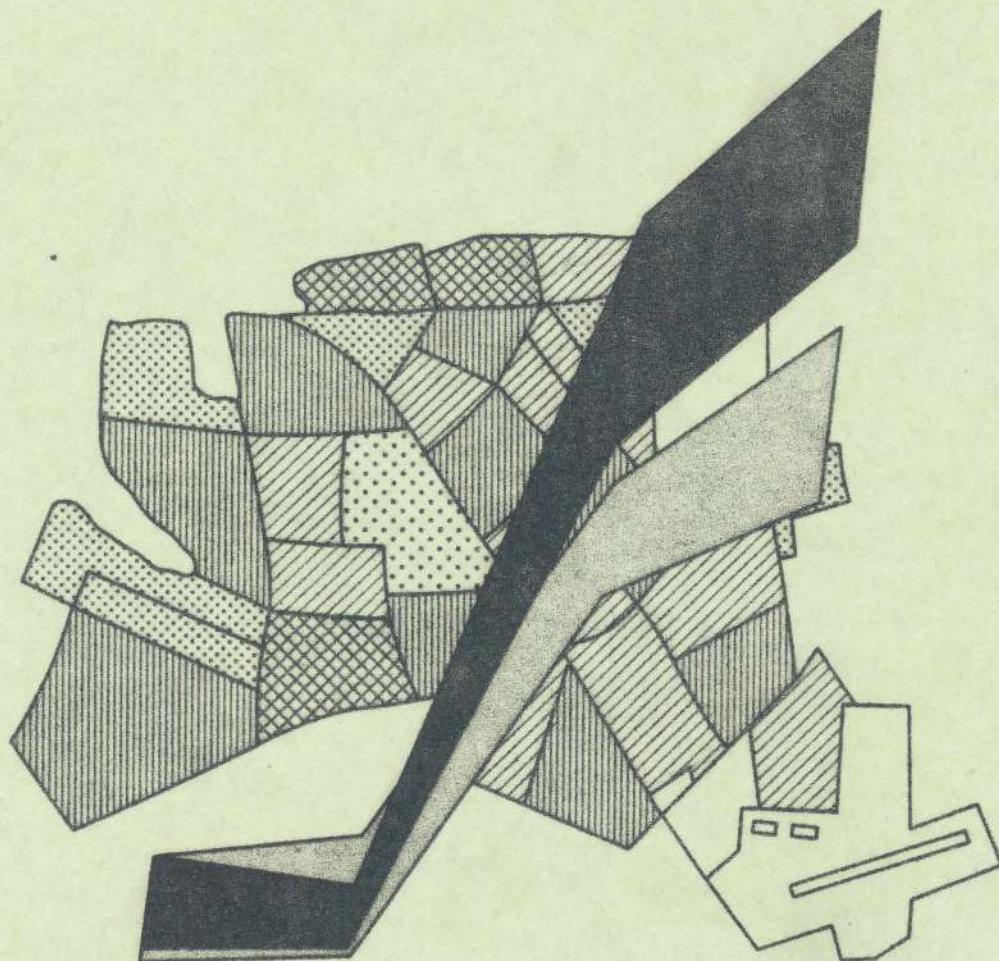


# CADERNOS DE TELEDETECÇÃO 3



## ETUDE DES REFLECTANCES DE QUELQUES CULTURES DE LA REGION D'ERMENONVILLE (FRANCE)

Analyse photochimique et numérique des images Landsat

DENISE DE BRUM FERREIRA

*LINHA DE ACÇÃO DE GEOGRAFIA FÍSICA*

LISBOA  
1980

CENTRO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS  
INIC

Denise de Erum Ferreira

ETUDE DES REFLECTANCES DE QUELQUES CULTURES  
DE LA REGION D'ERMENOVILLE (FRANCE)

Analyse photochimique et numérique  
des images Landsat

Cette étude a été réalisée au cours d'un stage d'initiation aux traitements en télédétection organisé par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer à Pondy ( France ) du 29 septembre au 17 octobre 1980.

Nous tenons à remercier le Service Culturel de l'Ambassade de France et l'Instituto Nacional de Investigaçao Científica d'avoir bien voulu subsidier ce stage.

## I - PRÉSENTATION DU MILIEU DE LA FORET D'ERMENONVILLE ET DE SES ABORDS

La région d'Ermenonville a été prise comme zone échantillon pour l'étude des réflectances car elle se compose de milieux contrastés où l'on trouve, en juxtaposition, des cultures variées et des forêts en parcelles assez grandes pour être vues de satellite.

Les principales cultures pratiquées, la plupart en association biennale sont: le blé, la betterave, le maïs, et dans une moindre mesure l'escourgeon, le pois et les engrais verts à certaines époques de l'année. Le calendrier cultural est connu: le blé de avril à août; le maïs de mai à octobre-novembre; la betterave de juin à novembre, l'engrainement de septembre à novembre et les labours en novembre et décembre.

On dispose de nombreux documents cartographiques sur la région. Ce sont les cartes topographiques détaillées, cartes d'occupation du sol, pédologiques et géologiques ainsi que deux missions de photographies aériennes (1972 et 1976). On se trouve donc dans des conditions idéales de travail. En outre, le paysage offre des points de repères nombreux facilement détectables sur les scènes Landsat: limites de la forêt, routes et voies ferrées, mer de sable, les étangs...

La région est couverte par plusieurs scènes Landsat qui se recouvrent partiellement. Entre mars et juin, on en compte 5 ou 6, une autre en juillet et une en novembre. La comparaison des vues prises à différentes dates du calendrier cultural dans les canaux 4, 5 et 7 permet de voir la disposition des parcelles cultivées, l'évolution de leur réflectance ainsi que le comportement de la forêt car, en fait, la forêt n'est pas un milieu homogène. Dans la forêt d'Ermenonville, on peut isoler des feuillus, des conifères, d'âge différents comme des plantations récentes, des clairières...

Des études sont en cours à l'ORSTOM sous la direction de Monsieur Combeau pour déterminer les réflectances des principales cultures et des communautés de la forêt. Le problème est assez complexe puisqu'une même culture n'a pas toujours la même réflectance tout au long de son cycle végétatif. Par exemple, la betterave reflète comme un sol labouré pendant presque toute la durée de son cycle végétatif. Le maïs également a cette tendance à tel point que malgré la variété des vues Landsat disponibles sur la région, ces deux cultures n'avaient pas pu être isolées l'une de l'autre jusqu'à présent. Or, la récente acquisition d'une image du 16 septembre 1979, date qui correspond dans le cycle végétatif du maïs et de la betterave à une différenciation (maïs sec alors que la betterave a encore des feuilles vertes) amenait l'espoir d'une individualisation des deux cultures par les moyens de télédétection. Donc, outre l'apprentissage du repérage des différentes cultures et des éléments de la forêt sur les images au moyen des techniques photochimiques et numériques, l'intérêt du travail et son côté original consistait dans la tentative de séparation des cultures de betteraves et de maïs.

Le travail a été facilité par le fait que le terrain était bien connu<sup>(1)</sup> et les documents nombreux. En particulier les calendriers cultureux d'une grande propriété étaient à notre disposition. La figure 1 reproduit le calendrier culturel de 1979. La comparaison de vues prises à différentes dates et des calendriers cultureux devait donc apporter le maximum de renseignements. En particulier, les vues correspondant aux mêmes dates de deux années consécutives devraient être à peu près complémentaires et ainsi montrer l'assolement biennal caractéristique de la région.

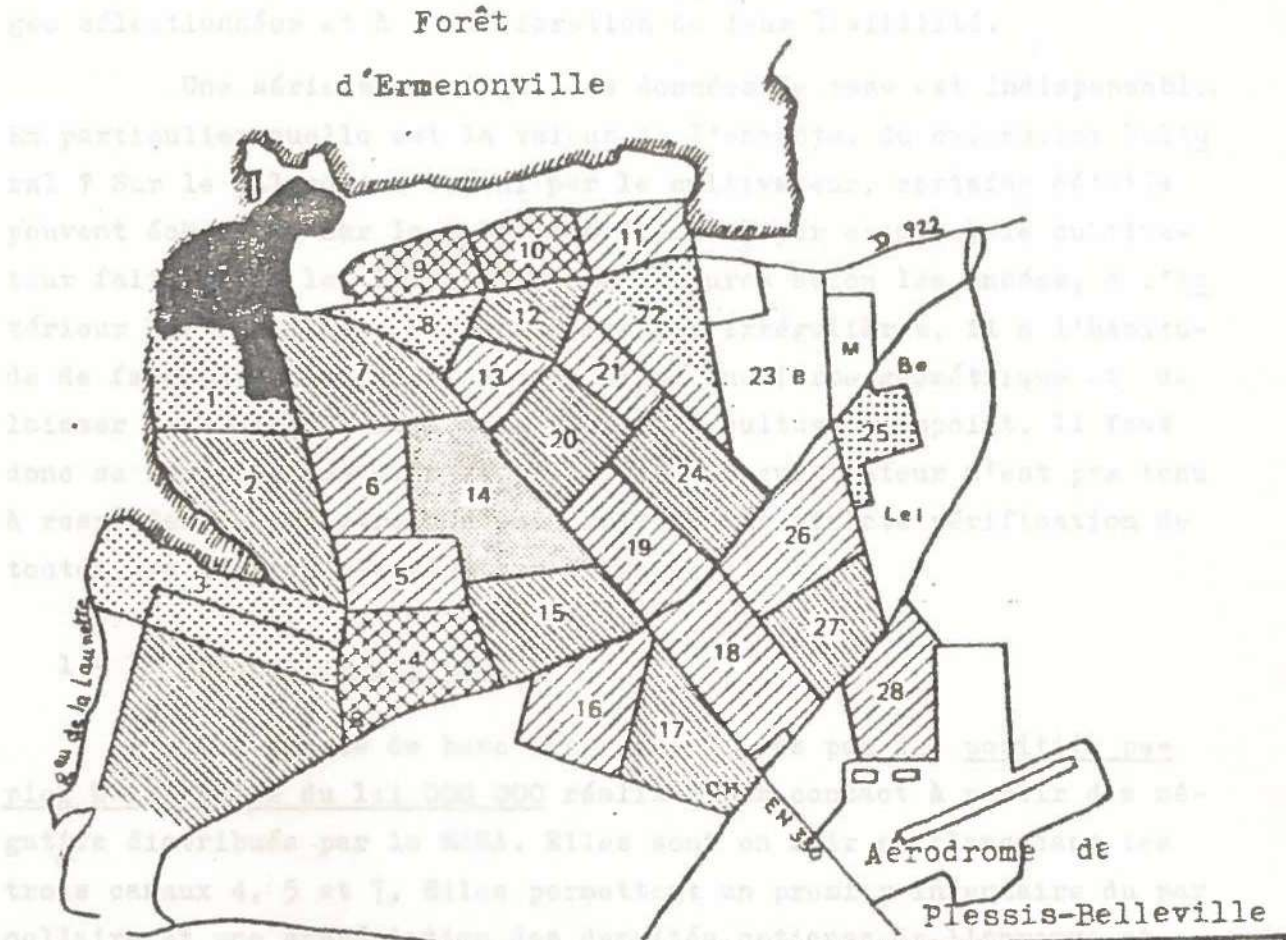
## II - LES TRAVAUX PRELIMINAIRES

Ces travaux consistent en un inventaire complet des vues

---

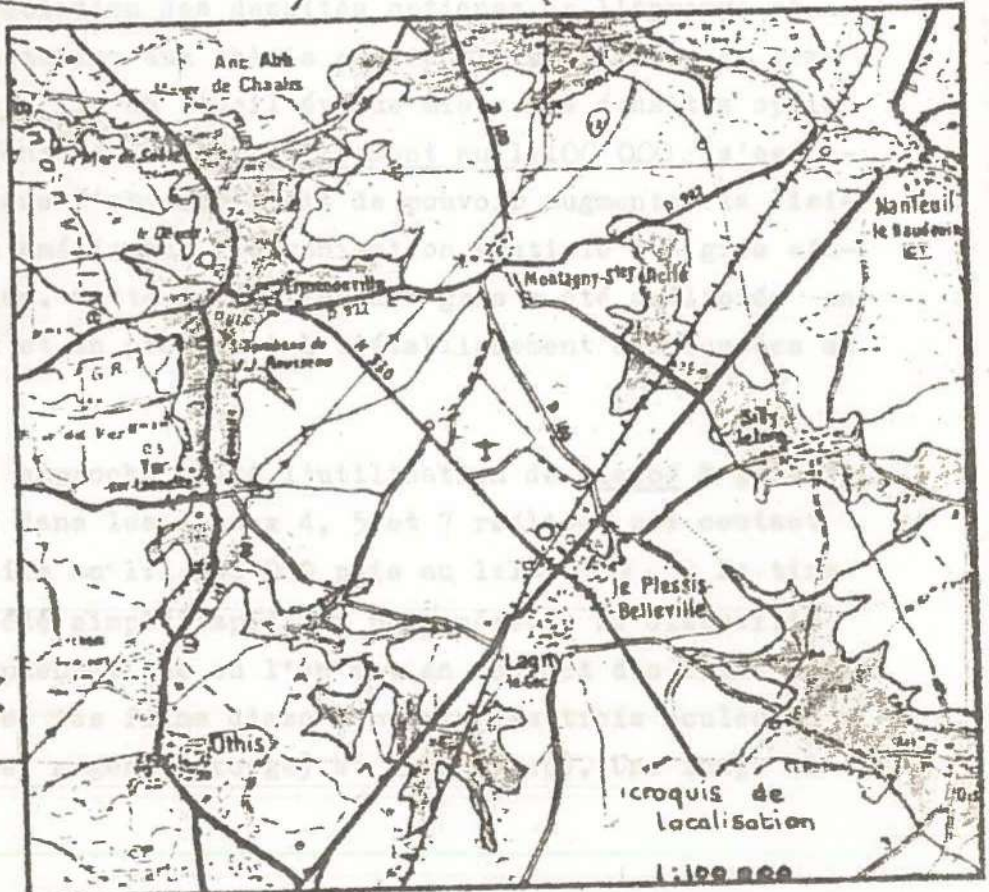
(1) Une excursion sur les parcelles étalons à étudier en priorité et en forêt d'Ermenonville avait été organisée.

ERMENONVILLE 1979 - Calendrier cultural



13. n° d'ordre des parcelles

- |                  |   |
|------------------|---|
| Blé              |   |
| Orge             | } |
| Escourgeon       |   |
| Betterave        |   |
| Mais             |   |
| Pois             |   |
| Village          |   |
| Route            |   |
| Chemin           |   |
| Voie ferrée      |   |
| Ligne électrique |   |
| Aérodrome        |   |
| Vallée           |   |



disponibles et des documents dont on dispose, à la production des images sélectionnées et à l'amélioration de leur lisibilité.

Une sérieuse critique des données de base est indispensable. En particulier quelle est la valeur de l'enquête, du calendrier culturel ? Sur le calendrier fourni par le cultivateur, certains détails peuvent échapper. Sur la propriété étudiée, par exemple, le cultivateur fait varier les limites de ses cultures selon les années, à l'intérieur des parcelles. Sur les parcelles irrégulières, il a l'habitude de faire la culture principale selon une forme géométrique et de laisser les irrégularités en herbe ou en culture d'appoint. Il faut donc se rappeler que dans sa propriété, le cultivateur n'est pas tenu à respecter le cadastre. Ce qui implique une stricte vérification de toutes les limites relevées sur l'image.

#### 1 - La production des images

a - Les images de base sont constituées par des positifs papier à l'échelle du 1:1.000 000 réalisés par contact à partir des négatifs distribués par la NASA. Elles sont en noir et blanc dans les trois canaux 4, 5 et 7. Elles permettent un premier inventaire du parcellaire et une appréciation des densités optiques de l'épreuve standard en vue de l'adaptation aux thèmes particuliers. L'image de travail a été le positif film où l'oeil évalue mieux les densités optiques réalisées par contact. Un agrandissement au 1:100 000 s'est avéré nécessaire puisque l'objectif était de pouvoir augmenter la lisibilité de l'image en améliorant l'organisation spatiale des gris ainsi que leur perception. Cette perception des gris a été améliorée en évaluant les niveaux et en procédant à l'établissement des courbes de noircissement.

b - Une autre approche a été l'utilisation de diazos à partir des 3 films positifs dans les canaux 4, 5 et 7 réalisés par contact avec les films positifs au 1:1 000 000 puis au 1:100 000 . Le tirage diazo est un procédé simple, rapide et peu onéreux. Le dispositif comporte un châssis pneumatique où l'on met en contact des films positifs des 3 canaux avec les films diazo supports des trois couleurs complémentaires jaune, magenta (rouge) et cyan (bleu). Une lampe ul-

traviolet sert à insoler les films diazo et un rouleau de tirage à l'ammoniac gazeux à les révéler. L'attribution des couleurs, guidée par l'expérience, est la suivante: jaune pour le canal 4, magenta pour le canal 5 et cyan pour le canal 7. La superposition des trois images diazo donne une composition colorée qui permet une bonne individualisation des phénomènes où les temps de pose jouent un grand rôle dans la mise en valeur des contrastes. On les a calculés en tenant compte des mesures de densités optiques maximales réalisées au densitomètre sur chaque canal. Sur le positif film du canal 7 de la vue du 16/9/1979, on avait obtenu 0,17 (blanc) et 1,5 (noir). En reportant cette valeur de l'amplitude sur la courbe de la couleur complémentaire cyan (fonction de la densité optique et de la lumina-tion) et à l'aide d'un abaque, on avait obtenu le temps de pose de 2 m30 s. La même opération pour les deux autres canaux avait donné un temps de pose de 3 m pour le canal 4 et de 2 m pour le canal 5.

#### c - L'amélioration de la lisibilité.

Les produits standards ne font apparaître que peu de contrastes entre les gris. Sur le positif film Ermenonville du 16/9/79, par exemple, toute la Beauce apparaît indifféremment en gris très clair à tel point que le parcellaire se distingue mal. Les forêts, au contraire (Ermenonville, Fontainebleau...) sont des taches très sombres peu lisibles et ceci sur tous les canaux. Des améliorations de la lisibilité sont donc nécessaires. Elles impliquent une bonne connaissance des niveaux de gris et le traçage des courbes de noir cissement.

Ces courbes posent la relation qui existe entre la quantité de lumière tombant sur le support (film) et le noircissement obtenu (densité optique). Son établissement se fait à partir d'une gamme-témoin de gris sur un film transparent où l'on distingue 19 plages. La plage 1 est transparente et la plage 19 est pratiquement noire. On effectue un tirage direct par contact de cette gamme-témoin sur un film. On développe et on mesure les densités optiques de chacune des plages de gris obtenue sur l'épreuve. On trace ainsi une courbe de noircissement, en portant en abscisses, le numéro des plages de gris du négatif et les densités optiques D de chaque plage (inter

valle de 0,15 entre chaque plage). En ordonnées, on pose les densités  $D_0$  de chacune des plages de l'épreuve obtenue. La figure 2 reproduit la courbe A obtenue pour la vue Ermenonville du 16/9/1976. Elle

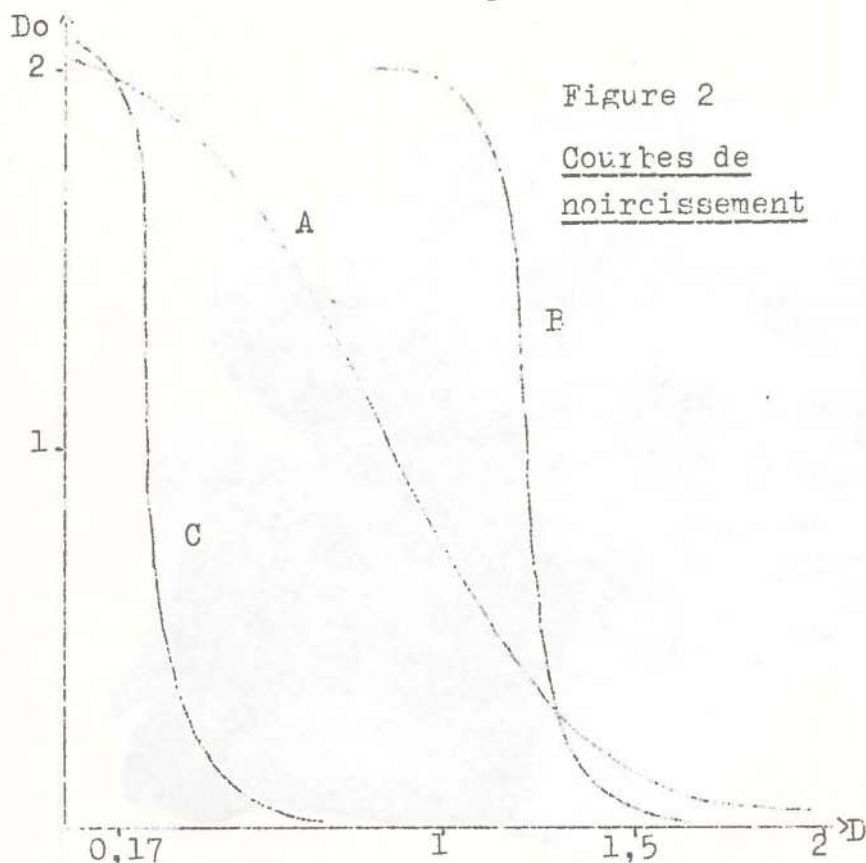


Figure 2  
Courbes de  
noircissement

montre que les densités optiques de l'épreuve sont trop hétérogènes et que l'amélioration consistera dans le traitement différentiel des plages les plus claires et des plages les plus sombres. Les courbes B et C permettent alors de calculer le temps de pose pour l'un et l'autre cas. Dans ce cas précis, les parties sombres du positif standard

seront plus lisibles en réduisant le temps d'exposition du négatif à 3 secondes et les plages les plus claires du positif apparaîtront mieux en sur-exposant jusqu'à 20 secondes. Ce traitement est particulièrement fréquent lorsque la vue se compose de milieux hétérogènes. Seule l'information prioritaire doit être privilégiée. Les temps de pose différentiels permettent le réétalement des densités utiles et une bonne adaptation des contrastes.

Cette adaptation des contrastes a été réalisée sur les positifs des canaux 4, 5 et 7 à l'échelle du 1:100 000, ainsi que sur des tirages diazo. On a produit deux types de films positifs adaptés. L'un a été sous-exposé de manière à donner les contrastes maxima de densité dans les parcelles sombres et la forêt, et l'autre a été sur-exposé pour permettre une meilleure lisibilité dans les parcelles claires. Les diazo réalisées à partir de ces positifs ont été asso-

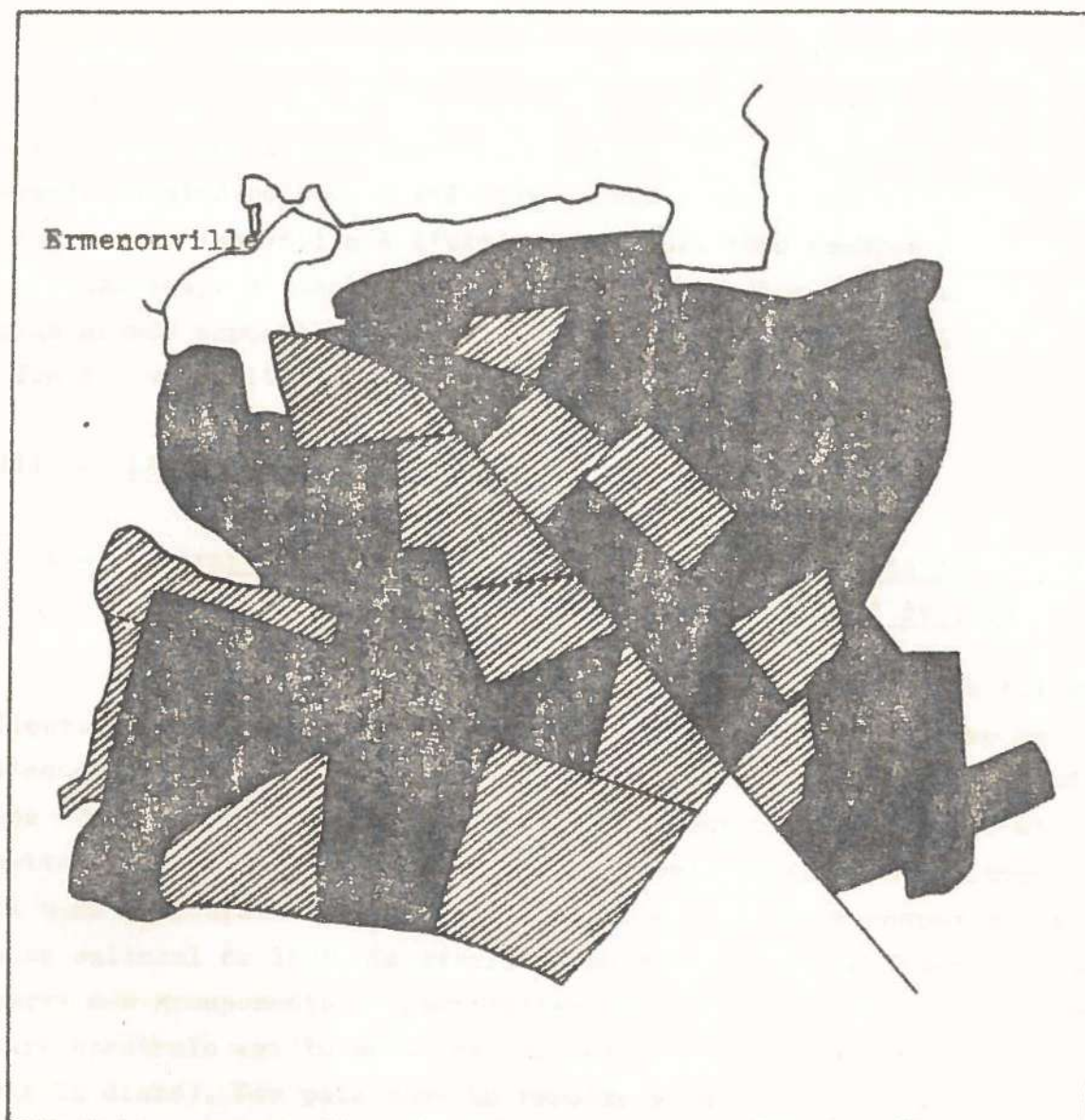


Figure 3 - Interprétation de la diazo standard  
du 16 avril 1977

- céréales en herbe ( en rouge sur la diazo )
- ▨ sol nu ( en bleu sur la diazo )
- limite de parcelle nette
- - - limite de parcelle floue

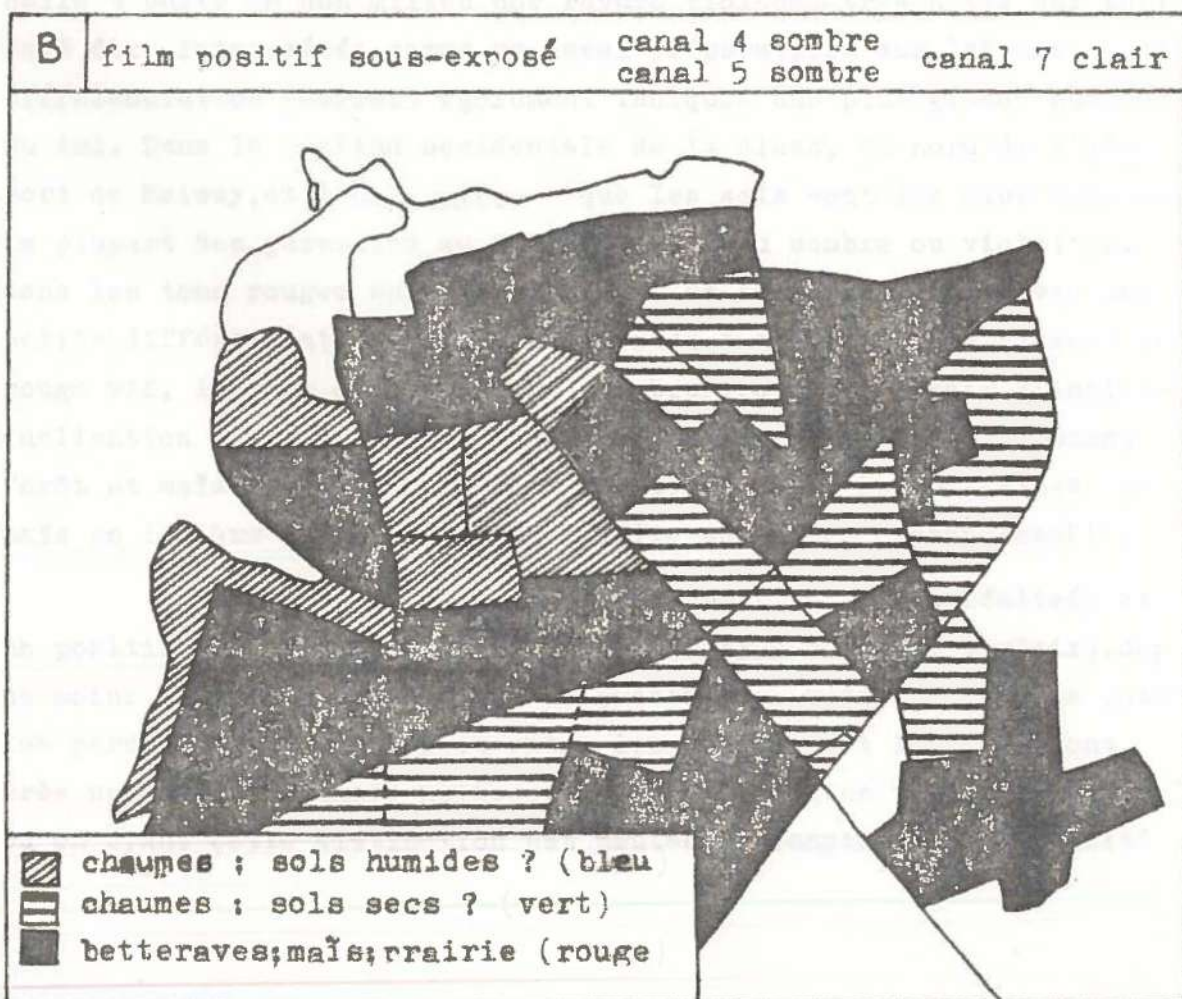
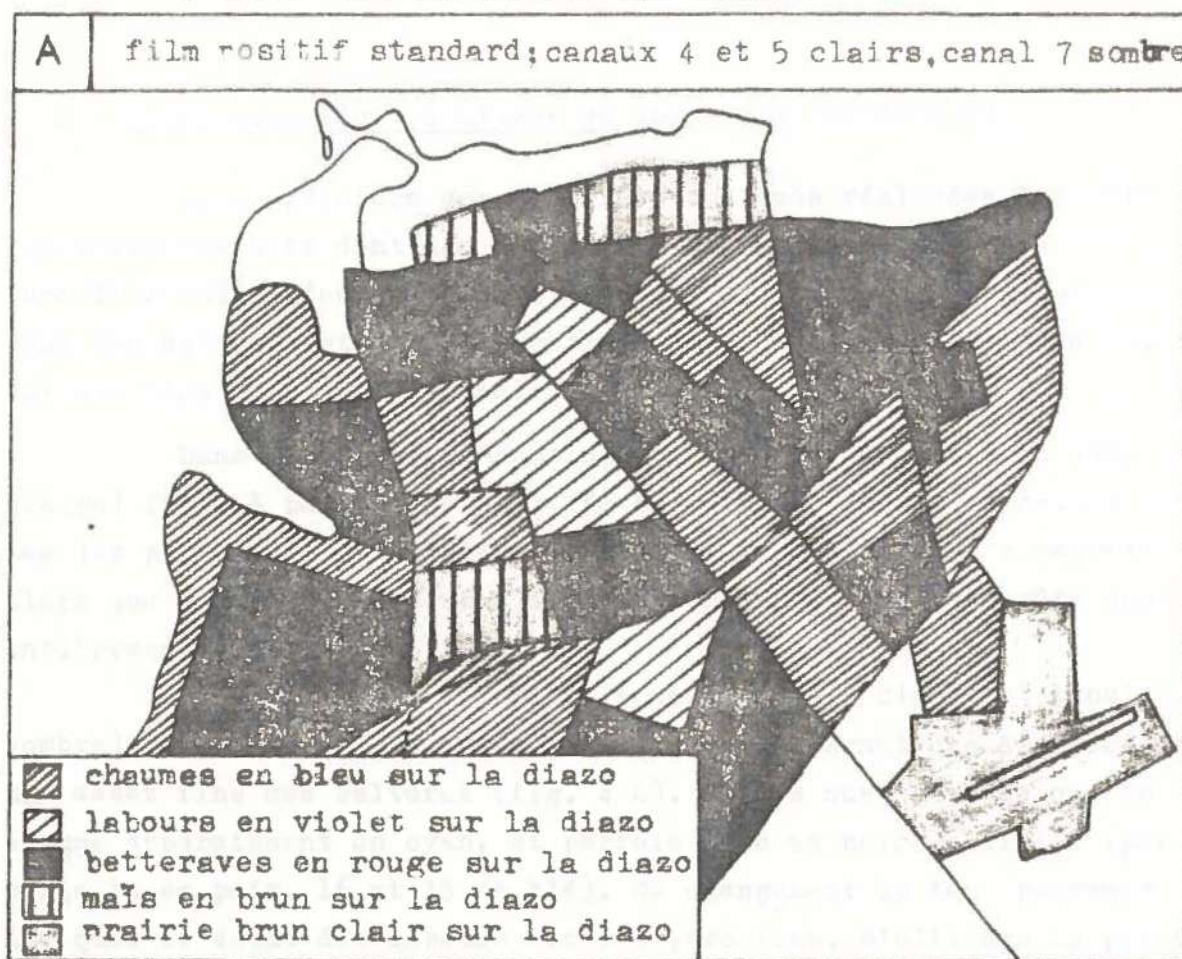
ciées en plusieurs jeux. De toutes les combinaisons essayées, deux ont donné des résultats intéressants. Elles ont été schématisées dans la figure 4. La coloration des canaux a toujours été la même: canal 4 en jaune, canal 5 en magenta et canal 7 en cyan. La plus ou moins grande densité colorée a été obtenue sur chaque canal en jouant sur les temps d'insolation à l'ultraviolet. Les tons sombres correspondent aux temps d'insolation les plus faibles. Les tons clairs à la plus grande exposition à la lumière. Ceci en fonction de l'adaptation de la densité optique des films positifs.

### III - LES PREMIERES ACQUISITIONS

#### 1 - Comparaison d'une diazo standard au 1:100,000<sup>e</sup> du 16/4/1977 de la région d'Ermenonville et du plan cultural de 1979

Il s'agissait avant tout d'effectuer une reconnaissance des réflectances des principales cultures de la région à une époque de l'année où l'activité chlorophyllienne n'était pas encore accentuée. Les céréales sont en herbe. Les pois viennent d'être récoltés et la betterave n'est pas encore plantée. L'identification des cultures et le mode d'occupation du sol a été faite sur diazo et comparée au plan cultural de 1979. Le résultat schématisé dans la figure 3 comporte des groupements en particulier pour les céréales dont la signature spectrale est la même (toutes les céréales reflètent en rouge sur la diazo). Les pois dont la récolte vient d'être faite et les champs nus reflètent en bleu sur la diazo. Dans les bleus, on observe certaines variations de tons (moirage violacé) qui correspondent certainement aux parcelles dont les semis commencent à lever mais la couverture végétale du sol n'est pas encore assez dense pour que ces parcelles reflètent comme les céréales en herbe ou les prairies. La disposition des cultures dans les parcelles est la même en 1977 qu'en 1979; ce qui montre bien l'implantation de l'assolement biennal dans la région. Il y a peu de différences dans l'organisation des parcelles entre les deux dates. Cependant, on doit noter quelques variations dans les superficies plantées en céréales de la parcelle 3. De même, les parcelles 4, 9 et 10 plantées en maïs en 1979 sont sans doute plantées en blé en 1977 puisqu'elles reflètent en rouge.

Figure 4 - Identification des cultures et des modes cultureux par l'étude des contrastes sur diazos



2 - Etude comparée des diazos du 16/9/1979 (Tableau A)

La comparaison des différentes diazos réalisées à partir des films positifs dont les contrastes maxima ont été portés sur les parcelles culturales ont permis d'aboutir rapidement à l'identification des cultures et à l'élaboration d'une carte d'utilisation du sol qui n'est pas partout conforme au plan cultural de 1979.

Dans une première combinaison (canaux 4, 5 et 7 en tons clairs) faite à partir des positifs surexposés, on met en relief toutes les parcelles de betteraves colorées en rouge (jaune + magenta) alors que les autres cultures et les terres nues ou les forêts sont entièrement saturées en bleu.

Une deuxième combinaison (canaux 4 et 5 clairs et canal 7 sombre) faite à partir des positifs standards permet une différenciation assez fine des cultures (fig. 4 A). Champs nus labourés ou en chaume apparaissent en cyan, et parfois avec un moirage violet (parcelle 14 en pois, 16 et 13 en blé). Ce changement de ton pourrait indiquer le début des labours sur ces parcelles. D'ailleurs la parcelle 5 porte en son milieu une rayure violacée très nette qui pourrait être interprétée comme un essai préparatoire aux labours. Cette différenciation pourrait également indiquer une plus grande humidité du sol. Dans la portion occidentale de la diazo, au nord de l'aéroport de Roissy, où l'on sait que les sols sont les plus humides, la plupart des parcelles au sol nu sont bleu sombre ou violettes. Dans les tons rouges apparaissent maïs et betteraves mais avec une petite différenciation. Les parcelles de betteraves apparaissent en rouge vif, le maïs en rouge terne ou brun-rouge. L'espoir d'individualisation des deux cultures semble donc se confirmer. Cependant forêt et maïs se confondent dans les mêmes tons. Les parcelles de maïs en lisière de forêt d'Ermenonville sont donc méconnaissables.

La troisième combinaison retenue (fig. 4 B), réalisée avec un positif sous-exposé (canaux 4 et 5 sombres et canal 7 clair), donne moins de renseignements que la précédente mais les limites entre les parcelles de cultures et entre les cultures et la forêt sont très nettes. Les champs moissonnés apparaissent en vert (jaune+cyan) ou en cyan. Cette distinction est peut-être fonction de l'humidité

du sol puisque ce sont les parcelles les plus proches de la lisière de la forêt qui prennent le ton cyan. Les betteraves, le maïs et l'aérodrome sont confondus en rouge. Cette combinaison devrait rendre également des services dans les zones forestières où les feuillus, les conifères et les clairières se distinguent parfaitement.

Tableau A - Résultats de l'étude des contrastes par l'examen des diazos adaptées

Film positif utilisé	Diazo adaptée			Résultat
	Canal 4 jaune	Canal 5 magenta	Canal 7 cyan	
Surexposé	Clair	Clair	Sombre	Betterave en rouge tout le reste en cyan
Standard	Clair	Clair	Sombre	Céréales en cyan; betterave rouge; maïs + forêt brun; terres humides en violet
Sous exposé	Sombre	Sombre	Clair	Blé vert; betterave, maïs en rouge; bonne définition des secteurs forestiers

Donc, en jouant sur les diverses combinaisons de diazos, on obtient avec assez de précision les thèmes recherchés. Un zonage par thème est à envisager même si la région ne se prête guère à cette opération. On a en effet une mosaïque où les milieux n'ont guère de continuité dans l'espace. On peut remarquer toutefois que la diazo résultant de l'insolation d'un positif surexposé en jaune et magenta clairs pour les canaux 4 et 5 et en cyan sombre pour le canal 7 pourrait être considérée comme une équidensité colorée du thème betterave.

3 - L'équidensité colorée

Une équidensité colorée des principales cultures a été tentée à partir de la densitométrie des gris du film positif standard relatives aux parcelles étalon. La densitométrie a déterminé les classes d'intensités optiques affectées à 5 principaux thèmes: champs moissonnés, maïs, betterave, labour récent, prairie, dans le canal 5. Sur le tableau B ci-dessous, on a donné les résultats de l'étude qui ont servi au choix du canal.

L'équidensité a donné des résultats très insuffisants. Il fut impossible de distinguer les parcelles de maïs et de betteraves et les contours des parcelles de cultures sont restés très imparfaits. Les causes de ces imperfections sont à rechercher dans le manque d'homogénéité des densités optiques de chaque culture. Des rectifications graduelles des surfaces couvertes par ces deux cultures auraient été nécessaires. Le meilleur zonage a été obtenu sur les champs moissonnés. L'équidensité colorée est une technique qui requiert un certain entraînement et qui ne donne de bons résultats que sur un choix limité de thèmes à zoner. Elle a l'inconvénient de demander une préparation assez longue (2 heures 30 minutes pour zoner 5 thèmes). En réalité, lorsqu'on dispose des bandes magnétiques, on a tout intérêt à utiliser les traitements numériques beaucoup plus rapides et précis pour les zonages.

Tableau B - Étude des densités optiques des principales occupations du sol sur film positif standard

N <sup>o</sup> .des parcelles	Discrimination	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
18 et 19	Champs moissonnés	0,5	0,55	0,3	1,9
4, 9, 10 et A	Maïs	1,8	1,65	0,43	0,9
15, 17 et B	Betterave	1,65	1,95	0,12	0,5
14	Labour récent	0,8	0,78	0,83	2
Aérodrome	Prairie	1,35	1,35	0,75	2

#### IV - LE TRAITEMENT NUMERIQUE DE LA VUE D'ERMENONVILLE DU 16/9/1979

##### 1 - Généralités sur les traitements numériques

Les données de satellite doivent être envisagées comme des repères. Chaque pixel ou point élémentaire a son "étiquette" représentée par un nombre sur chaque canal. Ce sont ces données digitales qui sont stockées sur des bandes magnétiques. Une image Landsat, par exemple, contient 23.000.000 de données. Les données d'une image sont enregistrées sur une bande de 8 pistes et le traitement numérique se fait par échantillonnage sur l'ensemble des nombres. Sur la bande, l'information de chaque pixel est enregistrée sur une ligne de un octet. Les nombres de l'octet vont de 0 à 255. On ne travaille pas directement sur la bande magnétique car le traitement serait trop long. Les informations de la bande sont reportées sur un disque qui sert à charger des mémoires rapides et à opérer des sélections. La sélection faite, les données sont mises sur des mémoires parallèles vidéo pour les amener à l'écran Péricolor où l'on peut jouer à volonté avec l'image.

Pour chaque pixel, Landsat donne donc 4 données numériques correspondant aux 4 canaux (4, 5, 6 et 7). Ces nombres sont la signature du point élémentaire et constitue un ensemble appelé polynombre. Le premier travail consiste donc à repérer l'organisation des polynombres de l'image. L'enveloppe d'un paquet de polynombres constitue un serpent. C'est un chenal dans lequel les polynombres restent dans une certaine classe. L'ensemble des polynombres qui appartient au serpent est un lot. Une image n'est donc qu'un ensemble de lots. La première étape du traitement numérique consiste à créer des lots, à rechercher les limites de classes et à faire les serpents des thèmes recherchés. Pour créer des lots, le programme va effectuer une dégradation de l'information à chaque niveau. Sur l'écran Péricolor, on a les moyens techniques de trouver les coupures sur chaque canal. Cette recherche se fait, en général, sur deux canaux (surtout les canaux 5 et 7). Les canaux 4 et 6 ne servent que de contrôle. Les logiciels de ce programme, appelé programme loterie, ont été mis au point à l'ORSTOM par Monsieur J. Noël, responsable de l'atelier numérique du Bureau de Télédétection. Ils ont l'avantage d'être simples et ils permettent une interaction constante entre l'opérateur et l'ordinateur.

La vue Ermenonville a tout d'abord été traitée en composition colorée automatique puis à l'aide du programme loterie.

## 2 - Composition colorée automatique

Le traitement porte sur trois canaux: 4, 5 et 7. On attribue à chaque canal une couleur. Dans ce cas précis de la vue du 16/9/1979 on a choisi le rouge pour le canal 7, le bleu pour le canal 5 et le vert pour le canal 4. Il s'agit de voir si ce programme automatique permet de distinguer les cultures et les modes cultureux des parcelles de la zone témoin. À l'aide d'une première reconnaissance des contours des parcelles sur l'image du Pericolor et en présence du plan des cultures de la région en 1979, on avait préalablement isolé les parcelles dont l'occupation du sol était bien connue et on les avait entourées d'une lisière blanche à l'aide du curseur mobile. On avait ainsi choisi les parcelles 18 et 19 en chaumes, les parcelles 20 et 24 en betteraves, la parcelle 4 en maïs et l'aérodrome en prairie.

La composition colorée est effectuée directement par l'ordinateur. La dégradation automatique est faite à partir de l'histogramme avec 8 coupures sur les canaux 4 et 5 et 4 coupures sur le canal 7. Dans la vue ainsi traitée, 256 lots sont donc possibles (8 x 8 x 4) et ils sont représentés par 256 couleurs. On obtient donc de manière automatique une loterie de 256 lots. Le résultat donne une vue très correcte des thèmes. Toutes les parcelles témoins dont les thèmes sont différents apparaissent dans une couleur propre. Toutefois, on ne peut pas fixer le résultat sur la table traçante Benson ou sur l'imprimante. Ce n'est qu'une première voie de travail. En outre, elle ne renseigne pas sur les seuils de réflectance des principaux thèmes à traiter.

## 3 - Le traitement par canal

On travaille en fausse couleur sur le cadre du Pericolor qui comporte 255 lignes de 255 points chacune. Sur chaque canal, on procède à une dégradation de l'information afin de rechercher les coup-

res qui paraissent caractéristiques des thèmes choisis. La démarche suivie pour le canal 4 est la suivante:

Sur l'écran Péricolor vierge, on note le niveau d'apparition du premier pixel. Sur le canal 4 de la vue du 16/9/1979, il apparaît au niveau 65 (sur les 256 coupures possibles). En poursuivant la dégradation, seule la mer de sable dans la forêt d'Ermenonville se comble peu à peu de points rouges jusqu'au niveau 45 où elle est entière. Les parcelles moissonnées 18 et 19 sont entièrement colorées en jaune au niveau 33. Les parcelles 15 et 17 en labours jusqu'au niveau 30. Entre 30 et 21, les betteraves colorent entièrement en vert en même temps que le maïs. En dessous du niveau 21 et jusqu'à 14, c'est la forêt qui se comble. Ainsi sur le canal 4, on aboutit à la constitution de lots représentatifs des thèmes choisis. Ces lots serviront à la suite du programme, à construire le programme loterie et au traçage des serpents. Les lots définis peuvent également être transmis à l'imprimante noir et blanc. On affecte à chaque lot une nuance de gris et l'imprimante fournit alors une image des lots adoptés sur le canal 4 (figure 5). En suivant la même procédure sur les autres canaux, on arrive à la définition des coupures caractéristiques des principales cultures et ainsi au traçage de leur serpent.

#### 4 - Le traçage des serpents

La dégradation de l'image sur les 4 canaux a permis d'aboutir à un ensemble de 8 lots caractéristiques: la mer de sable, les champs moissonnés, le maïs, la betterave, les labours récents, la forêt, les résineux et les surfaces en eau. Les données des seuils de réflectance pour chaque lot sur l'ensemble des canaux maintenant connues permettent de tracer les serpents. Sur le graphique de la figure 6 on a porté, en ordonnées, la valeur des niveaux significatifs trouvés par dégradation de l'image au Péricolor et, en abscisses, l'ordre des canaux utilisés: 4, 5, 6 et 7. On obtient ainsi le serpent de chaque lot. Sur tous les canaux, la mer de sable a toujours la plus forte réflectance mais sur les canaux 6 et 7 la betterave vient également en tête. On doit noter aussi que la betterave a un comportement diamétralement opposé dans les canaux 4 et 5, puis 6 et 7. Dans une

Figure 5 - Image des lots obtenus sur le canal 4  
( le parcellaire de la zone étudiée  
a été surimposé )

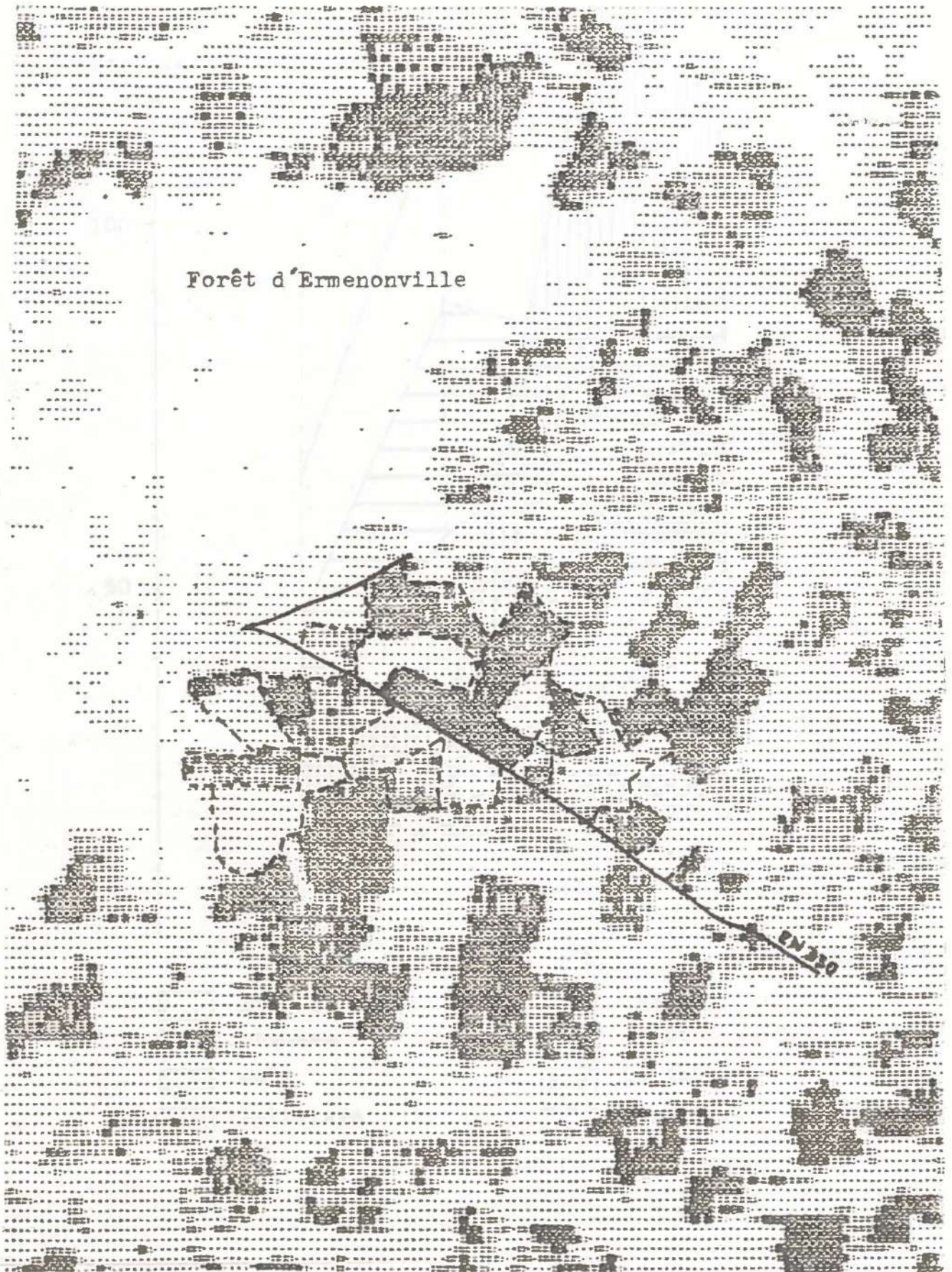
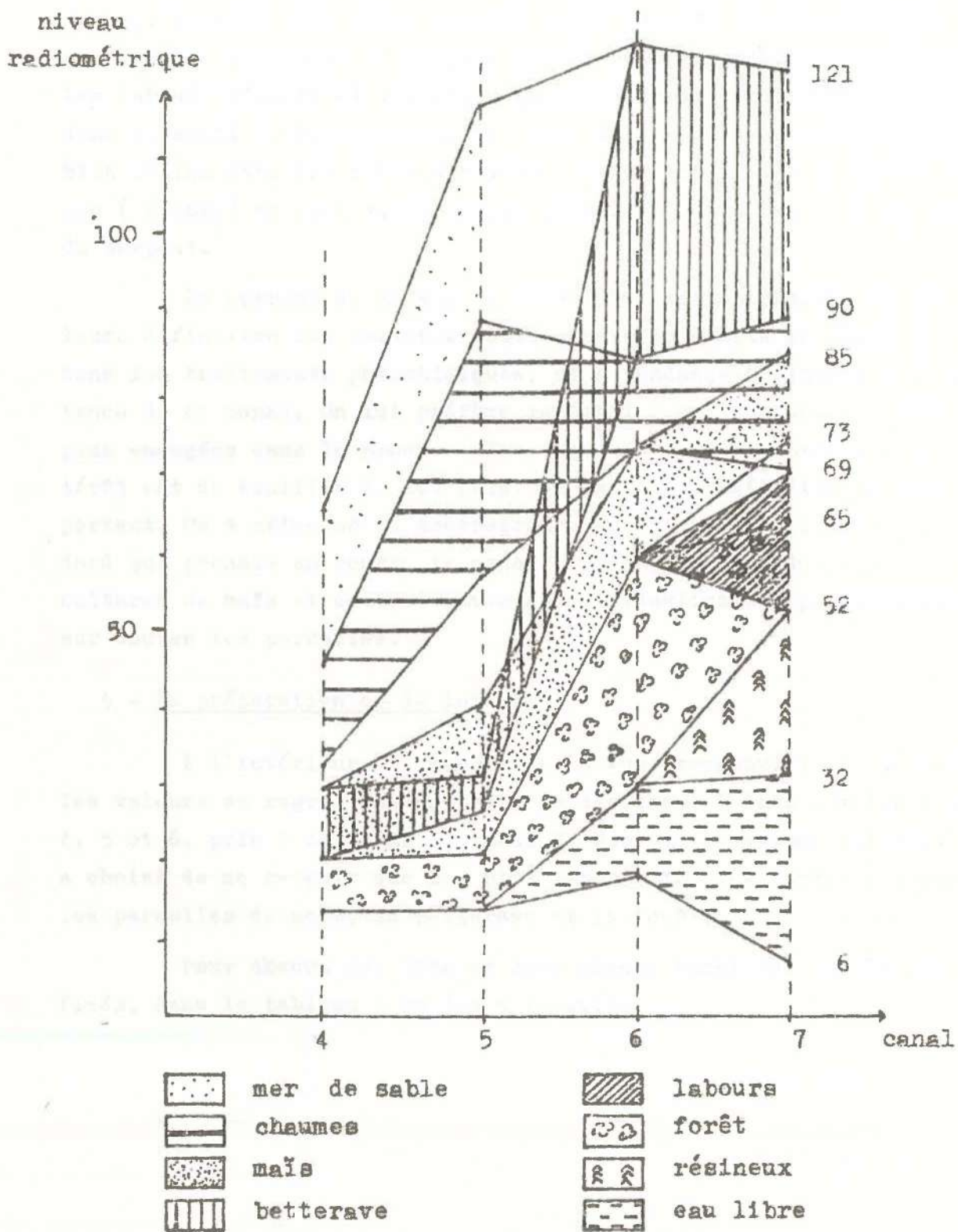


Figure 6 - Serpent de la vue Ermenonville du  
16 septembre 1979



moindre mesure le maïs suit la même évolution, c'est pour cette raison que jusqu'à présent il avait été impossible de l'isoler de la betterave. Ce n'est que dans le canal 6 que le maïs s'individualise le mieux de la betterave d'une part et des champs moissonnés d'autre part. Les labours récents et les résineux ne s'identifient parfaitement que dans le canal 7. En tout cas, la forêt dans son ensemble a un serpent bien défini dans les niveaux moyens et bas. Enfin, les surfaces en eau (étangs) ne sont visibles que dans les canaux 6 et 7 à la base du serpent.

Le serpent de la vue du 16/9/1979 fait apparaître que la meilleure définition des cultures doit prendre en compte le canal 6. Or, dans les traitements photochimiques, on a tendance à minimiser l'importance de ce canal. On lui préfère le canal 7 aux longueurs d'onde déjà plus engagées dans le proche infrarouge. Dans le cas présent, où l'intérêt est de seuiller le lot maïs, ce canal 6 paraît être le plus important. On a effectué la contrepreuve en faisant un tirage diazo standard qui prenait en compte le canal 6 (cyan) au lieu du canal 7. Les cultures de maïs et de betteraves s'individualisaient parfaitement sur toutes les parcelles.

#### 5 - La préparation de la loterie

À l'intérieur du serpent de la vue Ermenonville du 16/9/1979 les valeurs se regroupent en lots. On distingue 5 lots sur les canaux 4, 5 et 6, puis 7 lots sur le canal 7. Pour le programme loterie, on a choisi de ne retenir que les plus importants: les champs moissonnés, les parcelles de maïs, la betterave et la forêt.

Pour chacun des lots et dans chaque canal les seuils ont été fixés. Dans le tableau C on les a rappelés.

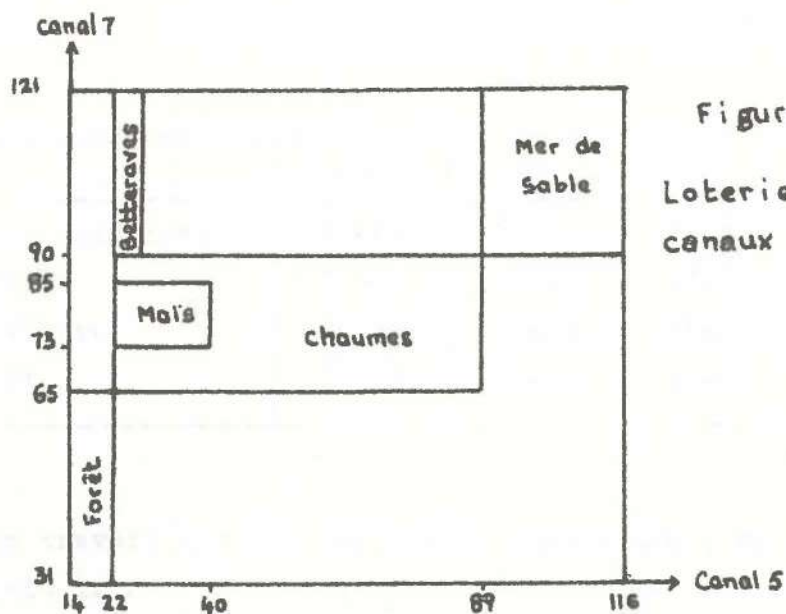


Figure 7  
Loterie sur les canaux 5 et 7

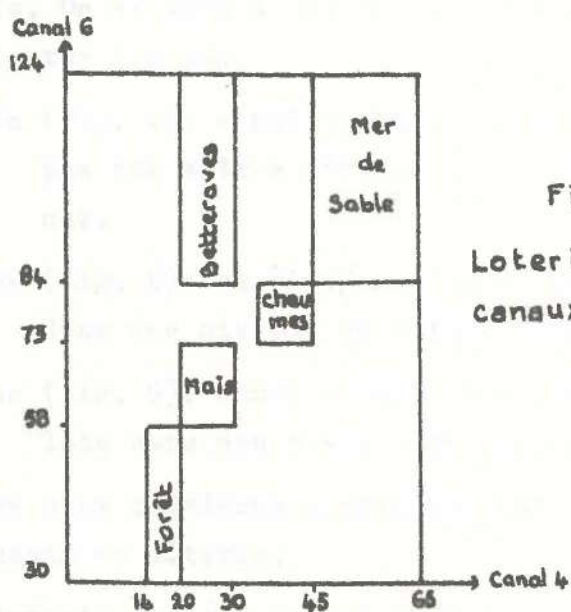


Figure 8  
Loterie sur les canaux 4 et 6

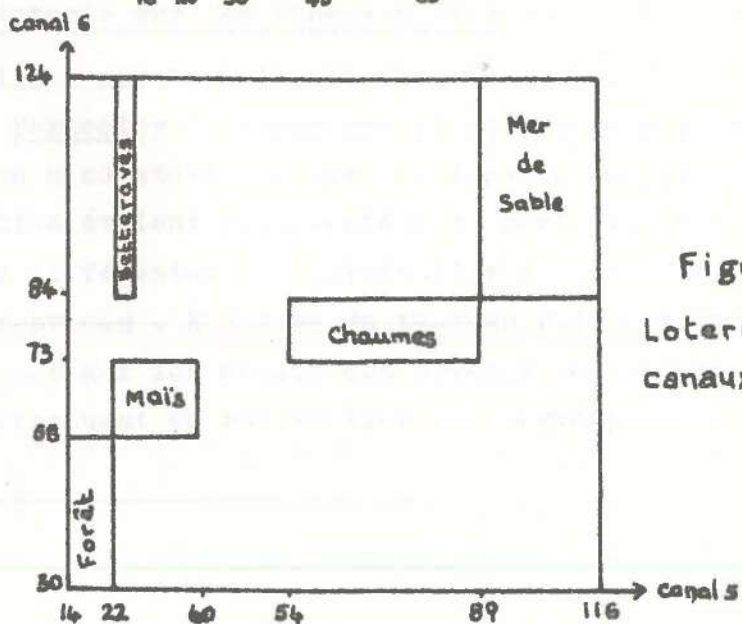


Figure 9  
Loterie sur les canaux 5 et 6

Tableau C - Les niveaux radiométriques caractéristiques

Lot	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
Champ moissonné	33-55	56-90	73-85	69-85
Maïs	21-30	21-40	54-73	73-85
Betterave	21-30	27-31	85-124	90-121
Fcrêt	15-20	15-20	30-58	31-65

En travaillant sur les canaux deux à deux, on a cherché quelle serait la combinaison la plus apte à faire apparaître les 4 lots choisis. On obtient ainsi une vue des lots qu'on a représentés dans les figures 8 à 10.

- 1<sup>o</sup> hypothèse (fig. 7): canal 7/canal 5 - le maïs ne s'individualise pas des autres céréales. Cette hypothèse n'est pas retenue.
- 2<sup>o</sup> hypothèse (fig. 8): canal 6/canal 4 - chaque lot est bien défini dans des niveaux de réflectance assez réduits.
- 3<sup>o</sup> hypothèse (fig. 9): canal 6/canal 5 - bonne individualisation des lots dans des niveaux de réflectance plus étalés.

Ces deux dernières hypothèses ont été retenues pour effectuer les essais de loterie.

a - La loterie sur les canaux 6 et 4

Elle a abouti à l'individualisation de 16 lots (tableau D). Sur l'écran Pericolor le programme VIILOT a permis leur identification. Très vite on a constaté des erreurs dans le seuillage des lots. Les mêmes cultures étaient représentées au Pericolor par plusieurs lots de couleurs différentes. En particulier le lot betterave apparaît à plusieurs reprises. À l'aide du tableau D, il est donc possible maintenant de corriger les seuils des niveaux de réflectance de chaque thème en effectuant en particulier des regroupements de lots.

TABLEAU D

Loterie sur les canaux 4 et 6 :  
individualisation des lots

N	Npix	%I	%T	Identification
1	17239	6.268	0.263	chaumes
2	15236	0.232	0.496	forêt
3	8284	0.126	0.622	forêt
4	7600	0,116	0.738	divers
5	5368	0.082	0.820	chaumes
6	4215	0.064	0.884	letteraves
7	4037	0.062	0.946	forêt
8	1804	0.028	0.973	maïs et letteraves
9	518	0.008	0.981	divers
10	347	0.005	0.986	letteraves
11	272	0.004	0.991	mer de sable
12	190	0.003	0.993	letteraves
13	180	0.003	0.996	letteraves
14	88	0.001	0.998	?
15	26	0.000	0.998	?
16	1	0.000	0.998	?

N - numéro du lot

Npix - nombre de pixels dans chaque lot

%I - pourcentage de fréquence des pixels du lot

%T - pourcentage cumulé

## TABLEAU E

Loterie sur les canaux 5 et 6 :  
individualisation des lots

N	Nrix	%I	%T	identification
1	14434	0.220	0.220	forêt
2	14303	0.218	0.438	maïs
3	11549	0.176	0.615	chaumes
4	6774	0.103	0.718	lisière de forêt
5	5300	0.081	0.799	letteraves
6	4206	0.064	0.863	letteraves
7	3050	0.047	0.910	forêt
8	2804	0.043	0.952	chaumes
9	1968	0.030	0.982	chaumes
10	549	0.008	0.991	letteraves et labours
11	260	0.004	0.995	letteraves
12	111	0.002	0.997	aéroport
13	71	0.001	0.998	mer de sable
14	2	0.000	0.998	?

b - La loterie sur les canaux 5 et 6

Elle a donné de meilleurs résultats. Peut-être le plus grand étalement des niveaux de réflectance sur le canal 5, en particulier, n'est-il pas étranger au résultat. La loterie a isolé 14 lots dont l'identification au Pericolor a été indiquée dans le tableau E et sur la figure 10. Les 7 premiers lots représentent 97% des pixels de la vue (%T) et la totalité des lots 99,8%. Les 0,2% restants représentent les quelques pixels des étangs qui n'ont pas été pris en compte. L'image obtenue au Pericolor donne une bonne visualisation des thèmes choisis. Céréales, betteraves et maïs sont distincts. La forêt, elle-même, se subdivise en forêt close et bosquets de lisière. Les villages d'Ermenonville et de Le Plessis Belleville apparaissent, eux aussi, dans les mêmes tons que les bosquets. Ce qui en réalité est plausible car les maisons sont isolées dans des jardins et les arbres d'ornement ou fruitiers sont nombreux. Peu de lots ont nécessité des regroupements. Quoique l'individualisation du maïs constitue la preuve de la valeur de la loterie, les bornes du lot de cette culture devront être revues et réajustées. Les parcelles 4, 9 et 10 qui ont servi à construire les lots sont petites et n'apparaissent pas toujours bien sur les différents canaux. L'existence d'une grande parcelle de maïs en dehors de la zone étudiée (parcelle A) avait permis néanmoins de vérifier la véracité des seuils du lot maïs. Malgré cette précaution, quelques pixels de maïs sont encore confondus avec ceux des betteraves. Curieusement, la partie de l'aérodrome proche de la route N 330 apparaît dans le même lot que le maïs. Une vérification sur le terrain sera donc nécessaire. La mise en culture de cette partie de l'aérodrome est possible, quoique cette particularité ne soit pas mentionnée dans le plan cultural de 1979. Dans cette première étape du travail où il s'agissait de définir les lots des principales cultures, le but a été atteint.

Sur l'imprimante noir et blanc, l'image des lots a été fixée. On a procédé à un regroupement des lots afin de ne laisser paraître que les grands types d'occupation du sol: la forêt, la betterave, le maïs, les champs moissonnés, la mer de sable; les étangs dont les seuils de réflectance n'avaient pas été pris en compte par la loterie

Figure 10 - Image des lots obtenus sur les zones cultivées  
( loterie faite sur les canaux 5 et 6 )



forêt    clairière    betterave    chaumes    maïs    étang

Figure 11 - Image des lots obtenus dans le milieu forestier ( loterie sur les canaux 5, 6 et 7 )



16-SEP-79 C= 4869 0163 TRACK 215 FRAME 26

résineux

forêt claire

feuillus fûtaie mer de sable

plantation

taillis  
taillis  
sous fûtaie

apparaissent en blanc. Rappelons que cette loterie n'a été réalisée qu'en ne prenant en compte que les parcelles cultivées. Elle ne renseigne donc pas sur les différents thèmes de la forêt. Cette étude spécifique a été entreprise par un autre groupe de travail.

c - La loterie effectuée sur la forêt d'Ermenonville

La procédure fut la même. L'analyse du serpent de la forêt avait fait apparaître l'utilité du canal 5 qui mettait particulièrement en relief l'opposition entre les deux milieux naturels (forêt et cultures). Les canaux 6 et 7 permettaient d'isoler avec assez de précision six thèmes différents dans la forêt: surface en eau, résineux, forêt clairsemée, feuillus, grande futaie et taillis sous futaie, la mer de sable et enfin une rubrique résiduelle où entraient les clairières, les zones de cultures et les infrastructures routières. La figure 11 donne l'image des lots obtenus en faisant la loterie sur les 3 canaux 5, 6 et 7.

6 - Préparation de la visualisation du serpent d'un thème

L'image des lots obtenue par le programme TRALOT est une première approche cartographique des thèmes qui peut être améliorée en faisant intervenir le programme VISSER. Il permet de rectifier le serpent de chaque thème retenu par la loterie. Comme le but des loteries effectuées était de définir le plus correctement possible les thèmes betteraves et maïs, ce sont ceux-ci qui ont fait l'objet du programme VISSER.

Rappelons les bornes des niveaux radiométriques de ces deux cultures sur chacun des canaux (voir serpent de la figure 6).

Tableau F - Niveaux radiométriques du maïs et de la betterave

Lot	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
Maïs	22-30	23-39	59-73	73-85
Betterave	21-30	23-26	83-124	90-121

Ces lots font apparaître sur l'image (fig. 10) quelques imperfections. Les cultures aux limites des parcelles se démarquent mal. Si la parcelle 4 est bien définie, les parcelles 9 et 10 sont très imparfaites. L'aérodrome pose un problème puisque une partie réfléchit comme le maïs. Les parcelles de betteraves sont mieux définies mais les contours sont parfois irréguliers. Il s'agit donc de rectifier le serpent des deux cultures en "l'habillant". Cette opération consiste à jouer sur les bornes des lots. À chaque modification, on visualise les résultats sur le Pericolor. Ainsi peut-on vérifier les améliorations. Si un seul habillage ne suffit pas on recommence l'opération jusqu'à satisfaction.

a- Le serpent maïs (fig. 12)

Les parcelles étalons qui vont servir aux rectifications sont les parcelles 4 et A (voir leur localisation sur la figure 10). Ci-dessous, on a transcrit les améliorations successives apportées au serpent maïs. On a procédé de la manière suivante. On a amené le point blanc du curseur mobile au milieu de la parcelle A (opération "mitraille" et, immédiatement, on a obtenu le niveau moyen de réflectance du pixel visé sur chaque canal. Dans un second temps, on a noté le niveau d'apparition du premier et du dernier pixel de la parcelle A. Cette opération avait donné les lots suivants pour les canaux 4, 5, 6 et 7: 21-23; 23-28; 64-69; 81-85. On obtient donc un serpent maïs plus étroit que pour la parcelle A. En tenant compte des rectifications obtenues pour la parcelle A plus homogène semble-t-il que la parcelle 4, on a effectué les habillages nécessaires.

Tableau G - Les habillages du serpent maïs

Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
22-27	23-31	61-69	81-85
20-28	22-32	60-70	80-86
20-30	22-34	60-71	71-86
20-30	22-29	60-71	80-88
20-30	22-30	60-71	80-88
20-30	22-34	60-71	80-88
20-30	22-34	60-71	71-88

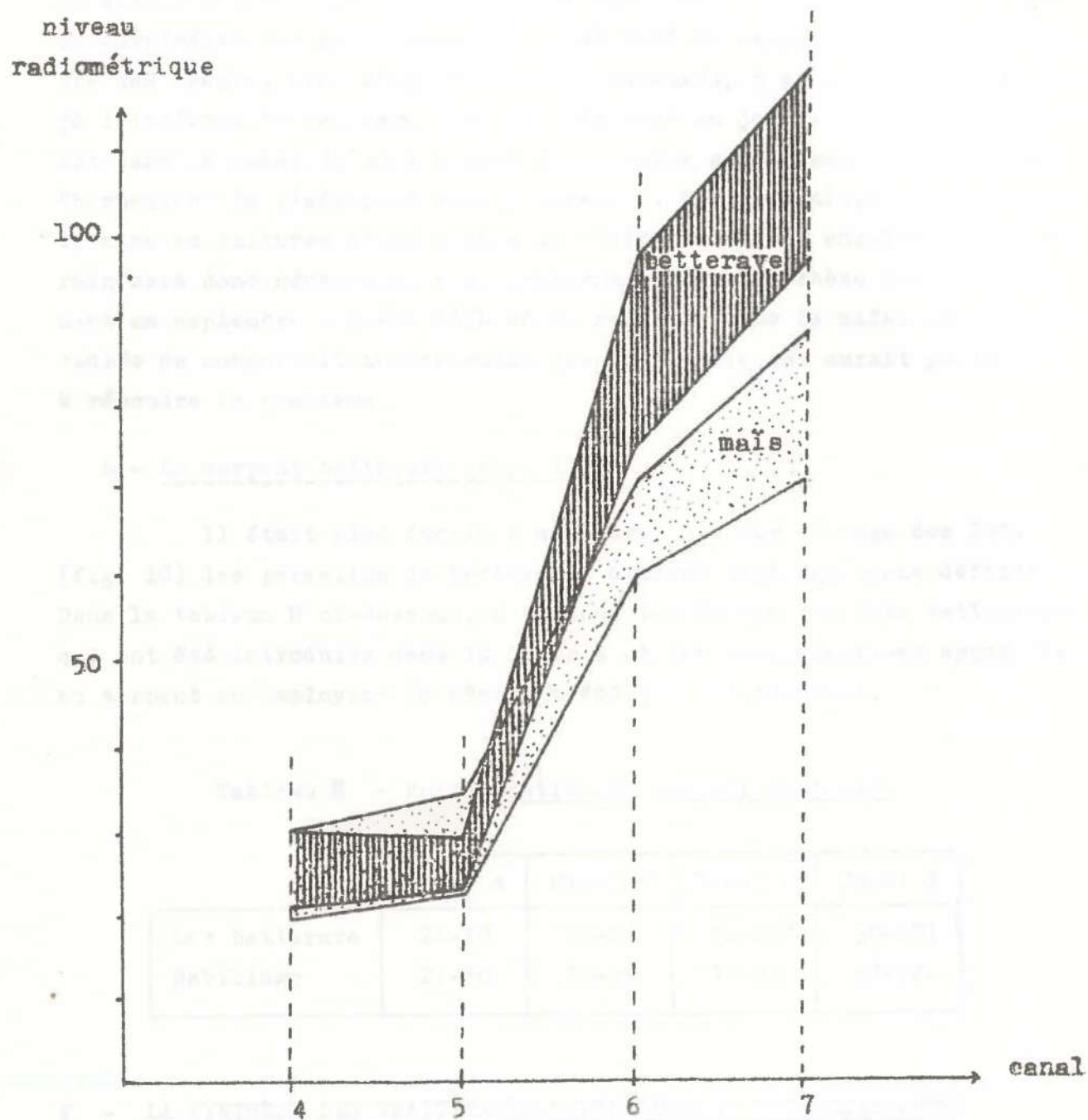


Figure 12 - Les serpents du maïs et de la betterave

Très vite, le calage des niveaux sur les canaux 4 et 6 a été fait. L'allure des histogrammes qui apparaissent sur le TEKTRON<sup>(1)</sup> permet de guider les rectifications à faire sur chaque canal. Ainsi, l'extrême complexité des histogrammes du canal 7 et du canal 5 explique le nombre des essais. Avec l'ajustement des canaux 4, 5 et 6, on obtenait déjà l'intégralité des parcelles de maïs mais en jouant sur les bornes du lot dans le canal 7, on a essayé de l'isoler complètement des surfaces "herbeuses" de l'aéroport sans y parvenir. Ce qui confirme les soupçons de mise en cultures d'une partie de l'aérodrome. Une enquête sur le terrain sera donc nécessaire pour confirmer cette hypothèse ou si réellement en septembre l'herbe déjà sèche reflète comme le maïs. La zone étudiée ne comportait aucune autre grande prairie qui aurait pu servir à résoudre le problème.

b - Le serpent betterave (fig. 12)

Il était plus facile à améliorer car sur l'image des lots (fig. 10) les parcelles de betteraves avaient déjà une bonne définition. Dans le tableau H ci-dessous, on a réuni les bornes des lots betteraves qui ont été introduits dans la loterie et les rectifications apportées au serpent en employant le même procédé que précédemment.

Tableau H - Rectification du serpent betterave

	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
Lot betterave	21-30	23-26	84-124	90-121
Habillage	21-30	23-29	75-97	97-120

V - LA SYNTHÈSE DES TRAITEMENTS NUMÉRIQUES ET PHOTOCHEMISTIQUES

La synthèse des traitements numériques est constituée par la définition des serpents des principaux thèmes de la vue. Une fois ces serpents définis, il sera facile de déboucher sur une cartographie exacte des thèmes choisis non seulement dans la zone étudiée mais sur l'en-

(1) TEKTRON : écran graphique faisant partie du terminal de la sphère de travail

semble de la vue (soit pour Landsat 185 km x 185 km) et d'en obtenir les surfaces respectives. En respectant les serpents du maïs et de la betterave de la figure 12 sur n'importe quel canal, ces deux cultures seront parfaitement définies sur la vue Ermenonville du 16/9/1979.

Sur cette vue, alors qu'on était en possession des documents fondamentaux de reconnaissance, le traitement numérique s'est avéré particulièrement rapide et sûr. À la rigueur on aurait pu se passer d'effectuer les dégradations successives de l'information pour trouver les bornes des niveaux caractéristiques. Un simple mitraillage dans les parcelles dont les thèmes étaient connus aurait suffi à construire des serpents parfaits. Les dégradations ont toutefois permis de suivre la construction progressive de l'image et ont provoqué des suggestions et réflexions en proposant différentes cartographies de thèmes aux réflexions voisines (maïs/prairie; maïs/betterave). L'étude par canal donne des résultats intéressants et la transcription des lots sur l'imprimante noir et blanc offre un bon document de travail en bureau comme sur le terrain lors d'éventuelles vérifications. Dans le cas présent, le traitement numérique a proposé quelques corrections à apporter au plan cultural fourni pour 1979. Reste à prouver leur véracité par l'enquête sur les lieux. La seule vue des diazos permettait déjà de faire certaines corrections quant aux limites des cultures mais le traitement numérique est plus sûr. Les secteurs de bosquets, de lisières mal définis sur les films positifs comme sur les diazos sont précisés et même divisés en quelques sous-secteurs. Le traitement numérique présente aussi l'avantage de traiter d'égale manière tous les thèmes d'une vue d'où un gain de temps considérable. Les bornes des lots sont beaucoup plus fiables que par traitement photochimique où les densités optiques des gris semblent varier beaucoup à l'intérieur d'un même thème. Ce qui oblige à augmenter le nombre des parcelles étalons à étudier et à élargir des bornes de densité au risque de les faire chevaucher avec celles des autres thèmes.

Dans ce cas particulier de la vue d'Ermenonville, les méthodes sont simples et il suffit de choisir entre traitement photochimique et numérique en fonction du détail que l'on veut obtenir dans l'information. Au niveau de la discrimination des parcelles et de la déter

mination des cultures, les traitements photochimiques à eux seuls sont capables de fournir un inventaire correct à peu de frais. L'emploi de l'ordinateur n'est utile que pour obtenir une cartographie immédiate des thèmes et pour déterminer avec exactitude les surfaces couvertes par chacun d'eux. On entrevoit alors la puissance de cette méthode pour l'actualisation rapide des statistiques agricoles.

Dans le cas de l'étude d'une vue dont on n'a aucun renseignement préalable, le traitement numérique semble particulièrement utile en fournissant une première hypothèse de travail qu'on peut améliorer en confrontant avec les diverses compositions colorées et en rectifiant sur le terrain. La démarche ne sera donc pas la même dans l'un ou l'autre cas. Cependant, dans cette phase expérimentale de l'usage de la télédétection à l'étude des milieux naturels et de leur réflectance le contact avec le terrain est encore indispensable.