

Commission VII
Groupe de Travail n° 3
Communication

Michel C. GIRARD

Docteur en Pédologie
Maître Assistant en Pédologie

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS - GRIGNON

16 Rue Claude Bernard
75231 PARIS Cedex 05 - FRANCE
78850 THIVERVAL - GRIGNON - FRANCE

J-P. ROGALA

Ingénieur Agronome
Stagiaire I.B.M. France *

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS - GRIGNON

- : -

ANALYSE DE L'ENVIRONNEMENT PAR TRAITEMENT
INFORMATIQUE DES DONNÉES LANDSAT.
UN EXEMPLE : L'HUMIDITÉ DES SOLS.

- : -

INTRODUCTION

De par sa dynamique, l'eau est un des éléments de l'environnement qui se retrouve dans la plupart des études. Pour le pédologue, elle intervient par le biais de l'humidité des sols. Sur le terrain, le pédologue la prend en compte dans sa description. Avec l'utilisation des images Landsat, il est évident qu'une des premières questions que se pose le pédologue est : peut-on, par un traitement informatique, obtenir des renseignements à propos de l'humidité des sols, à partir des images Landsat ?

On s'est posé cette question dans le but de répondre à un besoin des responsables agricoles français qui se demandaient où il était nécessaire d'envisager des études précises pour effectuer un drainage dans leur département. L'exemple porte sur une zone se situant au confluent de la vallée de la Loire et de l'Indre (1).

I.- LES DIVERSES DEMARCHES

Plusieurs démarches peuvent être envisagées pour rechercher les zones où il serait nécessaire de drainer.

*Nous remercions le Centre Scientifique d'I.B.M. France pour son aide.

A. Etudes de terrain

Classiquement, le pédologue observe sur le terrain des critères qui lui permettent de poser un diagnostic quant à la dynamique de l'eau dans les sols. Il est donc susceptible de déterminer les zones qui devraient faire l'objet d'une étude fine en vue d'un drainage, ou d'une irrigation. Il est possible de préparer une carte des zones sensibles à ces deux phénomènes à partir de cartes pédologiques (fig. 1). Mais cette démarche est longue.

B. Utilisation de la photo-interprétation

Depuis fort longtemps, le pédologue utilise les photographies aériennes pour l'aider dans ses études cartographiques. Il n'est pas possible d'obtenir directement des renseignements précis sur l'humidité des sols à partir des photographies panchromatiques, mais un raisonnement permet d'y arriver (2). Pour cela, on utilise des critères de grisés, associés à l'analyse de la morphologie, de la structure agricole (taille des parcelles, nature de la culture, présence de haies), et en tenant compte du type de réseau hydrographique et de la localisation des sources, mares, puits, etc. (fig. 2).

Les photographies aériennes présentent des inconvénients. Ce sont la nécessité d'obtenir un vol à la date voulue et le dépouillement long et parfois fastidieux quand il s'agit de grandes surfaces (par exemple, 5 000 000 Ha pour un département français), car on ne dispose que de très peu de photographies à petite échelle (1/100 000).

C. Analyse visuelle des images Landsat

Les images satellites recouvrent la quasi-totalité du monde et il est rare de ne pas trouver plusieurs images sur une zone d'étude. De plus, l'examen d'une seule image permet de saisir une surface importante.

Il est évident que l'interprétation des quatre bandes des images Landsat en noir et blanc est plus difficile que celle d'une photographie aérienne : en effet, il y a quatre fois plus de travail et on ne dispose pas de la vision en relief. Il est donc indispensable de passer par l'interprétation d'un document en couleur que l'on a composé. Les compositions colorées peuvent donner des résultats très différents selon le codage adopté. Il y a donc lieu de réfléchir au but à atteindre pour effectuer la composition. Sur la zone étudiée, et pour l'étude des classes de drainage, on a effectué la composition suivante :

- Bande 4 : positif en orange
- Bande 5 : négatif en cyan
- Bande 7 : négatif en magenta.

Elle a permis de garder en orange très clair voire en blanc les zones forestières, ce qui facilite l'interprétation visuelle ultérieure.

En effet, dans nos régions, on ne peut pas interpréter l'humidité des sols sous forêt car leur aspect n'est pas en relation avec l'humidité des sols.

Dans les zones cultivées, il est nécessaire de rattacher l'occupation des sols aux classes d'humidité si l'on veut obtenir des informations concernant ce paramètre. Si cela n'est pas possible, il devient inutile d'employer des images satellites, car l'information qu'elles apportent ne concerne que cette occupation des sols.

Les capteurs de Landsat ne donnent aucun renseignement sur ce qui se trouve en-dessous de la surface du sol. La seule approche possible est de rechercher des relations entre les éléments directement décelables en surface et les éléments non directement décelables qui concernent la partie interne du sol.

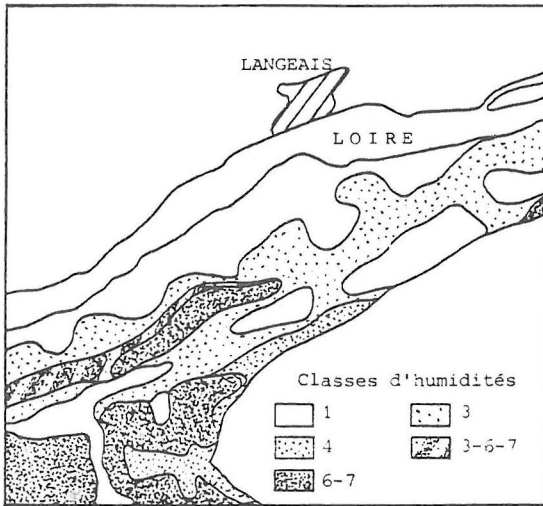


Fig. 1 - Carte des classes d'humidité, levée sur le terrain.

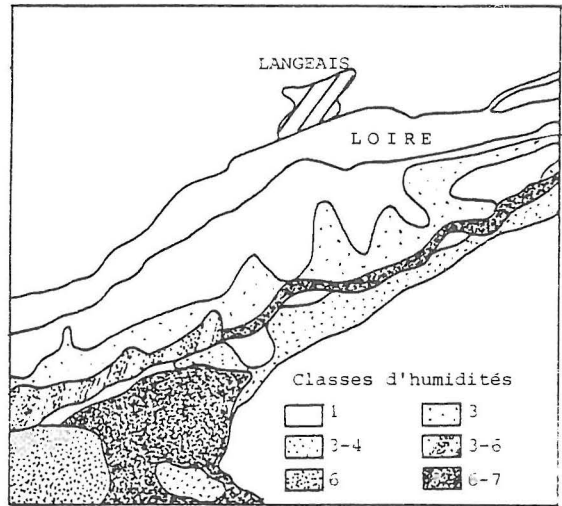


Fig. 2 - Carte des classes d'humidité interprétées sur photographies aériennes au 1/110 000 ; avec travail de terrain rapide.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Maïs	s	s	s	s	s	s	s	S	r	/	R	R	MR	MR
Blé	s	s	s	S	r	r	r	/	R	R	R	J	J	MR

s : Sol nu S : Semis r : recouvrement 20%
 R : recouvrement 40% J : jaunissement MR : moisson, récolte

☐ passage de r à R

Les meilleures dates sont : avril, mai, juillet, août

Fig. 3 - Calendrier agricole permettant de choisir l'image différenciant le mieux le blé du maïs.

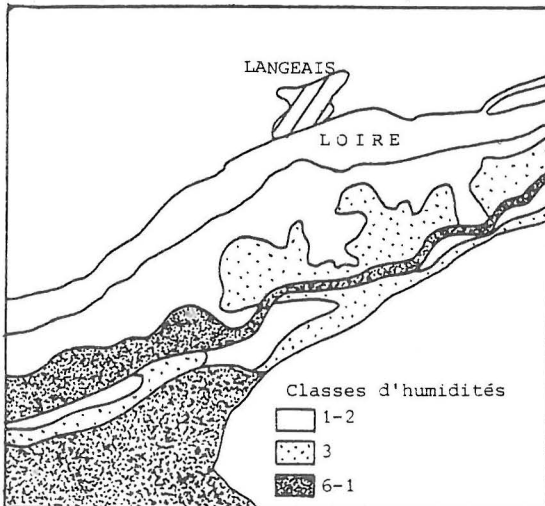


Fig. 4 - Carte des classes d'humidité par interprétation visuelle des occupations des sols sur composition colorée d'une image Landsat.

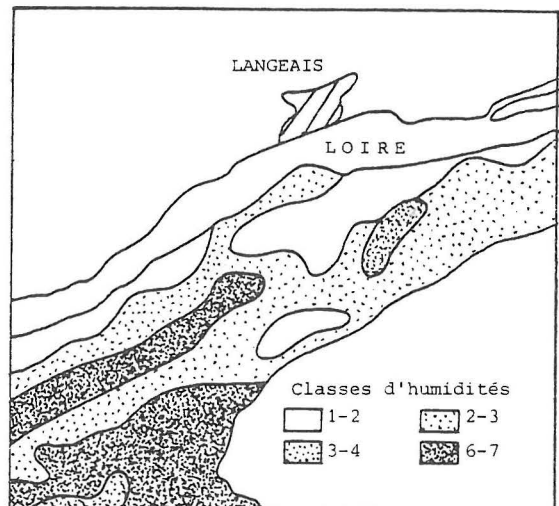


Fig. 5 - Carte des classes d'humidité par interprétation d'un document issu d'une analyse numérique de données Landsat.

Un exemple en peut être donné dans la région étudiée où l'on trouve du maïs et des céréales. Le maïs demande nettement plus d'eau que les céréales. Les agriculteurs ont respecté les demandes en eau de ces deux cultures et ont tenu compte des contraintes agronomiques des sols. Il est donc possible d'établir une relation entre les exigences en eau de ces deux cultures et la réserve en eau des sols. On peut alors cartographier les sols ayant des régimes hydriques différents en cartographiant les divers types d'occupation des sols. En choisissant les images satellites prises au moment où le calendrier agricole permet la meilleure différenciation entre les deux cultures (fig. 3), on peut facilement exploiter les images Landsat (3). On obtient une différenciation radiométrique nette.

Cette approche nécessite des connaissances des pratiques culturelles de la région. Par exemple, si les maïs et les céréales sont irrigués, leur localisation n'indique rien sur les conditions hydriques des sols, puisque leur alimentation en eau est assurée artificiellement. Il en va de même si le seul maïs est irrigué. Il est donc nécessaire d'avoir des informations sur les facteurs socio-économiques présidant à l'implantation d'une culture à l'échelle de l'exploitation et de la région pour tenir valablement un tel raisonnement. Or, c'est le seul que l'on puisse appliquer dans la plupart des cas des régions océaniques et d'utilisation ancienne par l'homme.

Le gros avantage de l'analyse visuelle des images satellites réside en ce que l'oeil sait reconnaître les formes et modéliser les structures, ce qui est actuellement très difficile à faire effectuer par voie informatique. Il n'en reste pas moins que l'interprétation visuelle, faite à une échelle assez grande comme le 1/50 000 est longue et fastidieuse (fig. 4).

D. Analyse numérique

Avant d'effectuer tout traitement numérique, il est nécessaire d'effectuer des observations de terrain. Celles-ci seront choisies à partir des grandes unités physiographiques délimitées rapidement sur une visualisation des images. Ce travail, limité, n'a pas pour objet de dresser une carte mais seulement d'établir des références de terrain. On peut, de la sorte, dresser les tableaux de relations entre l'humidité des sols et les principales occupations des sols. Ceci doit être fait pour chaque région physiographique, car ces relations varient avec ces régions. On peut alors répondre aux questions suivantes, ce qui est indispensable :

- Combien y a-t-il de régions physiographiques différentes et donc de types de relations ?
- Les relations humidité-occupation du sol sont-elles univoques ?
Sinon, quelle est la marge de variation acceptée ?
- Existe-t-il des pratiques culturelles liées à certaines cultures ?
- Les liaisons humidité-occupation du sol se font-elles sur des surfaces suffisamment importantes pour que l'étude mérite d'être tentée ?

Dans les cas favorables, on peut alors tenter un travail en utilisant les seules valeurs radiométriques données par la bande magnétique (fig. 5).

II.- METHODOLOGIE

La méthodologie proposée utilise les diverses démarches précédentes dans leur spécificité.

1°) Il faut rappeler que si le sol est couvert par plus de 40 % de végétation, les radiances ne donnent aucune information sur le sol proprement dit (4). Quand la couverture végétale est inférieure à 20 %, il est possible

d'établir certaines relations entre l'humidité du sol et la radiance, à la condition que les sols aient les mêmes taux de matière organique, de calcaire et de fer, et qu'ils aient le même aspect de surface.

2°) Il est donc nécessaire de passer par l'intermédiaire de l'occupation des sols pour interpréter la plupart des images Landsat disponibles sur les régions tempérées. Cela suppose qu'il n'y a pas de couverture forestière, celle-ci empêchant pratiquement toute interprétation.

3°) Le travail de terrain permet d'établir la relation entre l'occupation des sols et les classes d'humidité. Pour cela, il faut avoir repéré les unités de paysage sur les visualisations des images satellites, et déterminé sur photographies aériennes les endroits où l'on doit échantillonner. Ceci permet d'effectuer un traitement pré-assisté, ce qui fait gagner dix fois plus de temps que le traitement non assisté (6).

4°) On envisage toutes les combinaisons d'occupation du sol existant sur la zone étudiée. On détermine les groupes pour lesquels on a pu établir une corrélation avec les classes d'humidité du sol. Il existe donc des associations d'occupation du sol ne correspondant pas à des classes d'humidité. Chaque groupe d'occupation du sol en relation avec une classe d'humidité est caractérisé par un intervalle de radiance pour chacun des quatre canaux (7). Ceci constitue le tableau de décision qui est à la base de l'interprétation.

5°) Le sol étant un ensemble continu, il n'est pas possible de considérer chaque point indépendamment de ceux qui l'entourent. En conséquence, on détermine le groupe d'occupation du sol sur un ensemble de points-réponses (une fenêtre) et l'on affecte au point central la classe d'humidité correspondant à ce groupe. Pour cela, on utilise le tableau de décision précédent.

6°) Sur le document ainsi sorti automatiquement, il reste à tracer les limites, ce qui incombe au pédologue. En effet, les méthodes actuelles ne sont pas encore satisfaisantes pour sortir directement des limites qui puissent intégrer les lois pédologiques conditionnant le tracé de celles-ci.

III.- LES TRAITEMENTS

La méthode utilisée repose sur deux phases : l'une pédologique, l'autre informatique (fig. 6).

A. Phase pédologique

Le pédologue intervient à deux moments : au début et à la fin pour établir trois déterminations.

1) Première détermination

A partir de son travail de terrain, le pédologue détermine d'une part l'occupation des sols et d'autre part, l'humidité des sols. Il détermine les relations entre ces deux aspects de l'environnement. Ces relations sont dues aux choix de l'agriculteur qui implante ses cultures selon leurs besoins en eau et les types de sols susceptibles de la leur apporter. Mais ce choix dépend aussi de la rotation des cultures et de choix économiques divers. En conséquence, il ne peut pas y avoir de relations bi-univoques entre l'humidité des sols et l'implantation des cultures. Il y a cependant une tendance.

2) Deuxième caractérisation

Cette tendance, le pédologue la décèle par des groupes d'occupation

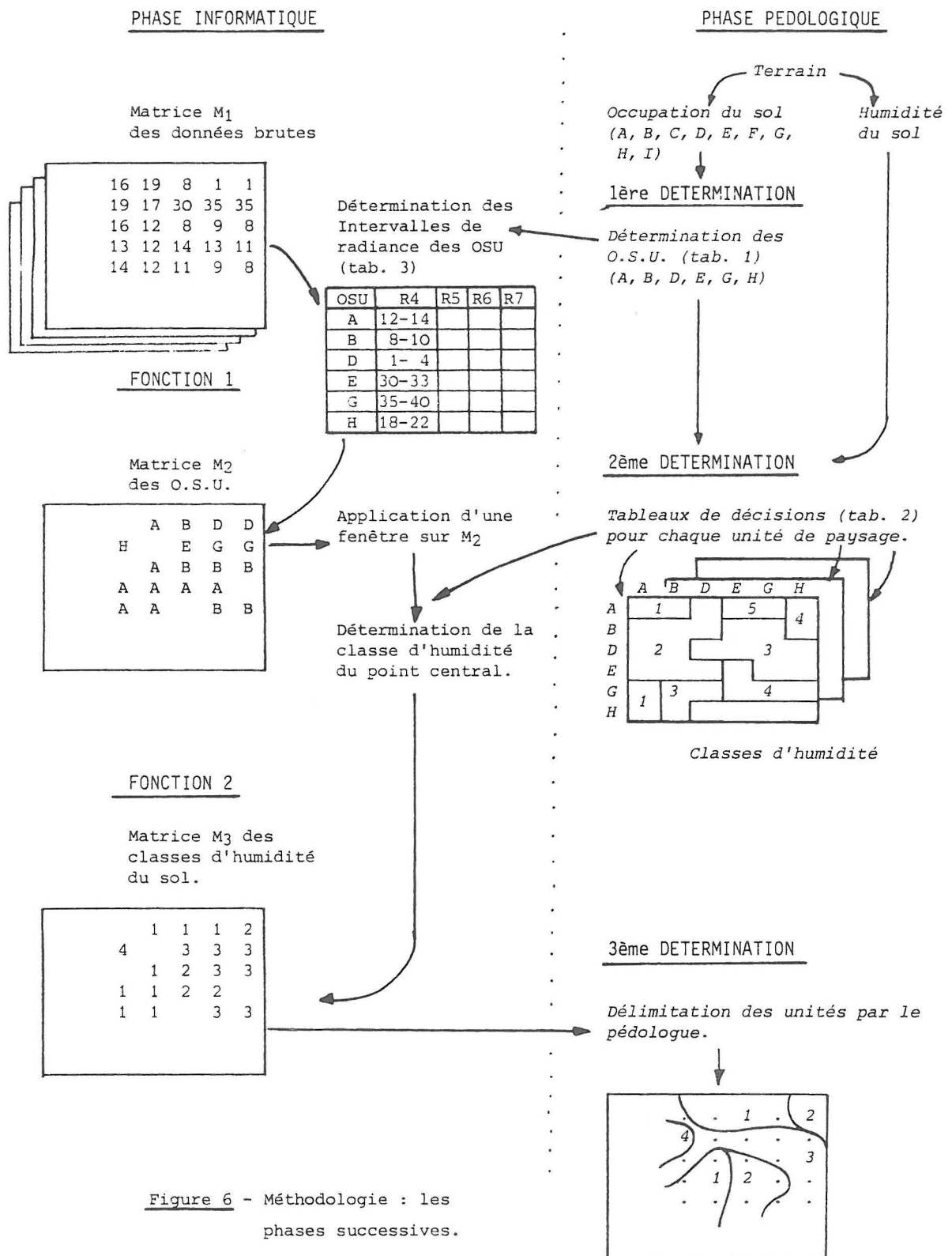


Figure 6 - Méthodologie : les phases successives.

du sol utiles (O.S.U.) à la caractérisation des classes d'humidité (Tab. 1). Ainsi, le pédologue établit un tableau qui permet de faire correspondre à des classes d'humidité des sols, des types de répartition (en pourcentage) d'Occupation des Sols Utile. Il existe autant de tableaux qu'il existe d'unités de paysage. Ces tableaux sont dénommés : tableaux de décision (tab. 2).

3) Troisième détermination

Une fois que l'on a sorti la répartition des classes d'humidité des sols à partir des tableaux de décision, il revient au pédologue de déterminer les limites définitives de l'interprétation des cartes d'humidité des sols. En effet, le cartogramme sorti de l'ordinateur, comprend des emplacements où il n'a pas été possible de prendre une décision automatiquement. C'est au pédologue que revient cette responsabilité.

B. Phase informatique

Le traitement informatique doit assumer deux fonctions.

1) Première fonction

Elle fait passer la matrice M_1 : matrice des données brutes, à la matrice M_2 : matrice des occupations du sol utiles. Chaque type d'O.S.U. retenu doit être seuillé de telle sorte qu'on puisse le caractériser par l'ensemble des valeurs des quatre radiances. Ce travail a été fait à partir de l'histogramme à deux dimensions des canaux 5 et 7. Il va de soi que dans d'autres exemples, n'importe quelle combinaison des quatre canaux peut être retenue. Il est nécessaire de déterminer des intervalles de variation pour les radiances caractérisant les diverses O.S.U. (Tab. 3). En effet, il n'y a pas de relations bi-univoques entre les occupations du sol et les radiances. Ensuite, on affecte automatiquement, à chaque point-réponse, un type d'occupation des sols. Il peut se faire que la valeur des radiances ne permette pas cette affectation. On laisse alors le point réponse en blanc.

Il existe diverses méthodes qui permettent cette affectation. Elles sont :

- du type déterministe : .choix d'intervalle sur plusieurs canaux (tab. 3) (système LOTERIE de l'O.R.S.T.O.M.) (8).
.choix de surfaces sur un histogramme à plusieurs dimensions (système I.R.M.S. de I.B.M.) (9).
- du type probabilité : système ERMAN 2 de I.B.M.

2) Deuxième fonction

Elle fait passer de la matrice M_2 : matrice des O.S.U. à la matrice M_3 : matrice des classes d'humidité. Quand on travaille point par point, comme c'est le cas pour la matrice M_2 , il est assez difficile de déterminer ce qui correspond à l'information utile et ce qui concerne le "bruit". On effectue souvent un lissage pour éliminer ce bruit. Mais dans le cas présenté, on n'a pas affaire à des valeurs chiffrées, mais à des informations qualitatives. Il n'est donc pas possible d'employer des lissages basés sur la moyenne ou la médiane. Le seul utilisable est le lissage par Mode. Mais il présente l'inconvénient de détruire les hétérogénéités sans en saisir l'information.

On a appliqué sur la matrice M_2 une fenêtre de dix sur dix, qui prend donc en compte cent points-réponses. Ceci assure une diminution du bruit. Il est évident que l'on perd de petits détails, mais le but est de sortir des informations sur des surfaces assez grandes : ce n'est donc pas

Tableau 1 - Relations entre les Occupations du sol et les classes d'humidité, pour deux unités de paysage.

Occupation du Sol	Classes d'humidités	
	du plateau	de la vallée
Vignes et vergers	1 - 2	1 - 2
Céréales et maïs	3 - 4 - 5	2 - 3 - 4
Prairies	4 - 5 - 6	6 - 7
Peupleraie	néant	6 - 7
Forêt	néant	néant

Tableau 2 - Tableau de décision pour l'unité de paysage : Vallée.

Recouvrement ↓ par → 1/3 de :	Vigne-Verger	Céréales-Maïs	Prairie-Peuple- raie
2/3 de vigne Verger	1	1 - 2	1 - 2
Céréales-Maïs { Céréales > Maïs Maïs > Céréales	1 - 2	2 - 3	3 - 4
	2 - 3	3 - 4	6
Prairie Peupleraie	blanc	6	6 - 7
1/3 de Vigne-Verger, 1/3 Céréales-Maïs, 1/3 Prairie-Peuple- raie			2 - 3

Dans chaque case est indiquée la classe d'humidité à affecter au point central ayant la combinaison correspondant à la "fenêtre".

Tableau 3 - Intervalles de radiance dans les canaux 5 et 7 servant à la détermination des Occupations du Sol.

	Canal 5		Canal 7
Vigne-Verger	41 - 62	et	76 - 102
Maïs	41 - 59	et	0 - 76
Céréales	62 - 255	et	83 - 97
Prairies	34 - 48	et	102 - 120
Forêts	{	0 - 41	et 0 - 102
		0 - 34	et 102 - 120

un inconvénient. Le modèle varie selon les unités de paysage choisies et prend en compte les divers voisinages d'O.S.U. Ainsi, il n'y a que peu de perte d'information.

Dans chaque position de la fenêtre, on calcule les divers pourcentages d'Occupations du sol Utiles. On utilise le tableau de décision qui indique directement quelle est la classe d'humidité que l'on doit associer à la configuration examinée par la fenêtre. On affecte la valeur de cette classe au point central de la fenêtre. Ensuite, on fait bouger la fenêtre d'une position et on affecte à nouveau la classe d'humidité correspondante à la nouvelle configuration, au point central. On continue ainsi de suite jusqu'à recouvrir l'ensemble de la zone étudiée correspondant à une unité de paysage. On obtient de la sorte la matrice M₃ qui ne comporte des points affectés de valeurs de classe d'humidité, ou non affectés (on les laisse en blanc).

C. Exemple

Pour la zone étudiée, on a séparé deux unités de paysage : le plateau et la vallée dont on a donné les cartes d'humidité.

1) Sur le Plateau, si on a un point prairie entouré d'autres points prairies, on lui affecte la classe d'humidité 5-6. S'il est très peu entouré de points prairies, on n'en tient pas compte, et l'affectation de la classe d'humidité se fait en fonction des occupations des sols en verger, céréales ou vignes. Si le pourcentage de prairies est intermédiaire, on affecte les classes 3-4 ou 4-5 selon les pourcentages en maïs et céréales.

2) Dans la Vallée. Le tableau 2 a été construit en utilisant les O.S.U. par tiers. On a en abscisse 1/3 des O.S.U. et en ordonné 2/3 des O.S.U. Une subdivision a été faite pour l'O.S.U. céréale-maïs, lorsqu'elle couvre 2/3 de la surface prise en compte par la "fenêtre". S'il y a plus d'un tiers de céréales, les classes d'humidité baissent, s'il y a plus d'un tiers de Maïs, les classes d'humidité augmentent. Il n'existe pas dans l'unité de paysage de possibilité d'affecter une classe d'humidité aux zones ayant 2/3 de Prairies et 1/3 de Vignes et Vergers. En conséquence, cette case est laissée en blanc dans le tableau de décision. Les points-réponses correspondant sont laissés en blanc sur la matrice M₃.

Si, dans une "fenêtre" on a 3/3 de Prairies, on affecte au point central la classe d'humidité : 6-7. S'il y a 2/3 de Prairies et 1/3 de Céréales-Maïs, on affecte la classe 6. Avec un tiers de Prairies, plus d'un tiers de Maïs et moins d'un tiers de céréales, on affecte la classe 6. Avec un tiers de Prairies, plus d'un tiers de Maïs et moins d'un tiers de Céréales, on affecte la classe 6. Avec un tiers de prairies plus d'un tiers de céréales et moins d'un tiers de maïs, on affecte la classe 3-4. Avec un tiers de prairies et un tiers de Vignes-Vergers et un tiers de céréales-maïs, on affecte la classe 2-3. Enfin, avec un tiers de prairie et deux tiers de vignes-verger, on affecte la classe 1-2.

On peut, de la sorte, envisager toutes les combinaisons d'O.S.U. et leur affecter une classe d'humidité des sols.

Il faut rappeler que, lorsqu'on affecte une classe double : 2-3 ou 6-7, etc... c'est au pédologue qu'il revient de choisir la classe définitive (cf.: troisième détermination). Le choix est effectué en fonction de la forme que peut prendre la zone d'humidité sur la carte définitive.

CONCLUSION

Il est possible de déterminer certains éléments de l'environnement à partir des données de satellites, bien que ces éléments ne soient pas directement décelables sur les images. Mais il faut obligatoirement passer par l'établissement d'une relation qui permette d'atteindre l'élément désiré. Pour l'humidité des sols, il est possible de la déterminer à la condition expresse qu'on puisse la lire à travers l'occupation du sol. Si cela n'est pas possible, ce qui est le cas dans certains régions, il est impossible de détecter l'humidité des sols.

L'interprétation des données ne peut être faite que par le spécialiste de la discipline correspondant à l'objet recherché. Par contre, l'informaticien peut tenter de modéliser la démarche du spécialiste et par là, l'aider considérablement dans la généralisation de son interprétation en extension.

La fonction du pédologue dans le cas envisagé est donc d'établir les liaisons qui existent entre l'occupation des sols et les classes d'humidité qui sont les plus appropriées dans la région étudiée. Il lui revient aussi de dessiner le document final.

La fonction de l'informaticien est de modéliser l'approche du pédologue. Pour cela, il utilise tous les points-réponses systématiquement : il ne lui appartient pas d'en supprimer de quelque façon que ce soit. Il ne retient parmi tous ces points que ceux qui comportent de l'information utilisable en ayant soin de laisser en blanc les autres. Ces blancs doivent apparaître sur le document qui sera interprété par le pédologue. Enfin, il est indispensable de tenir compte des points avoisinants pour affecter un point particulier à une classe d'humidité.

La collaboration entre le spécialiste et l'informaticien est donc indispensable : à l'informaticien revient de généraliser le modèle, conçu par le spécialiste et réalisé en commun.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ROGALA J-P. (1979) - Possibilités des traitements numériques des données Landsat pour une cartographie des classes de drainage. Un exemple: La région d'Azay-le-Rideau. Doc. ronéo. I.N.A. P-G. 47 p.
- (2) GIRARD C-M., GIRARD M-C. (1975) - Applications de la Télédétection à l'étude de la Biosphère. Masson, Paris. 186 p.
- (3) GIRARD M-C., GIRARD C-M. (1977) - La télédétection en agronomie et en pédologie. A la recherche d'une méthodologie. Actes du 4ème Symposium Canadien de Télédétection. Mai. Québec. pp. 1-8.
- (4) GIRARD C-M. (1975) - Utilisation de la télédétection en agronomie. Thèse Doc. Ing. Doc. ronéo. Juin. Orsay. 92 p.
- (5) BIAŁOUSZ S., GIRARD M-C. (1978) - Les coefficients de réflectance spectrale des sols dans les bandes de travail du satellite Landsat. Fotointerpretacja w geografii, t. III, 13, Katowice, Pologne.
- (6) GIRARD M-C. (1977) - Les fonctions et les traitements des images satellites. Méthodes d'emploi en pédologie. Actes du 1er Colloque "Pédologie et Télédétection". AISS. Sept. I.N.A. P-G. pp. 325-339.
- (7) GIRARD M-C., ROGALA J-P. (1979) - Cartographie de l'humidité des sols : approche structurale des données spatiales. Journées du G.D.T.A. Toulouse. Juin (à paraître). 8 p.
- (8) X.... (1978) - Analyse multivariable : procédure LOTERIE. Application à l'analyse multispectrale en Télédétection. Initiation et documentation technique n° 39. Télédétection II. ORSTOM, Bondy.
- (9) SAVARY G. (1979) - I.R.M.S. Un programme interactif de traitement d'images sous C.M.S. Centre scientifique I.B.M. France. Oct. Paris. 11 p.