

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DE SOLS SABLEUX. TELEDETECTION THERMIQUE ET VISIBLE

B. NAERT ⁽¹⁾

RESUME

Dans le cadre d'une action pluridisciplinaire, menée à l'échelle de la France, sur des secteurs de référence pour l'étude du drainage, un essai de caractérisation par télédétection du comportement de l'eau dans le sol a été tenté sur le secteur de Morcenx, dans les Landes.

L'étude de terrain ayant révélé l'existence de trois grands modes de fonctionnement : percolation verticale rapide des sols profonds bien drainants, remontée capillaire sensible en surface des sols à nappe et « garluche » et stagnation des nappes superficielles des sols à « alios », un essai de caractérisation des températures de surface de ces trois unités a été réalisé. Le comportement journalier de ces unités est apparu suffisamment indépendant pour déterminer les instants où leur identification est possible et pour tenter une expérience de saisie aéroportée.

Celle-ci démontre que, si le visible permet une distinction sans ambiguïté d'éléments statistiques du profil comme l'affleurement de l'alios ou la teneur en matière organique des horizons de surface, le thermique permet d'aborder les éléments dynamiques tels que le régime hydrique. Dans l'étude des résultats obtenus, une mention particulière est donnée au rôle du pouvoir de résolution sur la nature de l'information recueillie.

A noter que si le secteur étudié a des caractères de modèle théorique exemplaire par l'homogénéité et la profondeur du sable qui le compose et la monoculture du maïs qui l'affecte, il présente cependant un intérêt pratique non négligeable compte tenu de la représentativité spatiale du secteur de référence et de l'importance économique des aménagements sous-tendus.

INTRODUCTION

Avoir la capacité de caractériser le régime hydrique d'un sol est fondamental dans les domaines appliqués à la Pédologie : irrigation, drainage en agriculture, portance en travaux publics etc., mais également pour la connaissance générale du fonctionnement du sol et de sa pédogenèse.

Aussi, dans le cadre d'une collaboration initialement établie entre l'ONIC*, l'INRA* et le CEMAGREF*, pour mettre en place sur l'ensemble du territoire français un réseau de secteurs de références sur le drainage (FAVROT, 1984), a-t-il été possible d'engager une opération de recherche destinée à voir si la télédétection pouvait contribuer à faciliter la cartographie des sols et à en caractériser le régime hydrique.. Cette action a entraîné la collaboration des personnes et organismes suivants : R. BOUZIGUES (INRA)*, J.-C. CHOSSAT (CEMAGREF)*, M. MONTET et P. MARION (SETMO)*, J. WILBERT (INRA)* pour l'agronomie et la pédologie, G. ROMAIZEILLE

(1) INRA, place Viala, 34060 Montpellier Cédex.

(DDA)* pour la topographie, J. RIOM (INRA)* et R. BURKHALTER (LNE)* respectivement pour les prises de vues photographiques et thermographiques.

La communication qui suit relate les résultats obtenus dans le domaine thermique (8 à 14 μm) au cours d'une expérience menée en juin 1983 sur le site expérimental de Solférino, près de Morcenx, situé dans la partie « humide » des Landes, près du littoral atlantique, à 100 km environ au sud de Bordeaux.

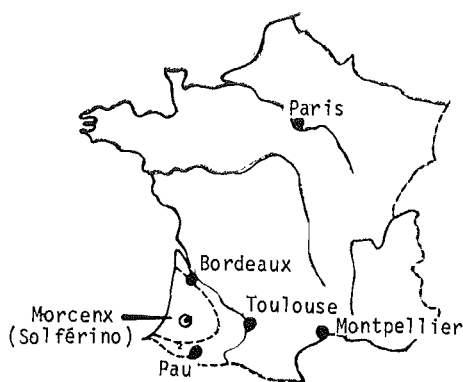


Figure 1 :

Plan de situation

Geographical position

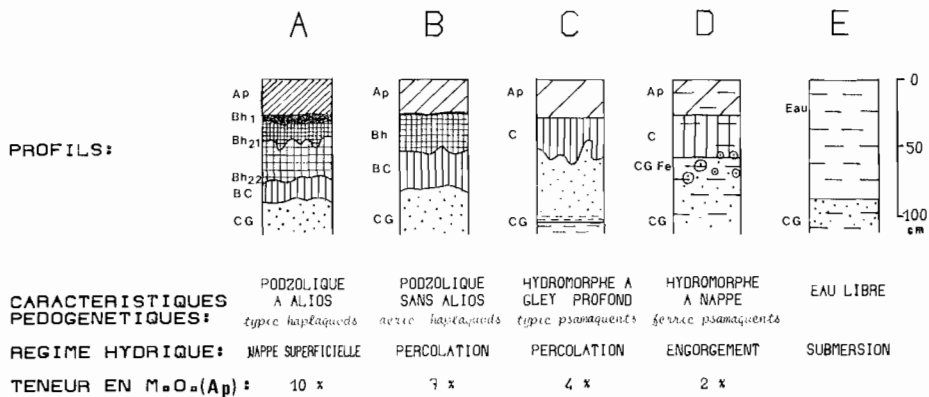
I. LE SITE EXPERIMENTAL

Le choix du site a été fait selon des critères destinés à réduire le nombre des variables qui interviennent dans l'émission thermique (texture, végétation, topographie...) afin de permettre une modélisation aussi peu perturbée que possible du signal lié au facteur « eau » dans le sol. Pour y parvenir, l'homogénéité texturale du substrat a été recherchée (sables éoliens calibrés, profonds, présentant de 80 à 90 % de sables grossiers). La monoculture de maïs, exploitée en clairières étendues dans une forêt monospécifique de pins maritimes, a été déterminante, ainsi que la topographie des lieux constituée d'une vaste surface horizontale (pente générale < 2 pour mille) située dans des interfluves très larges. Ce site de référence, représentatif de superficies importantes (5 à 600 000 ha), a été étudié entre le 15 mai et le 10 juin, de façon à bénéficier d'un état de surface aussi comparable que possible d'une parcelle à l'autre (après la préparation du semis et avant que le maïs ne soit perceptible). L'étude pédologique (RIGHI, 1977 ; WILBERT, 1977 ; CHOSSAT, 1982 ; MONTET, 1984) a révélé la présence de quatre unités de sol, réparties dans une toposéquence bien établie (fig. 2) malgré la faible amplitude des dénivelées qui n'excèdent guère un mètre.

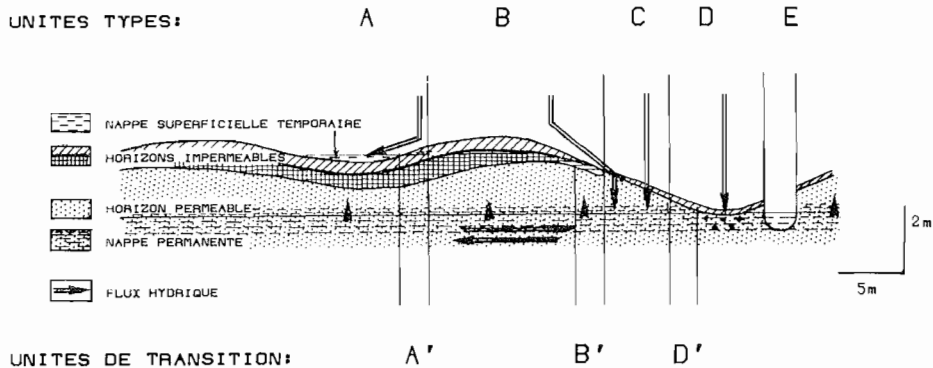
En surface, ces sols se différencient sans ambiguïté en deux classes, d'après la teneur en matière organique qui se traduit par une différence de couleur nette. Ces catégories étant elles-mêmes subdivisées en sols que nous qualifierons de « drainants » puisque la nappe y est à plus d'un mètre de profondeur, par opposition aux sols « engorgés » dont l'hydromorphie, perceptible en surface, est liée soit à la capillarité provenant de la nappe de profondeur pour les sols peu organiques, soit à la présence d'une nappe superficielle retenue par un horizon organique imperméable.

* INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
 LNE : Laboratoire National d'Essai
 CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole des Eaux et des Forêts
 DDA : Direction Départementale de l'Agriculture des Landes
 ONIC : Office National Interprofessionnel des Céréales
 SETMO : Société d'Etude Technique et de Maîtrise d'Œuvre

UNITES PEDOLOGIQUES DE REFERENCE:



TOPOSEQUENCE:



IDENTIFIANTS:

UNITES:	A	A'	B	B'	C	D'	D	E
ETAT DE SURFACE:	HERSAGE							SEMIS
COULEUR DU (Ap):	2,5 Y 2/0				10 YR 2/1	10 YR 3/2		
NAPPE:	SUPERFICIELLE		PROFONDE			SUB-SUPERFLUANTE	LIBRE	
ENGORGEMENT:	DE SURFACE		PROFOND			DU PROFIL		

UNITES TELEDETECTABLES:

PROVINCES:	F	SH							SS
UNITES STATIQUES:	A + B			B'	C + D		E		
UNITES DYNAMIQUES:	A	A'	B + B'		C	D'	D	E	

Figure 2. — Unités de sols, unités détectables
 Soil units, detectable units

II. METHODE ET TECHNIQUES UTILISEES

L'étude comprend trois parties complémentaires : une évaluation préalable destinée à définir sur le terrain les conditions de perceptibilité des identifiants recherchés, une saisie aéroportée exploratoire des données dont le but est de vérifier le bon fonctionnement du modèle théorique et une analyse critique finale des résultats par rapport à l'objectif recherché : la mise au point d'une méthodologie exploitable.

Les moyens mis en œuvre pour cette expérience sont :

- un radio-thermomètre de terrain KT 24*, permettant une lecture directe et rapide sur le terrain de la température de surface. Ce matériel est utilisé dans l'expérience de façon à déterminer des variations relatives du signal thermique. Les valeurs retenues dans les mesures sont donc les chiffres bruts donnés par l'appareil. Elles ne tiennent pas compte notamment des corrections qui sont nécessaires pour obtenir des valeurs absolues (SEGUIN, 1985) ;

- un radiomètre aéroporté monocanal (8-14 μm)** à enregistrement analogique ;

- un laboratoire de traitement des données*** susceptible de seuiller par équidensité les visualisations obtenues par des procédés photographiques ou vidéo, de les numériser et d'effectuer le traitement des données ainsi digitalisées.

III. ETUDE PREALABLE DE TERRAIN

A) Etablissement du modèle thermique journalier

Cette première phase de mesures a consisté à relever les températures de surface pendant une période de 24 heures consécutives sur les quatre unités pédologiques de référence précédemment définies [A, B, C, D de la figure 2] et sur l'eau libre (E) d'un canal en communication directe avec la nappe profonde.

Les mesures qui ont été effectuées toutes les quatre heures, pendant l'inversion de la dynamique thermique, représentent la moyenne d'au moins 10 valeurs obtenues par sondage statistique dans chacune des cinq unités de référence. Les résultats ainsi obtenus sont représentés dans la figure 3. Ils permettent de vérifier (PRICE,

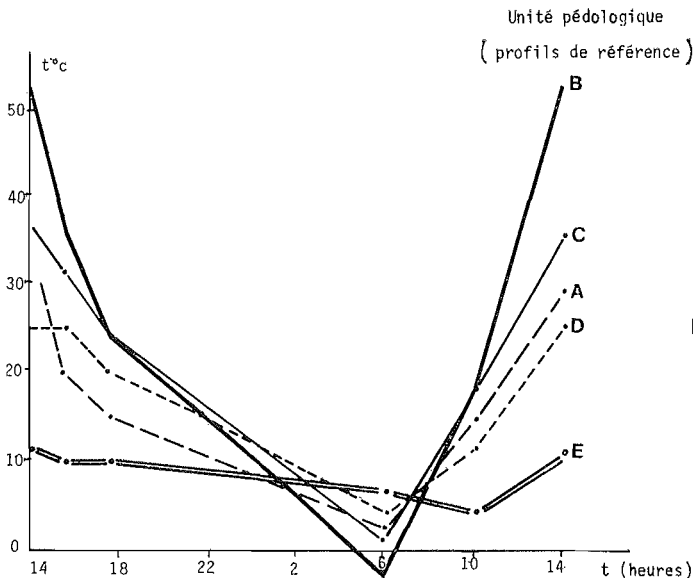


Figure 3 :

Modèle thermique
journalier des unités-
types
(15 et 16 mai 1985)

*Daily thermal model
of type units*

* Matériel prêté par le CERGA dans le cadre des activités du GRM (Groupe de Recherches en Télédétection de Montpellier)

** Matériel fourni par le LNE (Laboratoire National d'Essai)

*** Laboratoire de Recherche en Télédétection de l'INRA à Montpellier

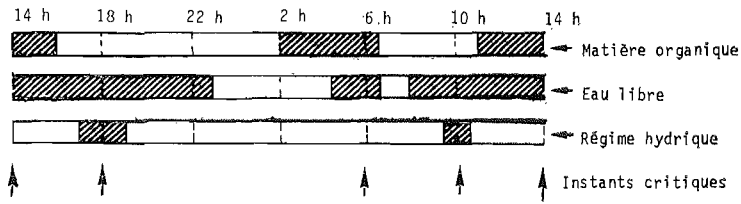


Figure 4 :
Détermination
des périodes de
perceptibilité (en
gris).
 Determination of
 detection periods

1977-1980 ; WATSON, 1978) que chaque unité a un comportement thermique dont le rythme journalier est comparable dans la forme générale de la courbe, mais déphasé et différent dans son amplitude. Ils permettent également d'établir comme hypothèse de travail les règles suivantes :

- quand la nappe est profonde, plus le sol est organique, plus l'amplitude thermique est grande (55° pour B, 35° pour C) ;
- pour une teneur en matière organique déterminée : plus le degré d'humidité est élevé, plus l'amplitude est faible (25° de différence entre A et B, et 12° entre D et C et valeurs intermédiaires pour les profils de transition A' et D') ;
- mais surtout que la vitesse de réchauffement et de refroidissement est différente entre l'eau et le sol, ce qui se traduit par un déphasage, inertie thermique, d'autant plus important que le volume d'eau concerné par la nappe est grand. A noter par exemple que le minimum est observé sur E à 10 h et à 6 h sur B.

A noter également que ces hypothèses de travail ont été établies en s'appuyant sur les résultats obtenus dans les mêmes conditions de mesures sur 17 sites complémentaires répartis sur les 300 ha du secteur de référence. Il a ainsi pu être constaté que le minimum pour A et D se situait aux environs de 7 h 30.

B) Détermination des instants critiques théoriques

L'examen des courbes précédentes et des premières constatations qui les suivent permettent de conclure qu'il y a accord avec les principes d'utilisation du signal thermique (BECKER, 1978 ; BERTHOLINI, 1981 ; SEGUIN, 1981) et qu'il est possible, au moins sur le plan théorique, de percevoir sur les 5 unités de référence les informations suivantes :

1. La teneur en matière organique

Les deux classes observables (< 7 % et > 4 %), respectivement associées à des couleurs plus ou moins claires — noire et beige — de l'horizon supérieur, sont identifiables dans les sols les plus drainants, soit par l'amplitude thermique (25° et 12°), soit par le maximum de température de surface atteint aux périodes d'inversion de dynamique thermique diurne (50° pour B, 35 à 40° pour C). Ce phénomène est inversé au minimum nocturne.

2. La présence d'eau libre

L'eau est identifiable en dehors des périodes d'inversion thermique à cause de la faible amplitude de ses variations de température. Elle apparaît comme étant le corps le plus chaud la nuit et le plus froid le jour.

3. Le type de régime hydrique

Il peut être perçu en de courts instants privilégiés, en début de matinée et en fin d'après-midi, lorsque les conditions d'inversion de température font que, quelles que soient leurs couleurs, les sols ressuyés ont la même température. Dans ces conditions, les sols engorgés qui bénéficient d'une plus grande inertie thermique se

distinguent entre eux par la température de surface, qui dépend elle-même de l'importance du volume d'eau concerné et de la couleur du sol encaissant.

Ces quelques observations permettent (fig. 4) de déterminer un certain nombre de périodes pendant la journée, au cours desquelles la couleur (matière organique), l'eau libre ou le régime hydrique devraient être perceptibles, puis de fixer les instants critiques (peu avant 6 h, à 10 h, à 14 h et à 18 h) où ces éléments devraient apparaître seuls [régime hydrique à 10 h et 18 h] ou ensemble [couleur et eau libre à 6 h et 14 h].

IV. SAISIE AEROPORTEE

Les moyens disponibles pour l'expérience n'ont permis d'envisager que trois survols, dans la même journée, du secteur expérimental. Il n'a donc pas été possible de réaliser une étude fine des périodes et instants de saisie les plus propices à la détermination précise des taux de matière organique et des régimes hydriques, mais une simple étude probatoire. Pour cela, les trois instants critiques choisis ont été 6 h, 10 h et 14 h, et les survols effectués successivement à 3 000 et 1 000 pieds d'altitude afin de pouvoir comparer un pouvoir de résolution de 30 cm (échelle des microhétérogénéités de surface) à celui de 1 m qui semblait suffisant pour caractériser les objets identifiables : fossés, routes, ados... L'expérience a eu lieu le 3 juin 1983 de 6 h 35 à 7 h 10, de 9 h 50 à 10 h 15 et de 13 h 55 à 14 h 10 ; les deux premiers survols ont été effectués dans de bonnes conditions climatiques, mais le vol de 14 h a été perturbé par de petits passages nuageux. Les visualisations des enregistrements effectués à haute altitude sont reproduits dans la figure 5.. L'analyse critique de la mission a fait apparaître deux limites à l'instrumentation mise en œuvre : l'enregistrement analogique des données et des déformations géométriques importantes.

Parallèlement à la mission aéroportée thermique, un vol expérimental en photographie couleur et infrarouge couleur était effectuée à basse altitude sur le secteur de référence. Une image de cette mission (fig. 6) sert, pour la suite de l'étude, de support cartographique et d'élément de comparaison par rapport aux longueurs d'ondes et aux méthodes classiques de saisie et d'exploitation de la photographie aérienne.

V. LES RESULTATS

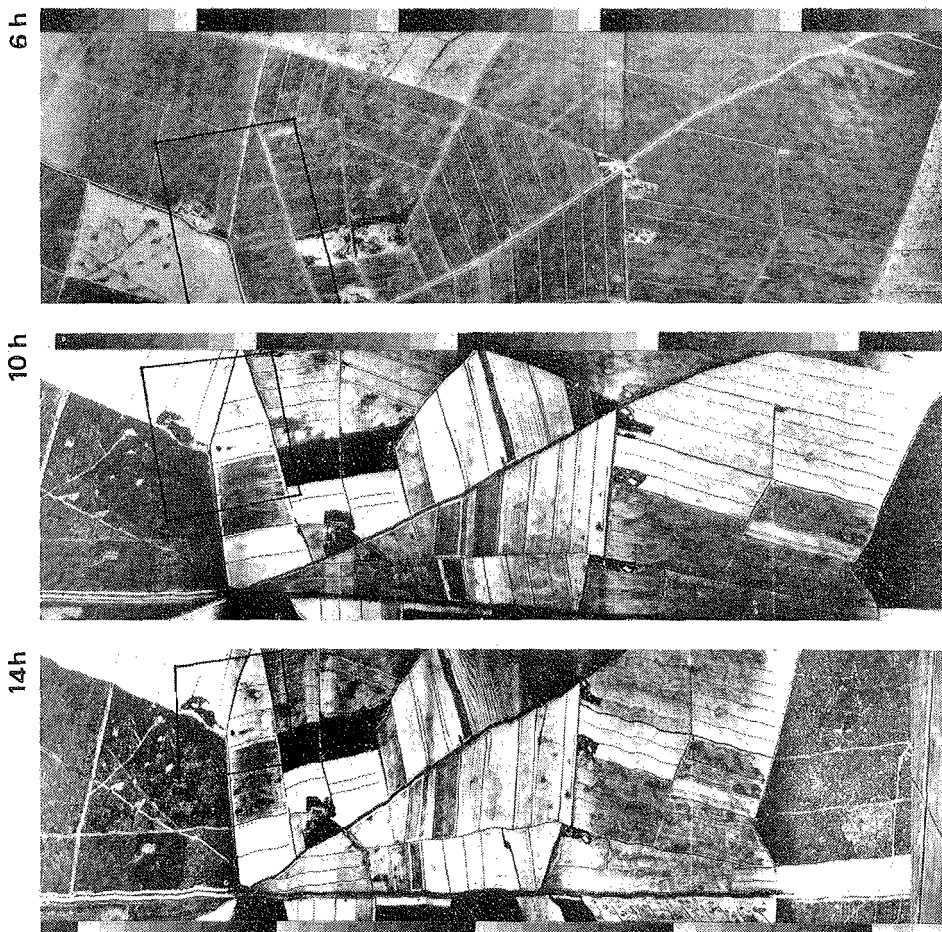
A) Vérification des hypothèses de l'étude préalable

Sur des agrandissements réalisés à partir des enregistrements thermiques aéroportés qui sont présentés sur la figure 5, il apparaît que l'eau libre est discernable quelle que soit l'heure de prise de vue. Il en est de même des secteurs d'exclusion de l'étude : forêts et bosquets autour des habitations.

L'hypothèse émise sur la possibilité de percevoir sur le vol de 10 h le régime hydrique des sols a pu être vérifiée par l'étude d'une coupe topographique précise (coupe A, fig. 6 et 7) qui intéresse à la fois les trois régimes hydriques de référence et l'eau libre d'un étroit fossé. Rappelons en effet que l'étude pédologique a établi une étroite corrélation entre la topographique et le régime hydrique : d'une part, la nappe superficielle temporaire se situe sur les sommets ; d'autre part, la profondeur de la nappe permanente de ces sols très sableux est directement liée à l'altitude relative de la surface. La coupe densitométrique, qui correspond à la coupe topographique de terrain de la figure b révèle par des pics bien distincts les unités A, D et E. La différence de hauteur des pics A et D permet de distinguer l'eau de la nappe perchée de l'humidité de surface occasionnée par la nappe profonde. Comme prévu, les plages correspondant aux profils ressuyés sont à la même température

quelle que soit leur teneur en matière organique. Par contre, les profils de type D se distinguent mal de l'eau libre E à l'échelle et au pouvoir de résolution envisagés, le pic observé dans la coupe densitométrique est trop faible par rapport aux valeurs prévisibles. Ce phénomène s'atténue nettement (fig. 8) sur la prise de vue à basse altitude.

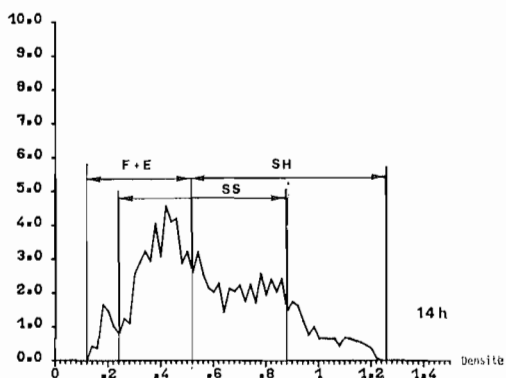
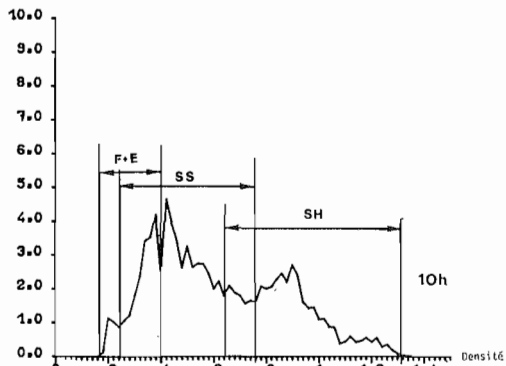
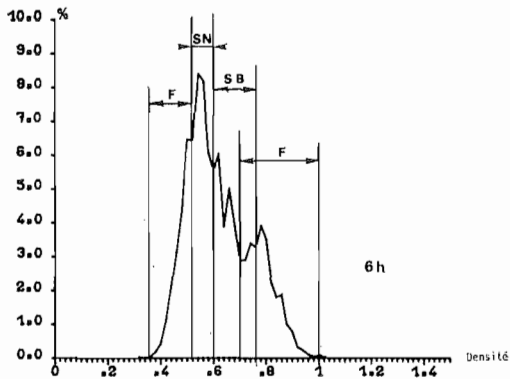
La couleur du sol, enfin, et indirectement la teneur en matière organique, sont partiellement perceptibles à 6 h (SN et SE de la fig. 5). Elles ne sont pas visibles à 10 h et 14 h. Ces phénomènes, normaux à 10 h, ont pu être expliqués en fin de nuit par l'heure relativement tardive de la mission (6 h 35 au lieu de 6 h) (fig. 3) et à 14 h par le passage nuageux au moment du survol qui s'est traduit par une baisse de température de surface des sols noirs, constatée sur le terrain (près de 25°C), ce qui les ramène en quelques instants à des valeurs proches des sols pauvres en matière organique.



Mission thermographique R. BURKHALTER (LNE)

Figure 5. — Les données thermiques - Visualisation

Thermal data - Visualisation



F = forêt, arbres
= forest, trees

SN = sol organique
= organic soil

SB = sol peu organique
= soil with few organic matter

SS = semis
= speed bed

SH = sol hersé
= harrowed soil

E = eau libre
= water

Figure 5. — Les données thermiques - Interprétation

Thermal data - Interpretation

Association Française pour l'Étude du Sol - www.afes.fr - 2010



Figure 6 — Les données photographiques - Visualisation

Extrait de la photographie IRC (filtrage vert)

(Mission photographique J. RIOM - INRA)

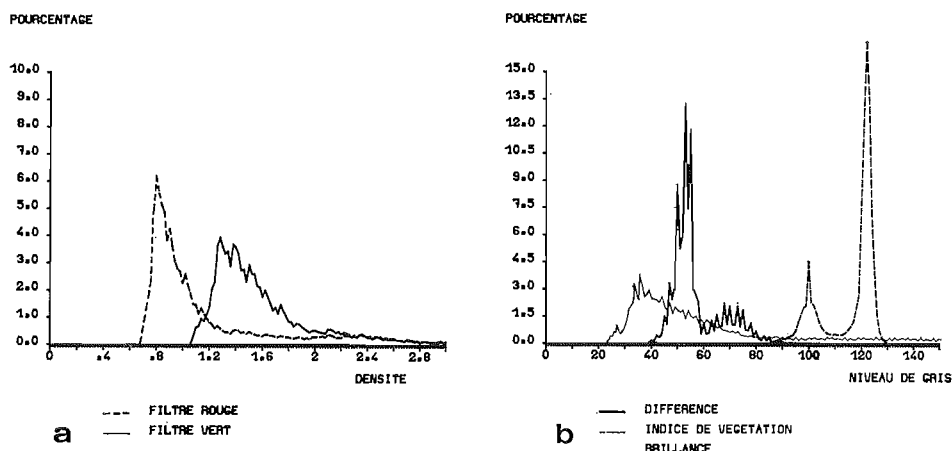


Figure 6. — Les données photographiques

a) brutes b) traitées

Photographic data

a) raw b) processed

B) Informations supplémentaires apportées par la mission

- **l'état de surface** (travail superficiel du sol) s'est traduit à 10 h et 14 h par des différences de température plus importantes que ne le laissait supposer l'étude de terrain (fig. 5 et fig. 10) ;
- **la comparaison des altitudes** de prise de vues (fig. 8) donne à la même heure des informations différentes selon la façon culturale ; elle donne également un signal différent pour l'eau libre ;
- **l'étude comparée des images** de 10 h et 14 h, rendues comparables par le passage nuageux de 14 h, permet d'exploiter (fig. 7) la dynamique thermique des sols à nappe permanente et révèle par l'apparition d'un deuxième pic (D') des informations sur la profondeur de la nappe.

VI. ANALYSE DES RESULTATS

L'analyse critique a consisté à évaluer les résultats obtenus en fonction des variables de la télédétection : longueur d'onde, temps et pouvoir de résolution par rapport aux éléments du paysage identifiables : forêt, culture, état de surface, couleur du sol, régime hydrique... et a tenté d'engager une méthodologie rationnelle d'exploitation.

1. La longueur d'onde

Elle est déterminante pour identifier l'objet étudié. Son étude a entraîné la comparaison des données photographiques (visible et IR proche) et des données thermiques. Comparaison qui révèle la supériorité incontestable de la photographie sur le plan de la géométrie et du pouvoir de résolution.

Dans cette étude, les photographies ont été simplement numérisées après sélection chromatique (B. NAERT, 1977) et les données classées d'après les histogrammes de répartition obtenus soit directement sur les valeurs brutes des densités optiques (fig. 6 a), soit après des traitements rudimentaires (fig. 6 b) tels que différence entre valeurs des deux filtrages vert et rouge, indice de végétation

$$\left(\frac{\text{densité rouge} - \text{densité vert}}{\text{densité rouge} + \text{densité vert}} + 100 \right)$$

et brillance $\sqrt{(\text{densité rouge})^2 + (\text{densité vert})^2}$ destinés à identifier les unités naturelles. Les thermographies ont été numérisées dans des conditions semblables, mais seules les valeurs brutes ont pu être exploitées (fig. 5 b), compte tenu de déformations géométriques des images thermiques. Cette étude montre que visible et proche infrarouge permettent de discerner sans ambiguïté quatre classes dans la couverture végétale : deux dans la forêt, les haies et les sols nus, de distinguer l'eau quand elle affleure et la couleur du sol avec des nuances possibles telles que l'affleurement d'aliôs (B'). Le thermique, par contre, s'avère irremplaçable pour caractériser l'eau de capillarité et l'état de surface.

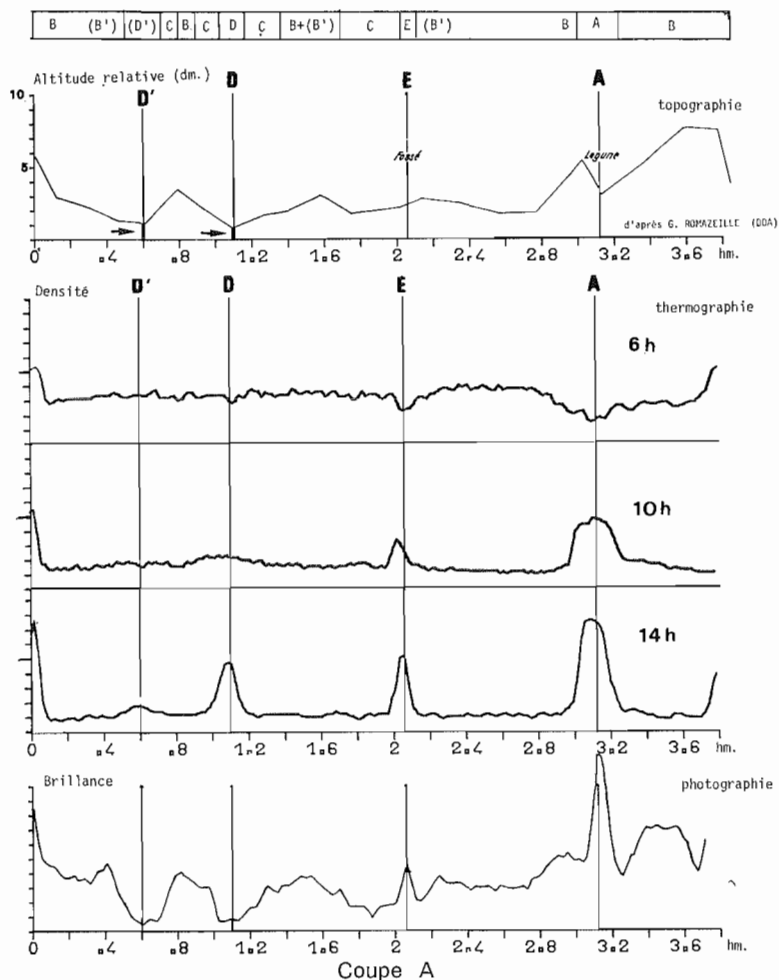


Figure 7. — Analyse détaillée d'une séquence

Detailed analysis of a sequence

2. L'instant de prise de vue

Il était considéré comme déterminant dans l'expérience pour la saisie des phénomènes évolutifs. Son étude montre que la période pendant laquelle un phénomène est observable peut être extrêmement fugace : une demi-heure de retard sur la prise de vue rend les données peu exploitables, un passage nuageux pourtant rapide suffit à réduire de près de 25° la température de surface des sols les plus organiques, la ramenant ainsi au niveau de celle des sols clairs. La confrontation des images de 10 h et 14 h, que cet incident a rendues comparables pour l'humidité des sols (fig. 7), démontre la possibilité, non seulement d'identifier les sols hydromorphes liés à la nappe profonde, mais d'envisager, dans certaines conditions, une évaluation de la profondeur de la nappe par une exploitation des variations fines du rythme thermique des sols.

3. Le pouvoir de résolution

Il s'est révélé fondamental pour l'exploitation des données. L'étude comparée des images obtenues à 1000 et 3000 pieds a permis de constater que l'information varie avec l'altitude de façon sensible (fig. 8 a et 8 c) et explique un certain nombre d'incohérences. La réponse des fossés (8 c), par exemple, est en contradiction avec

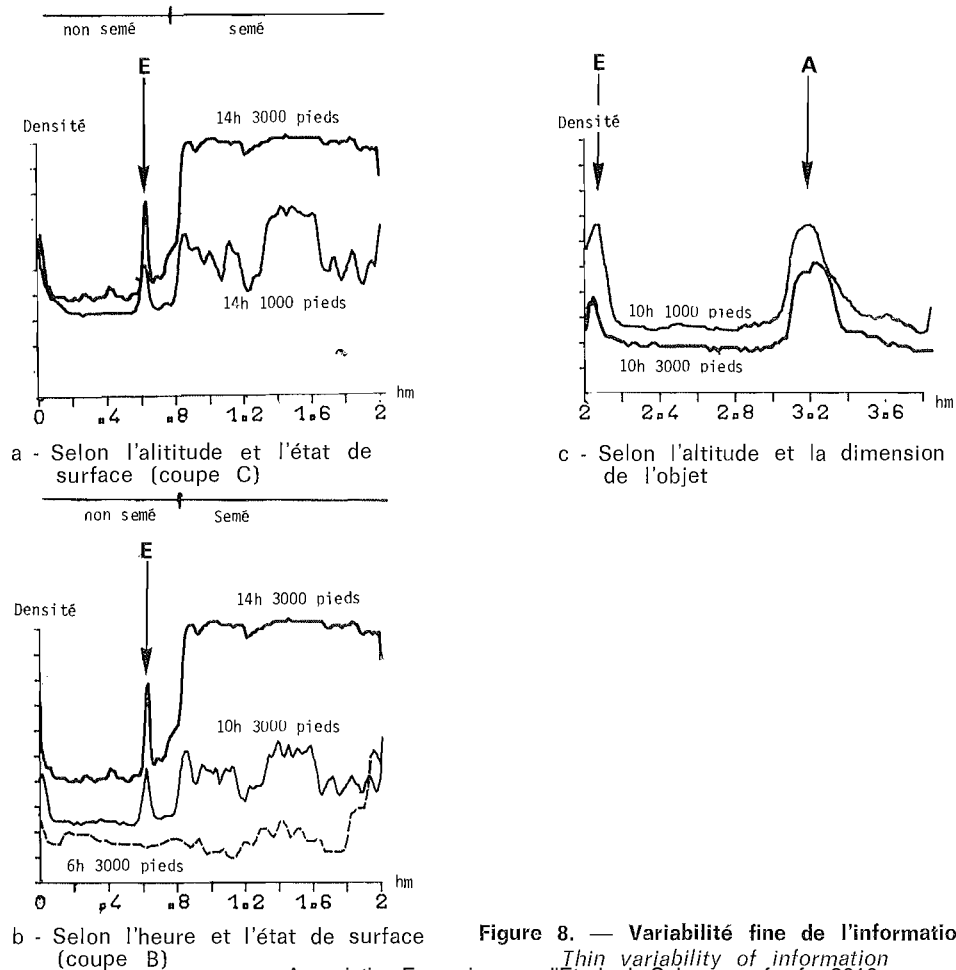


Figure 8. — Variabilité fine de l'information
Thin variability of information

l'hypothèse de travail dans la saisie à haute altitude et en accord avec elle dans la saisie à 1 000 pieds, parce que, dans ce fossé étroit, l'eau ne peut être distinguée de son environnement immédiat qu'avec un pouvoir de résolution suffisant.

L'exploitation du même document, à différents pouvoirs de résolution, fait ressortir que cette approche est prépondérante pour déterminer la reconnaissance d'un phénomène en fonction de sa dimension et de la structure de son organisation dans l'environnement (fig. 9 et 10).

La réflexion simultanée sur les objectifs pratiques poursuivis, sur la mise au point d'une méthodologie opérationnelle et sur les résultats partiels acquis conduit à distinguer dans l'information recherchée deux types de données : les données statiques (couleur du sol, présence ou absence de végétation, densité des boisements...) et celles qui ont une évolution rapide : état de surface, humidité superficielle, développement des cultures, etc.

Elle conduit également à constater qu'il existe une hiérarchie dans les données télédétectables : la forêt, l'eau libre, l'état de surface et les cultures se distinguent quels que soient l'instant et la longueur d'onde de saisie, alors que la couleur du sol et son humidité n'apparaissent que dans certaines conditions.

Aussi a-t-il paru utile, pour exploiter de façon opérationnelle les documents, d'introduire le concept de « provinces d'interprétation » à l'intérieur desquelles une interprétation déterminée est possible, mais totalement indépendante de la province voisine, tant par la nature de l'objet perçu que par la technique de saisie et d'exploitation.

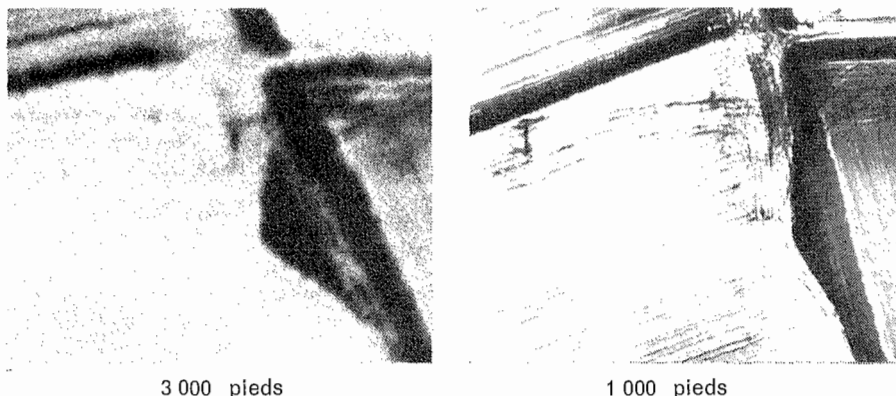


Figure 9. — Pouvoir de résolution et saisie des données
Resolution Power and data acquisition



Figure 10. — Classement de l'état de surface après dégradation du pouvoir de résolution
Classification of surface state after degradation of resolution power
 Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

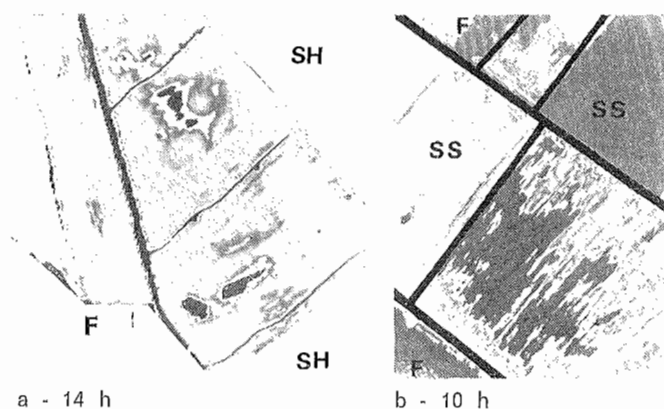


Figure 11. — Interprétation sélective des régimes hydriques
Selective interpretation of water regimes
a) Typologie et profondeur des nappes (semis)
a) Typology and water table depth
b) Effet de bordure (hersage)
b) Border effect

VII. METHODOLOGIE D'EXPLOITATION PROPOSEE

Avec les moyens expérimentaux mis en œuvre, il est possible de proposer la démarche suivante pour caractériser le régime de l'eau dans les sols étudiés et obtenir un document pré-interprété pour le pédologue prospecteur. Deux phases sont indispensables :

1. Détermination des « provinces d'interprétation »

Cette première opération consiste à découper le milieu en zones, à l'intérieur desquelles les mêmes techniques de télédétection et les mêmes méthodes d'interprétation peuvent être appliquées pour caractériser par un identifiant déterminé un processus ou une propriété particulière. Ici, les provinces ont été définies :

- en fonction du couvert végétal : forêt, culture, par des procédés photographiques, vidéo, numériques, ou la simple photo-interprétation des photographies aériennes (fig. 12) ;
- en fonction de l'état de surface, à l'aide de la thermographie à pouvoir de résolution dégradée (fig. 10) ;
- en fonction de la teneur en matière organique, soit par photointerprétation dans les sols cultivés, soit par traitement numérique des photographies aériennes modulé selon l'état de la surface (fig. 11 et 12).

2. Caractérisation du régime hydrique

- l'eau libre est directement localisable sur thermographie ;
- la nappe perchée, la nappe profonde et sa profondeur sont visibles par exploitation des thermographies de 10 h et 14 h dans une des unités d'état de surface (fig. 11 a) ;
- l'effet du drainage superficiel par les fossés semble perçu dans l'autre unité d'état de surface (fig. 11 b) sur les mêmes documents.

Ces résultats sont exploités par des procédés numériques ou vidéo sur des documents géométriquement déformés. Ils sont donc reportés manuellement sur les photographies qui servent de fond cartographique.



PROVINCES D'INTERPRÉTATION:		mode d'interprétation:
SS SH	états de surface des sols cultivés	visuelle aidée par thermographie
F	forêts et haies	numérique sur photographie
SOLS/		
gris	(B) organiques	numérique sur photographie
blanc	(C) non organique	numérique sur photographie
RÉGIMES HYDRIQUES DE LA PROVINCE SS		
A A' D D'	voir profils fig 2	vidéo sur thermographies

Fig. 12. — Esquisse cartographique préalable à la prospection de terrain
Cartographical sketch before terrain data collection

De l'analyse critique des moyens mis en œuvre dans l'expérience, il apparaît que les résultats pourraient être très sensiblement améliorés dans le cadre d'une expérimentation préopérationnelle, puis d'une exploitation en vraie grandeur :

- par l'amélioration des conditions d'étalonnage : saisie simultanée et continue d'un certain nombre de points de référence, étude préalable plus approfondie des effets de l'état de surface...;
- par une étroite maîtrise de l'instant de saisie des données ;
- par l'utilisation de moyens aéroportés plus performants : scanners bi- ou tri-spectraux (visible, IR proche et thermique), et enregistrements numériques ;

- enfin, par des corrections géométriques de l'image permettant, avec la superposition des fichiers, l'étude fine de la dynamique du signal thermique dans les périodes de perceptibilité.

CONCLUSION

Dans l'absolu, et sur un site homogène par son état de surface, l'information sur la nature du régime hydrique des sols est perceptible par thermographie aéroportée avec une précision élevée. L'eau libre et le type de nappe à laquelle elle se rattache peuvent être discernés (à haut pouvoir de résolution) ; l'engorgement et sa profondeur, ou les effets du drainage superficiel, peuvent être perçus avec un pouvoir de résolution de l'ordre du mètre. Cette caractérisation du régime hydrique est possible, soit à des instants précis et fugaces où la neutralisation des effets de la couleur du sol se réalise par inversion de température, soit par l'exploitation de la dynamique fine du signal et la comparaison de plusieurs saisies successives en phase de réchauffement ou de refroidissement et lorsque l'écart de température lié à la couleur du sol est faible.

L'extension géographique des résultats obtenus pose les problèmes en termes relatifs : le « signal » de l'information souhaité est faible par rapport au « bruit » élevé, associé à l'environnement, ce qui conduit à découper le paysage en « provinces d'interprétation » à étudier indépendamment.

Dans ces conditions, une méthodologie cartographique sur la base des moyens expérimentaux mis en œuvre a pu être proposée, mais son exploitation opérationnelle passe par une meilleure maîtrise des informations de référence au sol, des instants de prise de vue, de la saisie de données multispectrales (utilisant 3 canaux) : visible, IR proche et thermique, et des moyens techniques aéroportés permettant l'enregistrement numérique et la correction géométrique fine (superposition pixel à pixel) des données.

Reçu pour publication : mars 1985

Accepté pour publication : juin 1985

WATER BEHAVIOUR IN SANDY SOILS VISIBLE AND THERMAL REMOTE SENSING

Remote sensing possibilities were assessed on a reference area for the drainage of sandy soils in dune formations of French South-Western coastlands. This study consists of three complementary parts :

— *a previous evaluation of the conditions allowing the perception of identification elements, which is summarized in Figure 2 ;*

— *an analysis of experimental flights aiming at checking the effectiveness of the theoretical model described Figures 3 and 4. The results of aerial shots and the main processing types used ;*

— *a critical analysis of the results concerning the study of reference transects (Fig. 7), which shows that the type of water economy and the depth of ground water may be cartographed using thermography, provided that the method is applied under definite conditions such as on bare soil, before sowing and so on...*

The present study also highlights the basic role of the resolving capacity (Fig. 8c and 9d, 1°), of the data collection time, of the roughness of the soil (Fig. 8a, 8b, 11) and of a number of limits related to experimental conditions.

This analysis allows to put forward a cartography method combining aerial photography as a topographical basis and as a means to define stable landscape elements (plant cover, soil colour...), and repeated thermography in order to identify and classify the various types of water economy and the ground water depth (Fig. 12).

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER F., 1978. — Physique fondamentale de la Télédétection, in principes physiques et mathématiques de la Télédétection. Ecole d'été de physique spatiale, pp. 1-108, 18 août-15 septembre, Strasbourg. CNES Edit.
- BERTOLINI J.-M., RENARD D., BOISSARD P., VALERY P., 1981. — Thermographie de couverts végétaux à courte distance, procédure de calibration, méthodologie de traitement numérique des nuages et significateur de la température radiométrique. Colloques de l'INRA Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Avignon, 8-11 septembre.
- BURKHALTER R., 1979. — Thermographie aéroportée. Contribution au développement d'une méthodologie d'étude de la dynamique et de la qualité des eaux de la frange littorale méditerranéenne. Thèse Montpellier, juillet 1979.
- CHOSSAT-COLLAS, 1982. — Etude de la réserve en eau des sols sableux des Landes en vue de l'irrigation. Note interne CEMAGREF. Déc., Bordeaux.
- FAVROT J.-C., 1984. — Acquisition des données nécessaires au drainage des sols « difficiles » par la méthode des secteurs de références. XII^e Congrès de la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage. Fort Collins.
- GAUSSORGUES G., 1980. — La thermographie infrarouge. Ed. Technique et Documentation, Paris.
- JACKSON R.-D., 1981. — Interactions between Canopy Geometry and thermal infrared measurements, pp. 291-302, in Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. 8-11 septembre. INRA Edit.
- MONTET M., MARION P., 1984. — Etude pédologique des secteurs de références de Solférino et de Magesq. Rapport SETMO, Pau.
- NAERT B., 1977. — Cartographie des sols et interprétation photographique des données. Photo-interprétation 77-3. Technip Edit., Paris.
- PRICE J.-C., 1977. — Thermal inertia mapping : a new view of the earth, journal of geographic research (Vol. 82, Nr 19, pp. 2582-2591).
- PRICE J.-C., 1980. — The potential of remotely sensing thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation. Water resource research (Vol. 16, Nr 4, pp. 787-796).
- REGINATO R.J., IDSO S.B., WEDDER J.F., JACKSON, BLANCHARD M.B., GOETTELMAN R.C., 1976. — Soil water content and evaporation determined by thermal parameters obtained from ground - based and remote measurements. J. Geophys.
- RIGHI D., 1977. — Genèse et évolution des podzols et des sols hydromorphes des Landes. Thèse Poitiers.
- SEGUIN B., BAEZ J., MONGET J.-M., FAVARD J.-C., MANDEVILLE, 1981. — Application de la thermographie I.R. par satellite aux études agroclimatiques dans le sud-est de la France, in Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Avignon, le 8 août-11 septembre 1981. INRA Edit.
- WATSON K., 1978. — Thermal phenomena and energy exchange in environment, in Principes Physiques et Mathématiques de la Télédétection. Ecole d'été de physique spatiale, pp. 1-108. Strasbourg, du 18 août au 15 septembre. CNES Edit.
- WILBERT J., 1977. — Carte pédologique à 1/100 000. Feuilles de Lesparre et Langon. SESCOF, INRA Bordeaux.

