

## CHAPITRE 3

# TELEDETECTION ET CARTOGRAPHIE A GRANDE ECHELLE DE LA VEGETATION ALLUVIALE: EXEMPLE DE LA BASSE PLAINE DE L' AIN

par Jacky GIREL

Introduction.-.....	45
I.- Apports des photographies aériennes pour l'analyse de l'organisation spatiale du confluent. Approche synchronique.....	46
II.- Apports des photographies aériennes pour l'étude de l'évolution du confluent. Approche diachronique.....	60
III.- Télédétection par satellite. Perspectives pour l'étude de la végétation des plaines alluviales.....	66
Conclusion.- .....	73

## INTRODUCTION

Au niveau de sa confluence avec le Rhône, l'Ain a construit un delta constitué de dépôts sableux grossiers venant s'appuyer sur les alluvions rhodaniennes plus fines.

Plusieurs raisons expliquent la très grande diversité de la végétation :

- la forte variabilité de la composition granulométrique des sédiments;
- la profondeur plus ou moins grande de la nappe aquifère;
- le remaniement fréquent des sols par l'action du cours d'eau;
- l'impact des activités humaines: agricoles (défrichage...), industrielles (carrières, dépôts, chantiers...), touristiques (bases de loisirs, aménagements cynégétiques et piscicoles...).

Afin de mettre en évidence les facteurs responsables de la genèse, de l'évolution ou de la disparition des groupements végétaux on doit établir, en première analyse, un document cartographique qui donne l'image la plus précise possible de la végétation existant à un moment donné. Pour ce faire, il est nécessaire d'effectuer une typologie des communautés qui prenne en compte leur composition floristique (espèces dominantes) et leur aspect physionomique (hauteur moyenne, densité des individus...).

Dans cet article nous ferons le point sur les apports de l'analyse d'images (photographies aériennes, images satellites) et de données numériques fournies par la télédétection dans le cas particulier des milieux alluviaux.

On ne rappellera pas les notions générales de télédétection aérospatiale; pour plus de précisions sur les techniques employées et la définition des termes utilisés on se reportera par exemple à GABOURIAUT, 1984; GIRARD C. et M., 1974; NAERT, 1978; PAUL et al., 1982.

## I - APPORTS DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES POUR L'ANALYSE DE L'ORGANISATION SPATIALE DU CONFLUENT. APPROCHE SYNCHRONIQUE

Dans ce chapitre on étudiera la végétation (spontanée et cultivée) au cours de la période 1980-84 à l'aide de documents multidates; on réservera le terme "étude diachronique" (paragraphe II) à la description de l'évolution entre cette période de référence relativement stable et des périodes plus anciennes (ex. 1960-65).

Les missions de photographies aériennes (ou couvertures par photos aériennes) diffèrent par l'émulsion et l'échelle employées ainsi que par la période de l'année au cours de laquelle elles ont été effectuées.

On considère que chaque mission supplémentaire peut apporter une quantité d'information nouvelle égale à 60 % de l'"information non perceptible" (GIRARD, C. et M., 1974).

Si la première mission fournit 60 % d'information, la seconde mission apportera  $60 + (40 \times 0,6) = 84 \%$ ; en théorie quatre missions différentes seraient suffisantes pour qu'un photo-interpréteur puisse saisir l'essentiel de l'information (98 %).

### A - LES DIFFÉRENTES ECHELLES SPATIALES

#### Photographies aériennes à 1/60 000

Elles sont fournies par l'IGN; elles existent en panchromatique et infrarouge couleur (IRC). Pour la vallée du Haut-Rhône on dispose des missions de 1979 et 1984; nous avons particulièrement utilisé la plus récente (30 juillet 1984) pour laquelle des agrandissements IRC à 1/15 000 sont possibles.

L'échelle du 1/60 000 est très utile pour un zonage préliminaire. Un seul cliché correspond par exemple à la confluence Ain-Rhône (cf. carte n°3-1). Elle permet d'individualiser: les groupements forestiers, arbustifs, herbacés denses, stepiques clairsemés, les plans d'eau, les terrains agricoles, les zones suburbaines.

#### 2 - Photographies aériennes à 1/25 000 et 1/30 000

Il s'agit de couvertures panchromatiques et IR noir et blanc de l'IGN; les clichés sont de formats variables (24 x 24 cm, 19 x 19 cm ou même encore plus petits pour les missions les plus anciennes) et permettent généralement de visualiser des secteurs suffisamment grands.

En ce qui concerne l'analyse de l'organisation spatiale de la végétation, ces documents sont moins précis que les précédents mais ils constituent une banque de données anciennes unique. Le tableau 3.I donne la liste des missions disponibles à l'IGN pour la vallée du Haut-Rhône français.

#### 3 - Photographies aériennes à grande échelle: 1/15 000 et agrandissements

Elles donnent une vision détaillée et stéréoscopique de sections de vallées étroites: elles sont utilisées pour l'analyse, en relation avec les prospections sur le terrain. L'IGN propose (missions spéciales) des clichés en panchro, IR, IRC et couleurs réelles (tabl. 3.II). En outre, il est possible de faire réaliser des missions spéciales à très grande échelle (1/5 000) par des Sociétés privées qui peuvent fournir des clichés d'assez bonne qualité panchro noir et blanc, couleur réelle et IRC (missions PIREN-DDA, Isère, 15 avril et 21 octobre 1985, sur la section Pont de Cordon, Pont de Grosliée).

TABLEAU 3.I

Couvertures aériennes à 1/25 000 et 1/30 000 de la vallée du Haut-Rhône  
 Photographic coverages (picture mean scale: 1/25 000 and 1/30 000)  
 of the french upper Rhône-River valley

Section comprise dans la coupure 1/50 000 IGN de :	Année de la prise de vue	
	1/25 000 panchro. doublé I.R.	1/30 000 panchro.
St. Julien en G.	1961, 71...	1934, 52, 71, 78
Seyssel	1961, 71...	1934, 52, 68, 78
Rumilly	1963, 71	1937, 54, 78
Belley	1963, 71	1939, 46, 54, 78
La Tour du Pin	1963, 70, 71, 72	1939, 54, 63, 78
Montluel		1945, 56, 65, 70, 78
Lyon		1945, 56, 60, 65, 78

Confluence  
Ain-Rhône

TABLEAU 3.II

Couvertures aériennes à 1/15 000 de la vallée du Haut-Rhône  
 Photographic coverages (picture mean scale: 1/15 000)  
 of the french upper Rhône-River valley

Section comprise dans la coupure 1/50 000 IGN de :	Année de la prise de vue			
	Panchro. noir et blanc	I.R. noir et blanc	Couleurs réelles	I.R. couleur
St-Julien en G.	1971, 73	1971, 73	-	-
Seyssel	1971, 73	1971, 73	-	-
Rumilly	1971, 73	1971, 73	-	-
Belley	1971	1971	-	-
La Tour du Pin	1970, 71	1970, 71	-	1980, 82, 85 (1)
Montluel	1970, 71	1970, 71	1984	1980, 82 (2)
Lyon			1984	(3)

(1) en partie: zone de Brégnier Cordon; (2) en partie, de la confluence de l'Ain à Jons; (3) jusqu'à Lyon.

## B - DATE DE LA PRISE DE VUE (fig.3.1)

### 1 - Photographies aériennes d'hiver

Les missions aéroportées réalisées au cours de l'hiver (novembre à mars) apportent peu d'informations. Néanmoins, nous analyserons la mission spéciale PIREN-Rhône du 8 février 1980 effectuée lors d'une crue.

#### a) La végétation spontanée

L'image apporte des informations sur les structures forestières: les différentes strates, leur densité et leur recouvrement sont mis en évidence. Les anciens chenaux et les plans d'eau en voie de colonisation (cariçaies à *Carex elata*, à *Carex acutiformis*, groupements à *Typha latifolia*...) souvent masqués par les houppiers des arbres voisins deviennent nettement visibles. En outre, en période hivernale entre 12h 30 et 13h, les ombres portées sont nettes; elles représentent sur les plans d'eau et sur l'écran clair des champs dépourvus de végétation, des projections qui renseignent sur la composition floristique et la taille des groupements de haie ou de lisière: Peupliers de forme colonnaire des landes, Robiniers, Chênes pédonculés...

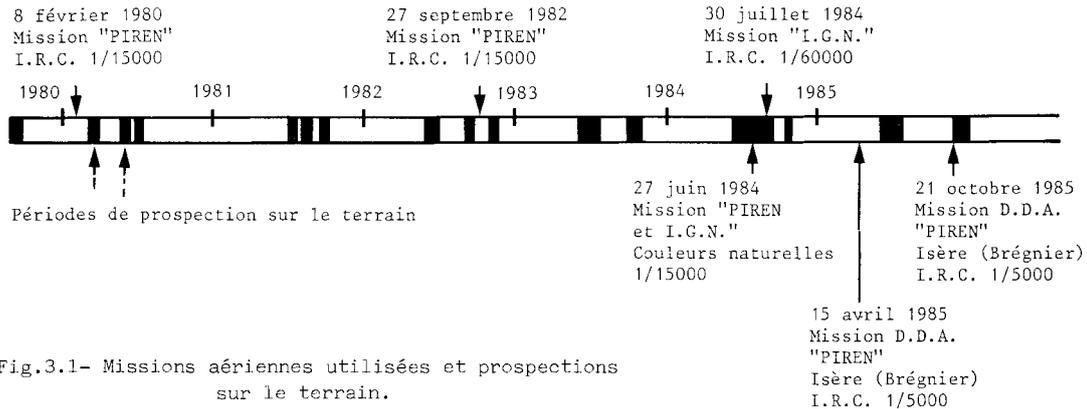


Fig.3.1- Missions aériennes utilisées et prospections sur le terrain.

Photographic coverages and ground controls.

Les espèces à feuilles pérennes se détachent nettement quelle que soit l'émulsion; ainsi on peut cartographier directement:

- les reboisements en résineux (parcelles éparses çà et là au milieu des zones agricoles): Epicéa, Douglas, Pin sylvestre et Pin noir d'Autriche;
- les groupements à Buxus sempervirens: affleurements calcaires du Bugey ou de l'Ile Crémieu, Poudingues de la côtière de Dombes...;
- les bosquets ou même les individus, de Juniperus communis présents çà et là sur les alluvions des Brotteaux.

#### b) les cultures

Durant l'hiver il existe une forte proportion de sols nus (semis de blé et orge d'automne, labours récents dans le cas particulier de la mission analysée). Cette période est donc particulièrement favorable pour les observations pédologiques. Les dépôts sableux, les sols riches en cailloux et galets de surface sont faciles à délimiter.

Les parcelles occupées par les végétaux sont rapidement repérables; on distingue nettement :

- les lignes de chaumes secs du maïs récolté l'automne précédent et non encore enfouis;
- les champs de luzerne;
- les champs de colza (seule culture en activité chlorophyllienne).

## 2 - Photographies aériennes du début de l'été

La période végétative est comprise dans notre région entre mars et novembre. L'aspect des végétaux spontanés est variable au cours de cette période. La mission du 27 juin 1984 sera prise comme exemple.

#### a) La végétation spontanée

La couverture foliaire des espèces spontanées est maximale si bien que seule la vision stéréoscopique permet de faire la distinction entre les groupements; elle permet de cartographier la végétation arborescente, arbustive et herbacée. Le découpage peut être affiné en se basant sur la densité des individus; il est difficile cependant d'aller plus loin car l'identification des espèces est impossible.

#### b) Les cultures

La fin juin permet une diagnose précise des cultures. On peut identifier:

- céréales précoces (orge d'automne, escourgeon) récoltées ou en cours de récolte;
- céréales plus tardives (blé, avoine, orge de printemps) encore sur pied;
- maïs précoce, présent sous forme de plantules déjà bien développées et se traduisant par de minces traits fins (roses, verts, noirs... suivant l'émulsion) sur le fond clair du sol nu.

Le maïs tardif n'est pas visible; dans la basse vallée de l'Ain cette culture nécessite un apport d'eau régulier pendant une grande partie de sa période végétative si l'on veut être assuré d'un bon rendement. L'arrosage par aspersion permet de repérer facilement cette culture au stade de pré- ou de post-levée: les zones imbibées d'eau ont une teinte et une forme caractéristiques (fig.3.2).

En outre, les peuplements d'adventices résistantes comme les divers *Rumex*, *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* et *hybridus*, *Setaria viridis*, *Agropyrum* divers et *Ambrosia artemisiifolia* (de plus en plus répandue), forment des taches nettement visibles sur le fond clair du sol nu. En revanche, les clichés du début de l'été ne permettent pas de faire la différence entre ray-grass, luzerne, colza et céréales récoltées.

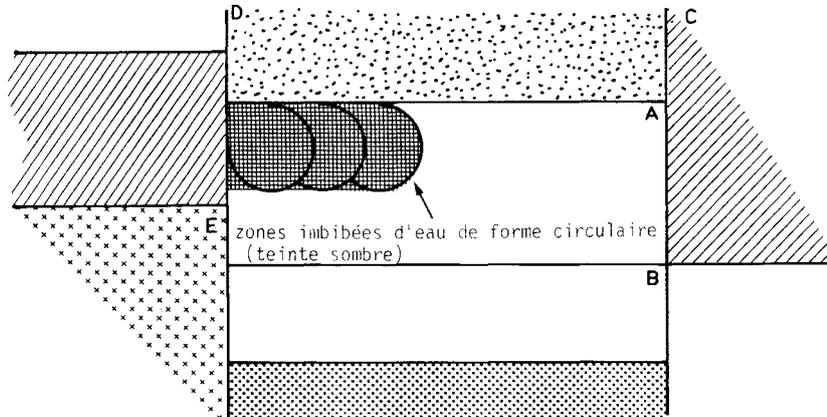


Fig.3.2- Exemple de l'identification d'une culture: le maïs au stade post-levée. (A: parcelle de maïs irriguée par aspersion; B: parcelle de maïs non irriguée; C-D-E: autres cultures non irriguées).

An example of photo-identification: post-sprouting stages of *Zea Mays* in an irrigated plot (sprinkler irrigation).

### 3 - Photographies aériennes du plein été

La mission du 30 juillet 1984 servira d'exemple.

#### a) La végétation spontanée

L'aspect de la végétation ne varie pas au cours de la période estivale. Cependant une sécheresse exceptionnelle a des effets néfastes sur les végétaux, perceptibles sur les clichés aériens; ce fut le cas en 1983 et 1984.

A cause du déficit en eau et des chaleurs exceptionnelles nous avons constaté le jaunissement d'individus de *Tilia cordata*, *Acer platanoides* et *A. pseudoplatanus* à partir du 14 juillet 1984 par exemple. Ces individus s'identifient facilement sur les agrandissements à 1/15 000 des clichés du 30 juillet 1984. Les groupements herbacés xérophiles ou mésophiles sont desséchés alors que les hygrophiles et les mésohygrophiles ont une activité photosynthétique.

#### b) Les cultures

A la fin du mois de juillet les moissons de céréales d'hiver sont terminées; les parcelles qui accueillait l'orge par exemple sont facilement repérables: présence des andains de paille, (traces du passage de la moissonneuse-batteuse) ou présence de bottes de pailles cylindriques...

Les parcelles qui accueillait le colza sont prêtes pour une prochaine culture (déchaumage ou même labour): la couche de galets de l'horizon superficiel est facilement repérable.

Par suite de conditions de sécheresse particulière, la mission de l'été 1984 fournit des clichés qui sont de très bonnes cartes de répartition du maïs. En effet, compte tenu de la faible extension du soja et de la lenteur de la repousse des luzernes, seule cette culture montre une forte concentration chlorophyllienne (réflectance dans le vert). Le maïs apparaît en une teinte (grise, rouge ou verte selon les émulsions) d'autant plus soutenue que la plante est vigoureuse; lorsque la plante souffre de la sécheresse (soils peu profonds à nappe phréatique trop basse des "Brotteaux" et des terrasses) les teintes deviennent beaucoup plus pâles.

Les superficies occupées par les autres céréales peuvent être facilement évaluées: les chaumes sont nettement visibles et restent en place (la préparation des sols devant être différée à cause de la sécheresse).

#### 4 - Photographies aériennes de fin d'été

La mission aérienne (IRC) du 27 septembre 1982 sera prise comme exemple.

##### a) La végétation spontanée

La fin septembre correspond généralement à une période d'étiage: les bancs de sable et de gravier en voie de colonisation par les espèces pionnières herbacées ou ligneuses (*Phalaris arundinacea*, *Epilobium dodonaei*, *Salix triandra*, *Salix viminalis*...) sont bien visibles.

Les autres groupements végétaux ont un aspect sensiblement identique à celui présenté sur les clichés de plein été. Des photos prises en cours d'automne permettraient de distinguer les espèces dominantes dont les feuillages présentent un aspect différent. Ces clichés ne peuvent être effectués qu'au cours d'une brève période; ils sont très difficiles à obtenir (une mission spéciale datant du 21 octobre 1985 permettra de montrer ultérieurement quels sont les apports spécifiques des missions d'automne dans le cas d'une portion de vallée située à quelques dizaines de kilomètres en amont).

##### b) Les cultures

- Les orges d'hiver qui sont semées plus tôt que le blé sont aux stades de pré- ou de post-levée; on les identifie aux sols nus ensemencés (traces de la machine).

- Les sols nus (parcelles de céréales déchaumées, labours, semis récents) sont particulièrement abondants sur les terrasses et dans les secteurs sensibles à la sécheresse au moment de cette prise de vue; comme les photos d'hiver, les photos de fin d'été conviennent bien pour étudier certains aspects pédologiques.

- Le colza dont les semences sont effectuées au cours de la 2ème quinzaine d'août apparaît déjà nettement et se traduit par des traînées sombres régulièrement espacées sur le fond clair des sols nus.

- Les prairies artificielles et la luzerne restent confondues (teintes sombres homogènes).

- Les stades phénologiques du maïs (principale culture de l'espace alluvial) se repèrent facilement. C'est la seule culture non encore récoltée; elle apparaît de manière différente selon son état de maturité: les variétés tardives sont encore en activité chlorophyllienne intense et tranchent nettement par rapport aux variétés précoces qui se traduisent par une couleur différente du fait de la dessiccation de la plante (l'activité chlorophyllienne est réduite, les feuilles se resserrent et laissent ainsi apparaître le sol). Ce phénomène s'observe également dans une même parcelle (même variété de maïs) mettant alors en évidence des veines de sols plus sensibles à la sécheresse ou pauvres en matière organique.

#### 5 - Photographies aériennes de printemps

La mission concerne un secteur de vallée situé à 50 km en amont de la confluence aux environs de Brégnier-Cordon, elle a eu lieu le 15 avril 1985; elle a été complétée par une mission d'automne (21 octobre 1985).

##### a) La végétation spontanée

Une analyse succincte montre que cette date correspond à divers stades phénologiques (du débourrage à la foliaison complète) qui permettent de distinguer: le Peuplier noir, le Saule blanc, le Frêne et les Aunes dans les secteurs alluviaux; les Chênes, le Charme et le Robinier sur les terrasses.

La distinction est également possible entre divers groupements arbustifs (Saule cendré, Bourdaine, Cornouiller sanguin, Aubépines...) et herbacés (*Solidago*, Phragmites, Reine des Prés).

##### b) Les cultures

La différence entre céréales d'automne (activité chlorophyllienne: teintes sombres) et céréales de printemps (post-levée: teintes claires) est nette. Il en est de même entre prairies naturelles (teintes plus pâles) et prairies artificielles (teintes plus sombres, traces dues au semoir). Les labours récents (teintes très sombres) et plus anciens (teintes plus claires) sont nombreux en cette période où l'on prépare les sols pour les semis de maïs ou les plantations de tabac. Les parcelles de maïs de l'année précédente lorsqu'elles n'ont pas été déchaumées se traduisent par une teinte blanc grisâtre caractéristique, striée de brun dans le cas où les tiges n'ont pas subi un broyage après récolte.

La luzerne, les prairies artificielles se confondent très souvent avec les céréales d'hiver (activité chlorophyllienne: teintes sombres). Ces dernières res-

tent cependant identifiables lorsque la parcelle vient de subir un désherbage chimique en début de tallage très fréquent en cette période de l'année (traces caractéristiques du passage du tracteur).

## C - EMULSION UTILISEE

### 1 - Photographies aériennes noir et blanc

Les tableaux 3.I et 3.II donnent la liste des missions IGN réalisées en panchromatique et IR noir et blanc.

Les différentes nuances de gris et l'aspect variable du toit en vision stéréoscopique apportent de nombreuses informations. Malgré l'existence d'analyseurs d'image capables de différencier mieux que l'oeil humain un grand nombre de nuances, on doit reconnaître que ces photographies sont d'un emploi délicat; on leur préférera les clichés IRC lorsqu'ils existent.

Les missions noir et blanc panchromatiques et infrarouge seront utilisées en complément d'autres missions et d'autres émulsions pour étudier l'évolution de la végétation au cours du temps (étude diachronique, paragraphe II).

### 2 - Photographies aériennes en couleurs réelles

Elles enregistrent la même bande spectrale (400 à 700 nm) que les panchromatiques noir et blanc mais sur trois couches sensibles respectivement au rouge, au bleu et au jaune. Leur prix de revient est donc plus élevé. Les différentes réflectances se traduisent pas des couleurs et des teintes variées; l'analyse de la mission du 27 juin 1984 à 1/15 000 montre que ce type d'émulsion a un "pouvoir différenciateur" moyen: les céréales mûres et les chaumes (blanc jaunâtre) le colza et les prairies artificielles (brun verdâtre) restent par exemple confondus. On note cependant quelques informations intéressantes.

#### a) La végétation spontanée

Cette émulsion met clairement en évidence les groupements arborescents et arbustifs composés en majorité par des espèces à feuillage blanchâtre comme le Saule blanc et le Peuplier blanc et à un degré moindre les arbustes comme Salix viminalis, S. triandra et S. eleagnos.

Les autres espèces feuillues alluviales (Populus nigra, Fraxinus excelsior, Alnus glutinosa, Ulmus minor, Quercus robur, Robinia pseudacacia, Acer negundo...) restent toutes confondues. Les groupements herbacés hygrophiles et mésophiles sont représentés par des teintes vertes peu différentes tandis que les groupements xérophiles apparaissent en vert foncé mêlé de taches brunâtres (sol).

TABLEAU 3.III

Correspondance cultures-teintes (émulsion couleur réelle, mission 1/15 000, 27 juin 1984)

Correlations between colour and crops (photographic coverage: 1/15,000, natural colour film, June 27, 1984)

Couleur	Texture et structure	Indice de façon culturale	Cultures
vert moyen	homogène (lisse)	parfois traces de semoir "manques" en début de champ	luzernes (non fauchées) ray-grass
vert brunâtre avec traces jaune clair	hétérogène (tachés)		colza (début de dessiccation)
blanc jaunâtre	homogène strié, lisse	traces de semoir "manques" à l'extrémité des parcelles	céréale d'hiver à maturité (orge d'aut.).
blanc jaunâtre avec traces (ou taches) verdâtres	taché-punctué	"	céréale de printemps (orge) ou avoine
fond blanc jaunâtre avec lignes verdâtres espacées et discontinues	hétérogène (taches d'adventices)	lignes du semoir. Traces du tracteur aux extrémités des parcelles	maïs précoce
fond blanc jaunâtre (sol nu)	homogène (lisse)	cercles sombres: excentrés (arrosage) traces du tracteur	maïs tardif

### b) Les cultures

Le tableau 3.III donne une description de la signature des principales cultures de la plaine du Haut-Rhône faite avec ce type de matériel en début d'été (27 juin).

#### 3 - Photographies aériennes infrarouge couleur (IRC)

Les caractéristiques spectrales de la végétation en IRC (ou "fausses-couleurs") ont été bien étudiées par de nombreux auteurs depuis 1970 et comparées aux résultats obtenus avec d'autres types d'émulsion; on montre que ces documents sont les meilleurs pour l'étude de la végétation car ils mettent en évidence des différences minimales de réflectance. On trouvera un résumé précis sur le sujet dans un travail récent auquel nous renvoyons (DAELS et al., 1985).

Au niveau de la confluence Ain-Rhône quatre missions IRC ont été utilisées à différentes périodes entre 1980 et 1985 (cf. fig.3.1).

Ce type d'émulsion fait apparaître :

- l'eau libre en bleu ou en noir;
- les sables et graviers nus en blancs;
- les sols cultivés nus en vert bleu (cyan) plus ou moins sombre selon le degré d'humidité des horizons supérieurs;
- la végétation verte (en activité chlorophyllienne) en roses et rouges plus ou moins soutenus selon la densité du couvert;
- la végétation sèche (arbres morts, chaumes...) en vert bleu.

Suivant la période de l'année considérée chaque type de groupement et chaque type de culture se traduisent par une teinte et un aspect (forme du toit, façons culturales...) caractéristiques. L'image des végétaux varie dans le temps et dépend de la phase phénologique en cours; chacune des phases (repos hivernal, gonflement des bourgeons, floraison, feuillaison, croissance des pousses, apparition des couleurs automnales, chute des feuilles...) est plus ou moins propice à la différenciation des espèces.

BEST et al., 1981, montrent par exemple que huit espèces d'hydrophytes (parmi lesquelles Alisma plantago-aquatica, Phragmites communis, Scirpus fluvialis, Typha angustifolia) sur les dix étudiées se différencient nettement par leur réflectance dans le visible et le proche IR au printemps (phase phénologique de floraison) et en automne (phase phénologique de maturation des graines); six espèces restent confondues par contre sur les clichés IRC de fin d'automne et d'hiver (phase phénologique de sénescence).

Les deux phases les plus longues (repos hivernal et végétation estivale) correspondent pour les espèces à feuilles caduques à des périodes pendant lesquelles la plupart des arbres et arbustes présentent une même teinte et ne peuvent s'individualiser que par leur forme.

Le début du printemps et le début d'automne constituent, en revanche, des périodes assez courtes au cours desquelles plusieurs phases phénologiques peuvent se succéder. Une mission aéroportée effectuée à une date bien choisie dans ces périodes sera riche en informations car elle permettra d'identifier les principales espèces par leur aspect phénologique caractéristique (YELAGIN et LOBANOV, 1979) :

- Robiniers en phase de débouillage;
- Chênes en phase de début de feuillaison;
- Erables en phase de croissance des pousses....

L'identification des groupements herbacés est aisée du mois d'avril à la fin juillet. Des travaux (GIRARD, C., 1982) ont été effectués sur la diagnose des prairies par télédétection; ils montrent que les espèces des pelouses calcaires ont une réflectance dépendante.

1) Dans le visible :

- de la teneur en chlorophylle;
- de la présence d'inflorescences et de leur coloration;

2) dans l'IR et le proche IR :

- de la structure interne des feuilles;
- de la teneur en eau de la plante.

Tous ces facteurs varient au cours de la période végétative et chaque groupement prairial homogène (pelouses à Bromus, à Arrhenatherum, à Cynosurus...) se caractérise par une signature qui lui est propre.

La densité du couvert végétal (importance des surfaces de sol nu) l'aspect de la phénopase colorée (couleur dominante des inflorescences) et l'état de l'activité chlorophyllienne (degré de flétrissement ou de dessèchement des espèces) sont des caractères descriptifs faciles à identifier sur le terrain; ils permettent de choisir, pour la prise de vue, une date susceptible d'individualiser facilement un grand nombre de groupements prairiaux.

Les cultures ont également une signature spectrale qui varie avec la saison. Contrairement à la plupart des végétaux spontanés elles présentent en outre l'avantage de se différencier très souvent les unes des autres pendant les phases de repos hivernal et de végétation estivale car elles nécessitent tout au long de l'année un certain nombre de travaux (préparation du sol, semailles, désherbage, arrosage, épandage d'engrais, récolte, enfouissement des chaumes...) particuliers à chaque espèce cultivée et dont de nombreux indices sont perceptibles sur les clichés IRC. Il existe de plus, un décalage entre les phases phénologiques: le maïs est en phase de feuillaison lorsque les autres céréales sont en phase de maturité des grains.

### 3.1 - Photographies aériennes IRC d'hiver (exemple: mission de février 1980 à 1/15 000)

#### a) La végétation spontanée

- . Coloration rosée ou rouge des espèces à feuilles pérennes.
- . Différenciation nette entre sol (couleur: blanc, vert bleu pâle) et végétaux secs (plus sombres) ce qui permet d'identifier certains groupements par la teinte spécifique que donne le mélange végétal sec - sol nu visible (ex: les groupements herbacés à Bromus erectus, Stipa joannis, Brachypodium pinnatum... des séchés mais assez denses apparaissent en vert olive sombre, tandis que les groupements clairsemés à Teucrium et Fumana procumbens se traduisent par une gamme de blancs bleutés caractéristiques de sols nus).
- . Les sols gorgés d'eau et submergés se repèrent par des teintes bleu clair ou bleu foncé; ces clichés donnent des informations sur l'étendue de la crue, le sens des écoulements, les secteurs à fortes vitesses des courants et donc par conséquent sur l'emplacement des divers groupements aquatiques, subaquatiques et hygrophiles adaptés à ces phénomènes (ex: saussaies à Salix triandra et S. viminalis colonisant les dépôts submergés par les faibles crues ou les forts débits).

#### b) Les cultures

Les identifications faites sur le terrain en février et mars 1980 nous ont conduit à élaborer le tableau de correspondance 3.IV.

TABLEAU 3.IV  
Correspondance cultures-teintes (mission IRC, février 1980)  
Correlations between colour and crops (photographic coverage:  
1/15 000, infra-red false-colour film, February 8, 1980).

couleur	noir avec traces roses	marron - rouge brique	rouge		rouge intense
structure	hétérogène	homogène ou hétérogène	homogène	hétérogène	homogène
indice de façon culturale	-	traces de semoir, lignes visibles	traces de semoir		
↓ CULTURES	<b>LUZERNE</b> (la plante apparaît peu ou mal); ne pousse pas en jours courts (présence de rosettes et tiges sèches)	<b>CEREALES D'AUTOMNE</b> le blé semé plus tard est peu développé l'orge qui recouvre de grandes surfaces dans cette région est donc le plus souvent représenté par cette couleur	<b>PRAIRIES ARTIFICIELLES</b> (ray-grass)	<b>PRAIRIES NATURELLES</b> PELOUSES d'AGREMENT	<b>COLZA</b>

. Les champs de maïs de l'année précédente, non encore labourés s'identifient par la présence de lignes noirâtres régulières (tiges sèches et couchées dans le sens du passage de la machine) sur le fond vert-bleu du sol nu (désherbage). Lorsque les tiges sont broyées afin de faciliter le labour et la décomposition de la matière organique, les résidus végétaux sont répandus de façon uniforme: la parcelle présente alors une teinte claire homogène, bleutée.

. Les labours récents (préparation en vue des semis de printemps) apparaissent en teinte vert-bleu foncée.

. Les labours anciens dont les horizons superficiels se sont desséchés ont une couleur vert-bleu très claire; des taches blanches apparaissent là où les graviers et galets lavés par les pluies sont nombreux en surface.

. L'absence de couverture végétale dans une grande partie de l'espace agricole met en évidence deux types de sol; on note, en effet, l'existence d'un

chevelu de veines plus ou moins dense (couleur sombre) plus riches en éléments fins matérialisant des traces d'écoulement vers le Rhône et s'imprimant sur une toile de fond plus claire constituée, dans ses horizons de surface, par une grande proportion d'éléments grossiers (graviers, cailloux, galets).

### 3.2 - Photographies aériennes IRC de plein été (exemple: mission du 30 juillet 1984)

#### a) La végétation spontanée

La phase de "végétation estivale" ne permet pas une différenciation poussée des groupements car les teintes varient peu (rouges soutenus traduisant une forte activité chlorophyllienne); on note cependant la couleur nettement plus pâle (rose blanchâtre) des groupements arborescents à *Salix alba*.

A l'aide d'indicateurs structuraux on peut identifier sans difficulté (cf. carte n°3.1):

- les plans d'eau permanents et leurs bordures à hautes herbes;
- les groupements forestiers denses et les groupements arbustifs denses (et en extraire les bois de *Salix alba* et les fourrés de *S. viminalis*);
- les groupements forestiers ouverts;
- les groupements arbustifs ouverts;
- les pelouses xérophiles;
- les steppes à sols dénudés;
- les dépôts sans végétation.

#### b) Les cultures

Un cliché IRC de plein été est une excellente carte de répartition du maïs. Cette culture apparaît d'un rouge d'autant plus soutenu que la plante possède un forte recouvrement. Dans les environs de la confluence Ain-Rhône ces secteurs présentant de bonnes potentialités de rendement sont bien représentés (carte 3.1):



Carte n°3.1- Photo-interprétation d'un cliché IRC 1/60 000 du 31 juillet 1984.

Photo-interpretation of a false-colour picture (Aerial photography of Jul. 1984, scale : 1/60 000).

- en amont et en aval de Loyettes et aux environs du village de Marcilleux où ils constituent une frange étroite sur alluvions rhodaniennes fines (petites parcelles);
- tout le long du fossé qui passant par les Echanots traverse la plaine et rejoint les alluvions du Rhône au lieu-dit "La Croix du Nez"; ils matérialisent un ancien lit du XIVème - XVème siècle (BRAVARD, 1986);
- à proximité des anciens lits de Blyes et de Sous-Bresse (parcelles moyennes);
- sur le pourtour du hameau des Gaboureaux, à la confluence de plusieurs réseaux de veines à sols plus fins (grandes parcelles);
- çà et là, dans de grandes propriétés où l'on pratique l'irrigation par aspersion (grandes parcelles).

Mis à part le tabac (rouge très foncé, absent de cette partie de plaine alluviale), la luzerne et les prairies non fauchées (rose), les autres cultures apparaissent en blanc ponctué parfois de traces grisâtres:

- les prairies non fauchées et les pelouses sèches se détachent par une teinte gris rosé traduisant l'état de dessiccation avancée de certaines espèces (graminées) et l'activité chlorophyllienne d'autres espèces;
- les parcelles les plus claires (blanc lumineux) correspondent aux céréales récoltées (chaume + sol désherbé);
- le colza, la luzerne et les céréales non récoltées constituent un ensemble relativement homogène.

Légende de la carte n°3.1 ci-contre

	COULEUR	TEXTURE	STRUCTURE	IDENTIFICATION OU INTERPRETATION	REPRESENTATION	SUBDIVISIONS POUVANT ETRE EFFECTUEES AVEC D'AUTRES INFORMATIONS
GRANDS ENSEMBLES IRRÉGULIERS (milieu naturel)	bleu clair à bleu nuit	nulle	plate (pas de reliefs)	eau libre: plans d'eau cours d'eau, gravières...		eau stagnante, eau courante, plans d'eau naturels, artificiels, avec ou sans végétation aquatique
	blanc	nulle	plate	dépôts sableux, graveloux, sol nu		sables fins, grossiers, graviers, galets, cailloux...
	rouge foncé	granuleuse ± irrégulière	une strate haute (de 3-8m environ)	groupements forestiers denses		découpage selon la composition floristique (espèces dominantes) et la physionomie du groupement (densité du couvert, diamètre des arbres...)  Cf. carte de la végétation
	rouge foncé	granuleuse fine assez régulière	une strate de 1 m à 2 m dense	groupements arbustifs denses		
	rouge clair	légèrement granuleuse	plate avec parfois quelques irrégularités	groupements arbustifs bas et groupements à hautes herbes subaquati- ques et hygrophiles		
	points et taches rouge brun sur fond gris clair à gris foncé	ponctué, rayé complexe, très irrégulière	complexe: bosquets de dimensions et de hauteur variables (1,50 m à 3 m)	groupements arbustifs ouverts sur sols nus dominants		
MOSAÏQUE DE PARCELLES GEOMETRIQUES AGRICULTURE	rouge clair intense	rayures fines très serrées présence de taches blanches	très régulière (1 m, une seule strate)	grandes parcelles de maïs		sur sols sableux sur sols plus grossiers irrigués
	blanc avec traces rouge clair	rayures fines visibles	irrégulière	parcelles de maïs souf- frant de la sécheresse (taches blanches = sol)		petites et moyennes parcelles (près de Loyettes)
	blanc lumineux	parfois marbrures gris foncé	assez régulière	cultures de céréales moissonnées, luzerne, colza fauchés (chaumes secs + sol nu)		les grands types de sols
	blanc avec traces vert bleu	rayures très fines	régulière	céréales mures non fauchées		grandes parcelles environs de St-Vulbas EDF et des Gaboureaux Brotteaux mis en culture
	bandes rouge brun entourant des parcelles cultivées	bandes nettes rectilignes	strate variable assez haute	haies à arbustes divers. Quelques grands arbres		carte agronomique cartes thématiques... (ex: zones irriguées)
AUTRES ACTIVITES HUMAINES	bleu clair (parfois ponctué de blanc ou rose)	nulle ou avec quelques irrégularités	plate	eau libre, sable et grou- pements aquatiques → plans d'eau artificiels (sablères...)		anciennes: présence de végétation aquatique (scirpaic...) récentes: sans végétation aquatique
	blanc	nulle	plate	remblais, dépôts de sable, carières		zones industrielles zones de loisir centres commerciaux etc.
	formes typiques (habitat suburbain et rural groupé)			grandes constructions: entrepôts, usines; parkings et grandes voies d'accès asphaltés		zones urbaines, suburbaines, lotissements, etc.
				constructions indivi- duelles, jardins, pelou- ses (villages)		

3.3 - Photographies IRC de fin d'été  
(exemple: mission du 27 septembre 1982)

a) La végétation spontanée

A la fin de l'été on note déjà quelques légères modifications des teintes sur les émulsions IRC. Ces différences associées à une meilleure définition structurale et texturale des "toits" (due à une plus grande échelle du document) permettent de délimiter les principaux groupements (tabl.3.V,VI,VII).

TABLEAU 3.V

Clé de détermination des groupements forestiers  
(mission IRC, 1/15 000, 27 sep. 1982)

Interpretation key of forest communities  
(photographic coverage: 1/15 000, I.R.C., September 27, 1982).

Forme du "toit"	couleur	situation	groupement à
fines granulations régulières	rouge foncé	amont d'anciens chenaux	<u>Alnus glutinosa</u>
grosses granulations irrégulières	rouge rosé blanchâtre	zones proches du lit de l'Ain et du Rhône	<u>Salix alba</u>
très grosses granulations irrégulières	rouge foncé	anciens chenaux colmatés	<u>Populus nigra</u> <u>Fraxinus excelsior</u> <u>Ulmus minor</u> <u>Quercus robur</u>
granulations moyennes plus ou moins régulières	rouge clair	bord de l'Ain et de bras secondaires (bourrelets de berges)	<u>Acer negundo</u> <u>Fraxinus excelsior</u> <u>Tilia cordata</u>

TABLEAU 3.VI

Clé de détermination des groupements ligneux bas  
(mission IRC, 1/15 000, 27 sept. 1982)

Interpretation key of shrub communities  
(photographic coverage: 1/15 000, I.R.C., September 27, 1982).

Forme du "toit"	couleur	situation	groupement à
fines granulations serrées	rose, claire parfois blanche	proximité du lit principal	<u>Salix viminalis</u>
granulations moyennes irrégulières	rouge rosâtre	dépôts sableux, zones soumises aux faibles crues	<u>Salix triandra</u> <u>Salix viminalis</u>
fines granulations assez lâches	rouge noirâtre	dépôts anciens inondés en crues exceptionnelles	<u>Cornus sanguinea</u>
granulations irrégulières peu denses	variable: du rose clair au rouge noirâtre	dépôts de sables et graviers	<u>Salix eleagnos</u> <u>Populus nigra</u> <u>Ligustrum vulgare</u>
granulations irrégulières très denses	rouge moyen	rives convexes d'anciens lits	<u>Crataegus monogyna</u>

TABLEAU 3.VII

Clé de détermination des groupements herbacés  
(mission IRC, 1/15 000, 27 sept. 1982)

Interpretation key of herbaceous communities  
(photographic coverage: 1/15 000, I.R.C., September 27, 1982).

couleur	types de sols	groupements
rouge	sols saturés en eau en bordure des cours d'eau; anciens lits	groupements hygrophiles divers
rouge clair	dépôts sableux	pelouses mésophiles denses ( <u>Bromus erectus</u> , <u>Brachypodium pinnatum</u> ...)
rouge brunâtre	dépôts sableux	pelouses xérophiles clairsemées à <u>Teucrium</u>

b) Les cultures

L'analyse des photographies IRC permet de proposer le tableau de correspondance 3.VIII.

TABLEAU 3.VIII

Clé de détermination des cultures  
(mission IRC, 1/15 000, 27 sept. 1982)

Interpretation key of cropland  
(photographic coverage: 1/15 000, I.R.C., September 27, 1982).

couleurs	caractéristiques structurales et culturelles	culture
vert-bleu clair avec taches blanches	très finement strié parfois dans le sens longitudinal de la parcelle	labour ancien (effectué une semaine au moins avant la prise de vue)
vert-bleu noirâtre, très foncé	-	labour récent
vert-bleu clair avec traces noires (chaumes secs) et roses (adventices)	-	chaumes de céréales d'automne ou de colza non labourés
vert-bleu clair (sol sec) avec traces roses	lignes régulières et roses (jeunes plantules)	colza (semis)
rouge vif homogène	pas de lignes bien visibles taille peu élevée	luzerne
rouge vif à rouge mêlé de brun clair brun verdâtre ponctué de rose	lignes régulières assez espacées plantes de haute taille	maïs à divers stades de maturité

3.4 - Photographies aériennes IRC de début de printemps

Une section de plaine située en amont de la confluence (région de Brégnier-Cordon) a fait l'objet de deux missions spéciales aéroportées à des dates choisies pour leur intérêt en ce qui concerne la photo-interprétation des groupements végétaux spontanés (15 avril 1985 et 21 octobre 1985).

Quelques informations intéressantes ont été relevées par un examen rapide des clichés IRC de la mission de printemps.

## a) La végétation spontanée

- Les Erables (Acer pseudoplatanus, A. platanoides) présentent l'aspect estival: feuillage bien fourni, apparaissant en rouge intense.
- Le Chêne pédonculé, le Charme, le Frêne, les Aunes (Alnus glutinosa, A. incana), l'Orme (Ulmus minor) sont à des stades divers allant du débourrage à la foliaison et s'individualisent par des teintes variant du rose blanchâtre au rouge.
- Le Robinier non encore feuillé conserve l'aspect hivernal.
- Les arbustes (Salix cinerea, Cornus sanguinea, Crataegus monogyna) lorsqu'ils constituent des bosquets ou des peuplements suffisamment étendus sont aussi très caractéristiques.
- Les pelouses fauchées et pâturées (rouge intense avec taches blanches) du Mesobromion et de l'Arrhenatherion elatioris sont déjà reverdiées tandis que les groupements hygrophiles s'individualisent par la présence d'une forte biomasse (correspondant aux tiges et feuilles sèches de l'année précédente) qui apparaît en vert-bleu clair taché de noir.

## b) Les cultures (voir tableau de correspondance 3.IX)

Une étude effectuée dans les vallées de la Garonne et du Pô (CHARDENON et FLOUZAT, 1981) a montré qu'on pouvait différencier des clones de Peupliers en utilisant des photos IRC à grande échelle prises au cours du début de la foliaison (mai); quatre stades de développement correspondant aux quatre clones apparaissent nettement alors que rien n'est visible en période de débourrage (photos de mars-avril) ou de développement avancé du feuillage (photos de juin).

Les missions spéciales de printemps renseignent également sur les conditions d'hydromorphie des sols agricoles alluviaux; elles permettent de différencier les sols hydromorphes des sols à meilleur drainage et montrent que l'IR est utilisable pour la détection de l'humidité et de caractères qui peuvent lui être liés comme la qualité et la quantité des matières organiques et la nature ou l'induration des horizons de profondeur (semelle de labour par exemple) (ARROUAYS et al., 1984).

TABLEAU 3.IX

Clé de détermination des cultures  
(mission spéciale PIREN-DDA, IRC, 1/15 000, 15 avril 1985)  
Interpretation key of cropland  
(photographic coverage: 1/15 000, I.R.C., April 15, 1985).

couleur	indices de façons culturales	cultures
rouge intense avec taches blanches	taches blanches des refus ou des zones sous-pâturées	prairies pâturées
rouge intense uniforme	traces de semoir "manques") traces de passage du tracteur (désherbage)	prairies de fauches entretenues et fertilisées céréales d'automne (blé + orges)
blanc ou blanc avec lignes régulières noirâtres	tiges broyées	maïs
	tiges non broyées	
vert-bleu clair	sol nu très finement strié	labour ancien (semis)
vert-bleu foncé		labour récent

## D - CRITERES DE CHOIX

Les apports des divers types de photographies aériennes pour la cartographie de la végétation spontanée et des cultures d'une plaine alluviale ont été présentés; la qualité et le nombre des informations sont très variables d'une mission à l'autre.

Un plan d'utilisation des couvertures aériennes (fig.3.3) est proposé. Il s'appuie sur l'expérience acquise au cours de cinq saisons de terrain (cf. fig.3.1) et s'applique à l'étude des nouvelles sections de vallées afin d'en analyser

l'organisation spatiale avec plus de rapidité et d'efficacité; Ce plan convient bien à la réalisation de cartes à grande échelle dont le but est de donner un état détaillé des sites avant aménagement.

L'expérience méthodologique permet de limiter à trois le nombre de couvertures aériennes nécessaires pour l'étude synchronique:

- une mission d'été à échelle moyenne, IRC (ex: 1/60 000 IGN de juillet ou août) récente;
- une mission de fin d'été à grande échelle, IRC (ex: mission spéciale de fin septembre);
- une mission de début de printemps -où à défaut de fin d'automne- à grande échelle, IRC (ex: mission spéciale de mi-avril ou de fin octobre).

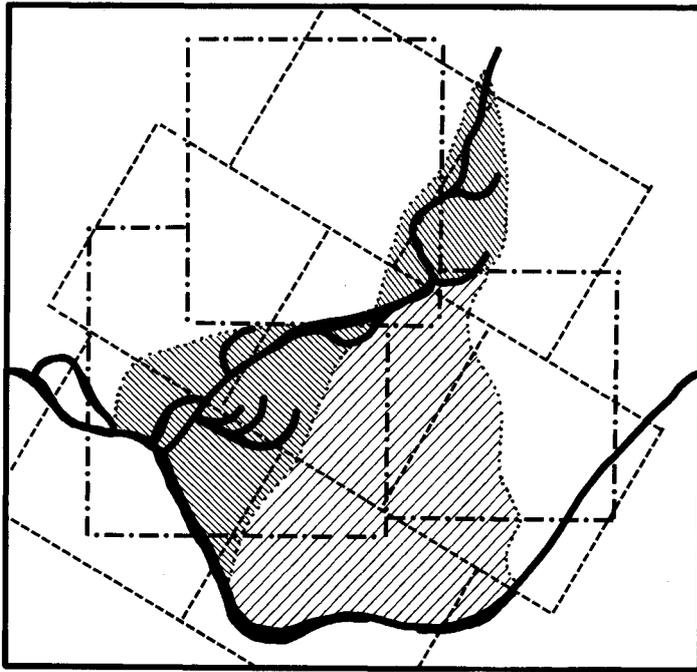


Fig.3.3- Plan d'assemblage des couvertures aériennes interprétées

Photographic assemblies of interpreted aerial-photographs

- 1/60 000 IGN - IRC
- - - 1/30 000 Panchro. ou IR (IGN)
- . - . 1/15 000 IRC et couleurs naturelles (missions spéciales)

	Etude synchronique	Etude diachronique
Etude Préliminaire	1) 1/60 000 IRC (plein été) (ex: 31 juillet 1984) (Mission IGN)	
CARTE DÉTAILLÉE: Utilisation synchrone avec prospections sur le terrain	2) 1/15 000 IRC (fin d'été)(ex: 27 sept. 1982) (Mission spéciale)	Missions IGN noir et blanc anciennes disponibles Documents satellites (éventuellement)
	3) 1/10 000 ou 1/5 000 IRC (ex: avril 1985) (début de printemps ou automne) (Mission spéciale)	
	4) Compléments: 1/15 000 IRC hiver (ex: 8 février 1980) 1/15 000 couleurs naturelles été (ex: 27 juin 1984)	

Fig.3.3- Plan d'utilisation des différents types de photographies aériennes pour l'étude et la cartographie de la végétation à grande échelle de la plaine alluviale du Rhône.

The different types of aerial-photographs used to carry out a large scale vegetation Mapping in the french Upper-Rhône valley (the photographic coverages are classified in order of importance concerning photo-interpretation).

II - APPORTS DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES  
 POUR L'ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU CONFLUENT.  
 APPROCHE DIACHRONIQUE

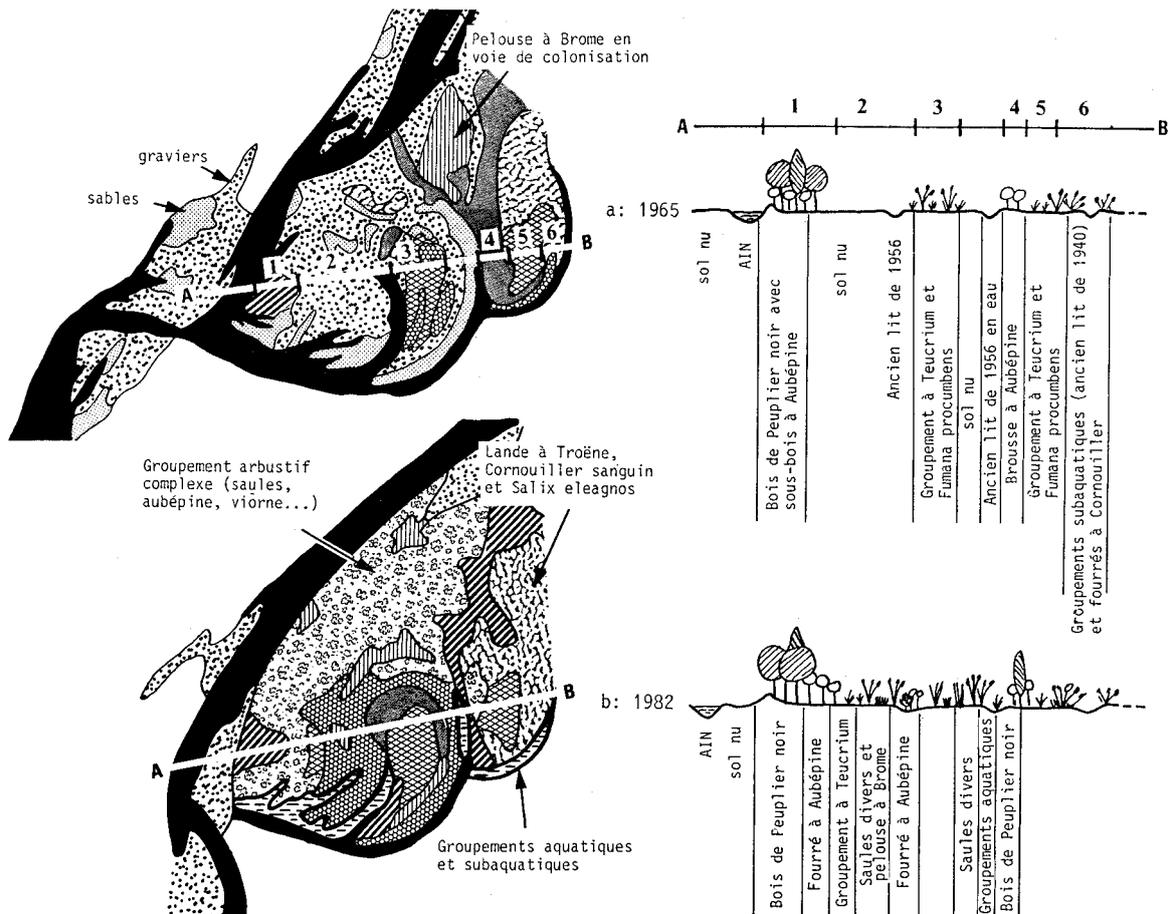
Les documents photographiques fournis par l'IGN permettent d'étudier l'évolution du confluent pendant quarante ans (cf. tabl.3.I); dans cette partie, on décrira plus particulièrement l'évolution des espaces naturels et agricoles au cours des vingt dernières années en comparant les missions présentées dans le paragraphe I à une couverture aérienne panchromatique réalisée au cours de l'été 1965.

A - DYNAMISME DE LA VÉGÉTATION SPONTANÉE

Nous prendrons pour exemple les alentours des anciens lits des Brotteaux de Loyettes (carte n°3.2).

1 - Création et disparition de milieux neufs

Les dépôts alluvionnaires susceptibles d'accueillir la végétation spontanée sont une conséquence de l'action des cours d'eau qui les construisent, les modifient ou les détruisent.



Carte n°3.2- Evolution de la végétation spontanée entre 1965 et 1982 dans les Brotteaux de Loyettes.

Detailed maps and diagrammatic representation showing the natural vegetation changes in abandoned channels and alluvial deposits of the Ain-River flood-plain.

a) summer 1965 - b) summer 1982

Ainsi, on peut noter qu'entre les deux dates de prise de vues les variations du cours de l'Ain ont supprimé, réduit ou créé certains territoires colonisés ou non par la végétation et dont voici quelques exemples:

- en rive droite, destruction de berges occupées par des pelouses à Bromus erectus;
- au niveau de la confluence, destruction des groupements ripariaux, mésohygrophiles et hygrophiles d'un ancien lit de 1930 redevenu fonctionnel en 1984;
- en rive gauche, dépôt de matériaux alluviaux et colonisation en amont des anciens lits de 1940 et 1956;
- au niveau de la confluence, les anciens lits de 1970 et 1984 ne sont plus fonctionnels et permettent l'installation notamment de groupements à Phalaris arundinacea et Salix divers;
- en bordure ou dans le lit création-destruction de milieux caractérisés par une végétation à la fois pionnière et climacique (fles et dépôts à Phalaris arundinacea, Melilotus albus...).

## 2 - Transformation d'un groupement végétal

Les dépôts alluvionnaires anciens en cours de colonisation évoluent selon des processus dynamiques déjà décrits pour la vallée du Rhône ou bien selon des variantes qui engendrent des séquences propres au système "Ain" (cf. PAUTOU et GIREL, 1986).

Le "stade de colonisation" par les végétaux à un instant "t" (dans notre cas, 1965 ou 1984) dépend de l'âge et de la nature du substrat (on appelle ici "âge", l'intervalle de temps pendant lequel il n'y a pas régénération du milieu); la composition du groupement pionnier est liée aux contraintes hydrologiques (fréquence et importance des crues, profondeur et variations de la nappe souterraine).

La mission IGN panchromatique (doublée IR) de 1965 (carte n°3.2a) montre des groupements ayant une signature analogue à celle de pelouses, landes ou bois repérés sur les clichés de 1980, 82 ou 84 et identifiés sur le terrain. En outre, la présence de tels groupements dans ces situations écologiques particulières étant tout à fait vraisemblable, tout nous autorise à penser que cette identification rétrospective a une grande chance d'être exacte.

La comparaison 1965-1982 du secteur des Brotteaux de Loyettes (carte n°3.2) permet de préciser l'évolution à partir de quelques exemples (tabl.3.X).

TABLEAU 3.X

Evolution de la végétation aux environs des anciens lits des Brotteaux de Loyettes entre 1965 et 1982-84.

Vegetation changes between 1965 and 1982-84 in the vicinity of the former meanders "Les Brotteaux de Loyettes".

section du transect AB (carte n°3.2)	1965	1982-1984
segment n°2	dépôts récents: sables fins (sombres)	groupements arbustifs à saules divers; à <u>Crataegus</u> +pelouses à <u>Bromus erectus</u> , <u>Brachypodium pinnatum</u> , <u>Festuca gigantea</u> , <u>Poa trivialis</u> ...
	sables grossiers, graviers, galets... (blanc)	brousses ouvertes à <u>Salix eleagnos</u> ; groupements xérophytiques à <u>Teucrium divers</u> et <u>Fumana procumbens</u> .
segment n°1	dépôts plus anciens: lande à <u>Populus nigra</u> à strate arbustive de <u>Crataegus monogyna</u> dense	bois de <u>Populus nigra</u> dense à strate arbustive peu développée
segment n°4	dépôts sableux avec limon de surface en rive concave d'un ancien lit (1956): brousse arbustive épaisse à <u>Salix alba</u> , <u>Salix triandra</u> , <u>Ligustrum vulgare</u> , <u>Crataegus monogyna</u> ...	bois de <u>Populus nigra</u> , <u>Fraxinus excelsior</u> , <u>Salix alba</u> ...

En vingt ans, on note qu'il n'y a pas d'évolution pour :

- les groupements clairsemés à Teucrium divers, Fumana procumbens et touffes de Salix eleagnos, Epilobium dodonaei et Plantago cynops sur graviers et galets en position haute (segments 3 et 5, transect AB, cartes n°3.2a et b);
- les brousses et fourrés à Prunus spinosa, Cornus sanguinea, Salix eleagnos, Viburnum lantana sur certains dépôts des rives convexes des anciens lits (segment 6).

## B - EVOLUTION DE L'ESPACE AGRICOLE

### 1 - Apparition et disparition de terrains cultivés

Les modifications du paysage agricole liées au développement industriel et urbain seront traitées dans le paragraphe suivant. Nous montrerons ici le rôle du fleuve dans la destruction et la genèse de milieux utilisés à des fins agricoles.

#### a) Destruction de berges

Malgré la construction d'épis ou de cordons d'enrochement, l'Ain érode ses rives. Il existe un secteur particulièrement menacé à quelques centaines de mètres en amont de la confluence, à Puits-Novet; entre 1965 et 1982 plusieurs parcelles ont été assez fortement amputées. Cette érosion a cessé en 1984 lorsque la rivière a brusquement emprunté son ancien lit de 1930.

#### b) Genèse de milieux neufs

Les milieux neufs (anciens lits abandonnés, dépôts d'alluvions) dus à l'activité du cours d'eau sont utilisés par l'homme à des fins différentes, les conditions économiques et les moyens techniques évoluant rapidement selon les époques.

- La plaine située entre les anciens lits du XV-XVIème siècle et ceux de 1853 a été très longtemps utilisée comme terrain de parcours pour les troupeaux; cette exploitation peu intensive a contribué à l'installation de groupements de peulouses xérophytiques dont la réserve de Loyettes (bien étudiée par FAURIE, 1971) et quelques autres parcelles menacées de disparition constituent en 1985 les dernières reliques. Ce sont des groupements herbacés à Bromus erectus et Stipa joannis (=S. pennata) riches en espèces méridionales où quelques acidophiles (Filipendula hexapetala, Calluna vulgaris...) se mêlent au cortège des Brometalia. Les dépôts particulièrement grossiers sont occupés par l'association à Teucrium chamaedrys, Teucrium montanum et Fumana procumbens.

A partir de 1960 -et surtout ensuite entre 1965 et 1982- les progrès techniques en agronomie, en machinisme agricole et en irrigation vont permettre d'y installer des cultures répondant aux nouvelles conditions économiques: céréales d'hiver (orge, blé), luzerne, colza, maïs. Cette immense zone alluviale jugée longtemps peu productive à cause de la xéricité de ses sols ne se distingue plus maintenant des terroirs voisins si on considère les cultures qu'on y pratique; elle demeure cependant très différente car ses sols gardent leurs caractéristiques physico-chimiques (sols superficiels, très perméables, pauvres en matière organique... qui conduisent les exploitants à prendre certaines précautions lors des pratiques culturales (labour peu profond, apports d'eau et d'engrais réguliers, enfouissement d'engrais verts) et du choix des assolements.

- Les anciens lits principaux riches en éléments fins et fertiles (ex: ceux de Puits-Novet, fonctionnels en 1965-70) sont souvent défrichés et mis en culture. Leur abandon après certains essais infructueux conduit à l'installation de groupements spécifiques dont l'origine peut être expliquée par l'analyse diachronique.

### 2 - Transformations internes de l'espace agricole

Dans ce paragraphe on donnera des exemples des mutations de l'agriculture régionale par le biais de l'analyse diachronique du paysage rural dans l'intervalle 1965-1982/84 (carte n°3.3):

- évolution du parcellaire: agrandissement des parcelles dans les régions de Loyettes et Marcilleux;
- réduction du bocage liée aux opérations de remembrement: les haies sont maintenues dans certains secteurs mais changent d'aspect à cause du dépérissement et de la mort d'Ulmus minor qui était l'espèce dominante (environs de Loyettes, Saint-Vulbas et Blyes);
- création de peupleraies à l'emplacement de prairies humides ou après des coupes à blanc dans les groupements à Aunes, Frênes, Peuplier noir...; plus rarement plantations de résineux (Pin noir, Epicéa; une parcelle en bordure d'un ancien lit à l'amont de Port-Galant !);

- changement des pratiques culturales et des assolements: disparition complète des prairies permanentes, des terrains de parcours et des cultures variées (élevage) au profit de la céréaliculture (orge, blé, maïs), du colza et de la luzerne dont on constate l'extension au nord-est de l'agglomération de Loyettes.

L'agriculture s'est transformée tout en restant adaptée aux conditions écologiques du milieu (orge, colza et luzerne ont d'assez bons rendements sur ces sols à faible rétention en eau); l'installation de systèmes d'irrigation par aspersion tend à agrandir l'aire de répartition du maïs; localement des cultures d'oléagineux (soja, tournesol) ou de féverole apparaissent.

Cette mutation vers la céréaliculture et les cultures industrielles se traduit dans le paysage par la construction de dessertes, de hangars à matériel agricole au coeur de l'exploitation, de stations de pompage et de silos d'engrais. De manière plus indirecte les cultures céréalières constituent de nouveaux biotopes permettant la remontée d'espèces adventices méridionales ou introduites résistant aux désherbants chimiques; c'est le cas par exemple d'Ambrosia artemisiifolia qui partant des cultures voisines, envahit maintenant les sables limoneux déposés au contact Ain-Rhône (anciens lits de Puits-Novet).

## C - REPERCUSSIONS DES AUTRES ACTIVITES SUR LA VEGETATION

L'espace alluvial est convoité par d'autres utilisateurs: industriels, collectivités locales, communes, carrières...

### 1 - Impact lié aux industries

La proximité de l'agglomération lyonnaise, la présence de la centrale EDF de Saint-Vulbas, l'existence de grandes surfaces planes jugées peu productives, la proximité de grandes voies de communication (routes, autoroutes, ligne SNCF internationale et possibilité d'aménagement d'un port et de voies navigables) justifient le projet de création du complexe industriel et urbain de la "plaine de l'Ain" (cf. DDE de l'Ain, cahiers de la Plaine de l'Ain, 1974-75).

Les infrastructures industrielles se multiplient de chaque côté de la route départementale 65 qui relie Loyettes à Port Galant (carte n°3.3a et b); on note entre 1965 et 1984 l'installation ou l'agrandissement:

- d'entrepôts et de leurs dépendances;
- d'une usine de fabrication de matériaux en béton armé dont les annexes (carrières, dépôts et chantiers d'extraction) se sont étendues sur une grande partie de la plaine alluviale à l'aval de Port-Galant. Les carrières désaffectées constituent des milieux neufs dont on peut suivre la colonisation par la végétation et la transformation pour la pisciculture.

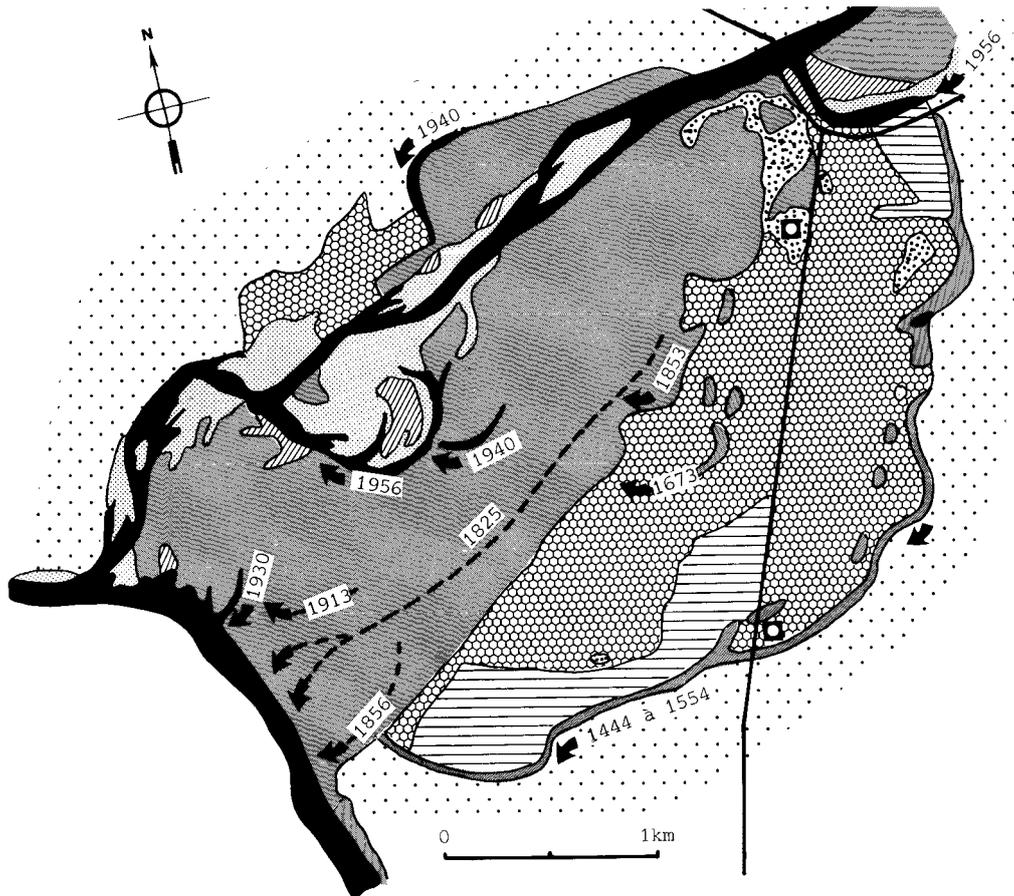
Les lignes électriques à haute tension se sont multipliées et se remarquent sur les clichés récents par la présence de bandes déboisées à travers les "Brotteaux" de Gourdans, de Port-Galant et de Loyettes; la recolonisation se fait par un groupement nitrophile à Solidago canadensis, Rubus sp., Dipsacus sylvestris...

### 2 - Impact lié à l'urbanisation

On constate, autour de Loyettes surtout, une extension de la zone suburbaine et un mitage de l'espace agricole.

L'accroissement de la population conduit les responsables communaux à créer des stations de pompages, des stations d'épuration ou de dépôt des déchets domestiques et industriels. Afin de préserver la nappe phréatique d'une pollution, les aménageurs sont conduits à délimiter un périmètre de protection; celui-ci constitue une portion de territoire où persistent des groupements de pelouses. Il en est de même pour les carrières abandonnées servant de dépôt d'ordures (celles de Loyettes existaient déjà en 1965) qui conservent sur leur pourtour des lambeaux herbacés représentant, avec la réserve botanique de Loyettes, les dernières reliques de la grande plaine à Bromus erectus et Stipa joannis (cf. cartes n°3.3) mais pour combien de temps encore ?

Les dépôts sauvages s'étendent dans certains "Brotteaux" ou sur les talus du Rhône, de l'Ain et de leurs anciens lits. La décomposition d'une grande quantité de matière organique et la présence de déchets végétaux provenant des jardins alentour favorisent l'installation d'espèces introduites qui seront naturalisées: Buddleja, Hibiscus, Sambucus ebulus, Polygonum sacchalinense, Ailanthus glandulosa... (cette dernière s'est particulièrement bien développée à partir d'un foyer qu'on peut situer au niveau du Port-Galant; elle constitue maintenant un groupement arborescent de substitution de la chênaie-frênaie).



Légende commune aux deux cartes

 Eau libre	 Pelouses à <i>Bromus erectus</i> et <i>Stipa pennata</i>
 Sol dénudé (sables et graviers déposés par les cours d'eau)	 Sol dénudé d'origine anthropique (gravières, dépôts, remblais)
 Début de colonisation par les espèces pionnières	 Zone mise en culture entre 1960 et 1965
 Groupements arborescents et arbustifs anciens	 Zone agricole ancienne
	 Anciens lits (Bravard, 1986)
	 Routes principales  Entrepôts

Carte n°3.3a- Occupation des sols en 1965 (d'après mission IGN 1965 panchro).

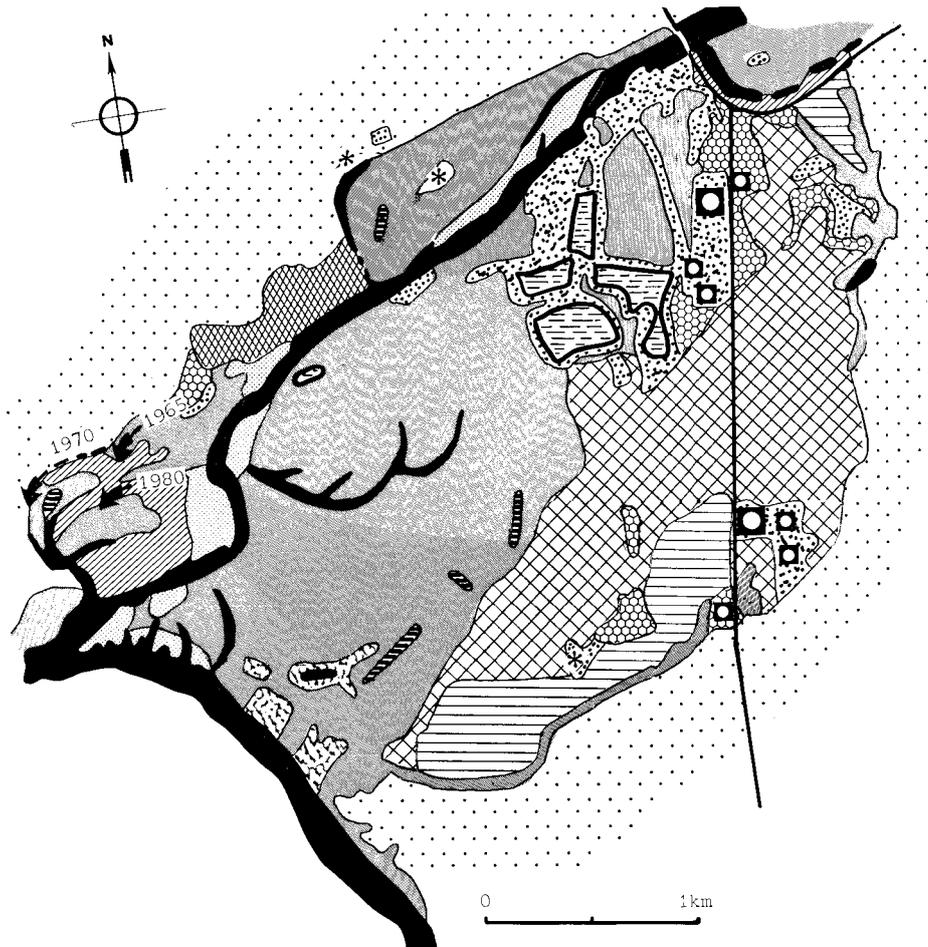
Diachronic photo-interpretation and Land-cover Mapping in the lower Ain-River valley. Summer 1965.

### 3 - Impact lié aux activités de loisir

La proximité de Lyon, la qualité du cours d'eau sur le plan sanitaire, la présence de grandes plages de sables et de galets et l'existence de vastes étendues communales incultes expliquent l'attrait de la basse plaine de l'Ain en aval de Pont d'Ain pour les pêcheurs, chasseurs, baigneurs et campeurs.

- Les communes riveraines de l'Ain utilisent leurs "Brotteaux" pour implanter des terrains de sport et des bases de loisir (terrains de camping, plans d'eau...); on peut remarquer l'extension de ces aménagements à Saint-Maurice de Gourdans, Saint-Jean de Niost, Blyes...

- L'origine anthropique de certains groupements en place est bien montrée par les photographies aériennes; c'est le cas, par exemple, des groupements à *Oenothera biennis*, *Epilobium dodonaei*, *Solidago canadensis*, *Conyza canadensis*... qui jouxtent des pelouses à *Bromus erectus*. Ils colonisent de petites parcelles



Légende de la carte ci-dessus

- |  |  |
|--|--|
| * Dépôts d'ordures et de matériaux divers        | Coupes à blanc                             |
| Plans d'eau artificiels                          | Zone de mise en culture entre 1965 et 1982 |
| Bases de loisirs (terrains de sport, camping...) | Essais de culture                          |

Carte n°3.3b - Occupation des sols en 1982 (d'après mission spéciale IRC PIREN du 28.IX.82).

Diachronic photo-interpretation and Land-cover Mapping in the lower-Ain-River valley. In summer 1982.

abandonnées après défrichage et culture de maïs ou de sarrasin dans un but cynégétique. De la même manière, on peut montrer l'origine anthropique de petits plans d'eau dont la présence ne trouve pas d'explication par l'action ancienne du fleuve.

#### D - DOCUMENTS MULTIDATES ET EVOLUTION DES RELIQUES FORESTIERES

L'évolution des groupements arborés dispersés dans les milieux neufs et dans l'immense espace réservé aux activités agricoles est efficacement analysée par l'observation diachronique de documents aériens. Selon HUSAK (1982), on évalue leur extension ou leur diminution après les avoir classés selon leur structure (parcelles, mosaïques, haies, bosquets, individus isolés) et regroupés en deux grandes catégories:

1°) une catégorie constituée par des espèces spontanées, reliques de l'occupation ancienne du sol, ou influencées par l'action humaine actuelle (élagages, traitements en taillis...). C'est le cas des haies et bosquets à Quercus robur et Fraxinus excelsior sur alluvions fines rhodaniennes et des haies à Ulmus minor, Robinia pseudacacia des alluvions plus grossières de l'Ain; elles ont considérablement diminué à mesure que la céréaliculture se développait. C'est le cas également des petits bois à base de Robinia pseudacacia qui colonisent les pentes les plus fortes des talus et côtières; ils tendent à se développer sur les parcelles non labourables et à se transformer en bois à feuillus divers lorsqu'ils ne sont pas exploités régulièrement (piquets de clôture, bois de chauffage). Cette évolution qui touche le pourtour de la plaine alluviale est liée à l'abandon des activités traditionnelles d'élevage-polyculture.

2°) Une catégorie constituée par des espèces cultivées ou ornementales.

Ainsi, les plantations d'Epicéa, de Pin noir, de Pin sylvestre (sur alluvions sableuses) et de Peupliers (sur alluvions fines) qui occupent de petites parcelles; l'absence d'entretien au cours des premières années conduit rapidement au retour des espèces indigènes: Populus nigra, Crataegus monogyna, Prunus spinosa ou Alnus glutinosa, Fraxinus excelsior, Salix alba. Les espèces ornementales comme Ailanthus glandulosa, Gleditschia triacanthos, Buddleja (ou même Polygonum sachalinense !) se multiplient rapidement par voie végétative dans les haies et tous les espaces non entretenus par l'homme.

### III - TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE

#### PERSPECTIVES POUR L'ÉTUDE DE LA VÉGÉTATION DES PLAINES ALLUVIALES

Le prix élevé des missions spéciales aéroportées et l'intérêt de disposer rapidement de documents détaillés et précis sur la végétation des secteurs alluviaux nous conduisent à réfléchir sur les potentialités de l'imagerie satellite et à envisager l'application des techniques d'analyse qui lui sont liées.

Les recherches concernant l'apport de ces moyens répétitifs et automatiques d'acquisition et de traitement des données pour l'étude de la végétation sont bien avancées; nous ferons le point sur les principaux résultats intéressant les phytoécologues. Les apports des capteurs de première génération (MSS Landsat) et les perspectives offertes par les capteurs à haute résolution (TM Landsat et HRV SPOT) seront évaluées dans le cas des systèmes alluviaux.

Cette étude constitue un préliminaire à des travaux en collaboration avec les informaticiens de Centres de traitement d'images; notre objectif est le suivant:

- améliorer et expliquer les contours et contenus des formes spectrales;
- découvrir des techniques et des clés de détermination de groupements végétaux spontanés et cultivés (modèles d'interprétation multitemporels);
- ébaucher ou mettre au point des systèmes de cartographie automatique permettant un suivi efficace et régulier de milieux en perpétuel renouvellement.

#### A - LES DONNEES FOURNIES ET LEUR TRAITEMENT

On se limitera ici à une présentation des techniques mises en oeuvre au cours de ces dernières années pour l'exploitation des données fournies par les capteurs spatiaux (les grands principes de la télédétection par satellite sont exposés dans divers travaux: GIRARD C. et M., 1975; CHABREUIL A. et M., 1979; LENCO, 1982; les termes techniques dans le dictionnaire de PAUL et al., 1982).

##### 1 - Les données analogiques. Photo-interprétation

###### a) Les scanners ou radiomètres multispectraux

Chaque détecteur capte le rayonnement émis provenant d'un élément de surface appelé "pixel" (picture element). Une mesure globale de la luminance de chaque pixel est enregistrée pour l'ensemble des longueurs d'onde de chaque canal.

Un reconstituteur d'images (16 niveaux d'intensité de gris) établit un négatif noir et blanc sur film pour chaque canal. Ces négatifs peuvent être agrandis (jusqu'à 1/250 000 pour MSS Landsat 1 et 2); traités chacun avec une couleur élé-

mentaire arbitrairement choisie et superposés, ils donnent une image unique: la composition colorée, vue synthétique des canaux.

Les compositions colorées obtenues par addition de positifs ou de négatifs de 2, 3 ou n canaux sont des "fausses couleurs optiques" mettant en évidence les grandes composantes du paysage: eau libre, feuillus, résineux, sol nu, tissus urbains...

On distingue généralement :

- l'image en couleur composée standard (ICC): canaux 4,5,6 ou 7 traités respectivement en jaune, rouge et bleu. Elle est suffisante pour une étude globale, impossible à modifier et ne répond pas avec précision à une étude de la végétation;
- les images fausses-couleurs (IFC); l'expérimentateur utilise des combinaisons spéciales pour le choix des canaux, les gammes de densité, les codes des couleurs... compte tenu de ses objectifs.

Toutes ces images noir et blanc et fausses couleurs optiques sont lignées par blocs de six lignes et ne sont pas corrigées géométriquement. En outre, leur échelle est parfois mal adaptée à une étude précise de la végétation.

#### b) Les caméras multispectrales

(système satellite développé par l'URSS, DOYLE, 1984).

Pour faire l'évaluation précise du patrimoine forestier on utilise des appareils photographiques multispectraux à haute résolution (10 à 20 m) de type MKF6, MKF-6M, MSK-4 de Carl-Zeiss IENA à six canaux (quatre dans le visible et deux dans le proche IR). A partir de plates-formes d'observation, ces capteurs de type photographique fournissent six images de la même scène. Tout en ayant les avantages de la répétitivité, les vues aériennes obtenues gardent les qualités de la photographie (précision, reproduction et définition géométrique) et permettent d'enregistrer à la fois les dimensions spatiales (stéréoscopie) et les propriétés de réflexion diffuse des objets.

Les principes de la composition colorée s'appliquent bien à de tels documents: l'interprétation analogique des objets s'effectue visuellement, directement à l'aide d'un projecteur multispectral (type MSP-4C) qui permet le codage et la projection de plusieurs images spectrales simultanément. La soustraction, l'addition de couleurs, de tracés topographiques en surimpression sont réalisées instantanément; l'image obtenue après chaque manipulation peut être facilement reproduite et fixée sur papier pour être exploitée par plusieurs photo-interpréteurs.

Les sociétés spécialisées dans les techniques photographiques ont mis au point des techniques de traitement des images multispectrales de type "optique-photographique" visant à adapter ces documents à la perception par l'oeil humain:
 

- suppression de l'étalement provoqué par la vitesse de vol;
- remplacement des vingt niveaux de gris difficilement perceptibles par diverses couleurs;
- amélioration des procédés de filtrage, des couches et supports photographiques.

Pour plus de détails sur les photographies multispectrales et leurs traitements optiques on se reportera aux travaux suivants : KROITZSCH et FRUBRICH, 1983 et 1984; REICHSTEIN et al. 1983; SCHUBERT, 1983.

A toutes les images multispectrales (ou à l'image synthétique) on peut appliquer le traitement en "équidensité colorée". Cette technique consiste à isoler une densité de gris correspondant à un type donné d'objet sur le terrain. Une émulsion photographique spéciale permet d'obtenir une seconde image sur laquelle apparaissent en noir les zones de gris isolées, le reste de l'image étant transparent. L'opération peut ensuite être renouvelée pour les autres valeurs de gris. Les images d'équidensité obtenues peuvent être colorées puis superposées. Cette technique permet d'obtenir directement des cartes thématiques dont la précision ne dépendra que de la qualité de l'image photographique initiale.

Pour illustrer l'intérêt des photographies multispectrales et de leur traitement dans l'étude des axes fluviaux on citera les travaux récents de KUGLER et al. (1984) sur l'analyse des paysages de la vallée de la Saale, aux environs de Halle (RDA). Sur la base de vues aériennes multispectrales (caméras MKF-6 et MSK-4) multitudes les auteurs effectuent une photo-interprétation à grande échelle mettant en évidence les différentes composantes paysagiques de la vallée, leurs modifications saisonnières et leurs changements structuraux à moyen terme.

L'image en couleur synthétisée (composition colorée) fait apparaître nettement :

- les prairies, les labours, les ripisylves;
- les anciens lits qui ressortent sous forme de bandes de couleurs variables selon

la nature de la végétation naturelle, l'humidité du sol et la profondeur de la nappe phréatique.

En outre, les teintes vertes et jaunes signalent des peuplements végétaux en pleine vitalité, tandis que les teintes rouges traduisent une faible densité du couvert. La couleur permet également de différencier certaines cultures par leur état phénologique. Enfin, les modifications considérables entraînées par les ouvrages hydrauliques (dérivations, digues, barrages) sont facilement observables.

De bons exemples de la précision et de l'intérêt pour la cartographie de la végétation des documents photographiques fournis par une caméra multispectrale MKF-6 et du traitement en composition colorée sont donnés encore par les travaux des forestiers russes dans la vallée de la Léna (in : CHABREUIL, A. et M., 1979). Ils mettent en évidence par différentes couleurs :

- les anciens lits et méandres du cours d'eau;
- les forêts de pins;
- les forêts de feuillus.

La différenciation de certaines essences (Pin, Epicéa, Mélèze, Bouleau, Saule, Peuplier) à l'aide de teintes distinctes est possible lorsque ces espèces constituent des peuplements monospécifiques suffisamment étendus; il en est de même pour la distinction de peuplements homogènes par la taille, l'âge ou l'état sanitaire des arbres.

## 2 - Les données numériques

Les mesures radiométriques captées par le scanner sont numérisées en 256 niveaux d'énergie réfléchie possibles dans chacune des bandes spectrales explorées. Ces données sont collectées sur supports magnétiques haute-densité en scènes fixes (pour MSS de Landsat, une scène = 185 x 185 km soit 2250 lignes de 3240 pixels donc 7,3 millions de pixels). Ces enregistrements après "formatage" sont compatibles pour l'exploitation par ordinateur. On peut appliquer alors des traitements informatiques à ces données, classer chaque "pixel" selon des critères bien définis et visualiser les résultats sous diverses formes: écran cathodique, liste d'imprimante, tableaux ou diagrammes statistiques, cartes alphanumériques...

L'étude des couverts végétaux et des sols peut être efficacement entreprise à l'aide de divers traitements digitaux.

### a) Productions d'images fausses couleurs améliorées

Les utilisateurs de cette technique (LENCO et KIENZ, 1983) considèrent qu'un photo-interpréteur expérimenté peut tenir compte, mieux que les logiciels disponibles, des caractéristiques de proximité, texture, structure, forme des éléments de l'image qui sont la base de l'interprétation des composantes du milieu naturel. Les travaux informatiques sont effectués dans les bandes 4,5 et 7 et visent à obtenir le "délignage" des images, l'accentuation des contrastes, l'amélioration des couleurs, des contours ("rééchantillonnage" des pixels) et la mise à l'échelle demandée (1/250 000 à 1/25 000).

### b) Réalisation d'opérations arithmétiques ou logiques (ratios) sur les différents canaux

L'indice de végétation par exemple (bande 7 - bande 5 / bande 7 + bande 5) est fortement corrélé avec la biomasse végétale verte.

On peut également faire des analyses statistiques multidimensionnelles. Les résultats sont traduits par des cartes infographiques en couleurs traditionnelles.

### c) Classifications automatiques

Elles permettent de détecter automatiquement et rapidement les ensembles homogènes et conduisent à des documents cartographiques sur lesquels chacune des catégories de pixels retenue est codée par un signe ou une couleur.

#### - La classification "non dirigée"

Les ratios (rapports de canaux) et analyse en composante principale (b) peuvent être rattachés à ces "traitements informatiques non dirigés".

On regroupe les pixels ayant une valeur similaire de signature spectrale sans préjuger de leur signification sur le terrain. La cartographie est établie avant interprétation et sert de document de travail (approche probabiliste, LENCO, 1982). Le regroupement des pixels est établi à partir d'un histogramme à deux dimensions; plusieurs classes sont révélées et un restituteur d'images fournit une visualisation des pixels classés. Cette image, similaire à une carte, permet un travail d'interprétation à partir de données de terrains.

- La classification "dirigée"

On fixe le modèle d'interprétation au départ: les pixels sont classés en se référant aux connaissances de terrain. On établit une relation entre signatures spectrales et contenu des pixels (approche déterministe, LENCO, 1982). L'opérateur peut par exemple indiquer à l'ordinateur des régions uniformes et connues (marais, landes); la valeur moyenne des pixels est calculée dans ces parcelles de "vérité-terrain" et élargie ensuite à toute la scène. La validité de cette généralisation est ensuite vérifiée.

3 - Numérisation de données photographiques

Par cette technique automatisée (HANF et DETER, 1983) on transforme des données analogiques (photographies aériennes panchro ou IRC) en données numériques dans le but d'appliquer les traitements informatiques décrits précédemment (inverse de la restitution d'images vu au paragraphe 1, p.66).

L'intérêt de cette méthode pour l'étude des zones humides et leur cartographie automatique a été montré dans un travail réalisé en Languedoc-Roussillon (GABINAUD, NAERT et SALGADO, 1983).

On voit que le pouvoir de résolution de photos IRC à 1/25 000 numérisées convient au lever de cartes à une échelle voisine du 1/1 000 et que certaines unités sont cartographiables par des procédés automatiques.

Le meilleur pouvoir de résolution obtenu après numérisation correspond à une maille de 1,5 m x 1,5 m; l'exploitation est faite ensuite selon une démarche de type "dirigé". Les imperfections de cette méthode peuvent être corrigées par une étude multitemporelle.

B - "DONNEES MSS LANDSAT" ET CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION DES PLAINES ALLUVIALES

1 - Etudes synchroniques

- FOURNIER et SELLERON (1980) utilisent un traitement numérique en classification "dirigée" pour étudier la forêt domaniale de Haguenau (complexe alluvial rhénan) à partir de données de terrain du Fond Forestier National et de données MSS de Landsat 2. Ces auteurs montrent qu'on différencie assez nettement certaines structures comme les grands perchis (70% de concordance ou corrélations positives), les futaies claires (79%) ainsi que les résineux et les feuillus (94%). La distinction entre les différentes espèces de feuillus et de résineux est impossible.

- PETTINGER (1982) utilise le même type de classification dans le but de cartographier le couvert végétal de la vallée du Blackfoot-River (S-E de l'Idaho, USA). Un système de manipulation interactif d'images (IDIMS) permet d'effectuer la plupart des opérations décrites au paragraphe A, p.66 et 67:

- délimitage, correction et restauration d'images;
- définition de groupes ou classes de pixels correspondant à des réalités sur le terrain;
- production d'images couleur composite, etc.

La classification automatique dirigée à trois niveaux de précision est vérifiée par photographie aérienne IRC.

Niveau I : grands ensembles (forêts, landes, marais, agriculture): 83 % de concordance;

Niveau II : conifères, feuillus, groupements mixtes, marais herbacés, marais boisés, pâturages : 52 % de concordance.

Niveau III: distinction de l'espèce arborescente : 52 % de concordance.

Les images composites couleur standard et les compositions colorées fausses couleurs rendent possible la distinction entre certaines espèces de feuillus.

- BUTERA (1983) a étudié les plaines alluviales marécageuses du bas-Mississippi (Louisiane) et de la rivière Savannah (Caroline du Sud et Géorgie du Sud) aux Etas-Unis. La cartographie des roselières à Phragmites communis est réalisée après un traitement en classification automatique "dirigée" des données MSS Landsat. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec la même méthode appliquée à des données fournies par un MSS embarqué sur un avion (résolution 7 m x 6 m) et à ceux obtenus à partir d'une photoaérienne IRC. Si les premières données ne permettent pas d'obtenir une cartographie aussi détaillée que celle fournie par les autres, il n'en demeure pas moins que la classification "dirigée" en deux classes est suffisante pour différencier les deux grands types de phragmitales. La même méthode employée pour la cartographie d'une mangrove de Floride montre que les

données MSS Landsat sont efficaces pour mettre en évidence les deux ensembles principaux (85 et 74 % de concordance).

- En France, GAGNIER (1984) extrapole de façon satisfaisante à tout le delta du Rhône des mesures de potentialités pastorales obtenues à partir de données MSS Landsat et MSS fournies par un avion sur une zone test de 500 hectares.

## 2 - Etudes diachroniques

- BUTERA (1983) étudie la végétation marécageuse de la plaine alluviale de la rivière Savannah en se basant sur une analyse multitemporelle (été et hiver) des données MSS de Landsat 2 en classification automatique non "dirigée". Les classes sont définies par un "algorithme de maximum de vraisemblance" et comparées aux photographies aériennes et aux observations de terrain. Cette technique conduit à une partition de la région en douze types de groupements végétaux, les pourcentages de concordance se situant entre 78 et 82 %.

- CHAUME et COMBEAU (1983) par une approche statistique et analytique de données numériques MSS des trois premiers Landsat étudient l'évolution saisonnière d'une forêt de feuillus, d'un bois de résineux, de prairies humides et de sols nus du Bassin Parisien. Ils montrent l'intérêt du canal 7 et du canal 5, pour cette analyse multitemporelle; l'utilisation d'un indice de biomasse leur permet de faire la distinction entre les grands ensembles végétaux et de mesurer la densité du couvert au cours d'un cycle annuel.

- LENCO et KIENZ (1983) dans une étude cartographique d'une bande littorale de 20 km de longueur donnent la préférence à l'analyse diachronique d'images "fausses couleurs améliorées" fournies par le MSS de Landsat 2.

Les IFC améliorées et restaurées à 1/100 000 de diverses situations anciennes et récentes font l'objet d'une interprétation manuelle (photos IRC + données de terrain) puis d'une cartographie infographique en seize classes pour le milieu aquatique.

La digitalisation et le traitement informatique des IFC améliorées multitemporelles permettent d'obtenir: des informations sur l'eau, une bonne saisie de l'influence de la proximité de l'eau sur l'occupation des sols et une bonne appréhension des changements d'occupation des sols.

- Plus récemment, dans une étude concernant les forêts de Pin de la plaine des Landes, SELLERON (1985) a montré l'intérêt des données MSS Landsat multitemporelles dans l'identification et la cartographie des parcelles sylvicoles. Cet auteur privilégie l'analyse des données numériques. Après avoir établi un fichier radiométrique à partir des canaux 5 et 7 de plusieurs scènes Landsat, il effectue une recherche du contenu informationnel de ces données (analyse en composante principale, analyse en composante multiple...) et propose un "modèle d'interprétation sylvicole réitérable dans le temps" et permettant de reconnaître les résineux au cours de sept phases de leur vie.

- BRUNET et al. (1984) à l'aide de données MSS Landsat du 15 mai et du 17 septembre 1979 et d'enquêtes auprès des agriculteurs (classification "dirigée") sont arrivés à une subdivision en douze classes, satisfaisante pour une cartographie de l'environnement d'une région agricole à grandes parcelles. En utilisant des techniques d'analyse similaires et une image satellite de printemps ils ont mis en évidence cinq zones caractéristiques de relations spécifiques entre végétation, sol et eau dans un écosystème marais de grande surface, en Basse-Normandie.

## C - LES DONNEES TRANSMISES PAR LES NOUVEAUX SCANNERS

Les travaux précédents ont été réalisés à partir de données recueillies par un capteur de première génération dont le pouvoir de résolution est de 57 m x 79 m (0,45 ha); les résultats les plus probants ont été obtenus dans le cas d'études de systèmes relativement simples (une ou deux classes) ou composés d'ensembles homogènes de grande superficie (vastes phragmitaies, zones marécageuses nord-américaines ou parcelles sylvicoles).

Les capteurs de seconde génération (cf. HOLMES, 1984; SAINT, ZBINDEN et al., 1984) à limite de résolution plus fine comme THEMATIC-MAPPER (TM) en service sur Landsat 4, puis Landsat 5 (pixel 30 m x 30 m et 7 canaux) et HRV/SPOT (20 m x 20 m dans quatre canaux et 10 m x 10 m monocal) lancé en février 1986 permettent d'envisager l'application des techniques mises au point avec les données MSS et d'espérer une analyse précise des hydrosystèmes fluviaux.

Des données MSS de haute résolution (scanner embarqué à bord d'un avion) enregistrées dans le vert, le rouge et le proche IR et provenant d'une mission réa-

lisée au printemps (date très favorable pour analyser la végétation) ont été utilisées par JENSEN et al. (1984) pour cartographier la plaine alluviale de la rivière Savannah (Géorgie et Caroline du Sud, USA). Par une classification non "dirigée", ces auteurs sont parvenus à mettre en évidence six grandes classes (avec un coefficient de concordance de 83 %), ce qui est meilleur que le résultat obtenu pour la même région avec des données MSS Landsat (BUTERA, 1983).

## 1 - Les données de Thematic-Mapper

- Des travaux récents portant sur les marais de la région de Chesapeake-Bay, Maryland, USA (DOTTAVIO, C.L. et F.D., 1984) montrent qu'un traitement informatique non "dirigé" appliqué à des données de simulation de TM, fait apparaître six grands ensembles homogènes: les zones agricoles, les terrasses forestières, les bas marais saumâtres, les hauts marais à Spartina, les hauts marais à Scirpus et l'eau libre.

- Le canal 5 (TM 5 =  $1,55 \mu - 1,75 \mu$ ) permet d'affiner la différenciation entre classes voisines; il donne par exemple, la possibilité de séparer certaines cultures (maïs, luzerne, pâturages) à des stades de croissance active (juin). Il est en outre très performant pour cartographier les zones humides (CARIGNAN et al., 1984).

- Ces observations sont confirmées par LALLEMAND et LEGENDRE (1984) qui montrent aussi, en prenant l'exemple d'une section de plaine du Mississippi, l'intérêt du canal 5 et du canal 4 (TM 4 =  $0,76 \mu - 0,90 \mu$ ) pour différencier les groupements végétaux en fonction de leur teneur en eau et pour obtenir une discrimination fine de l'occupation des sols.

Compte tenu de la date récente du lancement de Landsat 4 (juillet 82) on devrait s'attendre, dans les années à venir, à avoir de plus en plus d'exemples de l'efficacité de TM pour l'étude de la végétation. Des images fausses couleurs améliorées obtenues à partir de données TM du 31 juillet 1984 sur la vallée du Haut-Rhône seront analysées prochainement.

## 2 - Les simulations "SPOT"\*

- LAPORTE (1983) montre que SPOT est susceptible d'apporter des informations relevant de la texture de l'image: il différencie ainsi les principales composantes des paysages urbains, forestiers et agricoles.

- SELLERON (1985) dans le cadre de son étude multidate des plantations de Pin des Landes montre les avantages des simulations SPOT par rapport aux données Landsat et leurs limites : on voit bien les infrastructures du paysage comme les traces des anciens parcellaires; la classification numérique des données n'est plus gênée par "l'effet de bordure" (présence de zones interclasses); on peut différencier certains types d'intervention (éclaircissement, débroussaillage); on ne peut pas différencier les principales essences de feuillus et de résineux.

Dans le cas particulier de plaines alluviales, deux études ont été menées récemment en relation avec les programmes PIREN-Eau.

a) CHENEVIER (1983) a travaillé sur une section de la plaine alluviale du fleuve Saint-Laurent (Québec) à l'aide de données recueillies par un capteur à balayage MSS (pixel 16 m x 20 m). L'auteur effectue une classification automatique non "dirigée" des données images (analyse factorielle des correspondances, algorithme de classification et distinction de onze classes) qui se traduit par une carte alphanumérique sur laquelle sont repérés des transects qui seront confrontés à la réalité terrain.

On montre ainsi que l'essentiel de l'information d'ordre phytoécologique est contenu dans la bande spectrale 3 et qu'une combinaison entre les canaux 2 et 3 donne des indications précises sur la biomasse végétale. L'auteur conclut qu'une image multispectrale "SPOT" enregistrée à la fin de la période végétative sera très utile pour cartographier les communautés ripariales et servira de documentation de base pour une quantification de la biomasse végétale.

b) JUND (1984) a utilisé une simulation SPOT (scanner Daedalus 10 canaux) pour faire l'étude de la plaine alluviale de la moyenne vallée de la Garonne dans le cadre de recherches menées au CERR (CNRS, Toulouse).

La bande numérique aboutit après traitement à des documents classiques: images restituées sous forme de photographies, de visualisations monocouches, de

\* Une simulation HRV/SPOT (ou TM/LANDSAT) est un enregistrement numérique effectué par un scanner de type DAEDALUS multispectral embarqué à bord d'un avion et fournissant des données analogues à celles de SPOT (ou TM/LANDSAT).

cartes alphanumériques... La simulation est doublée d'une série de photographies IRC interprétées par une prospection sur le terrain effectuée au cours de la même semaine.

La classification automatique "dirigée" (sur la base des données photographiques IRC), n'apporte pas les données précises attendues, néanmoins, les réponses du canal 3 se rapprochent des données IRC.

L'analyse des compositions colorées permet de faire une bonne étude des paysages et apporte quelques informations originales concernant les sols et l'état des cultures.

Il faut remarquer que la mission a été effectuée à une période défavorable (mars).

En ce qui concerne plus particulièrement l'espace agricole, depuis 1981 on a entrepris en France l'étude des possibilités d'insertion de la télédétection (HRV/SPOT et TM) dans la synthèse des statistiques agricoles. Le Lauragais (plaine alluviale de l'Hères, affluent de la Garonne, ancienne zone marécageuse drainée) qui se caractérise par un éventail varié de cultures sur parcelles moyennes (blé d'hiver, maïs, sorgho, colza, tournesol, orge d'hiver, soja, prairies naturelles, prairies artificielles, vignes et bois) est une région test pour laquelle on dresse un inventaire des types de cultures par classification "dirigée" de données TM et de simulation SPOT. SAINT, PODAIRE et al. (1984) montrent que la meilleure résolution de SPOT permet d'améliorer sensiblement la partition obtenue avec TM (blé d'hiver + orge d'hiver - colza - tournesol - sorgho - maïs). GUYOT et al. (1984 a) soulignent l'intérêt de SPOT pour l'étude de l'évolution phénologique des cultures à l'échelle de la parcelle test; les mêmes auteurs (1984 b) montrent également l'intérêt de l'utilisation de la combinaison des visées verticales et obliques de ce système d'observation pour discriminer certains couverts végétaux à un instant donné. CORDIER et al. (1984) ont analysé des données de simulation de SPOT multitemporelles (6 mai, 16 juin, 30 juin, 12 août) pour estimer les surfaces occupées par les principales cultures dans le Lauragais à différents stades phénologiques.

Des combinaisons entre les canaux 2 et 3 permettent d'obtenir les discriminations suivantes (tabl. 3.XI).

Les auteurs montrent qu'une analyse de données recueillies en début de printemps (mai) et d'été (fin juin) apporte le plus d'information; l'adjonction de données plus tardives (septembre ?) fournirait un complément important.

Trois missions sont nécessaires pour individualiser la plupart des cultures pratiquées; certaines restent confondues, c'est le cas par exemple des céréales d'hiver (orge + blé) qui ne peuvent être différenciées qu'aux stades phénologiques d'épiaison et de floraison ce qui nécessite une surveillance tous les 10-15 jours ! (GIOVACCHINI et al., 1984).

TABLEAU 3.XI

Identification de cultures par données de "simulation SPOT"  
dans le Lauragais (d'après CORDIER et al., 1984).

Identification of crop-productions through SPOT simulated data  
(in the Lauragais region, after CORDIER et al., 1984).

date de la simulation HRV/SPOT	cultures identifiées		
6 mai	blé + orge	colza	cultures de printemps
16 juin	blé + orge	colza	tournesol maïs + sorgho + soja
30 juin	cultures d'automne	tournesol	maïs + sorgho + soja
12 août	cultures d'automne	cultures de printemps	

#### D - PERSPECTIVES D'UTILISATION DES DONNEES SATELLITES

Bien que les contenus des formes (valeurs radiométriques des réflectances) et les contenants ou contours de formes (apparition de discontinuités) soient plus nets et mieux définis (diminution des classes intermédiaires) l'amélioration de la résolution n'apporte pas tous les résultats escomptés. L'image satellite ne

remplacera jamais la photo IRC à grande échelle; tel n'est d'ailleurs pas son but puisque l'une de ses principales qualités est de permettre l'élaboration de documents synthétiques.

Les données TM Landsat peuvent se traduire par des IFC améliorées qui sont de bons documents pour l'étude d'une zone alluviale; la visualisation sur écran de ces images à 1/25 000 permet de faire des observations intéressantes sur l'occupation des sols agricoles et la végétation spontanée mais le principal atout de la télédétection satellitaire reste la répétitivité: les images "IFC améliorées" de SPOT auront l'avantage de mettre en évidence les changements et conduiront à une meilleure connaissance des processus de transformation et d'évolution au cours de l'année en relation avec la phénologie et d'une année à l'autre pour un suivi écologique.

Malgré une augmentation notable des coûts de traitements de données dans le cas de SPOT (manipulation d'un nombre beaucoup plus élevé de pixels) les travaux préliminaires à la cartographie détaillée et le suivi écologique gagneront à être réalisés à l'aide de ce matériel.

En ce qui concerne l'apport de la classification automatique certains utilisateurs comme les forestiers (TZSCHUPKE, 1985) font remarquer qu'il n'existe pas de méthodes utilisant les informations texturales. Si on ne prend pas en compte la texture il sera impossible de faire la distinction entre espèces: chaque pixel représente une partie d'un objet (quelques arbres à échelle moyenne, une partie d'un arbre à très grande échelle) si bien que l'identification des espèces sur la base uniquement de la valeur des réflectances est entachée d'une erreur de 10 à 30%.

On a vu précédemment qu'on arrivait difficilement à séparer certaines cultures à l'aide des données satellites (orge-blé ou maïs-sorgho-soja) alors qu'on y parvient relativement bien en utilisant les informations d'ordre textural et structural (hauteur des végétaux, indices de façons culturales) des photographies aériennes IRC multidates.

La classification automatique ne pourra intervenir seule pour cartographier la végétation à grande échelle avant que l'on ne mette au point des techniques qui prennent en compte non seulement les signatures spectrales mais également la forme, l'environnement et la structure.

Des recherches se développent actuellement dans ce sens; FLOUZAT et al. (1984) par un essai de modélisation de simulation numérique de la photo-interprétation analytique (élaboration d'algorithmes adaptés à reproduire les règles de l'interprétation) sont parvenus à quelques résultats intéressants permettant la cartographie automatique de l'occupation des terres du bassin versant de l'Aveyron à partir de "simulations de SPOT".

## CONCLUSION

Les missions spéciales IRC effectuées sur les secteurs pilotes de Brégnier-Cordon et Jons-Loyettes sont des sources d'informations incomparables; elles ont permis de réaliser rapidement (une saison de terrain 1983) une carte précise de la végétation spontanée d'un secteur complexe de plus de 1 200 hectares et de recueillir toutes les données qui permettront, en relation avec les agronomes, de dresser une carte d'occupation et de potentialités agricoles des sols alluviaux.

Le paragraphe III a permis de faire le point sur les apports et les limites des données satellitaires multispectrales pour l'étude des milieux alluviaux. On soulignera l'intérêt des images-satellites multispectrales (IFC améliorées, photographies multispectrales) et de leur interprétation, des compositions colorées et de la numérisation des données.

On retiendra enfin la bonne résolution, la répétitivité, les grandes possibilités de stockage et de restitution rapide d'informations des systèmes de deuxième génération comme TM/Landsat et HRV/SPOT. En réduisant la durée des travaux cartographiques (amélioration d'interprétation, diminution du temps consacré à la prospection sur le terrain, possibilités de cartographie automatique de certains ensembles homogènes), ces techniques d'acquisition et de mémorisation des données relatives à l'occupation des sols devraient permettre de résoudre, en partie, les problèmes liés à la surveillance régulière et efficace de territoires d'étude de plus en plus étendus à mesure qu'avancent les recherches pluridisciplinaires sur l'environnement des plaines alluviales.

**REMOTE SENSING AND LARGE SCALE MAPPING OF ALLUVIAL VEGETATION :  
THE EXAMPLE OF THE LOWER AIN-RIVER VALLEY**

Vegetation dynamics in the river channels is one of the investigated themes by an interdisciplinary research-team (CNRS Programm: "PIREN-Eau").

In order to fix a more or less transitional stage between a difficult to know past-state and a difficult to plan future-state, a large-scale vegetation map is performed for some Upper-Rhône Valley Test-Areas.

The Aerial Photographs contribution to land-cover Mapping at a 1/10 000 scale and the use of multitemporal data to explain vegetal landscapes evolution are emphasized.

Six recent photographic coverages (Feb.80, Sept.82, Jun.84, Jul.84, Apr.86 and Oct.86) are used; each of them is interesting and gives diverse informations (synchronic analysis). The relevance of the scale (1/60 000, 1/30 000, 1/15 000, 1/5 000) is shown. Interpretation-keys of forests, grasslands and crops are related to the different emulsions (black and white panchromatic and infra-red films, natural colour and false-colour films); specific interpretation-keys associated with the season of the photographic flight are also perfected.

This paper tests the I.R.C. photographic coverage performed during the beginning of Spring and at the end of Autumn; it shows that they are the best data to identify woody vegetation species. A photointerpretation planning using only three coverages and reducing the ground-control duration is proposed.

The recent aerial-photographs are compared to ancient pictures (diachronic analysis). Agricultural land-use and vegetation pattern changes through time are shown, and related to fluvial landforms, sediment-size characteristics, flooding frequency and duration, water-table depth, or man-induced impacts.

At last, the recent papers demonstrating examples of applying spaceborne Remote-Sensing Technology to delineation of vegetation and agricultural land types in large valleys and wetlands are analysed. Automatic cluster analysis and composite-colour images are proposed for Land-cover Mapping and periodic surveys in the Rhône-River flood-plain. The relevance of advanced sensors systems (TM, SPOT) is underlined.

**Key-words :** Bottomland vegetation mapping, agricultural land mapping, aerial photographs, space borne remote sensing, flood-plains, french upper Rhône valley.