, de fiches individuelles illustrées.



— quantifications



— démarche de veille



















— aide à l'analyse des milieux



— information sur des événements soudains et ponctuels

| NOM D'AUTEUR | TITRE EXEMPLE | TYPE DE PRODUIT | TYPE DE TERRITOIRE | CIBLE A PRIORI | NIVEAU D'EXPLOITATION |
|---------------|---|---|--|--|--|
| ARMAND | Identification automatique des tissus urbains. | Structure de la ville et inventaire statistique localisé. | Département des Hauts-de-Seine. | Aménageurs Région-Département. | Simulation du travail de photo-interprète à partir d'une stratification automatique de l'espace urbain. |
| BALLUT NGUYEN | Changement de l'occupation du sol sur une partie de l'agglomération de Paris. | Evolution occupation du sol | Banlieue ouest de Paris. | Planificateurs, aménageurs, Région-Département. | Analyse diachronique, détection par calcul des changements et interprétation visuelle. |
| BARIOU | Mise en évidence des zones à risque vis-à-vis de la sécheresse. | Cartographie zones à risque sécheresse. | Région agricole de Bretagne : Pantivy. | Analyses régionales et départementales, administration secteur économique. | Comparaison d'histogrammes bidimensionnels à deux époques. |
| BARIOU | Analyse urbaine, le cas d'une ville moyenne : Rennes. | Occupation du sol et imperméabilisation. | Ville moyenne : Rennes et son agglomération. | Planificateurs, aménageurs ville et département. | Interprétation visuelle, composition colorée. |
| BARIOU | Mont Saint-Michel. | Occupation du sol, unités paysagères. | Agricole (polders) littoral Nord Bretagne. | Planificateurs, aménageurs ville et département. | Interprétation visuelle, composition colorée. |
| BOQUET | Analyse d'un espace urbain à partir d'images SPOT. | Evaluation de l'image comme source d'information géographique. | Banlieue Nord de Paris : Roissy | Urbanistes, géographes, Région-Département. | Extraction automatique de l'information, amélioration de l'image d'origine ; photo-interprétation visuelle. |
| CAMPAGNE | Image en trois dimensions de Nice. | Vue perspective. | Agglomération littorale Nice. | Planificateurs, enseignants ville et département. | Composition colorée et application numérique sur MNT. |
| CAMPAGNE | Défit de la résolution satellitaire en milieu urbain | Document destiné à la photo-interprétation ou 1/25 000. | Région de Aix-Marseille. | Urbanistes photo-interprètes, ville. | Recolage géométrique et superposition à la carte ; rééchantillonnage à 10 m du XS corrélation entre XS et P ; restitution au 1/25 000. |
| CAMPAGNE | Historique et suivi de la croissance urbaine par photo-interprétation d'images satellitaires. | Evaluation et organisation temporelles du développement de la zone urbaine. | Agglomération urbaine et son environnement : Le Caire. | Planificateurs, aménageurs département et ville. | Comparaison visuelle de compositions colorées de 3 années différentes. |
| CAMPAGNE | Cartographie départementale d'occupation du sol | Occupation du sol et statistiques agricoles : cartographie | Département Calvados | Planificateurs, aménageurs (urb. et agric.) département. | Cartographie numérique à partir classification multi-temporelle et intégration de données exogènes. |
| CHATELAIN | Marseille : analyse morphologique à partir de données TM. | Zonages en fonction des différentes morphologies. | Marseille. | Planificateurs, Région et commune. | Analyse à partir d'échantillons, composition colorée ; analyse multi-temporelle. |
| DESTIVAL | Morphologie mathématique appliquée aux images satellitaires. | Travail de recherche sur l'extraction automatique des routes et des villages. | Beauce. | Aménageurs Région | Morphologie mathématique et recherche des frontières. |

| NOM D'AUTEUR | TITRE EXEMPLE | TYPE DE PRODUIT | TYPE DE TERRITOIRE | CIBLE A PRIORI | NIVEAU D'EXPLOITATION |
|--|---|--|--|--|---|
|  GIRARD | Friches de la plaine de Versailles. | Occupation du sol 1/50 000. | Banlieue sud-ouest Paris, dominante agricole. | Planificateurs, département, ville. | Interprétation visuelle, composition colorée. |
|   GIRARD | Influence urbanisation, Val-de-Loire. | Unités paysagères | Vallée de la Loire. | Analyses régionales et départementales administration | Interprétation visuelle, composition colorée. |
|   DIEBOLD MESSELIS SERRADJ | Télétection et paysages urbains. | Occupations du sol et quantifications : évaluations quantitative et qualitative, cartographie, spatiocartes. | Agglomération strasbourgeoise. | Aménageurs, Région. | Composition colorée, interprétation à partir d'échantillons, visualisation. |
|   MICHEL DUREAU LORTIC SOURIS | Mise au point des méthodes d'analyse des images des satellites à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images. | Mise en évidence des réseaux routiers sur une image SPOT panchromatique. | Etude de faisabilité sur Quito (Equateur) | Aménageurs, planificateurs agglomération | Définition de zones prédéfinies (visuelles et administratives) ; morphologie mathématique, amélioration de l'extraction de la voirie par connexion ou suppression de pixels isolés. |
|   MICHEL DUREAU LORTIC SOURIS | Mise au point des méthodes d'analyse des images des satellites à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images. | Etude statistique du descripteur « Densité du Bâti ». Présentation des classifications. | Agglomération marseillaise. | Démographes statisticiens, ville. | Mosaïque photos aériennes ; stratification morphologique en fonction de la densité ; recherche de classification des images pour se rapprocher de l'interprétation visuelle de la mosaïque. |
|    PEDRON | Calcul, optimisation et maintenance des réseaux d'assainissement. | Coefficients de ruissellement des divers bossins versants urbains, cartographie des surfaces en végétation. | Application à la commune de Toulouse. | Aménageurs, statisticiens, hydrauliciens ville. | Détection des surfaces en végétation sur images SPOT ; rasterisation des fichiers des bossins versants ; superposition à l'image puis calcul automatique du coefficient de ruissellement. |
|  PEDRON | Cartographie automatique des chantiers, témoins de l'évolution du milieu urbain. | Mise en évidence des zones à plus ou moins grande densité de chantiers pour mises à jour de la banque de données urbaines. | Toulouse. | Planificateurs aménageurs, urbanistes, ville. | Analyse multitemporelle par différence entre une image à date T1 et une image à date T2. |
|  PEDRON | Elaboration d'un fond de carte à partir d'une image SPOT. | Spatiocarte 1/25 000 identifiant les structures, en couleurs naturelles régulièrement actualisée et permettant l'incrustation d'autres informations incluses dans la banque de données urbaines. | Agglomération toulousaine. | Planificateurs, aménageurs, urbanistes, architectes, enseignants, ville. | Pseudo multispectral à 10 m ; rééchantillonnage à 5 m ; restitution à 1/25 000 d'une image en couleurs naturelles. |
|   THOMOPOULOS | Quantification de la densité du bâti sur : • Chartres • Toulouse Centre • Toulouse périphérie | Nouvelle taxinomie. Essai de modélisation des formes de mitage et de quantification des espaces bâtis. | 3 villes : • ville moyenne • centre grande ville • ville banlieue | Aménageurs, architectes, démographes, ville - département - région. | Néotaxinomie. Seuillage, écart-type, indices de végétation et de minéralisation opérateurs morphologiques. |



R. BARIOU
Equipe COSTEL
Centre de Télédétection
Université Rennes 2 Haute-Bretagne

MISE EN ÉVIDENCE DES ZONES A RISQUE VIS-A-VIS DE LA SÉCHERESSE

OBJECTIF

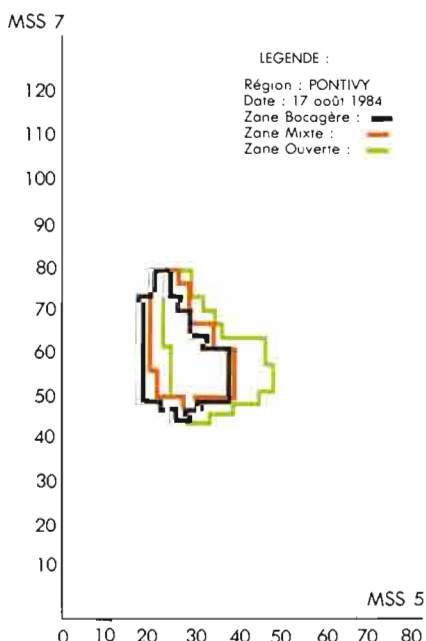
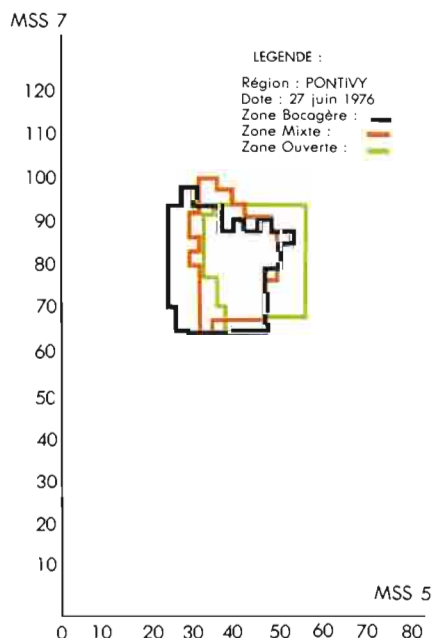
Mise en évidence des zones à risque vis-à-vis de la sécheresse à partir des données Landsat MSS. Application à la Bretagne. Recherche universitaire — financement Etablissement Public Régional (E.P.R.).

DÉMARCHE

Etude menée dans la région de Pontivy. Six dates ont été retenues entre 1976 et 1984 pour suivre l'évolution saisonnière des unités paysagiques, parmi lesquelles celles du 27 juin 1976 et du 17 août 1984. Le 27 juin 1976 : la sécheresse est particulièrement sensible en Bretagne, avec des décades subsèches depuis le début mai enregistrées à la station météorologique voisine de Ros-trenen. Les réserves utiles ont commencé à diminuer dès le mois de mars et aucune reconstitution de ces réserves ne s'est produite jusqu'au 27 juin. Les sols sont donc très secs.

Le 17 août 1984 : cette image a été enregistrée lors d'une décade humide précédée des décades subsèches depuis la mi-juin. Au 17 août 1984, les réserves utiles des sols sont peu déficientes, il y a même eu reconstitution récente de ces réserves de telle sorte que, sans être engorgés, ces sols sont dans l'ensemble humides.

Les deux histogrammes bidimensionnels (*) sont relativement similaires avec toutefois un décalage vers des valeurs plus faibles en 1984 : peu de différenciation dans le canal 7 mais une plus grande variabilité dans le canal 5 avec des valeurs plus élevées dans les zones ouvertes. En année normale, en juin, les cultures sont bien développées : le maïs est déjà vert ; céréales et cultures légumières sont en pleine maturité.



(*) Les canaux 5 et 7, bien corrélés avec la densité et l'état phénologique du couvert végétal, ont été sélectionnés pour cette étude, après correction des effets de la variation de l'angle d'élévation solaire.



L'analyse des histogrammes de 1976 donne des renseignements intéressants sur l'impact de la sécheresse. Bois et prairies encore chlorophylliens correspondent aux valeurs faibles dans le canal 5 et plus élevées dans le canal 7.

Les secteurs à fortes valeurs dans les 2 canaux sont dues aux cultures affectées par la sécheresse dont le jaunissement est maximum ; leur présence est surtout importante dans le secteur remembered.

En août 1984, l'ensemble de la région souffre moins des effets de la sécheresse, et il est donc plus chlorophyllien. Les valeurs sont plus faibles dans le MSS 5 comparativement à celles enregistrées en juin 1976.

La comparaison des histogrammes bidimensionnelles des données d'été montre que les paysages ouverts sont plus sensibles au déficit hydrique de 1976, et que le bocage lui-même n'est pas épargné par la sécheresse.

En 1976, les paysages sont relativement plus identifiables par l'importance des cultures desséchées dans la zone remembered, alors qu'en 1984 les conditions climatiques plus favorables se traduisent par une homogénéité plus grande des réponses des divers paysages.

La visualisation de ces résultats a été réalisée à partir de l'indice de végétation normalisé (ND - Normalized Difference).

$$ND = K \frac{MSS 7 - MSS 5}{MSS 7 + MSS 5}$$

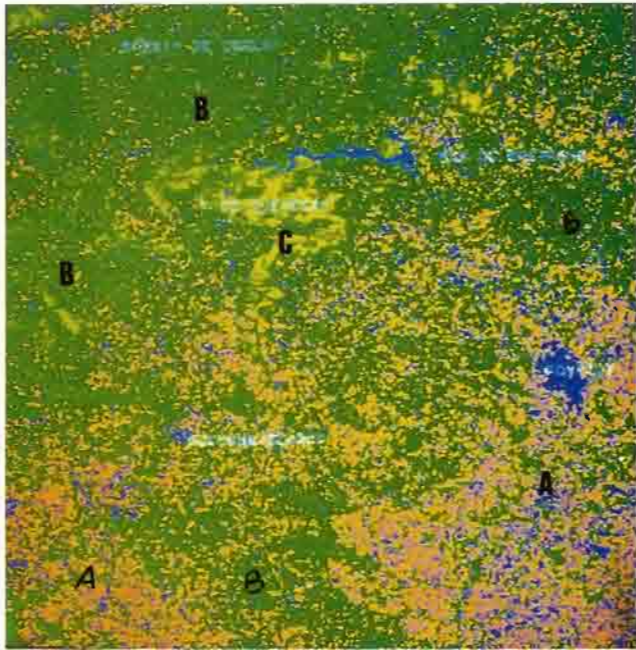
avec $K = 300$

Les indices de végétation ont été traités en équidensité colorée pour obtenir une meilleure appréciation des nuances, avec respect de la gradation des couleurs en fonction de la teneur en chlorophylle (vert).

A partir de ces clichés et du tableau ci-dessous, on peut déduire :

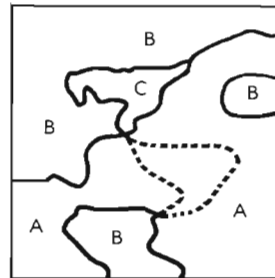
| Indices végétation | PONTIVY | | |
|--|------------------------|-----------------|------------------|
| | Zone 1 (rememberée) | Zone 2 mixte | Zone 3 bocage |
| Histogrammes globaux sup. à 5 pixels 27 juin 1976 | 25-139 | 56-158 | 56-178 |
| 17 août 1984 | 0-153 | 0-170 | 53-179 |

L'influence de la sécheresse de 1976 se traduit par une diminution de la teneur en chlorophylle ; cela est particulièrement sensible dans la zone ouverte alors que la zone mixte a un comportement voisin de celui du bocage. En août 1984, la dynamique est plus étendue, les indices plus élevés en général, ce qui confirme l'aspect plus verdoyant de la région. Pontivy a donc été moins affecté par la sécheresse en 1984 (coloris plus vert de l'image) qu'en 1976.

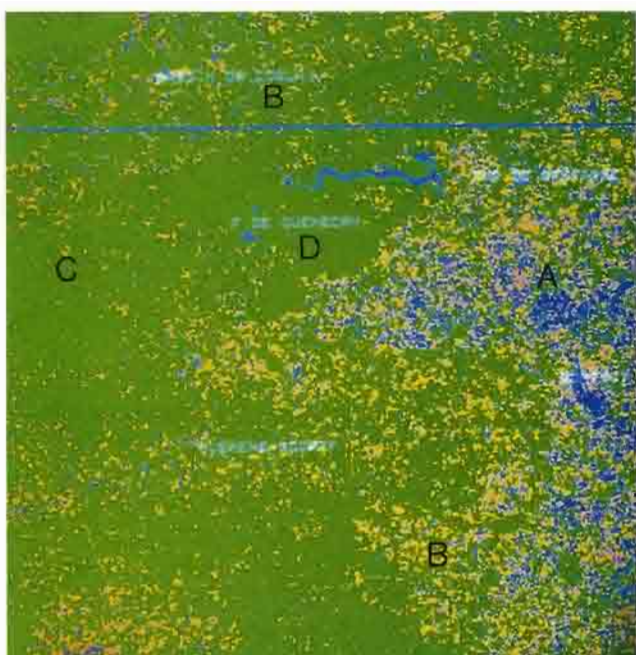


Cliché n° 1 - Equidensité colorée sur indice de végétation - Pontivy 06.76 -

A - Zone mosaïque à dominante rose-mauve-orange : paysages ouverts (remembrés) atteints par la sécheresse (indices faibles).
 B - Zone mosaïque à dominante verte : paysage bocager ou mixte, moins atteint par la sécheresse.
 C - Plages vert-jaune et vert foncé : forêts et bois (indices les plus élevés).



JUIN 1976



Cliché n° 2 - Equidensité colorée sur indice de végétation - Pontivy 08.84 -

A - Zone mosaïque à dominante bleu-rose : secteur de paysage ouvert (remembré) indices faibles par la présence de champs nus et chaumes des cultures récoltées.
 B - Zone mosaïque orange-jaune-vert-bleu : secteur de paysage ouvert ou mixte.
 C - Zone à dominante verte : paysage bocager.
 D - Plages vertes : forêts et bois.



AOUT 1984



Les indices de végétation confirment l'impact de la sécheresse sur le Centre Bretagne notamment dans les secteurs remembrés ; le nivellement des régions en 1976, à l'exception des secteurs boisés, est dû à une forte sécheresse alors qu'en 1984 les données sont plus nuancées, l'état physiologique global de la végétation est meilleur. Les structures agraires exercent une influence considérable pour le développement des cultures, et il y a ainsi possibilité d'évaluation des zones à risque face aux accidents climatiques, résultats en accord avec ceux de C. Goillot et al 1976 qui montraient que la température d'une culture était plus faible en zone bocagère qu'en secteur remembré. Le traitement des données NOAA acquises en septembre 1985 confirme également cette hypothèse.

Cette étude a été poursuivie et approfondie sur 3 autres secteurs de 30 km X 30 km du Morbihan et des Côtes-du-Nord, autour de Loudéac, Guingamp et Fréhel, de manière à évaluer la variabilité saisonnière des réponses spectrales et l'impact de la sécheresse sur les zones bocagères, remembrées et mixtes de ces régions.

APPORT AUX AMÉNAGEURS

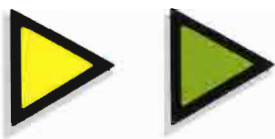
Méthodologie simple mais lecture plus complexe des documents. L'association des données Infra-Rouge-Thermique provenant de NOAA avec celles de Landsat permet une évaluation spatiale des zones affectées par la sécheresse. Une analyse multitemporelle systématique devrait contribuer à l'élaboration d'une typologie graduée des zones à risque.

DIFFICULTÉS

Ce genre d'étude nécessite l'utilisation de données multitemporelles couplées avec des données statistiques météorologiques. Quant au matériel, il est intéressant de disposer d'un système de traitement d'images.

COÛT - DÉLAI

L'étude doit être menée sur plusieurs années et sur quelques mois chaque année. Une analyse régionale suppose l'achat de plusieurs scènes Landsat. Le coût est donc fonction de la précision recherchée.



E. BOQUET
Allocataire de recherche CNES

ANALYSE D'UN ESPACE URBAIN A PARTIR D'IMAGES SPOT

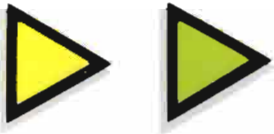
Les aménageurs ayant pour préoccupation essentielle la connaissance de l'occupation du sol et l'analyse de son évolution, il leur est important de pouvoir disposer d'informations fiables et répétitives. Pour cela, les photographies aériennes sont traditionnellement utilisées. Cependant, les images des satellites de la seconde génération (Thematic Mapper et Spot) avec une résolution suffisamment précise pour analyser les éléments petits et hétérogènes du milieu urbain, constituent désormais une nouvelle source d'information.

Ces données localisées (points valués), homogènes, répétitives, facilement manipulables et qui couvrent de grandes surfaces, ne peuvent être négligées. Toutefois, il convient de les évaluer en fonction des besoins des urbanistes afin de voir dans quelle mesure elles sont utiles et quel type d'information elles peuvent apporter.

Dans ce but, à travers les résultats d'une recherche effectuée sur une image SPOT multispectral (20 mètres) du 10 mars 1986, nous tenterons d'apprécier l'intérêt des traitements d'images SPOT. Puis, nous évoquerons les nouvelles perspectives d'exploitation des images par l'utilisation de nouveaux moyens techniques.

OBJECTIF

Cette étude exécutée à la SEP (Société Européenne de Propulsion) sur le Système de Traitement d'Image VIPS32 est réalisée sur une zone au nord de Paris comprenant l'aéroport Charles de Gaulle. Zone choisie en raison des fortes pressions urbaines qui s'exercent sur cet espace. Dans le cadre de cette recherche, les deux objectifs suivants ont été fixés :



- Mise en évidence de la distinction espace minéral, espace végétal.
- Identification, à l'intérieur de l'espace minéral de différents types de bâti (habitat collectif, habitat individuel, bâti dense...).

Pour les atteindre, deux approches différentes de traitement d'image ont été utilisées. Les traitements ayant pour but de trier automatiquement l'information contenue dans l'image (processus de classification) par thèmes définis par l'utilisateur et, les traitements qui consistent à améliorer l'image d'origine en mettant plus particulièrement en valeur toutes les informations relatives à un thème précis (limite d'espace urbanisé, réseau de voirie...). Ces images améliorées sont ensuite interprétées visuellement.

DÉMARCHE

PREMIERE APPROCHE : LA SEPARATION DES INFORMATIONS

La classification supervisée :

Nous avons choisi une méthode de classification supervisée qui permet de déterminer le contenu des classes que l'on veut différencier. Pour cela, des échantillons connus représentant une classe (un thème précis) sont définis par l'utilisateur et servent ensuite de référence pour extrapoler la reconnaissance de chaque classe à toute l'image. La définition de ces échantillons constitue donc une étape importante puisqu'elle conditionne la qualité de la classification obtenue. Pour notre étude, les échantillons ont été relevés à partir des cartes Mode d'Occupation du Sol (MOS 1974 de l'AURIF). Au total, 35 parcelles (échantillons) sont déterminées pour classer l'image selon les onze postes suivants :

- 4 types de bâtis :
- n° 1 L'habitat individuel constitué de petites maisons avec jardins personnels donc de faible densité ;
- n° 2 L'habitat collectif (bâti discontinu) couvrant une surface au sol peu importante mais élevé en hauteur (tours) ;
- n° 3 Les activités qui incluent les bâtiments industriels, les entrepôts, les grandes surfaces commerciales ;
- n° 4 Le bâti mixte caractéristique des centres urbains qui comporte à la fois de l'habitat col-

lectif dense (sans espace interstitiel) et des maisons individuelles ;

n° 6 L'habitat collectif (bâti discontinu 1).

— 1 type d'espace particulièrement sensible :
n° 5 Les carrières en exploitation.

— 2 types de champs :

n° 7 Les champs clairs avec un taux de chlorophylle faible ;

n° 8 Les champs mixtes avec un taux de chlorophylle plus élevé.

— 2 types d'espaces arborés :

n° 9 Les espaces verts et boisés ;

n° 10 Les vergers.

— 1 type de réseau :
n° 11 Le chemin de fer (SNCF).

Une classification est ainsi réalisée à partir des trois canaux SPOT. La qualité des résultats fournis sont évalués quantitativement en connaissant le pourcentage total de points classés, et grâce à la sous-classification effectuée sur les échantillons. La cohérence des classes et la représentativité des échantillons est ainsi vérifiée. Malgré un taux de pixels classés de 93,90 % plusieurs remarques peuvent être faites :

Première remarque : On constate tout d'abord la difficulté de distinguer le végétal et le minéral notamment avec les classes champs mixtes (8), espace vert (9) et verger (10) qui se mélangent aux classes habitat individuel (1) et bâti mixte (4).

Deuxième remarque : Entre les classes urbaines même, il est difficile de différencier plusieurs types de bâtis comme par exemple l'habitat collectif (2 et 6) et l'habitat individuel (1), et le bâti mixte (4).

Troisième remarque : Les vérités terrain des classes champs clairs (7) et activités (3) sont les mieux classés.

Ces mélanges s'expliquent par le fait que des classes de contenu thématique pourtant différents prennent des valeurs radiométriques proches ou similaires sur l'image satellite. La classification s'effectuant à partir de ces valeurs, des objets différents se trouvent regroupés dans la même classe. Par conséquent, la radiométrie étant insuffisante pour différencier certaines classes proches, nous avons cherché à introduire en plus un autre paramètre afin d'améliorer cette discrimination et plus particulièrement pour les classes habitat individuel et habitat collectif. Celles-ci ayant des organisations au sol très distinctes (habitat individuel : bâti bas avec jardins, habitat collectif : haut avec espace interstitiel interne), on a choisi d'utiliser la composante spatiale de



Figure 1 : Amélioration de contours sur le Canal 1.

l'image comme paramètre. Pour cela on a cherché à créer un néocanal de structure en passant un filtre sur l'image.

Le néocanal spatial :

Ce filtre a pour but l'amélioration des contours existants et, particulièrement ceux situés au Nord Est. Cet opérateur fait ressortir les immeubles de l'habitat collectif. On obtient ainsi une information ponctuelle sur les contours des éléments de l'image qui sont renforcés et mettent en évidence la forme même et la disposition des bâtiments au sol. Ainsi, sur l'image filtrée du canal 1, on distingue facilement la structure de l'habitat collectif et de l'habitat individuel ainsi que l'organisation de l'aéroport Charles-de-Gaulle. Puis ce néocanal spatial a été combiné avec les informations spectrales des 3 canaux bruts.

Classification combinée avec le néocanal :

A nouveau une classification est réalisée sur les 3 canaux bruts et le filtre de contours, avec les mêmes échantillons. L'analyse des résultats montre que c'est tout d'abord la classe habitat individuel qui enregistre la plus forte augmentation ainsi sur la classe champs clairs. Le filtre a permis d'accroître la séparabilité entre les différentes classes urbaines qui ont toutes augmentées. On obtient ainsi une image avec un taux de points classés proche de celui de la première classification (93,19 % contre 93,90 % première classification) mais la cohérence interclasse s'est nettement améliorée.

La classification fournit une image thématique de façon « automatique », mais nous avons cherché à voir si le même type d'information pouvait être mis en évidence en utilisant d'autres méthodes de traitement d'image.

DEUXIÈME APPROCHE: L'AMÉLIORATION D'IMAGES.

L'Analyse en Composante Principale (ACP):

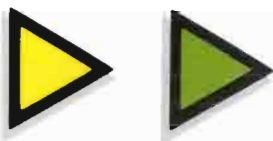
L'ACP est un traitement qui, à partir des trois canaux bruts, restructure différemment l'information qu'ils contiennent en trois facteurs (néocanal). On obtient ainsi trois nouvelles images.

Le filtre d'optimisation locale :

Ce filtre optimise les valeurs de l'image et met donc en évidence les différentes variations de radiométries.

Les ACP combinées :

A partir des images filtrées obtenues nous avons cherché à dégager des associations d'images complémentaires pour obtenir de nouvelles ima-



ges plus synthétiques permettant d'étudier à la fois plusieurs thèmes. Les combinaisons suivantes ont été retenues :









| canaux bruts C1 C2 C3 | NEO-CANAUX | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------|---|---|----------------------|--|---|--------------------------|---|--------------------|
| | facteurs d'ACP f1 f2 f3 | | | contours C1 C2 C3 | | | optimisation C1 C2 C3 | | |
| | * | * | | | | | * | * | ACP I combinée |
| * | * | * | * | | | * | | | ACP II combinée |

Tableau 1 : Combinaisons choisies.

ÉVALUATION DES RÉSULTATS

ANALYSE DE LA CLASSIFICATION AVEC LE NEOCANAL DES CONTOURS :

A partir de cette image (fig. 2) on a réalisé un graphique (graph. 1) à utiliser comme guide pour interpréter la classification.

Cette image comporte un certain nombre d'informations sur les réseaux de communications. En effet, on distingue tout d'abord facilement la voie ferrée (en ) et l'autoroute (en ) puis, viennent les routes nationales (en ) et certaines départementales (en ). On arrive même à voir une voie interne au bâti (en ). L'organisation des aéroports est aussi bien visible. Pour ce qui concerne le milieu urbain, cette classification est suffisamment précise pour pouvoir identifier 3 types de densité de bâti avec : en jaune l'habitat individuel peu dense () en brun rouge le bâti collectif en barres ou en tours () plus dense, et enfin en rouge et orange mélangé () , l'habitat mixte composé de bâtiments hauts et bas assez dense.

— Le type habitat individuel est « sur-représenté » par rapport à la réalité puisqu'on le retrouve dans l'espace rural mais, lorsqu'il est présent dans les zones comportant déjà des classes de bâti, il est cohérent avec la réalité. Par conséquent, on peut établir la règle d'interprétation suivante : si le jaune est environné de brun rouge ou de rouge orange, on peut considérer avec une certaine fiabilité que c'est effectivement de l'habitat individuel. Si au contraire, il est intégré dans du vert foncé, du bleu foncé, du vert clair ou de l'orange, il ne doit pas être pris en compte en tant qu'habitat individuel.

— On ne rencontre pas le même problème pour la classe bâti collectif au contraire mieux déli-

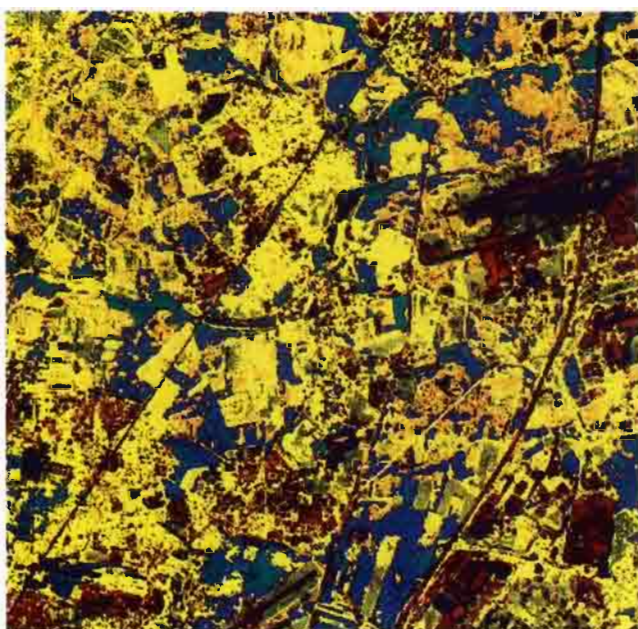
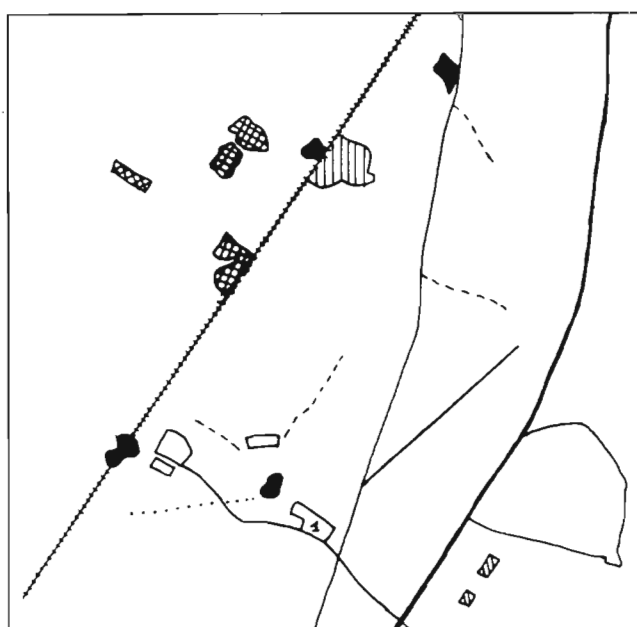



Figure 2 : Classification.




Graphique 1.

mitée spatialement (en croisillons). On constate cependant, après une analyse fine de l'image, qu'on peut distinguer des zones où la couleur brun rouge est homogène et d'autres où elle apparaît plutôt grenue. Ceci nous permet de différencier l'habitat réellement collectif de certains bâtiments industriels qui ont la même organisation spatiale.

On peut aussi localiser avec précision en rouge vif () d'autres bâtiments à vocation industrielle ou commerciale plus vastes que les précédents, en raison des matériaux particuliers utilisés pour leur toiture.

Pour ce qui est du domaine de l'espace non bâti, on a, avec une bonne précision, tous les espaces verts (vert foncé), ainsi que 3 types de champs (en bleu foncé, vert-jaune, et orange) correspondant à des cultures avec une activité chlorophyllienne différente ou nulle. Les carrières n'apparaissent pas car elles sont radiométriquement proches des sols nus.

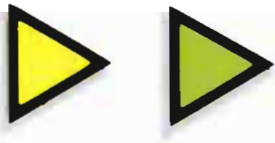
On distingue donc 9 classes sur cette image. Neuf classes dont la fiabilité a été vérifiée en comparant la classification (1986) à la carte MOS (Mode d'occupation du sol de l'IAURIF de 1974). L'image classée nous a ainsi permis d'identifier des zones nouvellement bâties que l'on a localisé (en  sur le graphique). Puis leur existence a été vérifiée sur des photographies aériennes de 1978. De cette manière, la précision des informations fournies par l'image classée a pu être évaluée.

La localisation établie à partir de l'image est plus grossière que celle extraite de la photo mais, cependant elle n'en demeure pas moins fiable puisqu'elle englobe de toute façon la zone de changement proprement dite. En revanche, pour ce qui concerne l'analyse du contenu du changement, l'image classée est aussi précise que la photo. Ainsi, le changement 1 (cf. graphique) à dominante brun rouge homogène correspond effectivement à une nouvelle zone industrielle.

Cependant, cette classification ne répond pas totalement à notre attente compte tenu de l'un des objectifs que nous nous étions fixés, à savoir la mise en évidence de la distinction espace urbain espace rural. Par conséquent, nous avons cherché à voir si cet objectif pouvait être atteint en utilisant des images améliorées.

ANALYSE DES IMAGES AMELIOREES :

Afin de pouvoir comparer les informations contenues dans chacune des images, leur évaluation visuelle est effectuée en fonction de mêmes



Facteur 1 de l'A.C.P.I.



Facteur 2 de l'A.C.P.I.

thèmes invariants. Ainsi, en rapport avec les objectifs de départ, les 5 thèmes suivants ont été retenus :

1. La voirie générale
2. La voirie interne (dans l'habitat collectif ou les centres ville)
3. La délimitation urbain/rural
4. L'habitat collectif
5. L'habitat individuel

Pour chaque image, un tableau d'évaluation avec 5 thèmes est élaboré. Enfin, un graphique est réalisé à partir des différentes images sur le thème de la délimitation urbain/rural.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP):

On constate ainsi que chaque facteur d'ACP privilégie des aspects thématiques différents comme nous pouvons le voir sur ce tableau :

| THEMES | f1 | f2 | f3 |
|---------------------|-----|------|-----|
| Voirie générale | ++ | +++ | +++ |
| Voirie interne | + | +++ | - |
| Limite urbain/rural | ++ | ++++ | - |
| Habitat collectif | +++ | + | - |
| Habitat individuel | + | +++ | - |

Tableau 2 : Evaluation thématique des facteurs d'ACP brute.

Le filtre d'optimisation locale :

Ce filtre met en évidence les différentes structures urbaines. Après analyse des images on obtient le tableau suivant :

| THEMES | C1 | C2 | C3 |
|---------------------|------|-----|-----|
| Voirie générale | ++++ | +++ | ++ |
| Voirie interne | ++ | ++ | - |
| Limite urbain/rural | +++ | +++ | ++ |
| Habitat collectif | +++ | +++ | +++ |
| Habitat individuel | +++ | +++ | - |

Tableau 3 : Evaluation thématique de l'optimisation locale.

On remarque que les canaux filtrés 1 et 2 donnent les mêmes informations intéressantes sur l'habitat individuel et sont complémentaires du canal 3 filtré qui met plutôt en évidence l'habitat collectif.

Les ACP combinées :

— Résultats de l'ACP I :

Au niveau des images produites, ces facteurs privilégient des aspects thématiques différents comme nous pouvons le voir sur ce tableau.

| THEMES | F1 | F2 |
|---------------------|-----|-----|
| Voirie générale | ++ | +++ |
| Voirie interne | ++ | +++ |
| Limite urbain/rural | ++ | +++ |
| Habitat collectif | +++ | + |
| Habitat individuel | + | +++ |

Tableau 4 : Evaluation thématique des facteurs d'ACP combinée I.



F'1



F'2



F'3



Figure 3 : Graphique d'interprétation sur le thème urbain/rural.(image : F'3 de l'ACP II)

Dans cette ACP, le facteur 1 assez bon pour tous les aspects thématiques est synthétique. Mais, en revanche, le facteur 2, contenant un plus faible pourcentage d'«information», donne pourtant thématiquement beaucoup d'informations notamment pour permettre la délimitation entre les milieux urbains et ruraux et l'identification de l'habitat individuel avec sa structure de voiries internes.

— Résultats de l'ACP II :

Cette ACP permet d'obtenir des images très complémentaires, comme le montre le tableau suivant :

| THEMES | F'1 | F'2 | F'3 |
|---------------------|-----|-----|------|
| Voirie générale | ++ | +++ | ++ |
| Voirie interne | + | - | +++ |
| Limite urbain/rural | ++ | + | ++++ |
| Habitat collectif | ++ | + | + |
| Habitat individuel | + | + | +++ |

Tableau 5 : Evaluation thématique des facteurs d'ACP II.

L'analyse visuelle des images résultantes montre l'intérêt de l'ACP II en raison de son aspect synthétique. Elle permet de disposer à la fois d'un facteur «spectral» (F'1), d'un facteur «spatial» avec les contours (F'2), et d'un facteur «spectral et spatial» (F'3). Chacun d'eux valorisant un thème spécifique : habitat collectif (F'1), voirie (F'2), habitat individuel (F'3). La figure 3 portant sur le thème de la délimitation urbain/rural a été établie à partir des différentes images améliorées.

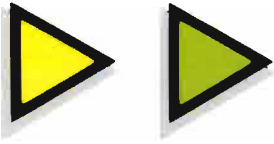
LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

LES DIFFICULTES D'EVALUATION :

Nous avons rencontré une première difficulté pour évaluer la qualité et la cohérence des classifications. En effet, l'évaluation quantitative à partir des résultats de la sous-classification des échantillons et le pourcentage total de points classés, ne nous permet pas de rendre compte de l'intérêt thématique et visuel de l'image (comme l'homogénéité des couleurs par exemple). Ainsi, la seconde classification malgré un pourcentage total de points classés inférieur, est meilleure du point de vue thématique.

D'autre part, il est difficile de déterminer avec précision la fiabilité de la classification obtenue.

On peut effectivement dire que la cohérence de la seconde classification a été améliorée, mais



on ne peut pas prétendre à une fiabilité absolue. Et, ceci d'autant plus que certaines « erreurs » thématiques dans l'image classée (exemple :

industries classées en bâti collectif) s'expliquent par des limitations liées au type de données utilisées qui ne permettent pas de traduire des nuances thématiques (la fonction d'un bâtiment n'est pas visible sur les images). Toutefois, une image avec un bon taux de points classés et, exécutée à partir d'échantillons connus, permet d'obtenir automatiquement, et ce sur une grande portion du territoire, un état de l'occupation du sol assez précis.

A l'inverse, une information encore plus fiable peut être obtenue par interprétation visuelle d'images améliorées. Mais, ce travail effectué manuellement a l'inconvénient de ne pas fournir rapidement des résultats comme avec une classification. Cependant, en comparaison avec une interprétation réalisée sur une image brute, le travail est en quelque sorte déjà « défriché » puisque les traitements appropriés ont permis de mettre en évidence plus particulièrement certaines informations de l'image. Par là même, les images améliorées semblent constituer un intermédiaire utile entre l'image classée (et donc en quelque sorte déjà analysée) et l'image brute à interpréter. D'autre part, il est difficile d'évaluer précisément la qualité respective des images améliorées puisqu'elles ne sont jugées qu'en fonction de leur intérêt thématique visuel, ce qui introduit une certaine subjectivité. Il n'est donc pas possible de justifier quantitativement l'utilisation d'une image plutôt qu'une autre pour étudier un thème.

LES DIFFICULTÉS TECHNIQUES :

Une fois les images obtenues, le problème de leur exploitation se pose à l'utilisateur. Pour cette étude, nous avons effectué manuellement l'interprétation des images mais, cependant cette méthode ne permet pas d'exploiter convenablement et totalement les images.

En effet, bien que porteuses d'informations, les images renseignent uniquement sur les aspects physiques des objets au sol, et, elles ne sont réellement utiles que si elles peuvent être complé-

tées par des informations fonctionnelles diverses (limites administratives, utilisation du bâtiment...) non visibles sur l'image.

Il faut donc effectuer un croisement de données afin d'intégrer aux images des informations exogènes provenant de sources traditionnelles (cartes, plans, statistiques...). Par exemple, il aurait été intéressant de croiser le chiffre de population communale avec la superficie de la surface bâtie extraite d'une image améliorée (facteur 2 de l'ACP) pour obtenir un indice de densité plus précis et plus proche de la réalité que celui généralement calculé par rapport à la superficie totale de la commune. De la même manière, la superficie des changements aurait pu être déduite de l'image.

Cependant, pour pouvoir réaliser ce type de travaux, il est tout d'abord nécessaire de constituer une base de données centralisant toutes les données utiles et d'en assurer la gestion et la mise à jour régulière. Mais, il faut aussi disposer d'un outil pour établir l'interface entre ces données existantes et les images satellites.

C'est le rôle des Systèmes d'Information Géographique (SIG) puisqu'ils permettent la superposition d'un graphique sur une image. Il est donc possible de les utiliser à la fois pour ajouter à l'image des informations exogènes, en créant un graphique de complément, et pour extraire de l'image des informations (thématiques comme nous l'avons fait ici, ou statistiques) en créant un graphique d'interprétation. Bien que ces graphiques soient réalisés manuellement à l'aide d'un curseur, les SIG offrent une grande souplesse en rendant toute modification du dessin facilement réalisable. De plus, ils gèrent la superposabilité graphique/image en tenant compte des variations d'échelles et de projections cartographiques entre les différents documents utilisés. Ces systèmes en permettant de réaliser la synthèse entre des données d'origines différentes ouvrent de nouvelles perspectives d'utilisation des images satellites.

Ayant la possibilité de disposer d'un tel système, une étude portant sur l'évolution de l'urbanisation en Ile-de-France à partir de cartes, de photographies aériennes, de plans, de statistiques et d'images satellites est envisagée.



M. CAMPAGNE
Institut Géographique National

SUIVI DE LA CROISSANCE URBAINE : LE CAIRE

OBJECTIF

Historique et suivi de la croissance urbaine par photointerprétation d'images satellite.

DÉMARCHE

La collecte d'une série d'images satellitaires sur plusieurs années (typiquement depuis 1973) permet de dégager la logique de développement d'une agglomération importante. Par simple interprétation visuelle des images, qu'elles soient de Landsat, SPOT ou d'une autre source synoptique, l'organisation temporelle du développement de la zone urbanisée est facilement dessinable sur un plan d'ensemble. En effet, le thème urbain ainsi que les principaux réseaux peuvent être perçus avec une bonne confiance, ce qui permet leur report sans erreur de positionnement, même si les images n'ont pas été redressées géométriquement.

L'exemple du CAIRE est, à l'égard de l'évolution rapide, très parlant. Sur les images présentées, la dégradation de la vallée fertile du Nil au profit d'un habitat spontané ou tout au moins incontrôlé est « remarquable ». Ainsi la bande de GIZA qui mène aux Pyramides s'est densifiée fortement entre 76 et 85. L'image de 76 provient du capteur MSS et celle de 85 de TM.





MSS 02/76 C. IGN 1986



TM 02/85 C. IGN 1986

APPORT AUX AMÉNAGEURS

L'historique et le suivi annuel peuvent également concerner un phénomène local à variation temporelle rapide, par exemple.

- l'ensablement d'un estuaire
- le recul du front de mer
- l'enneigement d'un massif montagneux

L'approche par une photo-interprétation monothématique sur une surface faible s'avère économique et de mise en œuvre rapide et souple.

DIFFICULTÉS

Des difficultés peuvent surgir si :

- les images antérieures ne sont pas disponibles bien sûr
- la qualité des films n'est pas suffisante (un simple prétraitement radiométrique sera alors bénéfique)
- la différence entre les périodes des années masque l'évolution.

COÛT - DÉLAI

Les coûts d'interprétation d'une image sont faibles pour une zone restreinte et l'extraction d'un seul thème. De plus, le travail peut être réalisé sans traitement numérique si la qualité des films est bonne. Ainsi le coût total ne prendra en compte — ou presque — que l'achat des films nécessaires agrandis au format de travail approprié et la phase de report sur un document de référence (cf tarif produits photographiques). Les délais sont ceux d'acquisition des données.



P. CAMPAGNE
Institut Géographique National

IMAGE EN 3 DIMENSIONS DE LA VILLE DE NICE

OBJECTIF

Calcul automatique de vue perspective à partir d'images numériques.

DÉMARCHE

Perspective sur un extrait d'image SPOT, région de NICE.

Un tel document repose sur le croisement d'un modèle numérique de terrain (MNT) et d'une image XS multispectrale SPOT de la même zone. Ces deux données doivent être parfaitement superposables et de résolution comparable (ici respectivement 40 et 20 mètres). Le point de vue simulé est choisi par l'opérateur. L'extrait de l'image SPOT du 24/08/86 est restitué en composition colorée classique et couvre 10x12 kms. Le MNT est tiré de la base de données de l'IGN.

On constate l'harmonie entre l'extension de la ville et la morphologie du terrain.

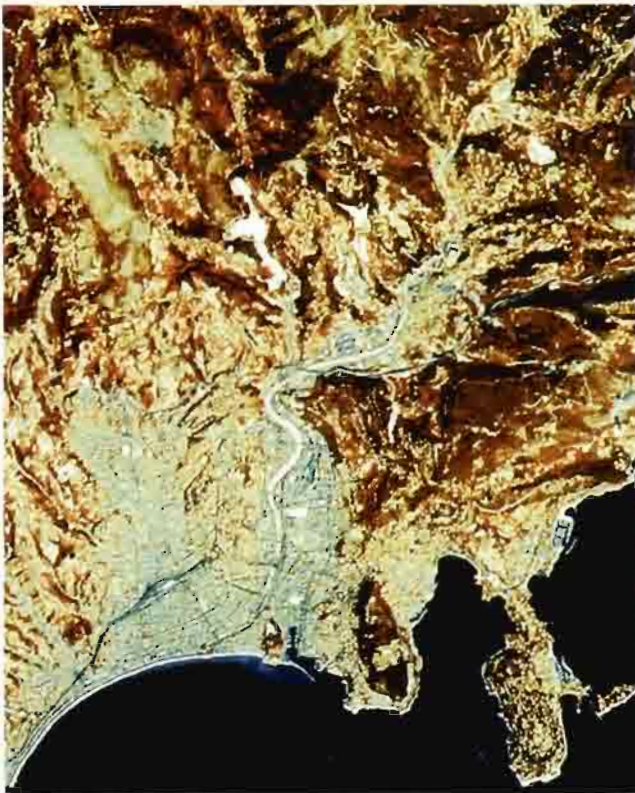
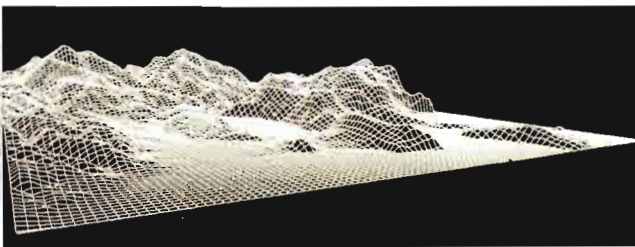
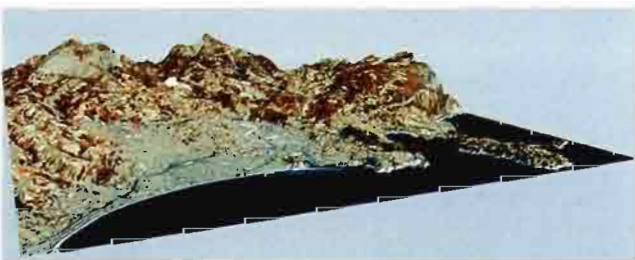


Image SPOT - XS - 24 août 86 - Résolution 20 m
zone extraite 10 x 12 km, projection Lambert III composition colorée



Bloc-diagramme à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT)



Perspective obtenue



APPORT AUX AMÉNAGEURS

La visualisation de la troisième dimension d'une zone en facilite assurément la connaissance.

Le support est une image satellite (SPOT pan-chromatique par exemple), voire une photographie aérienne numérisée. Divers traitements peuvent lui être appliqués : mise en couleurs pseudo-naturelles surcharges topographiques, classification.

DIFFICULTÉS

Assurément, la contrainte majeure est la puissance de calcul nécessaire à ce produit. Il a fallu en effet 5 heures CPU sur un VAX 750.

La superposition géométrique ne soulève aucune difficulté, quelques erreurs résiduelles perçues de façon criante parfois (contact - mer falaise !). Pas de perception des superstructures.

En ce qui concerne son opérationnalité (contrainte matérielle surtout), il faut un traiteur (d'image) avec :

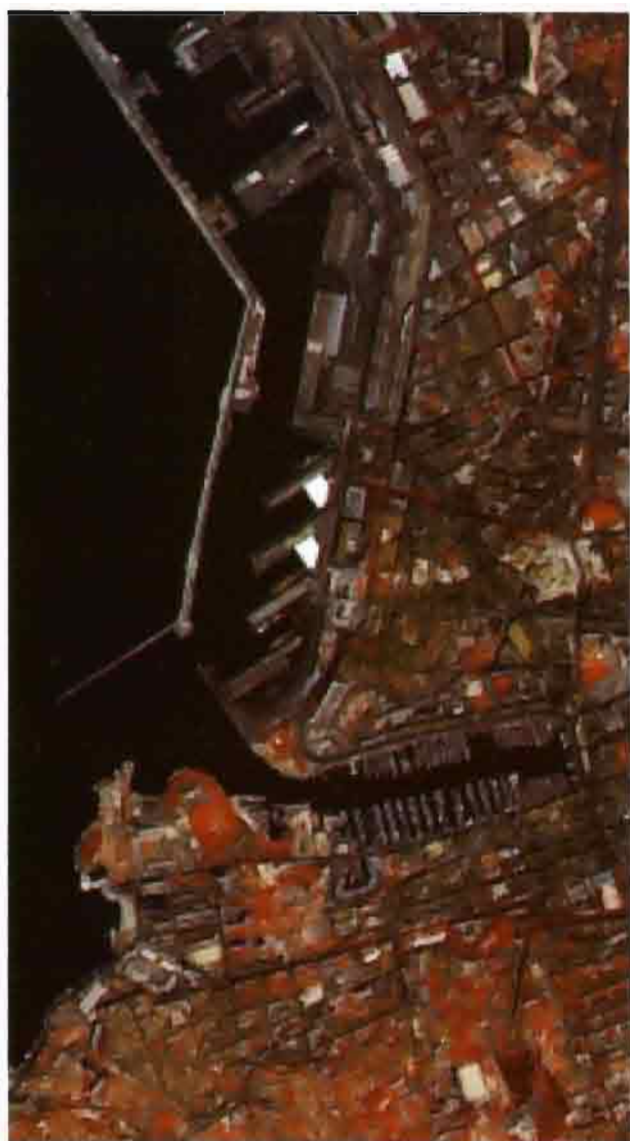
- gros potentiel de calcul (au moins niveau 750 VAX)
- logiciel de correction de Niveau 3 d'image SPOT ou de photo aérienne.

COÛT - DÉLAI

L'ordre de grandeur est de 40 000 F et les Délais : à partir de la réception de l'image, 15 jours minimum.



M. CAMPAGNE
Institut Géographique National



Document produit par le département de télédétection de l'Institut Géographique National.
Données Spot sous licence Spot-Image © CNES-I.G.N. : Paris 1987.

PEPS Aix-Marseille n° 89 1:25 000
Image 50/263 P+XS du 12/05/86 Résolution: 10 m Niveau 3

DÉFI DE LA RÉSOLUTION SATELLITAIRE EN MILIEU URBAIN (MARSEILLE)

OBJECTIF

Le pseudo-multispectral SPOT à 10 mètres ou le défi de la résolution satellitaire en milieu urbain.

Comment combiner la résolution du panchromatique de SPOT à l'information radiométrique du multibande SPOT.

DÉMARCHE

L'illustration d'une technique de mixage opérationnelle vous est proposée par une image sur la ville de MARSEILLE ; La combinaison des deux modes d'enregistrement simultanés du satellite s'effectue selon le processus suivant :

- recalage géométrique d'une image sur l'autre et en superposition à la carte
- rééchantillonnage à 10 mètres du multispectral sans tenir compte de l'information panchromatique
- Calcul de corrélations locales entre le panchromatique et le multispectral pour affiner le rééchantillonnage et rehausser le contraste
- restitution de l'image finale qui « supporte » aisément l'échelle du 1/25 000.

111



APPORT AUX AMÉNAGEURS

Même si on ne peut qualifier le résultat du mixage, que, de pseudo 10 mètres (l'algorithme de corrélation ne restitue qu'imparfaitement le pixel qu'un satellite de meilleure résolution capterait, surtout dans le proche-infra rouge), l'exploitation de l'imagerie SPOT à une échelle du 1/25 000 est déjà mieux adaptée au travail de l'urbaniste.

La synthèse des informations « couleurs » et de la résolution noir et blanc tire le meilleur profit des compétences du capteur. Le document final sera surtout apprécié des photo-interprètes qui ont dorénavant accès à une vision infra-rouge satellitaire de finesse comparable à celle du visible.

Toute une gamme de mixages est disponible à partir des différents satellites. Citons encore les combinaisons SPOT et TM dont les images se marient admirablement.

DIFFICULTÉS

Le point noir du produit proposé n'est autre que son coût de réalisation. En effet, outre l'achat de deux images numériques, il nécessite des traitements gourmands de temps de calcul et de place mémoire. D'autre part, le choix de dates rapprochées est souhaitable pour assurer une meilleure estimation de la valeur radiométrique du « pseudo-pixel » de sortie.

COÛT - DÉLAI

Le coût d'un tel traitement s'élève à 50 - 60 KF, achat d'images inclus, sorties graphiques non comprises.



Madame GIRARD
Paris Grignon, Géobotanique
78850 Thiverval-Grignon

FRICHES DANS LA PLAINE DE VERSAILLES

OBJECTIF

Cette étude fait ressortir les relations géographiques et économiques existant entre la localisation de friches (souvent d'origine économique) avec les caractéristiques du milieu naturel, agricole et humain en zone où l'urbanisation d'anciennes communes rurales progresse rapidement.

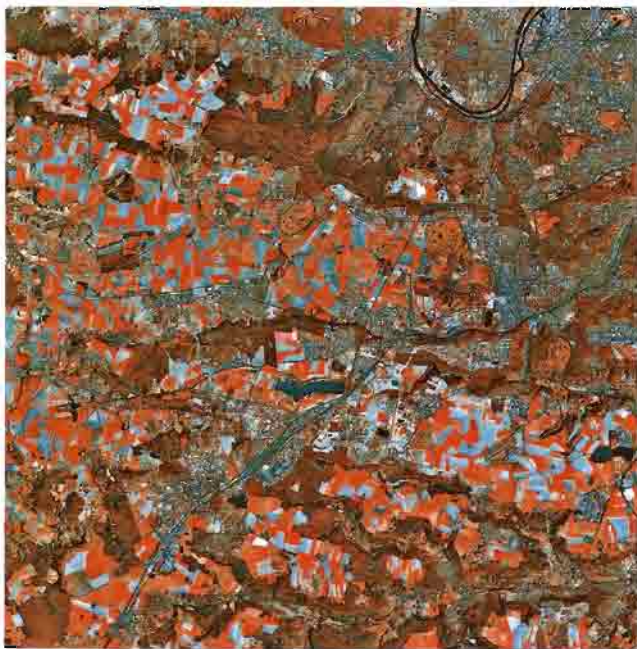
Le résultat en est une carte de localisation d'où l'on peut tirer un certain nombre de conclusions concernant les liens entre ces friches et le milieu agricole et urbain.

DÉMARCHE

Description de l'interprétation : celle-ci a été réalisée sur un agrandissement approximativement au 1/50 000 : on a différencié les différents types d'occupation du sol en fonction de leur valeur spectrale traduite par différentes couleurs sur la composition colorée. On distingue particulièrement bien les friches par leur couleur blanc jaunâtre très clair.

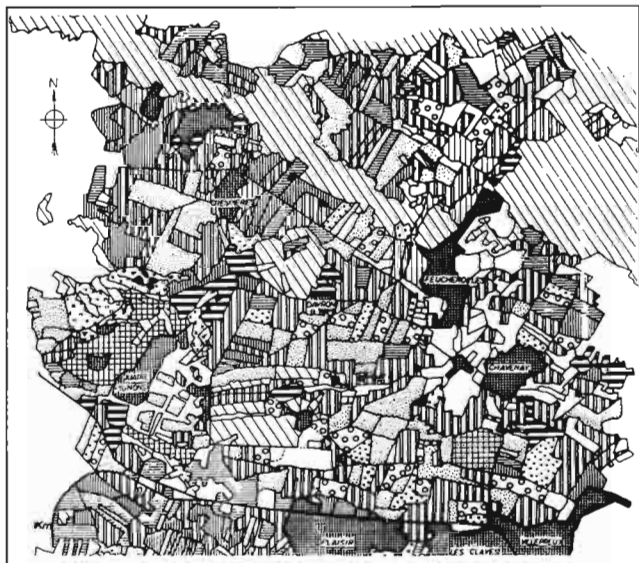
En effet à cette date, la végétation de ces friches à dominante herbacée, manifeste une activité chlorophyllienne nulle, donc elle réfléchit beaucoup dans le visible et relativement peu dans le proche infrarouge.

On constate dans cette région très urbanisée selon des noyaux urbains situés près des axes de circulation : chemin de fer (Plaisir, les Clayes, Villepreux) ou routiers (Cresprières, Feucherolles, Chavenay), la présence de nombreuses friches. Elles sont de tailles variables, mais toutes localisées sur les flancs raides des cuestas, dans des zones peu propices à l'exploitation agricole. Leur éloignement des zones actuellement urbanisées explique en partie leur abandon actuel. Elles ne sont plus utilisées à des fins agricoles et risquent de passer dans un avenir plus ou moins proche en zone à bâtir, les propriétaires attendant le



LANDSAT TM 30.4.1984. Image

113



| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Agglomerations, zones bâties | Luzerne |
| Friches (pelouses semi-naturelles) | Prairies permanentes |
| Pré-bois | Calza d'hiver |
| Pelouses plus ou moins naturelles | Blé |
| Forêts de feuillus | Céréales d'hiver (autres que blé) |
| Plantations de résineux | Céréales de printemps |
| Vergers, maraîchage | Maïs |
| | Autres cultures |

moment propice (ou le règlement de successions compliquées) pour les proposer à des promoteurs immobiliers.

La zone bâtie appelée Val des Quatre Pignons est un exemple de lotissement de ces friches réa-lisé il y a une dizaine d'années. Un sort analo-gue guette toutes les autres surfaces en friche dans un avenir plus ou moins proche, à moins qu'une production agricole, adaptée aux condi-tions écologiques, et de bon rapport ne permette d'en retrouver une utilisation agricole.

APPORT AUX AMÉNAGEURS

Une telle interprétation visuelle est aisée à réa-liser, et d'un coût limité (1 journée d'interpréta-tion visuelle pour un interprète qui connaît bien la région). Elle demande peu de moyens tech-niques.

Les renseignements qu'elle apporte peuvent être utilisés au niveau des municipalités ou d'un con-seil régional, ou d'un institut d'urbanisme... en faisant ressortir les zones encore rurales : à pro-téger et aménager, et celles où le territoire, déjà limité, suppose une urbanisation plus forte per-mettant de boucher les « trous » existant sou-vent plus néfastes que souhaitables quand ils ne sont pas aménagés.

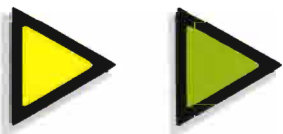
DIFFICULTÉS

Les inconvénients, inhérents au type d'interpré-tation, sont une absence d'automatisation, sinon les données Landsat TM sont assez précises pour que l'on puisse étudier la structure des zones déjà loties, en évaluer le taux de végétation/béton...

COÛT - DÉLAI

COÛT : Celui des compositions colorées TM (celle-ci a été réalisée par la SFERES) à la de-mande de l'I.A.U.R.I.F.

Délai : résultat cartographique : inventaire de l'occupation du sol par interprétation visuelle de cette composition colorée : 1 journée.



F. DIEBOLD M. MESSELS A. SERRADJ :
Agence d'Urbanisme pour l'Agglomération
Strasbourgeoise

TÉLÉDÉTECTION ET PAYSAGES URBAINS

OBJECTIF

— Evaluer si les images satellitaires offrent la possibilité :

- de différencier des occupations urbaines du sol avec une finesse suffisante (aspects qualitatifs)
- de mesurer les surfaces occupées par type (aspects quantitatifs)

— Déterminer si les images satellitaires permettent de mesurer des évolutions quantitatives et qualitatives de l'occupation du sol.

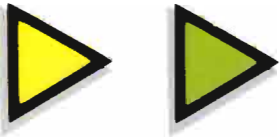
Seul le premier objectif du travail a été atteint pour le moment.

La présence à Strasbourg d'une équipe universitaire ayant mis au point une méthode d'analyse des images satellitaires (UA 902.CNRS/Université Louis Pasteur), et la nécessité de poursuivre un travail d'évaluation de la consommation de sol commencé sur la base des cartes au 1/25 000 produites par l'Institut Géographique National en 1957 et 1979, ont incité l'Agence d'Urbanisme à utilisé la télédétection satellitaire.

DÉMARCHE

Dans le cas présent ont été utilisées les images fournies par le satellite Landsat TM, qui observe la surface du sol dans 7 bandes de longueurs d'ondes.

Trois phases principales de transformation des données brutes se sont succédées.



Strasbourg : composition colorée des canaux Landsat TM 4, 7, 1 juillet 1984.

– **Des données brutes à l'image en « composition colorée ».**

Les données recueillies par les capteurs sont d'abord corrigées des effets du mouvement du satellite sur sa trajectoire. Ensuite, elles sont traitées numériquement et contractées en un nombre donné de valeurs pour pouvoir être transformées en images.

Ce traitement est effectué pour chacune des longueurs d'ondes relevées. Ensuite en sélectionnant trois de ces canaux une image peut être composée. Pour le présent travail afin de mieux évaluer les possibilités offertes, deux zones d'étude ont été sélectionnées :

- le centre de Strasbourg et ses faubourgs les plus proches,
- un secteur périphérique au sud-ouest de Strasbourg, essentiellement rural, mais incluant cependant les franges de l'agglomération.

Strasbourg : occupation du sol 7-84.



– **de la composition colorée aux occupations du sol.**

Sur la composition colorée sont sélectionnés un certain nombre d'échantillons, essentiellement en fonction de leur couleur et de leur homogénéité dans cette couleur.

Ces échantillons sont repérés sur le terrain, afin de pouvoir, pour chacun d'entre eux, attribuer un type d'occupation du sol.

Les échantillons pour lesquels les occupations du sol observées sont jugées suffisamment caractéristiques, sont retenus pour amorcer la phase suivante de classification des données. En simplifiant à l'extrême, il s'agit ici de s'assurer que toutes les données recueillies peuvent être rangées avec une précision statistique satisfaisante dans l'ensemble des groupes formés par les échantillons retenus.

Dans le cas présent le nombre initial d'échantillons était de 57, et le nombre d'occupations du sol finalement retenu a été de 24 pour la zone urbaine.

| | |
|---|---------------------------------|
| Urban très dense (centre ville) | } Parcs |
| Urban dense homogène | |
| Faubourgs | } Jardins et cult maraichères |
| Urban dense hétérogène anciens | |
| Urban dense, tissu discontinu | } Bois et Forêts |
| Tissu aéré, dominante de villas | |
| Activités industrielles, commerciales et ferraires | } Zones de loisirs de plein air |
| Aires de stationnement, places minérales et dégagements | |
| | } Zones agricoles |
| | |
| | } Industrie du bois |
| | |
| | } Plans d'eau |
| | |

– Des occupations du sol aux paysages urbains.

On rappellera ici que l'objectif du travail est de vérifier que les images satellitaires donnent effectivement un moyen d'évaluer des occupations du sol ou leurs variations à une échelle du 1/25 000.

A cette échelle, la précision obtenue à la fin de l'étape précédente est inutile — et sous réserve de vérification — illusoire. C'est pourquoi, les images obtenues à la fin de l'étape précédente sont simplifiées. On passe ainsi à des occupations du sol, assez nuancées, qui font référence à la réglementation de l'usage du sol, à des paysages urbains.

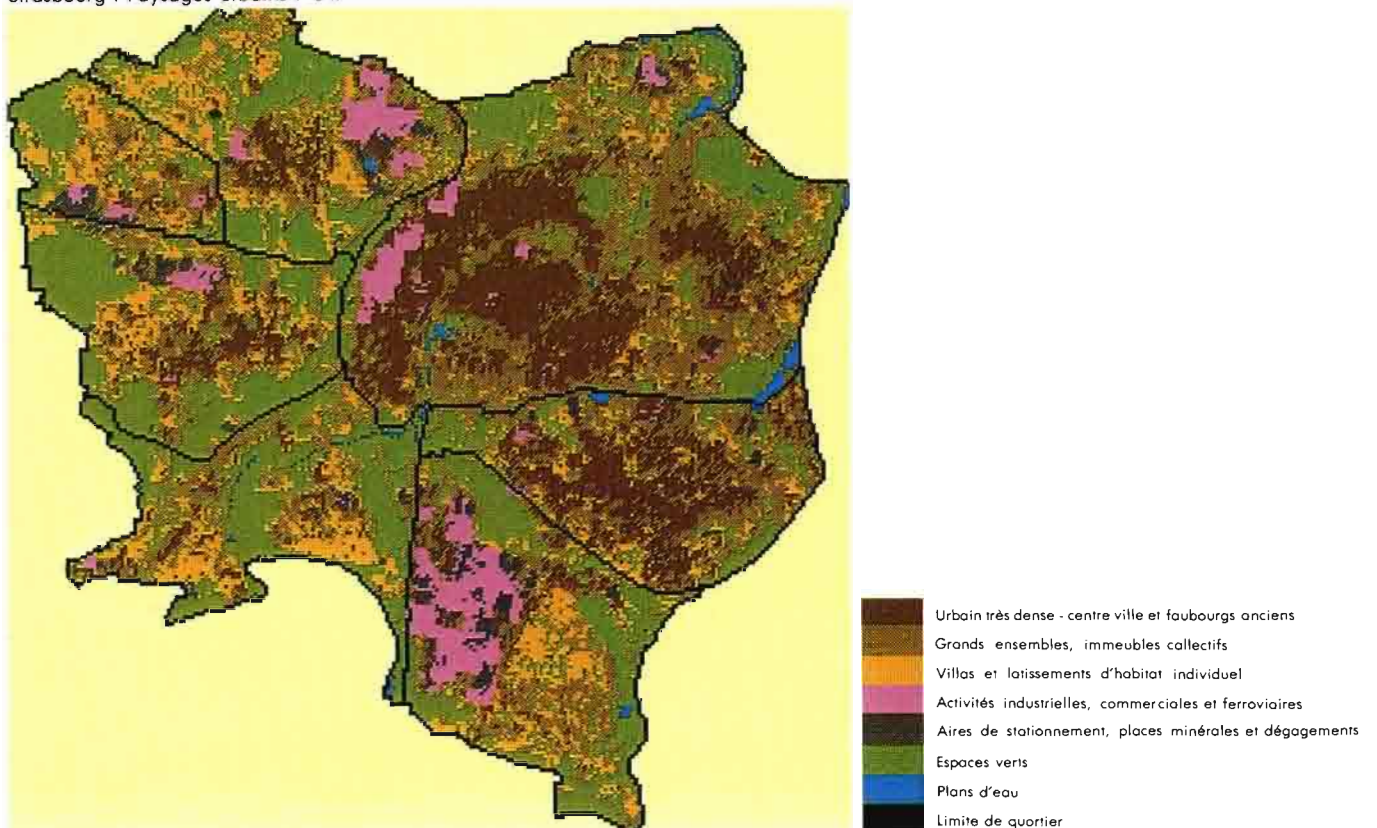
A noter qu'à n'importe quelle étape du processus décrit ci-dessus, un découpage administratif, statistique, ou fonctionnel du territoire peut être superposé.

APPORT AUX AMÉNAGEURS

On a la possibilité d'éditer les images par type de paysage, et donc de disposer de cartes par paysage d'une agglomération.

Naturellement puisqu'il s'agit d'images numériques, l'évaluation des surfaces par type de paysage est immédiate.

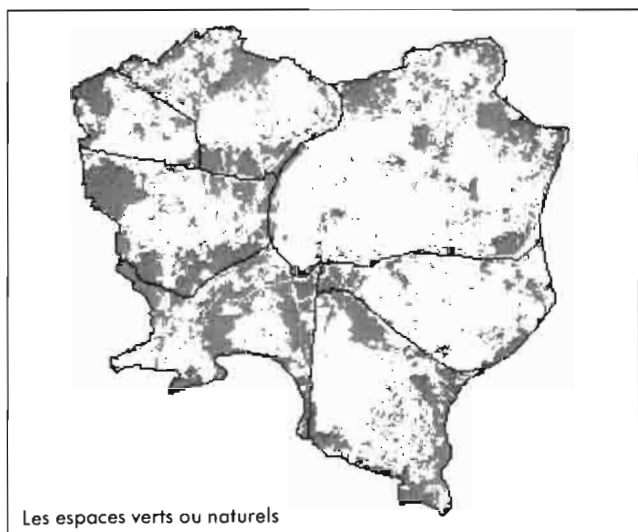
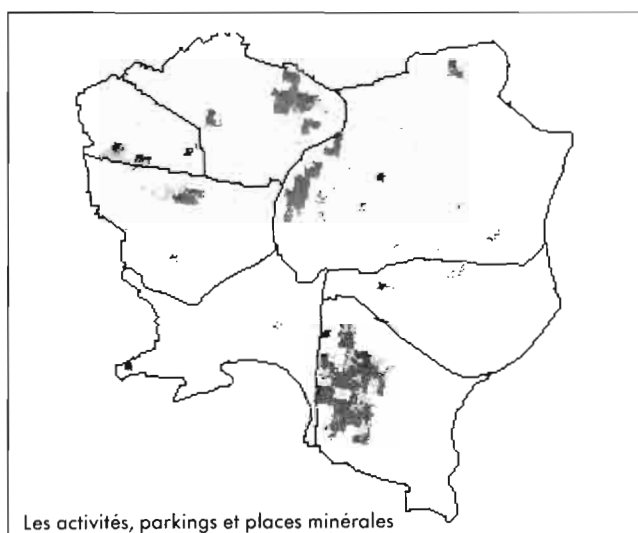
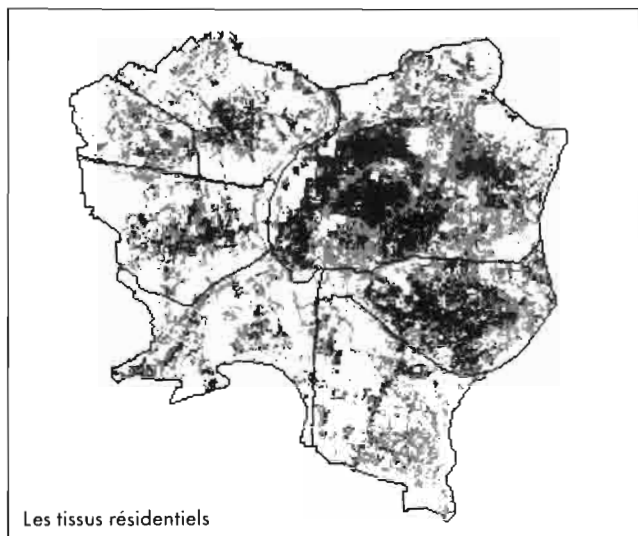
Strasbourg : Paysages urbains 7-84.



COUT - DÉLAI

Plusieurs paramètres définissent les coûts de traitement et de mise en forme graphique des données de télédétection : temps de calcul sur l'ordinateur IBM 3081 du C.N.R.S. de Strasbourg, utilisation des périphériques graphiques, etc. La durée des traitements varie évidemment en fonction de la taille des images à représenter et de la complexité de celles-ci.

En ce qui concerne les paysages décrits dans le document : TÉLÉDÉTECTION ET PAYSAGES URBAINS, ceux-ci se traduisent par un temps de calcul « global » — calculs statistiques, représentations graphiques, etc — de 150 minutes.





C. PEDRON
Service d'Informatique Technique
de la mairie de TOULOUSE

CALCUL, OPTIMISATION ET MAINTENANCE DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

OBJECTIF

Il s'agit de calculer automatiquement, à partir d'une image SPOT classée d'une part et de fichiers numériques référencés en LAMBERT III d'autre part, les coefficients de ruissellement des divers bassins versants urbains.

L'objectif est de permettre un calcul rapide, fiable et facilement renouvelable (mises à jour) de paramètres (coefficients de ruissellement, débit maximum) nécessaire aux calculs des réseaux d'assainissement.

Sur les sites déjà développés :

- Optimisations
- Mises à jour
- Calculs sur zones en voie d'urbanisation

Sur les sites en voie de développement :

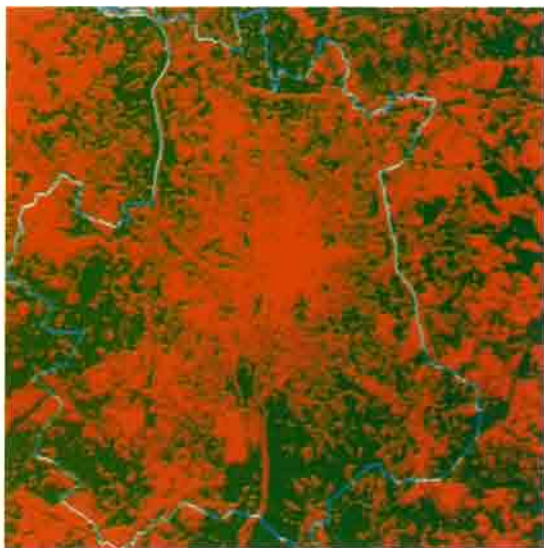
- Réalisation de la phase de calcul des divers paramètres avant la mise en place du réseau.

DÉMARCHE

Les formules de pluviométrie utilisées dans la plupart des services d'assainissement des grandes métropoles (formules de Caffort) sont des formules empiriques qui permettent de calculer le débit maximal que l'on peut s'attendre à enregistrer sur une ville, dans une période de temps donnée. Cette période est appelée fréquence de



Scène en mode «P+XS thématique»
du 23.9.86



Classification semi-automatique
Vert : végétation
Rouge : non-végétation

dépassement (F). Le débit de la pluie correspondant à la fréquence de dépassement est donné par la formule :

$$Q(F) = K^{1/u} \cdot p^{v/u} \cdot C^{1/u} \cdot A^{w/u}$$

avec :

$$F = \frac{\text{Quantité d'eau déversée}}{t}$$

t : durée de la pluie maximale périodique en minutes

$$(5 < t < 20)$$

K, u, v, w : constantes fonction de a (F) et b (F) sachant que :

$$i(t, F) = a(F) + t^{b(F)}$$

avec :

i(t, F) : intensité maximale de la pluie de durée t et de fréquence de dépassement F.

Bassin versant : surface qui déverse ses eaux de ruissellement vers un même point

P : pente du bassin versant

C : coefficient de ruissellement du bassin versant

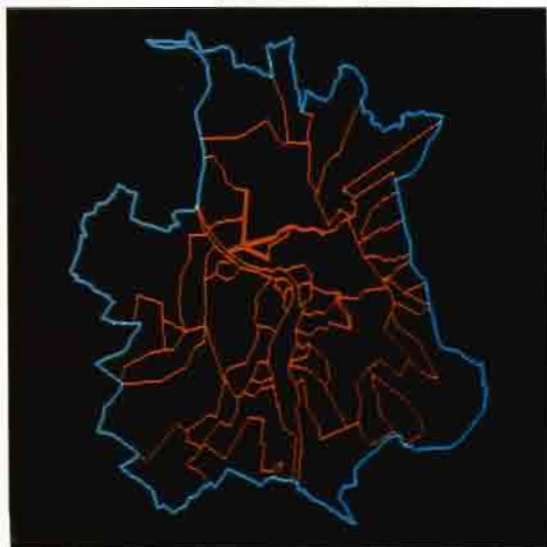
$$C = \frac{A'}{A}$$

A' : surface artificialisée du bassin versant urbain
A : surface totale du bassin versant urbain

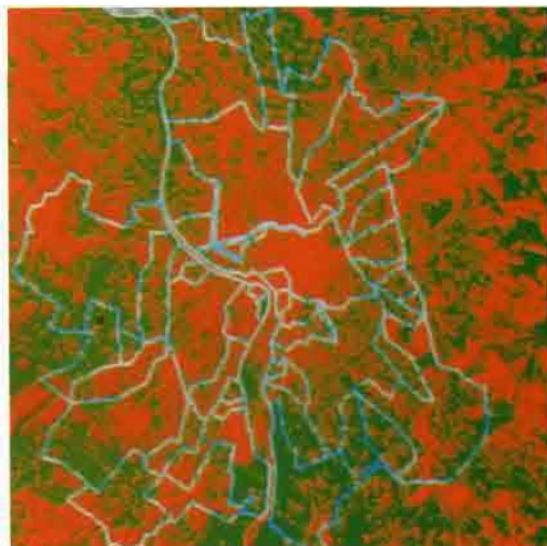
Jusqu'à présent, les calculs des surfaces étaient réalisés sur photographies aériennes au 4 000^e. Il s'agit d'un travail très lourd de mise en œuvre. Il faut pouvoir disposer de photographies aériennes les plus récentes possibles ce qui, dans le meilleur des cas, représente un décalage entre le moment de la prise de vue et le moment du calcul de quelques mois. Auquel cas, en zone péri-urbaine notamment, il s'avère souvent nécessaire d'aller confirmer sur le terrain l'état effectif de certains îlots.

Une fois ce travail réalisé, il faut mosaïquer les photographies aériennes bassin versant par bassin versant. Il faut savoir qu'une agglomération comme TOULOUSE est découpée en une cinquantaine de bassins versants de taille variant de 1,5 à 100 hectares, ce qui représente la manipulation d'un très grand nombre de photographies.

La première étape consiste donc à extraire de l'image SPOT l'information thématique «surfaces artificialisées», assimilées aux «surfaces sans



Fichiers numériques des bassins versants et de la limite de commune après rastérisation.



Superposition : image classée et fichiers des bassins versants.



Calcul automatique des coefficients de ruissellement par bassin versant.

activité chlorophyllienne». Une classification est ensuite réalisée avec extraction des deux classes complémentaires : «surfaces à activité chlorophyllienne» et «surfaces sans activité chlorophyllienne».

Les bassins versants sont présents en banque de données sous forme de fichiers numériques référencés en Lambert III. Ces fichiers sont rastérisés (passage au format « image ») et superposés à l'image SPOT classée. Le calcul des surfaces est réalisé par simple comptage des pixels à l'intérieur de chaque zone.

Cette démarche a été appliquée à la commune de TOULOUSE disposant d'une banque de données urbaines référencée en Lambert III et constituée à partir d'un aéro-canevas de points.

Pour notre étude, nous nous en sommes tenus à la détection des surfaces en végétation, elles-mêmes assimilées aux surfaces non-artificialisées. L'erreur introduite par la présence d'arbres sur surface artificialisée a été estimée et représente une très faible proportion de la mesure globale.

La classification de la végétation est réalisée à partir de l'indice de végétation. Le résultat a été comparé à une mosaïque de photographies aériennes. L'image classée cartographie très précisément toutes les surfaces en végétation répertoriées sur la mosaïque.

Les coefficients de ruissellement calculés par notre méthode ont été comparés, sur cinq bassins versants test, à ceux obtenus par comptage sur un maillage millimétrique, sur photographies aériennes au 8000^e.

Les résultats montrent de faibles variations pour les zones n'ayant pas subi de grands changements entre la date de prise de vue des photographies aériennes (1983) et la date de prise de vue de l'image satellite.

En conclusion, l'erreur de la mesure SPOT est de l'ordre de 5 % par rapport à la mesure classique sur photographie aérienne. Ce chiffre est de moitié inférieur au taux d'incertitude jugé acceptable a priori par le service de l'assainissement (10 %).



APPORT AUX AMÉNAGEURS

Ce nouveau produit issu de la télédétection se positionne comme un outil de gestion des mises à jour. Il permet l'actualisation quasi-immédiate de toute modification au sein du réseau puisque toutes les données sont numériques, en outre il facilite l'optimisation des calculs.

DIFFICULTÉS

Disposer de scènes panchromatiques et multispectrales de la zone d'étude permettant de réaliser une image en mode « P+XS thématique ». Dates de prise de vue impérativement en concordance avec la période d'activité chlorophyllienne maximale de la zone d'étude.

COUT - DÉLAI

Les données images

Une scène panchromatique en niveau 1B
Une scène multispectrale en niveau 1A

Traitement des données

(cas de la zone de l'agglomération toulousaine)

| | |
|---|----------|
| Produit « P+XS », 1/9 de scène en moyenne | 5 000 F |
| Rectification géométrique | 5 000 F |
| Traitements image proprement dits | 5 000 F |
| Total | 15 000 F |

Délai

A partir de la réception des données :
4 à 5 semaines



C. PEDRON
Service d'Informatique Technique
de la mairie de TOULOUSE

CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DES CHANTIERS, TÉMOINS DE L'ÉVOLUTION DU MILIEU URBAIN

OBJECTIF

La gestion d'une banque de données informatisées pose le problème de la gestion des mises à jour régulières des informations collectées.

L'image SPOT permet, par un suivi régulier, de cartographier des zones à plus ou moins grande densité de chantiers. Ainsi cartographiés, ils mettent en évidence les secteurs où les modifications du milieu sont plus nombreuses. Les mises à jour seront donc dirigées prioritairement sur les zones ainsi mises en évidence.

DÉMARCHE

Une solution simple pour réaliser une image des évolutions consiste à calculer une différence d'image entre l'image classée à la date T1 et l'image classée à la date T2. Ne subsistent dans l'image des évolutions que les chantiers présents à la date T1 et terminés à la date T2 ainsi que les chantiers inexistant à T1 mais ouverts à T2.

Compte tenu de la difficulté de collecter une vérité-terrain précise et complète, la phase de validation de la classification ne peut encore être réalisée. Cependant, nous avons constaté que l'image des évolutions obtenue sur Toulouse n'omet aucun des chantiers connus et en activité entre les deux dates d'étude.

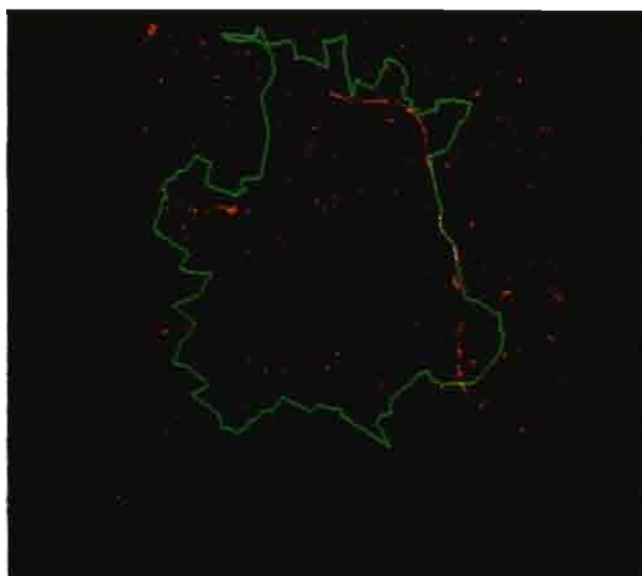
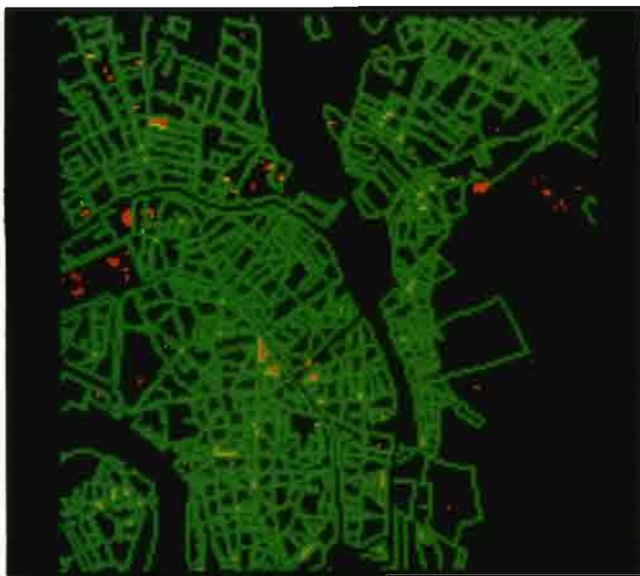


Image des chantiers en évolution entre les dates du 23.9.86 et du 5.12.86



Zone nord-est

Superposition à l'image précédente
du fichier des contours d'îlots.



Zone sud-ouest

APPORT AUX AMÉNAGEURS

Cette approche évolutive du thème urbain « chantier », extrait de l'image SPOT, permettra une meilleure gestion des mises à jour de la banque de données urbaines de Toulouse en fournissant une aide à la décision efficace.

COUT - DÉLAI

Les données images

Deux scènes multispectrales niveau 1A
Deux scènes panchromatiques niveau 1B

Traitement des données

(cas de la zone de l'agglomération toulousaine)

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Pré-traitements | 10 000 F |
| Traitements image proprement dits | 5 000 F |
| Total | 15 000 F |

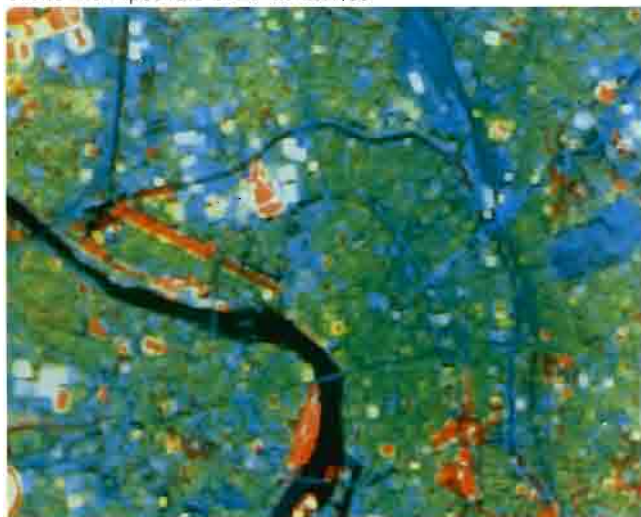
Délai

A partir de la réception des données :
4 à 5 semaines.



C. PEDRON
Service d'Informatique Technique
de la mairie de TOULOUSE

Scène multispectrale brute du 23.9.86



Scène panchromatique brute du 23.9.86



ÉLABORATION D'UN FOND DE CARTE A PARTIR D'UNE IMAGE SPOT

OBJECTIF

Obtenir, par combinaison d'une scène panchromatique et d'une scène multispectrale, une image dont les couleurs sont les plus proches possible des couleurs naturelles.

Fournir aux différents services municipaux utilisateurs de plans en tant que fond de carte, un document à l'échelle du 25 000^e, clairement lisible, tant au niveau des structures qu'au niveau des couleurs.

DÉMARCHE

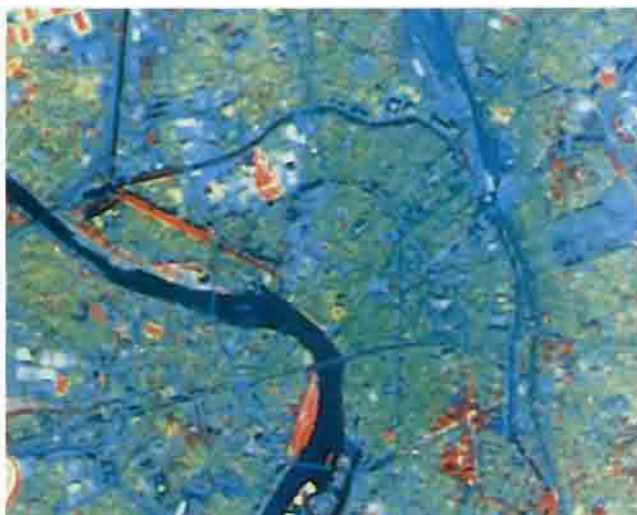
On cherche avant tout à fournir un produit facilement exploitable visuellement et d'obtention la plus simple possible. Pour obtenir une image multispectrale à la résolution spatiale de 10 mètres, nous avons remplacé la bande verte (XS2) par la bande panchromatique. Les trois canaux sont ensuite ré-échantillonnés à 5 mètres pour permettre des restitutions au 25 000^e.

La représentation classique des images satellitaires en composition colorée (espace ortho-normé bleu, vert, rouge des couleurs) surprend et gêne parfois leurs utilisateurs potentiels. Nous réalisons une image en « couleurs naturelles » par codage de l'image dans l'espace cylindrique Intensité, Teinte et Saturation des couleurs.

125



Scène en mode « P+XS visuel »



Ré-échantillonnage à 5 mètres de l'image précédente.



Produit final : image en « couleurs naturelles »



APPORT AUX AMÉNAGEURS

Une restitution laser (VIZIRCOLOR) de l'image de l'agglomération toulousaine a été réalisée avec diverses utilisations :

- Diffusion et utilisation dans divers services municipaux
- Réalisation de la couverture d'une plaquette G.D.T.A.
- Réalisation d'un poster pour le SITEL 1987

La télédétection se comporte ainsi comme un outil de gestion des mises à jour, permettant d'assurer un suivi régulier (semestriel, annuel) de l'ensemble de l'agglomération.

Elle permet d'obtenir :

- un document donnant aux aménageurs une vue globale du milieu sans les habituelles déformations internes de la photographie aérienne dues au mosaïquage.
- l'incrustation dans l'image de n'importe quelle information contenue dans la Banque de Données Urbaines.

DIFFICULTÉS

Disposer de scènes panchromatique et multispectrale permettant de réaliser le produit « P+XS visuel ».

COUT - DÉLAI

Les données images

Une scène panchromatique en niveau 1B

Une scène multispectrale en niveau 1A

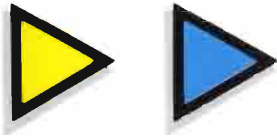
Traitement des données

(cas de la zone de l'agglomération toulousaine)

| | |
|------------------------------------|----------|
| Rectification géométrique | 5 000 F |
| Traitements image proprement dits. | 10 000 F |
| Total | 15 000 F |

Délai

A partir de la réception des données :
4 à 5 semaines



E. THOMOPOULOS
Architecte DPLG - Urbaniste

VERS UNE QUANTIFICATION DE LA DENSITÉ DU BATI A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES

Ce texte ainsi que les éléments graphiques (tableaux, schémas, images) font partie de la thèse pour le doctorat de 3^e cycle préparé à l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, dont la soutenance aura lieu dans le courant de l'année 1987.

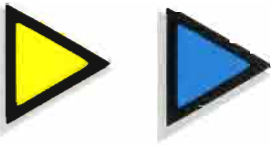
Par ailleurs, les 3 « applications » exposées dans les fiches qui suivent, ont été aussi présentées à une communication faite avec Madame Hélène Geroyannis, ingénieur EHESS, au 112^e Congrès National des Sociétés Savantes (Lyon 21-25 avril 1987).

Ladite communication sera publiée dans les actes du Congrès. Les traitements numériques présentés ont été effectués essentiellement sur l'ordinateur central du Centre Inter-urbain de Recherche et de Calcul Electronique (CIRCE), au sein du Laboratoire de « Télé-analyse, Espace et Société » (LATES) dont le responsable est Monsieur Jean-Paul GILG Maître de Conférence à l'EHESS, laboratoire faisant partie du Centre d'Analyse et des Mathématiques Sociales, Unité Mixte du CNRS et de l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales. En outre, les traitements des images de Toulouse (SPOT) ont été réalisés sur le système PERICOLOR 1000, au sein du Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA)-Toulouse, les programmes de la morphologie mathématique ont été conçus par l'équipe de Monsieur Jean-Paul Darteyre Ingénieur Géographe.

Voici trois applications de traitements numériques sur les images concernant les villes : Châtres, Toulouse-centre, Toulouse-périphérie

OBJECTIF

Un des problèmes posés à la planification urbaine est celui de la quantification des différents paramètres caractérisant les agglomérations. La densité du bâti, en relation avec d'autres informations, permet l'accès à l'estimation de la répartition démographique des populations citadines, ainsi qu'à la qualification des formes et des modes d'occupation des sols.



1 - Ville de Chartres.
Image SPOT du 1^{er} mai 1986.
Résolution au sol de 20 m X 20 m.

La **Figure 1** représente le bâti et la voirie de la Ville de Chartres.
Document obtenu à partir de la carte IGN 1/50 000.

La **Figure 2** est l'image résultant des opérations suivantes :

- Seuillage du canal Proche Infra-Rouge ;
- Seuillage de l'écart-type local correspondant à la même longueur d'onde dans l'intervalle retenu au premier seuillage ;
- Injection des valeurs correspondant principalement au Centre-ville.

Le **Tableau 1** est l'organigramme de la démarche appliquée.

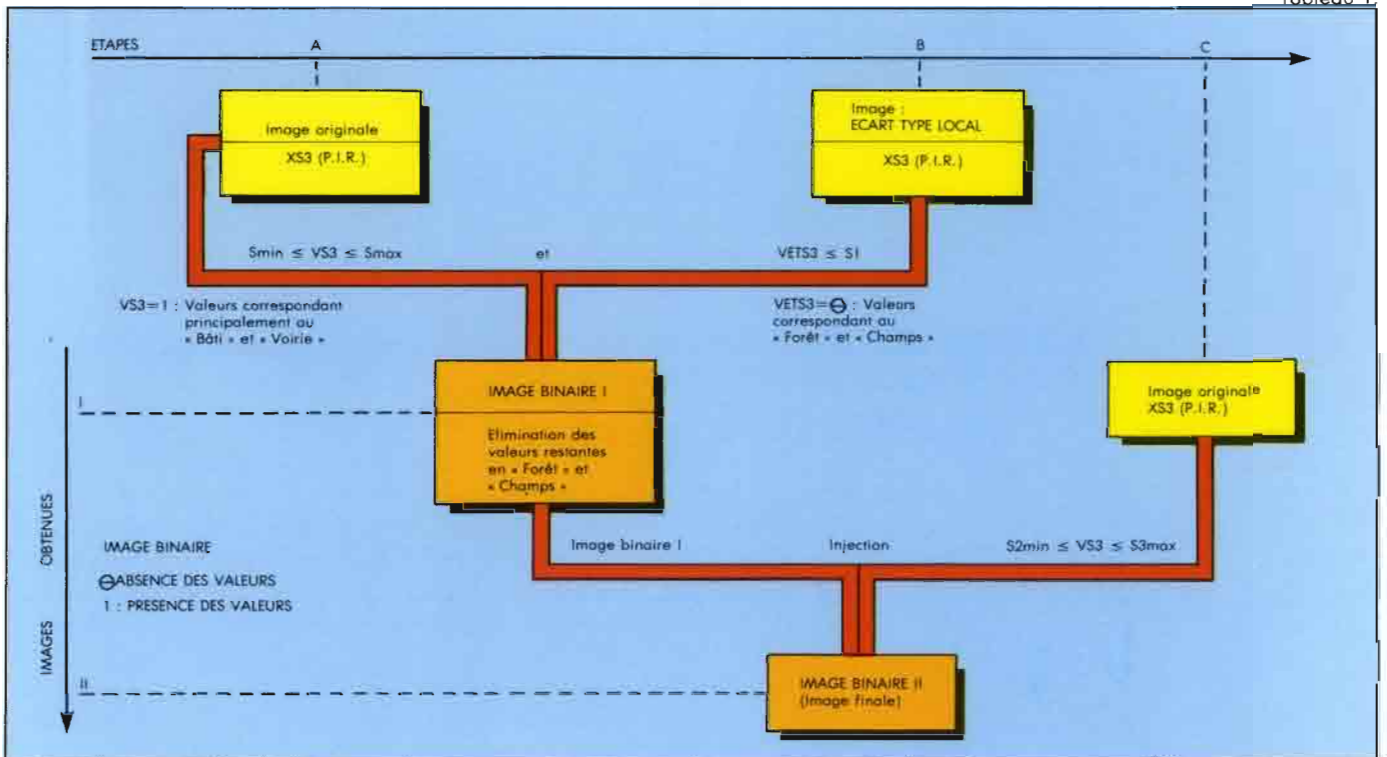


Fig. 1.



Fig. 2.

Tableau 1



Les images numériques fournies par la nouvelle génération des satellites à haute résolution spatiale (SPOT, THEMATIC MAPPER), doivent permettre de réaliser des modélisations des formes de mitage de l'espace urbain, et en premier lieu de quantifier les espaces bâtis par le biais des traitements automatiques adéquats. On expose ci-dessous trois résultats obtenus selon la problématique suivante :

2 - Toulouse Centre.
Image SPOT avril 1986.
Résolution au sol 20 m X 20 m.

La **Figure 3** représente le bâti et la voirie de Toulouse-Centre, carte IGN 1/25 000.

La **Figure 4** est l'image obtenue par simple seuillage des canaux Rouge et Proche Infra-Rouge.

Violet : eau, **vert** : végétation, **jaune** : bâti dense, **rouge** : bâtiments importants, **blanc** : zones autour du centre à moyenne et faible densité de bâti.

Le **Tableau 2** est l'organigramme de la démarche appliquée.

Fig. 3.

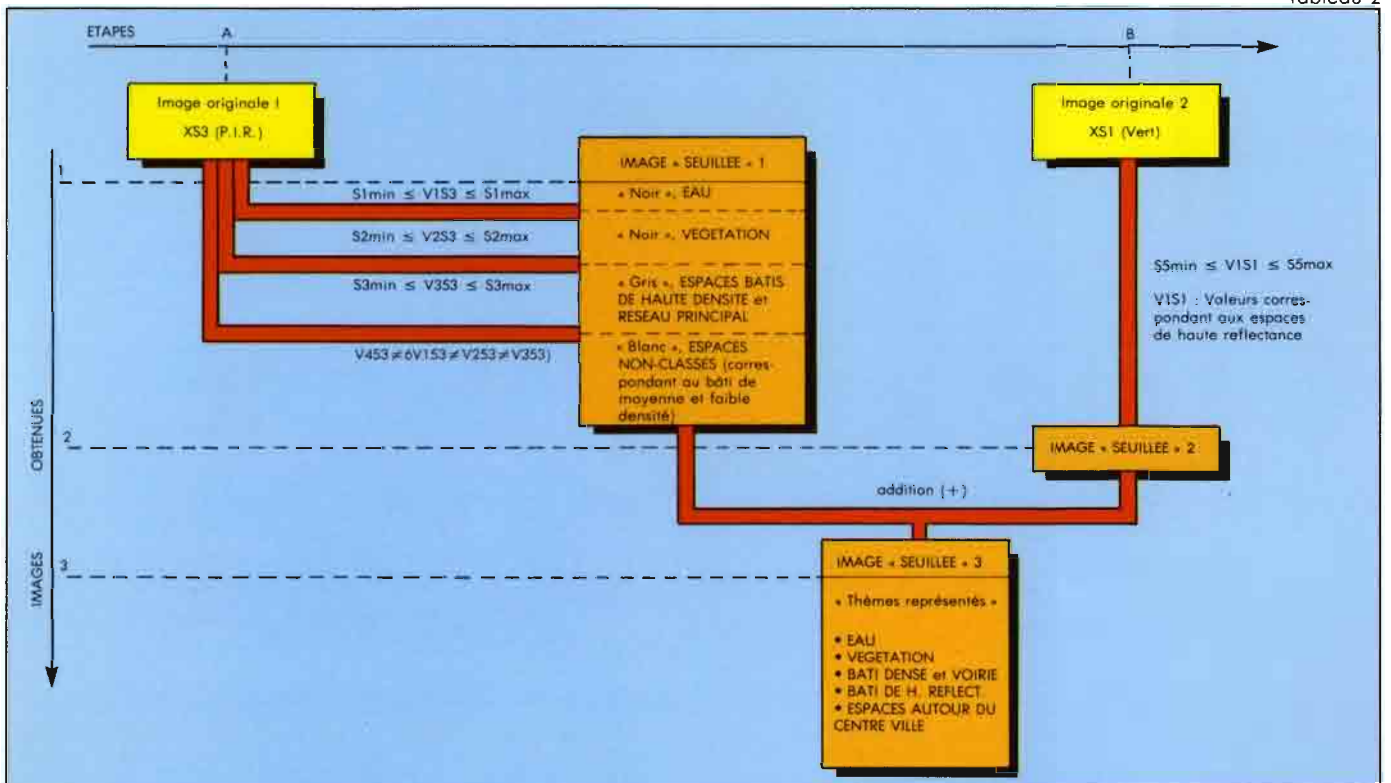


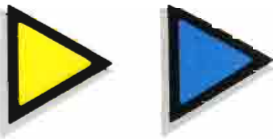
- la discrimination du bâti et du système des voiries au sein de l'espace urbain par rapport aux autres types d'occupation du sol ;
 - à l'intérieur de l'espace ainsi discriminé faire une première répartition spatiale des taux de densité du bâti.
- Il s'agit bien d'une première approche pour tester entre autres la répétitivité de la méthodologie proposée.

Fig. 4.



Tableau 2





3 - Toulouse Périphérie.
Image SPOT avril 1986.
Résolution au sol 20 m x 20 m.

La **Figure 5** représente le bâti et la voirie de Toulouse Périphérie, carte IGN 1/25 000.

La **Figure 6** est l'image obtenue par application des opérateurs de squelettisation, dilatation et érosion ; elle correspond à la voirie. La **Figure 7** est l'image obtenue à partir de celle de la Fig. 6 où on a injecté les valeurs des canaux Proche Infra-Rouge et Vert correspondant au système voirie et zones bâties.

La **Figure 8** est l'image de la Fig. 7 dilatée dans le but d'obtenir des surfaces pour le calcul du taux de densité « bâti + voirie ». Le **Tableau 3** est l'organigramme de la démarche appliquée.

Fig. 5.



Image binaire 4

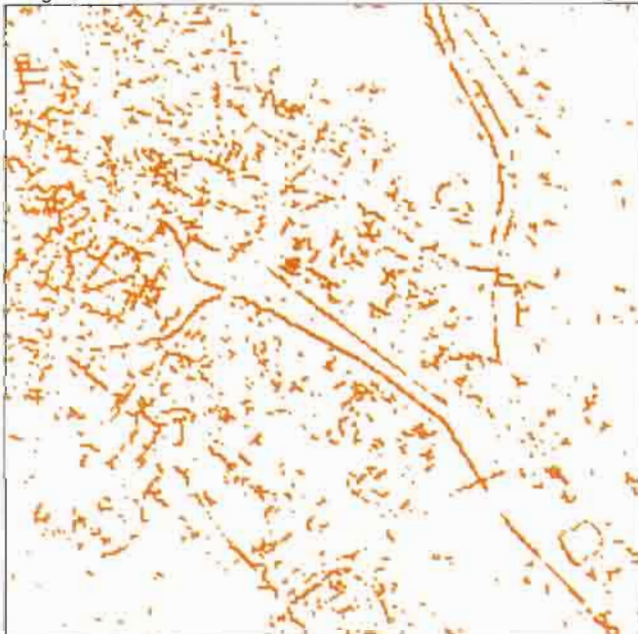


Fig. 6

Image binaire 5

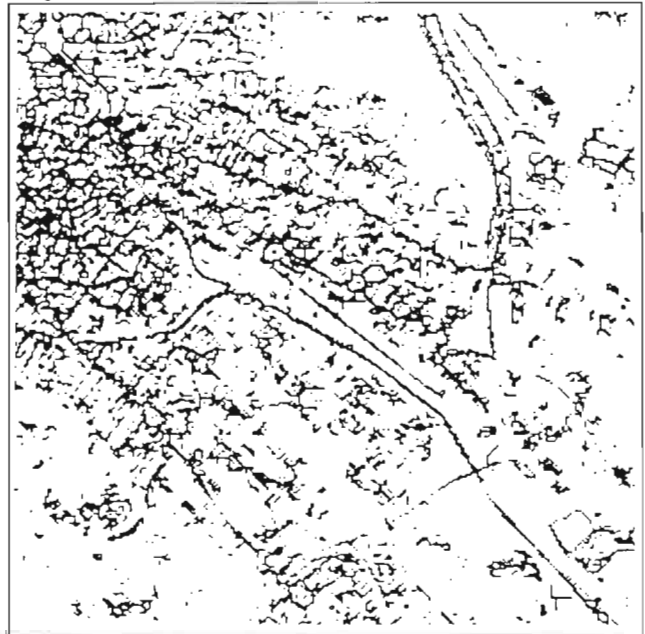


Fig. 7.

DÉMARCHE

Les résultats ont été obtenus à partir des images numériques initiales auxquelles on a appliqué les traitements suivants :

Seuillages d'histogrammes.

Choix des seuils dans les différentes longueurs d'onde (Canaux) afin d'isoler des valeurs radiométriques correspondant à des objets urbains précis. C'est principalement le canal Proche Infra Rouge (0.76 - 0.90 microns) et celui correspondant à 0.45-0.52 microns du capteur Thematic Mapper qui ont été choisis, à cause de leur pouvoir discriminant et leur grande amplitude.

Ecart-type local.

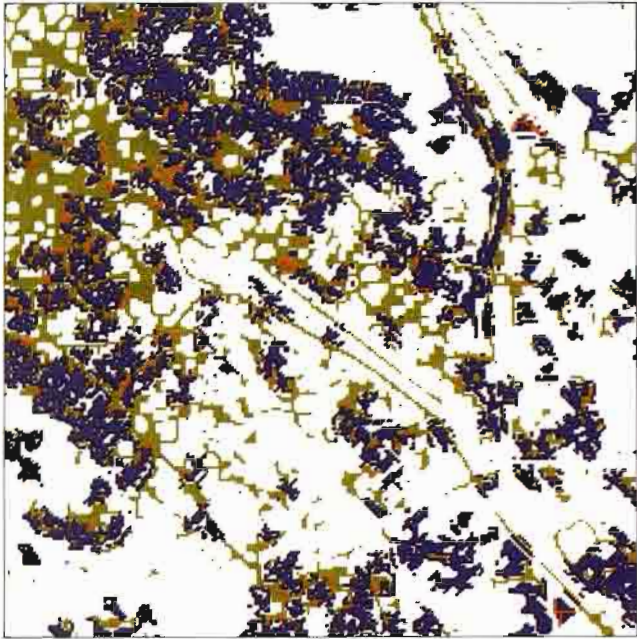
Ce traitement met en évidence la dispersion des valeurs dans un voisinage donné. On décale par translation sur l'ensemble de l'image une fenêtre de 3x3 pixels, à l'intérieur de laquelle on calcule l'écart-type des valeurs.

Indice de végétation.

C'est un indicateur de présence graduée de la biomasse au sein de l'espace étudié. On le calcule à partir des canaux Proche Infra-Rouge et Rouge (0.63-0.69 microns) par la formule : $(PIR-R)/(PIR+R)$.

Image finale

Fig. 8.



Indice de minéralisation.

C'est un indicateur du taux de minéralisation calculé à partir des canaux Infra-Rouge Moyen (1.55-1.75 microns) et Proche Infra-Rouge (0.76-0.90 microns) par la formule : $(IRM-PIR)/(IRM + PIR)$.

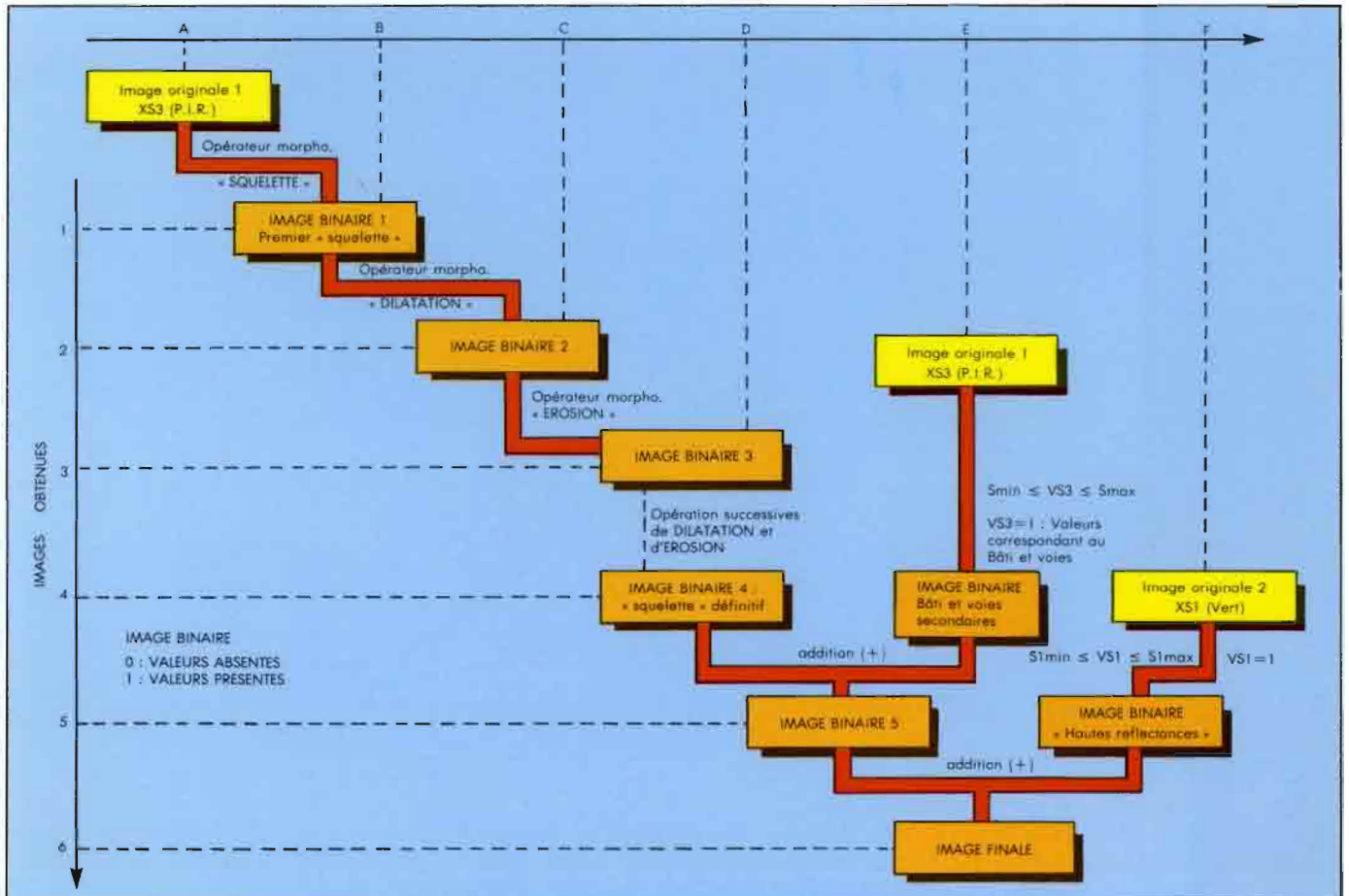
Opérateurs morphologiques.

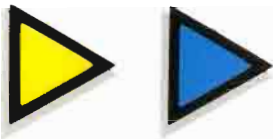
- Extraction de squelette sur une image binaire (image en 0,1 ou Absence-Présence).
- Dilatation : elle permet de rendre connexe un squelette fragmenté.
- Erosion : elle permet d'affiner le squelette obtenu après dilatation.

Ces traitements ont été utilisés de façon interactive et dans un ordre déterminé. C'est cette combinatoire qui est essentielle dans la perspective de la répétitivité de la démarche.

Il est évident que les résultats obtenus par les traitements proposés, dans le cadre des 3 « applications » présentées ici, sont l'aboutissement d'une première approche destinée à tester une

Tableau 3.





certaine « chaîne méthodologique ». Cette « chaîne » est indispensable pour étudier les espaces urbains à partir des images satellitaires. Malgré la diversité des agglomérations abordées, les démarches citées obéissent à la même « logique », celle-ci étant adaptée à chaque fois aux caractéristiques particulières des villes, ainsi qu'aux objectifs souhaités. C'est cette chaîne méthodologique qui assure l'automatisme de la gestion des données et la répétitivité des démarches choisies.

D'autre part, les mêmes résultats montrent que la complexité et la richesse des phénomènes, qui

se trouvent réunis sous l'appellation d'« espace urbain », nous obligent à les appréhender en produisant d'abord des « nouvelles images de base ».

Ces images sont construites à partir des données initiales, fournies par les capteurs, données souvent inaptées pour l'extraction immédiate d'informations utiles en urbanisme. En l'occurrence, les « nouvelles images de base » doivent être déjà adaptées aux particularités des agglomérations en question, ainsi qu'aux finalités des études.

RÉFLEXIONS SUR L'ESPACE URBAIN ET LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

L'extraction et le traitement des informations recueillies par la télédétection spatiale, concernant l'espace urbain, se heurtent aux difficultés de leur traduction en observations d'ordre économique et socio-culturel, c'est-à-dire à des informations utiles et opérationnelles.

L'image satellitaire privilégie incontestablement les données concernant les propriétés physiques et géométriques des objets recensés, (dans le cas présent ceux de l'espace urbain). Mais elle est aussi apte à subir les traitements ayant pour but la (construction) délimitation des « unités-faits paysagers » de nature morphologique susceptibles d'être investis par un quelconque contenu social.

Nous distinguons deux groupes de traitement qui permettent de rapprocher la mesure radiométrique des éléments concernant les études urbaines traditionnelles.

- Le premier groupe portant sur l'image elle-même, comporte le traitement du signal radiométrique et sa traduction qui permet l'identification aux objets urbains.
- Le deuxième groupe concerne l'information éventuelle contenue dans l'image. Ces traitements tentent de définir, des entités distinctes au sein du paysage urbain, grâce à des indicateurs physiques et géométriques, qui peuvent être traduits en manifestation de nature socio-économique. D'autre part ce processus implique la nécessité de poser des indicateurs purement socio-culturels, ceci afin de rendre compte des interactions existantes entre le contenu social et la réalité paysagère urbaine.

D'après les réflexions ci-dessus, deux éléments essentiels semblent être la cause de l'incompatibilité entre les données satellitaires et celles utilisées couramment pour appréhender les phénomènes urbains.

- Le premier élément est l'**inadaptabilité des nomenclatures urbaines en vigueur** (résultant des indicateurs utilisés), par rapport aux nouveaux moyens d'investigation nécessaires pour le traitement de l'information fournie par les images.
- Le deuxième élément est l'**absence d'un savoir approfondi sur le comportement spectral des objets urbains**.

A propos du premier élément on sait que le rôle des nomenclatures et taxinomies est important, dans le cadre de la procédure d'organisation systématique des phénomènes urbains observés ; procédures contribuant à la description cohérente des agglomérations. Mais celles utilisées actuellement comportent des caractéristiques faisant défaut à la pertinence de leur application.

Parmi celles-ci on note que :

- la plupart des nomenclatures urbaines sont insuffisamment développées pour rendre compte de la complexité et de la richesse des espaces urbains ;
- elles sont rigides et deviennent inaptées pour des agglomérations qui n'ont pas été à l'origine de leur élaboration ;
- enfin, les critères pour déterminer les classes au sein d'une même nomenclature proviennent d'horizons fort différents, certains critères décrivant les modes d'occupation du sol et d'autres l'aspect physique et géométrique de l'espace.

D'où naît le besoin d'élaborer de nouvelles nomenclatures et taxinomies à partir desquelles on pourrait définir des unités urbaines tenant compte des indicateurs morphologiques (ceux-ci étant en adéquation avec l'information spectrale contenue dans les images satellitaires). Pour de telles nomenclatures plusieurs buts se proposent :

- occuper la place d'interface entre les données satellitaires et les éventuelles observations souhaitées de nature économique et socio-culturelle. Donc elles seront susceptibles d'être traductibles dans les termes des nomenclatures traditionnelles tout en gardant l'information radiométrique et spatiale d'origine ;
- la possibilité de quantifier les paramètres générés par les critères employés, ce qui signifie une adaptabilité-conformité des postes recensés aux traitements numériques (assurant une certaine objectivation de l'information et la répétabilité des procédés adoptés).

Nous ne prétendons pas qu'une telle nomenclature peut être exhaustive. Mais sa flexibilité aux différentes figures du paysage urbain dépend du choix des critères de base, de leur définition, et de leur capacité d'engendrer des configurations recouvrant différentes réalités urbaines.

Malgré les précautions ci-dessus des investigations plus poussées devront être élaborées, à propos de la fiabilité de la traduction de l'espace morphologique en contenu socio-culturel. Les expériences en architecture et urbanisme montrent que les phénomènes socio-culturels définissent des espaces



qui ne sont pas forcément identifiables aux espaces physiques et géométriques des agglomérations. Ainsi une nouvelle nomenclature construite ne peut être qu'ouverte aux modifications dues aux études opérationnelles futures, seules capables d'enrichir le premier modèle de base proposé, qui a été dicté par le matériel déjà acquis. Elle se présente sous forme d'hypothèses à vérifier.

A propos du deuxième élément, une étude radiométrique des objets urbains est nécessaire et doit se développer simultanément avec l'élaboration de la nouvelle nomenclature. Cette étude déterminera la pertinence des éléments de base choisis pour former les nouvelles taxinomies.

Sans entrer dans une démarche déterministe, où à chaque objet urbain correspond une seule radiométrie possible, l'analyse du comportement spectral des éléments urbains peut contribuer entre autre à :

- la constitution de tableaux recensant les groupes de matériaux de construction utilisés,
- la constitution de catalogues « d'éléments composites » c'est-à-dire : configurations possibles d'agencement de différents matériaux.

Ces éléments composites ont été obtenus par sondage des espaces urbains en respectant la résolution spatiale des capteurs satellitaires,

- le recensement des comportements spectraux des objets urbains concrets à partir des images étudiées.

L'intérêt des réflexions présentées consiste dans le fait de pouvoir être à la base d'études spécifiques et opérationnelles concernant les phénomènes économiques et socio-culturels des populations citadines. Les procédures proposées peuvent s'appliquer aux études **démographiques** : quantification d'une population citadine et sa répartition territoriale.

Eventuellement, elles pourraient aider à la détection des **caractéristiques qualitatives des citadins** (appartenance sociale, activité économique...).

Au-delà de la démographie, elles peuvent contribuer à la gestion et à l'aménagement du territoire, et plus généralement aux **analyses des relations** entretenues entre les populations urbaines et leur environnement.

De plus, elles permettent **l'amélioration de la détection des modes d'occupation du sol** essentiellement pour les régions où l'information terrain est insuffisante ou très ponctuelle.

Enfin une application immédiate portera sur les études concernant la **croissance** et l'extension rapide des agglomérations planifiées ou pas (espace urbain des pays en voie de développement) et leur **variation qualitative**.

Cette liste n'est pas exhaustive, on peut y rajouter :

- les études des évaluations des terrains à urbaniser,
- les analyses purement morphologiques portant sur la présence physique des agglomérations (détection des matériaux et des modes de construction, typologie du bâti...).

EXEMPLES DE RÉPONSES AUX « QUESTIONS POSSIBLES » DES AMÉNAGEURS

FICHE GÉNÉRALE

VERS UNE IDENTIFICATION AUTOMATIQUE DES TISSUS URBAINS

Mme ARMAND

L'exemple présenté est le résultat d'une étude menée au centre scientifique IBM en collaboration avec une chercheuse du ministère de l'Éducation Nationale. Son objectif est de montrer qu'il est possible d'extraire automatiquement d'une image Landsat TM des informations qualitatives concernant le plan et les tissus urbains parisiens. Partant d'une analyse géographique des tissus, on a simulé numériquement quelques éléments de la démarche du photo-interprète qui recherche ces tissus sur les photographies aériennes. C'est pourquoi ont été extraites de l'image trois primitives : voirie, espace vert, espace construit.

Ces trois occupations du sol caractérisent en partie le tissu et déterminent donc une classification de l'agglomération à partir de ces éléments de base, la règle d'affectation dépendant de l'histogramme local de l'occupation du sol.

La caractérisation d'une agglomération à travers les composantes de base de l'occupation du sol constitue une approche ressemblant fort à celle du photo-interprète. Les résultats obtenus peuvent être utilisés pour connaître la structure d'une ville ou pour réaliser des inventaires statistiques localisés. Cette approche ne peut cependant s'appliquer qu'à des images de fine résolution (SPOT, voire TM), qui permettent cette décomposition.

La difficulté première est incontestablement l'extraction automatique de la voirie, qui n'est encore pas du domaine opérationnel, mais relève de la recherche.

Les coûts et délais sont proportionnels au temps que l'on désire y consacrer, comme tout travail de recherche. Cependant on peut estimer que les premiers résultats significatifs naîtront quelques mois après la réception des images. Les coûts seraient, au minimum, de l'ordre de 100 kF.

SUIVI DE L'ÉVOLUTION DE L'URBAIN SUR L'OUËST DE LA RÉGION PARISIENNE

M. BALLUT

M. NGUYEN

Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.

A partir de données « simulation SPOT » acquises en septembre 1981 et en mars 1983, l'objectif était d'identifier les modes d'occupation du sol ; de suivre leurs évolutions temporelles ; de mettre à jour les cartes d'occupation des sols en utilisant les moyens informatiques de traitement d'images.

L'approche adoptée met l'accent sur l'interactivité et la puissance des méthodes de traitement d'images — en utilisant les matériels spécialisés (le terminal IBM 7350) et les logiciels développés au Centre scientifique d'IBM France — et l'intervention directe des utilisateurs (les urbanistes) avec leur connaissance du terrain et leur jugement sur les choix des traitements, le paramétrage, la vérification des résultats et l'utilité des produits.

Avant d'effectuer les traitements diachroniques, les données sont corrigées radiométriquement et géométriquement, l'image de référence étant celle de 1981.

Une classification de l'image permet d'identifier 8 types d'occupation du sol : bâtiment, habitat individuel, bois, herbe, plan d'eau, voirie, carrières, chantiers et sols nus, cimetières.

L'image classée et la carte des modes d'occupation du sol mémorisés montrent bien la corrélation entre cette occupation du sol et les classes spectrales obtenues. Malgré leur similitude dans la réponse spectrale, les voiries se distinguent des bâtiments par leur structure. Un filtrage Laplacien permet de les repérer selon certaines règles et de les intégrer à l'image classée.

Détection des changements entre septembre 1981 et mars 1983.

Un premier repérage des changements est fait à partir des images classées. Il permet de noter des modifications de parcelle de 5 000 m².

Une autre méthode de détection de changement est de comparer directement les valeurs radiométriques du canal panchromatique de deux images, ce qui permet de repérer des modifications jusqu'à une taille minimale de 1 250 m².

Il apparaît qu'un grand nombre de changements repérés sont dus à la différence de saison entre les deux dates. Il est certain que deux images de même époque saisonnière auraient permis de meilleurs résultats, sans toutefois éliminer totalement des différences dues à l'état de la végétation.

tation et aux conditions atmosphériques. L'observation « manuelle » permet de corriger, grâce à des documents exogènes aux traitements, une grande partie des erreurs d'identification de changements.

Pour un aménageur, la télédétection spatiale, en milieu urbanisé ne remplace pas encore les autres sources d'informations nécessaires aux aménageurs mais elle vient en complément. En permettant une mesure synthétique et géocodée de l'espace urbain, elle apporte une information qualitative spécifique, comme l'importance de la couverture végétale et minérale, et se présente donc comme une source de données à part entière. La répétitivité de ces informations ouvre la voie à des outils économiques de suivi de l'occupation du sol en procédant à des analyses multidates.

L'achat de 2 scènes à 2 dates différentes, leur calage, leur traitement et la restitution des différences sur film (4 scènes vizicolor) coûtent environ 56 000 FTTC.

INVENTAIRE D'OCCUPATION DU SOL : RÉGION DU MONT-SAINT-MICHEL

Robert BARIOU
Equipe COSTEL
Centre de Télédétection
Université Rennes 2 Haute-Bretagne

Dans le cadre d'une recherche universitaire, le but était d'évaluer les potentialités du satellite landsat TM pour l'inventaire des cultures dans des régions de petit et moyen parcellaires en Bretagne.

La méthodologie suivie :

— Simple composition colorée réalisée à partir de 3 canaux (Visible, Proche infrarouge, Infra-rouge moyen), suivie d'un étalement de la dynamique, et d'un rééchantillonnage à 15 mètres.

— Photo interprétation classique des images issues de ce traitement.

— L'imagerie TM donne une excellente vision des paysages à l'échelle régionale (bocage traditionnel du Massif de St-Broladre, openfield lanieré du nord du Marais de Dol, polders et leur réseau d'endiguement, schorre et son évolution récente...).

— Les résultats sont également remarquables à l'échelle parcellaire, à l'exception en partie de quelques secteurs du Massif de St-Broladre ; des phénomènes pédologiques mal connus, voire ignorés, ont également été mis en évidence.

Cette approche simplifiée montre aux aménageurs qu'un traitement sophistiqué, entièrement automatisé ne se justifie pas toujours.

Un inventaire permanent de l'occupation du sol est possible dans des régions à petit parcellai-

re, directement à partir de données satellitaires, ce qui n'était pas toujours évident. La mise au point d'une mosaïque allant du Cap Fréhel à la Sélune destinée à servir de support à un schéma d'aménagement intégré (morphologie, botanique, agriculture, urbanisme, tourisme...) va être présentée aux instances politiques régionales (Conseil régional, Conseils généraux...), et aux administrations.

L'acquisition, le traitement, l'interprétation, le contrôle terrain, et la cartographie des données coûtent environ 24 000 F TTC et demandent 15 jours de travail à partir de la réception des images satellitaires.

ANALYSE URBAINE D'UNE VILLE MOYENNE : RENNES

R. BARIOU
Equipe COSTEL
Centre de Télédétection
Université Rennes 2 Haute-Bretagne

L'objectif était de démontrer à des élus locaux l'apport des satellites de deuxième génération à l'analyse urbaine à partir d'une étude comparative des images Landsat et Spot.

La méthodologie se décompose ainsi :

— Première phase : traitement numérique des données, avec combinaison linéaire des canaux visible et proche infra-rouge avec SPOT, visible proche infra-rouge et infra-rouge moyen avec Landsat TM pour l'élaboration d'indices plus ou moins complexes. Rééchantillonnage respectivement au pas de 10 et 15 mètres.

— Deuxième phase : photo-interprétation des images issues du traitement et comparaison avec la carte I.G.N. au 1/25 000^e.

Les résultats démontrent que :

— L'imagerie TM permet de bien appréhender l'emprise d'une ville sur sa région : mise en évidence de l'expansion urbaine et de l'organisation de l'espace, avec une très bonne définition des zones industrielles.

— SPOT, de par sa meilleure résolution spatiale, est mieux adapté à l'étude de la morphologie urbaine, au suivi des chantiers, des changements.

Pour les aménageurs :

— Méthodologie peu contraignante et facilité de lecture des produits proposés.

— Documents relativement bien adaptés à une cartographie à moyenne échelle, à la détection des changements dans le tissu urbain, au suivi des chantiers.

— Possibilité également d'orienter le traitement pour la mise en évidence de phénomènes plus spécifiques : mise au point d'indices propres aux études urbaines à partir des données Landsat TM

et SPOT, et non plus adaptation d'indices élaborés pour la végétation, de manière à obtenir une plus grande richesse d'informations (zones imperméabilisées).

— Toutefois, il faut signaler la médiocrité, pour l'instant, des résultats obtenus dans les secteurs où le bâti est très dense comme le centre des villes. Des tests seront très prochainement effectués à partir d'un mixage de la bande panchromatique de SPOT (résolution spatiale de 10 mètres) avec les canaux de Landsat TM.

Les coûts sont difficiles à évaluer, on peut les estimer à environ 43 000 F TTC ; ce qui comprend une scène SPOT, 1/4 de scène Landsat, le traitement, l'interprétation, le contrôle terrain et la cartographie des données. Ce travail est réalisable en 15 jours à partir de la réception des images.



CARTOGRAPHIE DÉPARTEMENTALE D'OCCUPATION DU SOL

M. CAMPAGNE

Institut géographique national

Département Télédétection à Saint-Mandé

L'objectif de l'étude présentée est de produire une carte numérique d'occupation du sol à partir d'une classification multitemporelle d'images Landsat MSS sur le département du Calvados.

Les données externes,

• tant numériques :

— image numérique des forêts et vergers de la carte 1/100 000 IGN,

— statistiques du RGA (recensement général de l'agriculture) ou enquêtes TER-UTI, les deux données localisées,

— fichier numérique des limites de communes et leur centroïde,

— modèle numérique de terrain,

— carte numérique des formations superficielles...

• que « visuelles » :

— calendrier agricole,

— enquête terrain,

— photographies aériennes et autres topographiques...

participent à la fois à la validation et à l'amélioration du résultat.

La méthodologie est simple. Les images de plusieurs dates sont classées selon une légende grossière (eau, sol nu, forêt, végétation très active). La finesse de la légende finale est obtenue par l'interprétation de l'évaluation thématique. Le contrôle numérique ou visuel par les autres données permet de comprendre et souvent de réduire les erreurs ; par exemple : le thème urbain est épuré par le fichier des communes. En sortie, un fichier numérique de statistiques agricoles sur des thèmes synthétiques (cultures

de printemps et d'hiver, prairies...) à différents niveaux administratifs (département, région agricole, commune).

La validité globale de la classification est estimée à 10 % d'écart sur l'image entière (de 7 à 16 % selon la région agricole) par rapport au recensement général de l'agriculture. L'écart tombe à 2 % vis-à-vis de TER-UTI.

Pour un aménageur :

La connaissance de statistiques d'occupation du sol par limites administratives permet de pallier la période assez longue entre deux R.G.A., même si la thématique retenue est moins fine que celle des enquêtes TER-UTI.

La résolution de SPOT autorise une meilleure validation statistique à une échelle administrative plus réduite et assurément une légende plus détaillée, bien que le gain ne soit pas considérable.

La création d'une banque de données d'observation annuelle d'une région serait un atout important pour la gestion efficace de son environnement.

Un tel produit nécessite toutefois des moyens.

Les difficultés se situent à trois niveaux :

— recueil des données exogènes et des images aux dates optimales ;


— délais de traitement et gestion du flot des données ;

— estimation de la validité des statistiques.

Les logiciels et matériels de traitement assez sophistiqués et puissants sont nécessaires.

Il est possible d'obtenir une cartographie numérique d'occupation du sol et un rapport annexe pour un budget de l'ordre de 100 à 200 KF.

Les délais sont corrélés à la collecte des éléments de base ; mais le début de l'année suivant celle de l'acquisition des images doit voir naître les documents résultants.



ANALYSE MORPHOLOGIQUE DE LA VILLE DE MARSEILLE

A. CHATELAIN-JD GRONOFF

EHESS - CAMS

MARSEILLE

L'objectif est, à partir de données Landsat TM de février 1983 et juillet 1984 sur Marseille, d'évaluer le niveau d'analyse et de discrimination en morphologie urbaine et les formes d'urbanisation ; et d'établir une nomenclature des phénomènes observables.

La méthodologie est la suivante :

Documents de référence et d'évaluation :

— photographies aériennes infra-rouge couleur, 1/17 000, juin 1981 ;

— photographies aériennes panchromatiques, 1/15 000, juillet 1981 ;

— plans ICOREM au 1/5 000 et au 1/1 000 ;
— fichiers-terrains : segments et unités d'observation.

1. analyse globale des images

a- zonage à 3 niveaux d'analyse

b- zonage par canal (1, 2, 3, 4, 5, 7)

c- zonage sur composition colorée optimisée : 2, 3, 4

produits obtenus :

— un zonage sur l'ensemble de l'agglomération à trois niveaux d'analyse ;

— visualisations en noir et blanc (logiciel EURISTA) : histogrammes, seuillages, images en 16 classes par imprimante Laser (quelques seconds).

2. analyse descriptive des zones obtenues

— grille de dépouillement : texture (5 modalités), valeurs, rapport minéral-végétal, densité, organisation du réseau.

Classification par tris croisés du fichier obtenu : typologie des morphologies observables.

3. échantillonnage

Avec choix raisonné, tirage d'un échantillon représentatif des différents types de morphologies obtenues de l'analyse image et de son traitement.

4. terrain et mesures

Relevés des différentes composantes (bâti, non bâti, réseau) ; leur nature, leur état, leur organisation croquis complémentaire) et leur importance en surface (cf. fiche terrain).

Calculs des surfaces et du taux de surfaces bâties ; élévations.

Fichier informatisé.

5. analyse numérique et statistique de l'échantillon.

Les documents obtenus.

— Sorties papier : stratification, visualisation par canal des exemples histogrammes de fréquence ; photographies aériennes de référence ; nomenclature ordonnée du minéral au végétal.

— Diapositives : composition colorée négative des C2, C3, C4 seuillée sur l'eau et dynamiques réétalées (celle-ci met en valeur le réseau et le bâti continu ; peut s'utiliser comme masque urbain) une diapositive de la même composition colorée en positif sur laquelle le zonage a été effectué : discrimination des différentes morphologies décrites précédemment.

Une nomenclature morphologique est proposée :

A.1 Morphologies minéralisées de forte brillance

— texture lisse chantier en cours, plage ; terrain de sol battu, carrière (partie au soleil)

— texture granuleuse fine, chantiers en fin de construction (pavillons)

— texture granuleuse grossière, chantiers (fin) de grands éléments.

A.2 Morphologies minéralisées : brillance et absorption

— texture granuleuse fine, pavillons récents, jardins jeunes plantations, réseau en place (goudron frais)

— texture granuleuse grossière, grands éléments ($L=1$) : industries récentes, environnement goudron, gravier, sol ; grands éléments ($L<1$) : collectifs neufs, élévation de plus de 6 niveaux (ombre portée) ; environnement : parking, ciment, sol.

A.3 Morphologies minéralisées : absorption croissante

— Texture granuleuse grossière

Grands éléments ($L>1$) < à 6 niveaux : environnement : goudron ; ciment ; collectifs anciens dégradés

grands éléments ($L=1$) contigus ; environnement : goudron ; ciment ; réseau de densité moyenne.

— Texture granuleuse moyenne ou mixte

Petits immeubles de 4 à 6 niveaux ; bâti continu, densité forte ; espace interstitiel minéral dominant ; réseau viaire dense de largeur variable.

— Texture granuleuse fine

Petits immeubles de 2 à 4 niveaux ; bâti ancien continu ; espace interstitiel minimum ; réseau étroit et très dense ; zones à l'ombre.

B. Morphologies végétalisées - taux de végétation croissant

— Texture granuleuse moyenne

Bâti moyen de 4 à 6 niveaux ; espace interstitiel : cours et jardins ; réseau principal complanté.

— Texture granuleuse fine

Pavillonnaires avec jardins ; densité moyenne ; réseau régulier densité moyenne.

— Texture granuleuse mixte

Bâti de petite taille ; grands jardins ; densité lâche ; environnement : milieu agricole ou naturel ; réseau lâche.

C. Végétation dominante

— Texture granuleuse mixte

Mitage de villas ; densité très lâche ; environnement : prés ou bois ; réseau très lâche.

— texture granuleuse fine et lisse

Espaces verts : parcs ; prés ; bois ;

Il faut signaler quelques difficultés : en dessous de 4 000 m² et de 30 m de large, la discrimination des phénomènes ne peut s'effectuer qu'en association avec l'environnement contigu.

Loisirs, équipements ont des réponses très variables selon leurs composantes physiques (ne peuvent correspondre à une seule classe radiométrique).



MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE : DETECTION AUTOMATIQUE DES ROUTES ET DES VILLAGES

I. FESTIVAL

Le but est de détecter de façon automatique les réseaux linéaires (routes) ainsi que les villages, à partir de simulations d'images SPOT dans trois canaux (2 dans le visible, vert et rouge, et un dans le PIR) d'une région de la Beauce.

L'intérêt général de cette étude réside dans l'application récente de la morphologie mathématique aux images complexes de télédétection, pour extraire en particulier routes et villages. Leur radiométrie en effet ne suffit pas pour les individualiser :

— les villages sont un amas de radiométries diverses ne caractérisant pas forcément l'urbain,
— les routes n'ont pas toujours la même réponse spectrale selon leur revêtement, leur état...

Il s'agit donc de reconnaître ces entités par les éléments texturaux qui les composent, et de reconstituer les structures linéaires et les villages par les modèles de connexion ou d'agglomération tenant compte des formes des objets étudiés.

La morphologie mathématique (Matheron et Serra) consiste à représenter l'objet par un ou plusieurs ensembles dans des espaces convenables (euclidien, métrique, topologique...) pour l'analyser à l'aide de transformations ensemblistes (union, intersection).

L'extraction des routes et des villages à l'aide de transformations morphologiques se divise en deux parties : la « binarisation » puis la reconstitution, sur l'image binaire obtenue, des structures recherchées. La binarisation consiste à extraire de la scène SPOT une image binaire sur laquelle figurent les pixels susceptibles d'appartenir à l'entité étudiée. Elle fournit donc la représentation d'un ensemble plan (un point du plan y appartient s'il y a pour valeur 1 et est dans son complémentaire s'il est à 0). C'est l'étude des parties connexes de cet ensemble, qui fait l'objet de la seconde étape.

- Le critère fondamental qui permet de distinguer les villages du reste de l'image est fondé sur leur texture. En effet, ceux-ci apparaissent comme un semis de points très contrastés et s'opposent ainsi aux surfaces très homogènes que constituent les champs très cultivés ou en friche. C'est dans le proche infra-rouge qu'apparaît le mieux cette caractéristique.

Sur la transformée de l'image par un gradient, les zones fortement contrastées que sont les villages deviennent des plages uniformément claires et les limites de parcelles, les lignes de

contraste deviennent des lignes claires d'un pixel d'épaisseur. L'application d'une ouverture à l'image ainsi obtenue permet de ne garder que les plages de taille suffisante.

On récupère alors les villages par simple seuillage suivi, si besoin est, d'une sélection par un critère de taille si l'on veut ne garder que les villages supérieurs à une taille donnée ; il s'agit alors d'un traitement sur une image binaire. Si, le critère taille n'a pas suffi et a laissé des parcelles classées en urbain, on peut mettre en œuvre les critères suivants : la détection des particules à trous (car les villages contiennent plus souvent des trous que des parcelles), ou la mesure sur chaque particule de paramètres tels que la longueur de la frontière, ou un indice de compacité morphologique qui mesure l'aire de l'ouvert divisée par celle du fermé, ceci s'appuyant sur la constatation que les villages sont caractérisés par une forme étoilée correspondant soit à la sortie des routes, soit à un développement non isotrope.

- L'extraction des routes s'appuie sur la constatation qu'elles ont la propriété d'être plus claires que leur voisinage. Il s'agira ensuite à partir de cette image de « recoller » les portions de routes et d'éliminer le bruit (barbules parasites). On a utilisé pour la reconnaissance des routes un critère de longueur du squelette des composantes de ces routes, simultanément à d'autres critères, par exemple le fait qu'une route est constituée de grandes branches dont les extrémités n'ont que deux possibilités : couper le bord du champ ou « se jeter » dans un village. Ce travail est fait dans un cadre de recherche. S'il n'est pas possible de préciser aujourd'hui son apport aux aménageurs, nul doute que des applications se développent avec la généralisation des systèmes d'information informatisés.

Cette méthode de traitement présente deux inconvénients majeurs lorsqu'on l'applique à des images de télédétection.

- Le premier réside dans le temps de calcul très important sur les grandes images que l'on traite en télédétection.

- Le second problème est celui de l'automatisation des traitements ; l'intervention de l'opérateur a occupé une place très importante dans l'étape de reconstruction ébarbulage sur l'image binaire des routes.

En quête d'un traitement plus global, et par là, d'une opération moindre de l'opérateur, nous avons tenté de rechercher les lignes de crêtes du relief numérique (i.e. de la fonction du gris), espérant par là accéder aux éléments linéaires et clairs. Cette méthode de recherche de frontières du relief n'apporte guère d'amélioration en ce qui concerne les temps de calcul, elle réduit

le nombre de paramètres choisis par l'opérateur. Ces deux méthodes que sont la morphologie mathématique et un procédé numérique d'étude de la fonction de gris ont cette complémentarité que l'une est adaptée à l'étude qualitative et quantitative des objets en fonction de leur forme, et que l'autre réduit le nombre de paramètres.

Le coût est élevé. En effet si le temps requis pour une ouverture (sur VAX/780) est de l'ordre de la seconde pour une image 256×256 , on ne peut envisager de traiter une image $4\,000 \times 4\,000$ par un algorithme où se succèdent des transformations composées d'ouvertures, fermetures de taille variable et d'algorithmes allant jusqu'à convergence !



PAYSAGES DU VAL DE LOIRE

Madame GIRARD
Institut national agronomique Paris-Grignon
Botanique - Ecologie végétale
Thiverval - Grignon

Composition colorée des canaux vert, rouge et proche infra-rouge d'une scène du 27 juillet 1975 Landsat MSS, couvrant une partie de la Vallée de la Loire. Le but de ce travail est de montrer comment l'étude des valeurs radiométriques et de la structure de l'image permet de définir et de classer des paysages ruraux. Le résultat obtenu est une carte d'unités de paysages, ainsi qu'une classification hiérarchisée de ces unités.

L'interprétation a été réalisée sur un tirage au $1/500\,000$, on a isolé les grands ensembles caractérisés par leur couleur et leur structure. Les couleurs sont liées au type d'utilisation du sol : zones non cultivées, forêts, prairies, sols nus (secs ou humides), cultures annuelles... La structure de l'image est liée aux ombres portées dues à la morphologie ainsi qu'aux réseaux hydrographiques dont on suit parfaitement le tracé sur le canal infrarouge.

La description des unités de paysage est normalisée grâce à l'emploi d'une fiche de description comportant plusieurs rubriques :

- hydrographie (réseau, type de réseau, densité et importance des vallées, tracé du cours d'eau), occupation du sol (forêts de feuillus, de résineux, prairies et plantes sarclées, cultures annuelles, chaumes, sols nus) ;
- pour chaque type on retient 7 modalités (absence, couverture très faible, faible, assez faible, forte, très forte, quasi-totale) ;
- le parcellaire est étudié en fonction de sa dimension, de sa forme et de sa structure.

Les unités ainsi définies sont nommées unités de paysage, elles se regroupent dans des ensem-

bles plus vastes appelés paysages ruraux et dont le détail est donnée dans le tableau récapitulatif.

La description des unités étant normalisée, ces données peuvent être traitées par moyen informatique, ce qui permet d'effectuer tous les types de regroupements souhaités, par exemple selon la taille des parcelles ou encore les types de réseaux hydrographiques, ou bien selon la disposition et l'importance des villes.

L'étude de la composition colorée montre que la plupart des villes de moyenne et grande importance sont préférentiellement situées sur les vallées de principaux fleuves. Certaines d'entre elles comme Le Mans, Châteauroux ont une position centrale dans un paysage rural, d'autres comme Orléans, Blois, Tours, Châtelleraut, Saumur, sont plutôt situées à la confluence de plusieurs paysages ruraux. Elles peuvent avoir un rôle important de lieu d'échanges si elles sont situées sur des grands axes fluviaux, leur rôle est beaucoup plus réduit et leur position marginale s'il s'agit d'axes mineurs.

Une telle interprétation visuelle est facile et rapide à réaliser (3 jours de travail environ) elle demande peu de moyens techniques. Elle sera d'autant mieux faite et plus utile qu'elle sera réalisée par une personne au fait des problèmes à souligner.

Elle apporte des renseignements intéressants sur les caractéristiques naturelles et agricoles de paysage ou d'unités de paysages ruraux. C'est typiquement le genre de produit utile dans une DDA ou une DDE pour prendre des décisions de restructuration agricole et foncière. L'échelle, petite, permet d'englober un grand territoire et de mettre en évidence les ressemblances entre unités parfois éloignées géographiquement.

Mais les avantages décrits ci-dessus impliquent des inconvénients inhérents : manque de précision dans les unités (zonage assez général), pas de détail sur les zones urbaines qui apparaissent sous forme de taches, travail réalisé au coup par coup, compte tenu de la non automatisation actuelle des étapes de l'interprétation. On peut penser que dans un avenir assez proche, par analyse automatique des formes et des structures, on pourra éviter ce dernier inconvénient. Résultat cartographique (unités de paysage et paysages ruraux) réalisé par interprétation visuelle de cette composition colorée : 3 jours. Coût : celui des compositions colorées MSS, délai d'obtention 2 mois environ s'il s'agit d'une scène déjà acquise.

Lieu de traitement : il s'agit ici de l'Institut français du pétrole, mais le même type de composition colorée peut être réalisé au GDPA, BRGM...