

Apports de la télédétection aéroportée pour l'étude du bocage breton, particulièrement sur le plan du bilan thermique et de l'inventaire des haies

Ch. GOILLOT (1)

INTRODUCTION :

Prenant la suite d'un important travail multidisciplinaire effectué au sol sur les conséquences des opérations de remembrement en Bretagne, un relevé par télédétection aéroportée a été effectué chaque année, dans cette région, depuis 1973 (si l'on excepte une campagne radar réalisée, en 1972, par l'armée de l'air) dans une optique de «régionalisation» de l'étude.

Le tableau et la figure 1 donnent respectivement les caractéristiques principales des missions effectuées, les capteurs utilisés et la place, en Bretagne, des zones surveillées.

TABEAU 1
Campagnes de télédétection effectuées sur les régions bocagères de l'Ouest.

ANNEE	1973	1974	1975	1976
DATE	8 mai	4-5 juin	6-7 juin	2-3 juin
MISSION	G.D.T.A.	sur Pilatus avec moyens techniques du L.M.D. ⁽¹⁾	G.D.T.A.	INRA sur DC3 avec moyens techniques du L.M.D.
ALTITUDE DES VOLS	1600	1000 m et 4000 m	1000 m et 6000 m	1200 m et 3000 m
ha RELEVÉS	36 300	11 000	56 000	82 600
CAPTEURS :				
- Cyclope 3-5 m	*			
- LMD 10,5-12,5 m	*	*		
- Daedalus :				
- 10 canaux visibles			*	
- 1 canal 8-14 m			*	
- ARIES :				
- 1 canal visible				*
- 1 canal thermique				*
ETUDE "TYPE DE TERRES" (L)		*	*	

(1) Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS - École Polytechnique, 91220 Palaiseau.

(2) Effectuée par M. J. JAN, de l'E.I.T. de Météorologie Nationale, au Centre Météorologique régional de Rennes - Saint Jacques.

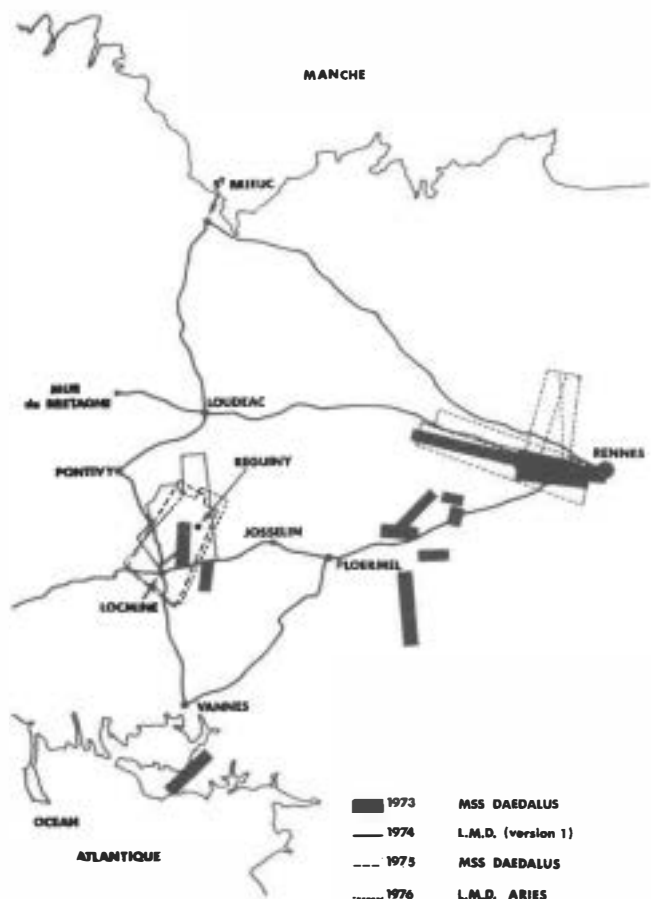


Fig. 1 : BRETAGNE (FRANCE) : CAMPAGNES ANNUELLES DE TÉLÉDETECTION : ZONES COUVERTES PAR LES DIFFÉRENTES MISSIONS DE 1973 à 1976.

(1) I.N.R.A., Laboratoire de Télédétection, Route de Saint-Cyr 78000 VERSAILLES

On trouvera, dans les tableaux 1 et 2 de l'exposé de synthèse sur le thème 5.A du présent Colloque (GOILLOT, 1976*), les caractéristiques des capteurs employés.

La première étude entreprise par télédétection a été celle des bilans thermiques en zone bocagère et en zone remembrée comparativement et de leur évolution au cours de la journée (toujours comparativement) (GOILLOT, VALÉRY, BELLUOMO, 1975). Dans ce but, toutes les missions aéroportées faites depuis 1974 sont constituées d'un certain nombre de vols répartis aux heures les plus significatives de la journée afin de pouvoir étudier l'évolution nycthémerale des phénomènes.

Les données de la campagne 1974 ont permis de préciser, pour celle de 1975, le choix de zones caractéristiques, l'une bocagère et l'autre ouverte (résultant de l'aménagement après remembrement). Les résultats obtenus en 1974 ont été confirmés et la meilleure définition des caractéristiques des deux zones comparées a permis d'affiner les résultats.

Deux nouveaux thèmes ont pu être introduits :

- inventaire des haies et inventaire de l'occupation des sols, ce dernier thème étant à deux finalités :

- l'étude du bilan thermique par culture, toujours en zone ouverte comparativement;

- des informations complémentaires pour les travaux d'écophysiologie poursuivis par l'équipe de M. le Professeur BARLOY (1).

Sous la conduite du Directeur de la Station de Météorologie de Rennes-Saint Jacques et de M. GERBIER (2), il a été effectué, avec M. J. JAN de l'E.I.T. de la Météorologie Nationale, une étude du type de temps qui régnait sur la région à la période des vols de 1974 et 1975 afin de classer les opérations de télédétection dans le cadre de l'histoire climatique de la région (JAN, 1975).

L'exploitation des données de ces différentes campagnes est donc poursuivie dans le cadre des thèmes généraux d'inventaire et de surveillance. L'ensemble des données acquises présente un potentiel d'informations considérable que les travaux en cours n'exploitent encore que partiellement.

I — ÉTUDE DU BILAN THERMIQUE COMPARATIVEMENT EN ZONES BOCA- GÈRE ET OUVERTE :

I - Conditions expérimentales :

a) choix des sites

La carte des haies, arbres et bosquets en place, obtenue à partir des documents photographiques de la campagne 1974, a permis de choisir deux zones dont le découpage est donné par la figure 2

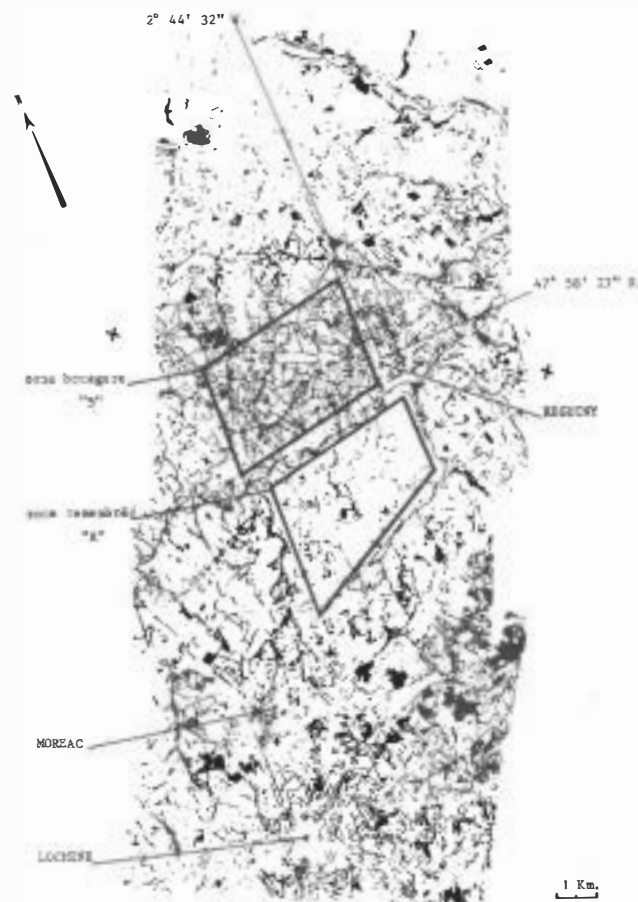


Fig. 2 : EXTRACTION PAR STÉRÉOPHOTOGRAPHIE DES ARBRES, HAIES ET BOSQUETS EN PLACE (document de référence) document IRC du 6 juin 1975 13 h 45-48 T. U.

Altitude : 6 000 m Échelle approximative du doc. original : 1/100 000

Surface totale : 25 000 ha

Zones bocagères «B» et remembrée «R» d'égale surface (1. 100 ha chacune) choisies en vue d'éliminer au mieux les hétérogénéités et singularités pour l'étude différentielle comparative.

Les critères de ce double choix ont été :

(1) Chaire de Phytotechnie de l'E.N.S.A. de Rennes (Ille et Vilaine).

(2) Directeur du Service de Climatologie de la Météorologie Nationale à Paris.

- présenter une structure caractéristique des appellations bocagère et ouverte. On remarquera que ne subsistent, dans la zone ouverte, que quelques lambeaux de haies et quelques groupes d'arbres isolés alors que la zone restée bocagère présente un réseau relativement dense.

- éliminer, par découpage adéquat, les principales singularités telles que les vallées et les pentes, d'où l'élimination de la bande située entre les deux zones. Les altitudes maximales et minimales rencontrées sont ainsi comprises entre 120 et 70 mètres, dans la zone bocagère, et 130 et 75 mètres, dans la zone ouverte.

- ne pas présenter de différences notables pour l'occupation des sols.

Cette dernière considération conduit à choisir une surface d'au moins 1 100 hectares égale pour les deux sites. Dans ces conditions, la différence entre les surfaces des deux zones reste inférieure à 6,4 p. 100 (terre nue : 1,3 p. 100, cultures en place : 2,0 à 6,0 p. 100, massifs forestiers : 0,1 p. 100, landes : 1,3 p. 100, carrières, bâtiments et voirie : 1,3 p. 100).

b) Moyens aéroportés

La campagne 1975 a été effectuée avec les moyens de G.D.T.A. (1). Les tableaux 1 et 2 de l'exposé de synthèse (GOILLOT, 1976 *) en donnent les caractéristiques. Une couverture photographique accompagne toujours les relevés par scanner. Celle de 1975 a été effectuée par caméra métrique Wild avec un recouvrement de 60 p. 100 qui permet une exploitation stéréographique des documents.

c) Type de temps (2)

Le 5 juin, à la veille des vols, la situation en surface est de type anticyclonique à influence maritime et prend, le 6 juin, un caractère anticyclonique à influence continentale. On ne note, durant cette campagne, ni passage frontal ni précipitations. Ce type de temps se rencontre, en juin, au cours des cinq années précédentes et ne présente donc pas de caractère exceptionnel.

2 - Résultats :

a) Évolution nycthémerale de la brillance thermique de la scène.

La fig. 3 fournit les restitutions analogiques des

relevés obtenus par le scanner thermique Daedalus à quatre heures différentes de la journée. Chaque image est, en réalité, une carte de la brillance thermique : εT^4 dans la bande spectrale considérée incluant émissivité et température. Chacune donne un instantané de l'état du bilan énergétique des différents éléments de la scène. Les termes de ce bilan sont rappelés en fig. 2 de la note déjà citée (GOILLOT, 1976*). Ils dépendent de l'ensoleillement, de l'albedo de la scène, de la conductivité thermique de la couche concernée au sol, de la position topographique de la surface (élément peu important ici), de l'histoire météorologique du site enfin, principalement vents et pluies.

Le maximum du contraste thermique est atteint entre 13 h et 17 h T. U. Le refroidissement nycthémeral spontané met en évidence :

- un écoulement d'air froid dans les parties les plus basses de la scène;

- la brillance thermique apparente (fig. 4) plus forte des structures verticales telles que arbres et haies. Cette dernière particularité a été exploitée pour l'étude d'un inventaire automatique des structures végétales verticales dans le bocage. (Cf. ci-après, chapitre II). Les bandes magnétiques de ces enregistrements analogiques ont été numérisées en vue d'une étude statistique.

- l'évolution nycthémerale de la température et de la répartition de brillance dans les deux zones bocagère et ouverte. La fig. 5 donne les histogrammes de cette répartition au cours de la journée.

Ces histogrammes mettent en évidence les particularités de la dynamique thermique de ces deux zones :

- déplacement du maximum;

- passage d'une répartition quasi-normale pendant la nuit à une répartition quasi-log. normale durant le jour;

- dynamique thermique faible durant la nuit et augmentant dès le lever du soleil et jusque vers 16 h.

On remarquera, en outre, que les zones bocagères apparaissent thermiquement plus homogènes (histogrammes quasi normaux) que les zones ouvertes (histogrammes multimodaux). Ce dernier résultat était encore plus net pour la campagne 1974 (GOILLOT, VALÉRY, BELLUOMO, 1975).

(1) Groupement pour le Développement de la Télédétection Aéroportée 31055 TOULOUSE CEDEX.

(2) Renseignements fournis par M. J. JAN (1975).

RENNES A9 13H15 - 13H48 T.U.,
SCANNER THERMIQUE DAEDALUS 8 < λ μ m < 14

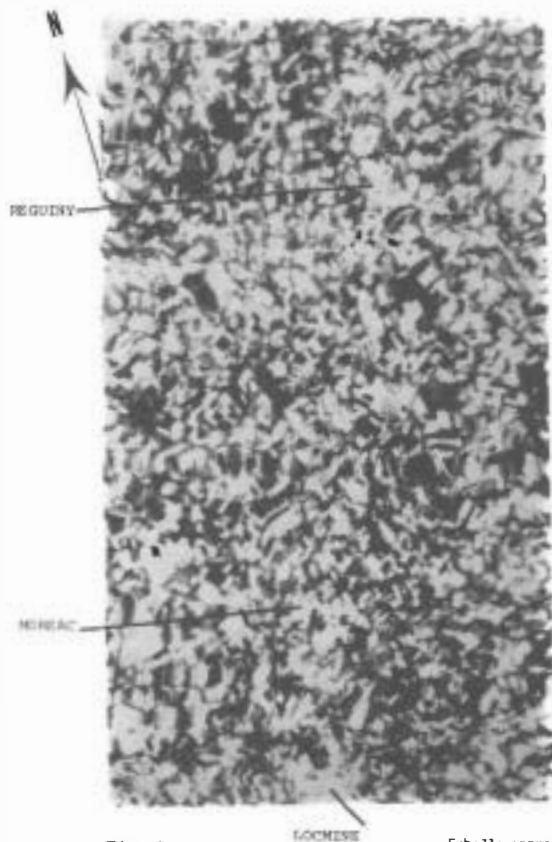


Fig. 3A Echelle approximative :
1/70 000

RENNES B9 16H28 - 16H31 T.U.,
SCANNER THERMIQUE DAEDALUS 8 < λ μ m < 14

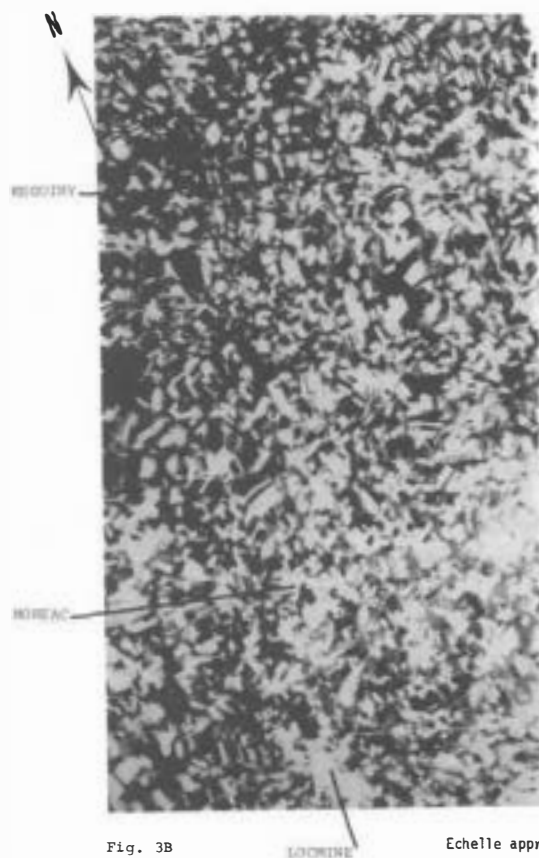


Fig. 3B Echelle approximative :
1/70 000

RENNES C9 23H03 - 23H06 T.U.,
SCANNER THERMIQUE DAEDALUS 8 < λ μ m < 14

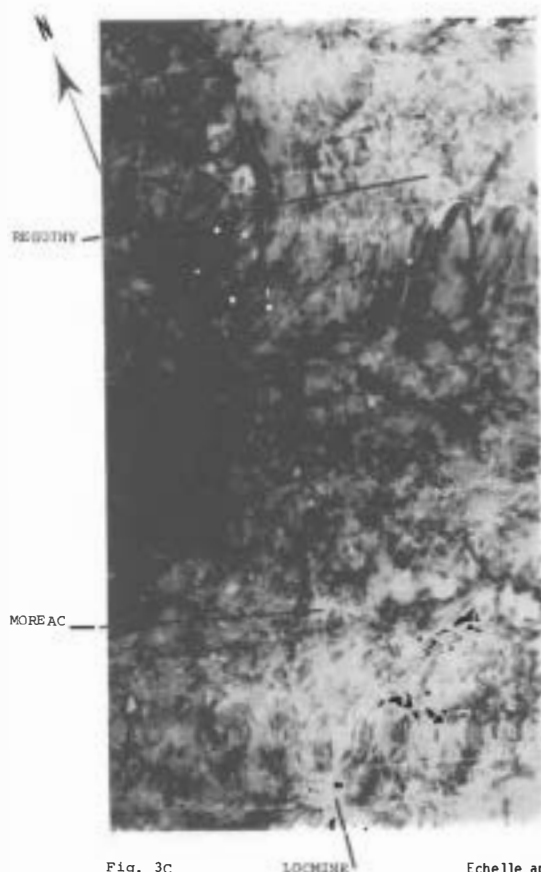


Fig. 3C Echelle approximative
1/70 000

RENNES D9 02H46 - 02H49 T.U.,
SCANNER THERMIQUE DAEDALUS 8 < λ μ m < 14

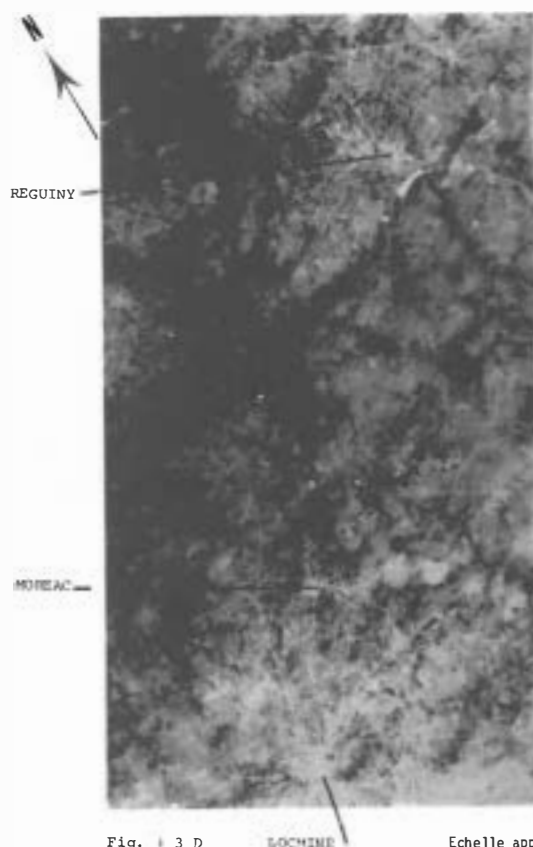


Fig. 3D Echelle approximative :
1/70 000

Fig. 3 : RESTITUTION POSITIVE DES ENREGISTREMENTS ANALOGIQUES PAR SCANNER THERMIQUE (DAEDALUS) à QUATRE HEURES DIFFÉRENTES DE LA JOURNÉE. Commentaire dans le texte. blanc = chaud Noir = froid

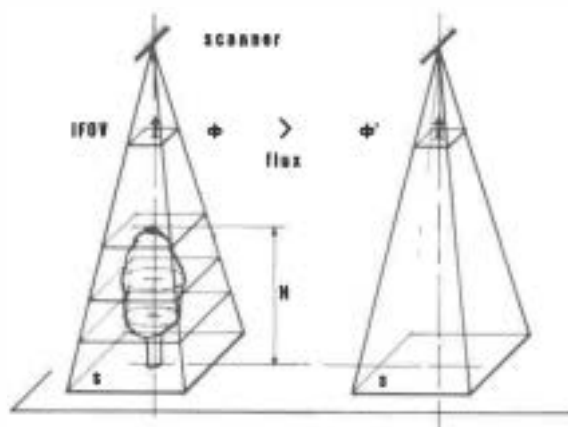


Fig. 4 . La radiance apparente d'une structure radiative verticale est supérieure à la radiance du plan horizontal correspondant, résultant d'une sommation, dans l'angle d'ouverture instantanée (IFOV) du scanner, des radiances provenant des différents plans de section horizontale sur la hauteur H. S. est le pixel.

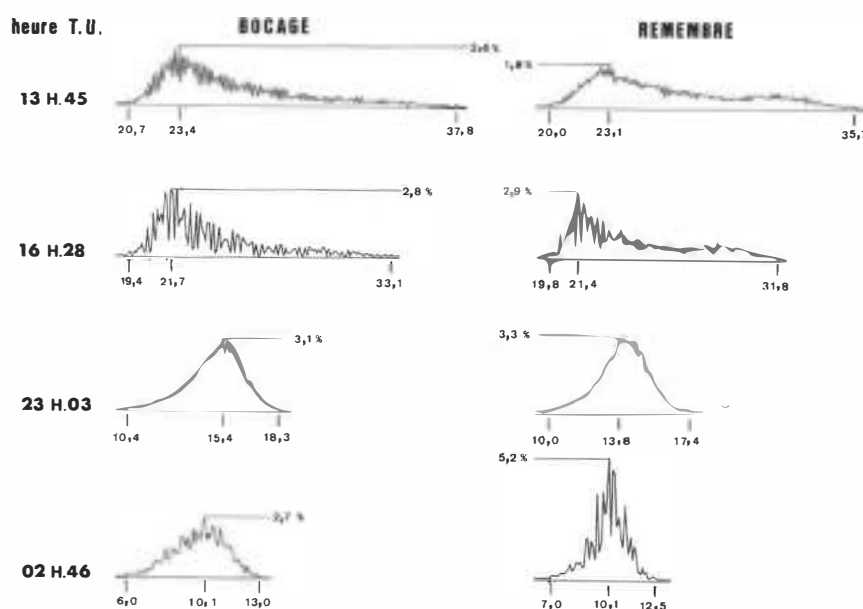


Fig. 5 : HISTOGRAMMES DE RÉPARTITION DES RADIANCES EN ZONE BOCAGERE (B) ET REMEMBRÉE (R) à QUATRE HEURES DIFFÉRENTES DE LA JOURNÉE.

Les brillances énergétiques B et C sont portées en abscisse, les % de pixels en ordonnée. On notera comment varient, au cours de la journée, les valeurs de la radiance les plus fréquentes (pic) et la valeur de la dynamique thermique (différence entre le point le plus chaud et le point le plus froid) Cf le texte 1-2b.

HEURE T. U.	B °C	MINI	PIC	MAXI	DYNAMIQUE
13 h 45	B	20,7	23,4	37,8	17,1
	R	20,0	23,1	35,7	15,7
16 h 28	B	19,4	21,7	33,1	13,7
	R	19,8	21,4	31,8	12,0
23 h 03	B	10,4	15,4	18,3	7,9
	R	10,0	13,8	17,4	7,4
02 h 46	B	6,0	10,1	13,0	7,0
	R	7,0	10,1	12,5	5,5

b) État thermique différentiel (bocage - remembré) :

Si, pour chaque classe de radiance thermique, on fait la différence algébrique des pixels de la zone bocagère et de la zone remembrée, on obtient les histogrammes différentiels de la fig. 6, qui montrent l'évolution de ce bilan thermique différentiel au cours de la journée.

Ces résultats confirment et affinent ceux qui avaient été obtenus à partir de l'exploitation de la campagne 1974. On voit que :

- vers le midi solaire (vol de 13 h 45 T.U.), la zone ouverte est majoritaire à la fois dans la catégorie thermique la plus froide (pic à 22°C) et la catégorie thermique la plus chaude (pic à 32°C), alors que le bocage est dans la catégorie thermique intermédiaire (23 à 30°C environ).

- dans l'après-midi (vol de 16 h 28 T. U.), la distinction disparaît entre zone bocagère et zone ouverte dans la catégorie thermique froide. La zone reste, cependant, dominante dans la catégorie chaude (27 à 31°C). Les pixels de la catégorie spécifiée chaude

correspondent aux terres nues (semis de maïs non encore levés à cette époque).

- vers le minuit solaire (vol de 23 h 03 T.U.), la distinction entre les deux zones est extrêmement nette :

- la zone ouverte est entièrement dans la catégorie froide (10 à 15°C);

- la zone bocagère est entièrement dans la catégorie chaude (15 à 18, 5°C).

- plus tard, dans la nuit (vol de 3 h 00 T.U.), la situation est inverse de celle décrite vers le midi solaire et présente à nouveau trois catégories : la zone bocagère étant, à la fois, dans la catégorie froide (6 à 9, 5°C) et dans la catégorie chaude (11 à 13°C), alors que la zone remembrée est majoritaire dans la zone intermédiaire (9 à 11°C - pic à 10°C).

On retrouve donc un résultat déjà obtenu par les études bioclimatologiques effectuées au sol : la zone bocagère se réchauffe et se refroidit plus vite que la zone ouverte. Le bocage est donc dynamiquement plus « noir » ou climatiquement plus continental. L'explication des caractéristiques de cette dynamique thermique passe par l'élaboration d'un modèle qui est en cours d'étude.

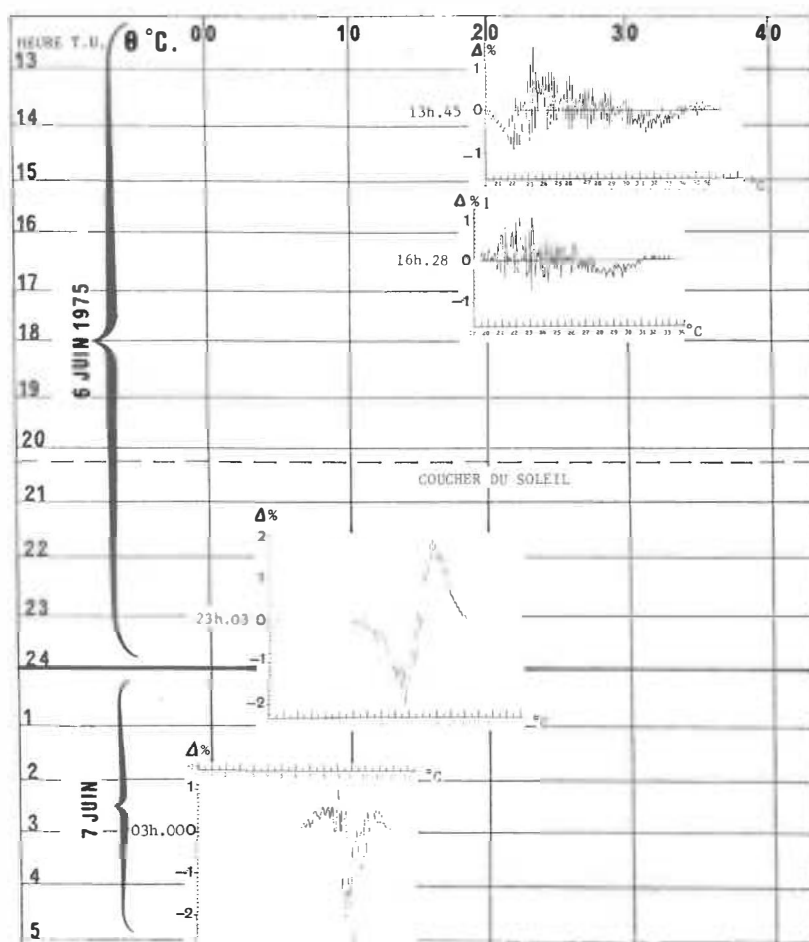


Fig. 6 : COMPARAISON PAR HISTOGRAMME DIFFÉRENTIEL DES ZONES BOCAGERES ET REMEMBRÉES SPÉCIFIÉES EN FIGURE 2. A partir des données thermiques de vols à 6000 m, scanner (Daedalus) bande thermique 8-14 μm. Numérisation de l'enregistrement analogique. Nombre moyen de pixels dans chacune des zones 50 000. Commentaire dans le texte 1. b pour l'interprétation.

c) Bilan énergétique selon le type de culture :

On sait que chaque culture présente à chaque instant de la journée, un bilan énergétique qui lui est propre (résultant de son état phénologique, des réserves en eau dans le sol, etc...). Les données thermiques relatives à quelques cultures typiques (blé, orge, ray-grass d'hiver), dans les deux zones considérées, ont été extraites des fichiers pour cette étude particulière. Les premières interprétations analytiques sont données par ailleurs (GOILLOT, GUYOT, MALET, 1976*).

La poursuite de cette étude nécessite une classification automatique des types de cultures et leur mise en correspondance avec les données thermiques. Cette étude a été entreprise à partir des données multispectrales obtenues par le scanner Daedalus. Cette classification montre que la télédétection introduit des classes physiques qui ne correspondent pas, à un moment donné, avec les classes naturelles connues (16 classes de culture sont ramenées à huit classes physiques). Il est donc nécessaire de compléter l'analyse multispectrale par une analyse chronoséquentielle qui est en cours.

II — CARACTÉRISATION STRUCTURALE ET TEXTURALE DU BOCAGE.

Une exploitation automatique de l'ensemble des données acquises au cours de la campagne 1975 (56 000 hectares - au-delà par conséquent des deux zones caractéristiques bocagère et ouverte de 1 100 hectares) montre une compensation statistique qui atténue considérablement la différenciation décrite en 2- b ci-dessus, tous les cas de maille étant alors présents pour une surface de cette étendue.

Il est donc indispensable, pour une étude à l'échelle régionale, de quantifier le caractère bocager à l'aide, par exemple d'un «paramètre de maille».

Les programmes sont en cours d'élaboration pour corrélérer le bilan énergétique en chaque point, avec la dimension de la «maille» dans laquelle il est inclus. Ces derniers programmes sont envisagés à la fois sous forme analogique (BOISSARD, 1973) et numérique.

Dans un premier temps, cette caractérisation appelle le repérage des structures végétales verticales en place.

1 - Exploitation stéréoscopique des documents obtenus par caméra métrique.

Elle a permis d'obtenir avec grande sécurité une carte des arbres, haies et bosquets en place dans les

zones survolées. La fig. 2 montre le réseau obtenu de cette façon.

Ce type d'exploitation, long mais très sûr, sert actuellement de méthode de contrôle pour les méthodes automatiques. Les documents stéréophotographiques contiennent, en outre, l'information de la hauteur de la structure mais l'exploitation de cette donnée est reportée à une étude ultérieure. Cette donnée pourrait être corrélée à la radiance énergétique de la haie, qui dépend de sa hauteur.

Une curvimétrie par commune de ce réseau a donné l'inventaire des haies en place mentionné dans le tableau 2.

TABLEAU 2
RÉSULTAT DE L'EXPLOITATION CURVIMÉTRIQUE DU DOCUMENT RÉSEAU DE «HAIES».

COMMUNES (Dpt Morbihan)	SURFACE (ha)	STATUT	Longueur des haies L_h	Longueur des lisières L_l	DENSITÉ $L_h + L_l / 5$
REGUINY	<u>2792 ha</u>	B	232,0 km	21,6 km	91
MOREAC	<u>6002 ha</u>	R	223,0 km	25,9 km	41
LOCHINE	<u>480 ha</u>	B	32,3 km		67
SIGRAN	1956 ha	B	127,0 km	26,2 km	78
SAINT ALLOUËSTRE	621 ha	B	43,6 km	8,0 km	83
NAIZIN	889 ha	R	34,0 km	0,8 km	39
CREDIN	2588 ha	R	58,0 km	15,4 km	28
PLEUGRIFFET	2215 ha	R	104,0 km	18,4 km	55
REDENAC	1060 ha	R	36,8 km	10,8 km	45
PLUMELIN	2504 ha	R	68,0 km	4,10 km	29
MOUSTOIR AC	1912 ha	R	35,9 km	21,6 km	30

(1) Les données soulignées ont été fournies par la D.D.A de Vannes

Les données non soulignées relatives à des régions partiellement survolées ont été obtenues par planimétrie sur les documents.

REM. Ce travail étant effectué dans l'optique d'une influence des haies sur le bilan thermique des champs, les lisières de massifs d'arbres, qui interviennent sur ce bilan, ont été incluses dans cet inventaire.

2 - Traitement automatique

Les caractéristiques radiométriques dans l'infrarouge thermique des structures verticales ont montré que les documents de fin de nuit mettaient ces structures parfaitement en évidence (fig. 3D et 4). Un traitement convenable des données doit donc permettre de réaliser par voie automatique l'inventaire de ces structures.

Traitement par sélection de niveaux (density slicing) ou seuillage

Une première tentative a consisté à sélectionner ces structures (arbres, haies et bosquets) par leur niveau

de radiance (1) qui est lié à leur hauteur. La fig. 7D donne les résultats d'un tel traitement. Le rendement (2) de ce type de traitement est de l'ordre de 40 p.100. Une amélioration de ce rendement est obtenue par d'autres types de traitement actuellement en cours (pseudo-plastique, gradient, laplacien), assortis de filtrages convolvables. Ces résultats seront présentés aux journées de télédétection du G.D.T.A. (GOILLOT, VALERY, BELLUOMO, 1976).

La sophistication de ces rendements permet d'atteindre actuellement un rendement de 80 p.100.

CONCLUSION

L'ensemble des études dont il est fait état est poursuivi en «non supervisé», chaque mission aéroportée étant conçue pour acquérir à bord toute l'information nécessaire à une exploitation conclusive des données. Ce mode d'exploitation est le plus approprié pour évaluer l'apport authentique de la télédétection aux disciplines traditionnelles.

Les thèmes abordés sont loin d'épuiser le potentiel d'informations des données acquises au cours des quatre missions citées. Celles-ci apparaissent, d'ores et déjà, comme étant considérables.

L'étude différentielle par télédétection infrarouge (thermographie aéroportée) du bilan thermique en zone bocagère et ouverte a permis de retrouver des résultats déjà obtenus par les travaux de bioclimatologie au sol - tels que le caractère «continentalisateur» du bocage - mais nous en a apporté de nouveaux, nombreux,

SUMMARY :

A yearly overflight has been performed since 1973 with various airborne sensors (mainly IR and multispectral scanners) over training zone in the Morbihan (french Brittany) where remodeling of land use is in progress.

The main results derived from the unsupervised interpretation of these airborne remote sensing data are presented.

Three main themes are investigated related to the microclimatic alteration due to this «remodeling».

1) The selection based on remote sensing data of two experimental training zones each being typical of bocage and open landscape and thus suited for a

à l'échelle régionale, qui se montrent reproductibles d'une année sur l'autre - sur trois années, maintenant - prouvant par là la consistance de la méthode.

Le nombre des aspects nouveaux mis en évidence, particulièrement au niveau de la dynamique de deux paysages, qui font l'objet principal de l'étude, ainsi que la difficulté immédiate de raccorder ces résultats à ceux obtenus par les méthodes analytiques, a conduit certains à conclure que la télédétection «posait plus de problèmes qu'elle n'en résolvait» ce qui, dans les sciences, est l'un des critères de fécondité.

La campagne de 1976 a été effectuée avec le scanner thermique de haute résolution Ariès du L.M.D. Les résultats, en cours de traitement, seront présentés à la vingtième Assemblée plénière du COSPAR (Tel Aviv, Israël, juin 1977). Ce travail prépare l'utilisation des satellites EXPLORER A (3) (avril, 1978) et LAND-SAT C (septembre 1977) pour l'étude, l'année durant, des thèmes cités.

REMERCIEMENTS :

Nous remercions ici M. J. BARLOY, Professeur de la Chaire de Phytotechnie à l'E.N.S.A. de Rennes pour les informations qu'il nous a fournies sur l'occupation des sols dans la région étudiée ainsi que MM. P. VALERY et P. BELLUOMO, techniciens supérieurs au Laboratoire de télédétection de l'I.N.R.A. pour leur collaboration dans l'établissement des documents ici présentés.

comparative study;

2) The comparison of the heat budget and its diurnal cycle in both bocage and open zones brings up new informations on the specific thermal characteristics of each zone and on the way this heat budget revolves during day and night.

3) The set up of a computerized inventory of vertical vegetal structures standing on the ground (hedges, trees and groves) using thermal scanner data aiming at a end of night quantification of the bocage structure.

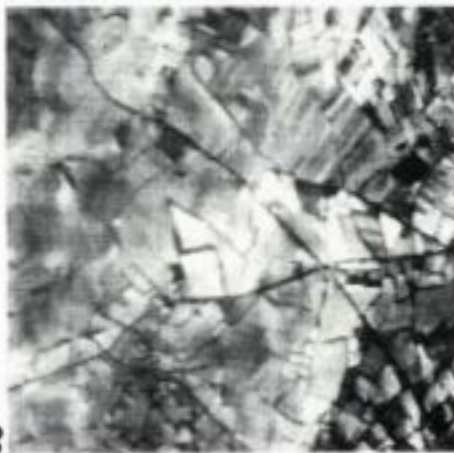
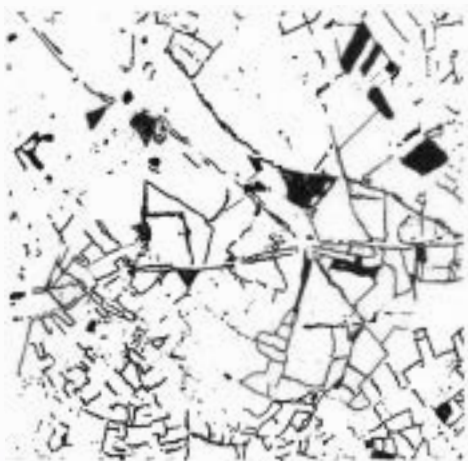
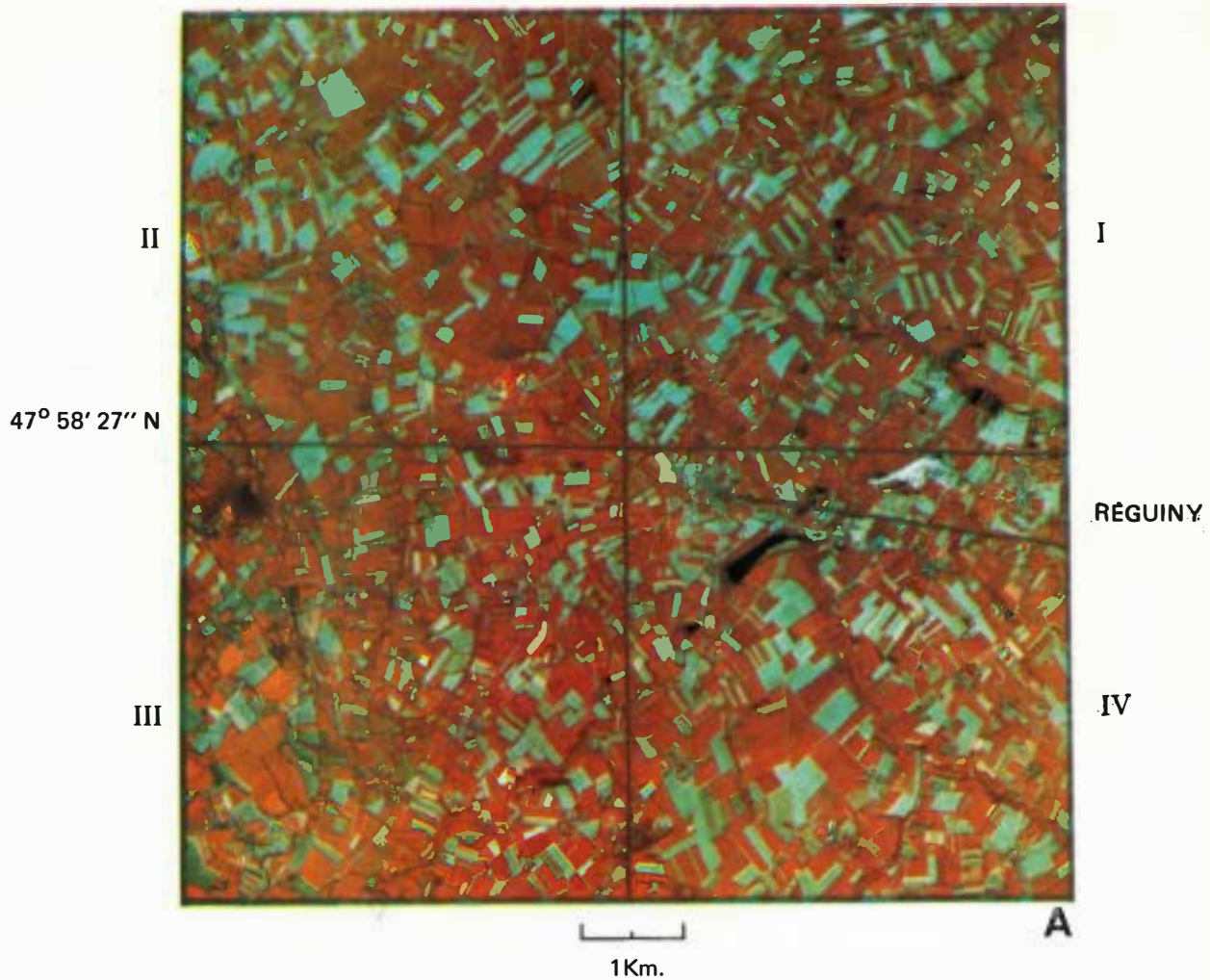
At last, the first attempt is outlined of an analytical interpretation of the remote sensing «resultants» (heat budget of some crop surface of the scene separately.

(1) Nous remercions MM. LOUF et DEVEY du Laboratoire «images» de la CIT-ALCATEL pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans l'utilisation du système MINITRIM pour ces traitements.

(2) On entend par rendement le rapport : Longueur de haies effectives sur Longueur de haies d'après le réseau stéréoscopique.

(3) Mission thermographique HCMM (Heat Capacity Mapping Mission)

2° 44' 32" W



D

Fig. 7 : EXTRACTION AUTOMATIQUE DES STRUCTURES VÉGÉTALES VERTICALES PAR SÉLECTION DE NIVEAUX (density slicing). Région de Régigny, juin 1975. Altitude : 6 000 m Échelle approximative du document original : 1/70 000.

a) Photographie Wild IRC 24 43, 6 juin 1975, 13 h 45-48 T. U.

b) Extraction stéréographique des haies, arbres et bosquets en place (document de référence)

c) Restitution analogique positive (blanc = chaud, noir = froid) de l'enregistrement par scanner thermique Daedalus (8414), juin 1975 2 h 46-49 T. U. On remarque la mise en évidence des structures végétales verticales par leur brillance apparente à cette heure de la nuit.

d) Traitement par seuillage : sur les 256 niveaux du signal (0 à 255), ont été sélectionnés les niveaux 135 à 160 (codés en bleu) et 161 à 255 (codés en brun).

Traitement effectué sur console interactive CIT-ALCATEL.