

1178144

## V – UTILISATION DE LA TELEDETECTION EN HYDROLOGIE

Serge PIEYNS (1)

(Service Hydrologique de l'ORSTOM)

### RESUME

La période 1978-1982 a été dominée, pour ce qui concerne l'utilisation de la télédétection en hydrologie, par le développement du programme SPOT, futur satellite français d'observation de la terre dont le lancement est prévu pour octobre 1984 et par l'achèvement de la mission de l'Opération Pilote Interministérielle de Télédétection (OPIT). Ces deux opérations ont largement contribué au développement de la télédétection dans le domaine de l'eau, par la mise à disposition des spécialistes de simulations SPOT et par une politique d'information sur les possibilités offertes par ce nouvel outil. De très nombreuses publications intéressantes des thèmes aussi divers que l'étude de la couverture neigeuse, l'étude des surfaces en eau, l'humidité des sols et l'évaporation, les bases de données d'occupation des sols, la dynamique et la qualité des eaux, la turbidité, l'estimation des précipitations sont citées dans ce rapport. On signalera plus particulièrement les études menées sur les surfaces en eau à l'aide des données LANDSAT, SIR-A, simulation SPOT, les recherches dans le domaine de la radiothermométrie infrarouge et des hyperfréquences actives, très prometteuses pour l'évaluation de l'humidité des sols et de l'évaporation, enfin les activités de la Météorologie Nationale française tant au plan de la recherche que de l'application sur les problèmes d'estimation des précipitations à l'aide des radars, projet ARAMIS, notamment.

### ABSTRACT

(Use of remote sensing in hydrology)

The period 1978-1982 has been dominated, for the use of remote sensing in hydrology, by the development of the SPOT program, future french satellite for earth observation, the launch of which is scheduled for october 1984 and by the conclusion of Operation Pilote Interministérielle de Télédétection (OPIT) mission. These two operations have widely contributed to the development of remote sensing in the field of water, by placing SPOT simulated data at specialists disposal and by advising people of the possibilities offered by this new tool. Numerous published works are quoted in the report. They covered themes as different as snow cover, water surfaces, soil moisture and evapotranspiration, land use, water dynamic and water quality, turbidity, rainfall estimation. Are of special interest, researches into water surfaces analysing using LANDSAT, SIR-A and SPOT simulations data, researches into the field of infrared radiothermometry and activ hyperfrequencies, full of promise for the soil moisture and evapotranspiration estimation, lastly the activities of the french Météorologie Nationale, both in term of research and operation, on rainfall estimation using radar data, ARAMIS, project especially.

### 1 – INFORMATIONS GENERALES

“A tout seigneur tout honneur”, ce rapport quadriennal sur l'utilisation de la télédétection en hydrologie se devait de commencer par l'évocation du programme SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre), clef de voûte du système français de télédétection satellitaire.

(1) Service Hydrologique de l'ORSTOM : 70-74, route d'Aulnay, F – 93140 BONDY – FRANCE.

Ce programme, dont la responsabilité a été confiée au Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), a désormais atteint "le point milieu du développement du système" et le lancement de SPOT est fixé à fin octobre 1984. D'ores et déjà, la communauté scientifique française a pu disposer de "simulations SPOT" et participer à la définition de certaines caractéristiques du système. Nul ne doute que la mise en service de SPOT sera l'élément moteur pour le développement de l'utilisation de la télédétection en France, notamment dans le domaine de l'hydrologie.

Une société civile, SPOT Image, a été constituée le 1<sup>er</sup> juillet 1982, société dont "la mission principale sera la diffusion et la commercialisation des images que fourniront les satellites SPOT à partir de 1984". Une revue semestrielle, Nouvelles de SPOT, publiée sous la double signature du CNES et de SPOT Image, a vu le jour en 1982 [1]. Cette revue permettra aux spécialistes intéressés d'être tenus au courant du développement du programme.

Un second point nous paraît intéressant à signaler, c'est l'achèvement en 1980 de la mission confiée à l'Opération Pilote Interministérielle de Télédétection (OPIT). "Créée en 1976 par les utilisateurs potentiels de la télédétection, que sont les principales administrations responsables du territoire et de ses ressources, l'OPIT avait pour premier objectif de faire la lumière sur les possibilités opérationnelles de cette technique, afin d'orienter ses développements vers une bonne adéquation aux besoins des utilisateurs et de rendre ceux-ci à même de tirer le meilleur profit d'un recours éventuel à cette technique". Au cours de ses 4 années d'activités, 1976 - 1980, le programme de l'OPIT a été orienté selon 3 composantes principales [2] :

- l'expertise sur les possibilités réelles de la technique ;
- l'information des intéressés par la diffusion large et vulgarisée des résultats de cette expertise ;
- l'optimisation enfin des possibilités actuelles par le dialogue et la collaboration avec les télédéTECTEURS.

Dans ce cadre, l'OPIT a consacré une part importante de ses ressources, 65 %, à la voie expérimentale, soit par ses moyens propres, soit par le biais de financement d'études, sous-traitées par contrat. La formation n'a pas été négligée, non plus que les publications qui ont utilisé environ 7 % des moyens financiers. Dans ce programme, bien évidemment, l'hydrologie a été prise en compte. On trouvera, à la partie bibliographie, les références d'un certain nombre d'ouvrages généraux publiés par les soins de l'OPIT, [3] à [12].

## 2 - PANORAMA DES RECHERCHES ET ETUDES FRANCAISES DANS LE DOMAINE DE LA TELEDETECTION APPLIQUEE A L'HYDROLOGIE

Ce panorama ne sera sans doute pas aussi exhaustif que nous l'aurions souhaité. En effet, si nous ne pouvons qu'être satisfait du grand nombre d'organismes, laboratoires, sociétés privées qui travaillent dans ce domaine, leur multiplicité a singulièrement compliqué notre essai de synthèse ; que "les oubliés" ne nous en tiennent pas trop rigueur !

Un second point qui nous a posé problème a été de savoir quelles limites donner au domaine hydrologique. Nous avons pris le terme d'hydrologie au sens large et, notamment dans nos références bibliographiques, nous citons des études très intéressantes pour les hydrologues, mais dont la réalisation est du ressort d'autres disciplines, géographie, pédologie entre autres.

Enfin, nous n'avons pas voulu, dans notre présentation des principaux travaux réalisés durant ces quatre dernières années, séparer les aspects méthodologiques des aspects phénoménologiques ou technologiques, classer séparément les actions de recherche fondamentale et les actions finalisées, mais plutôt établir une classification par thèmes.

Les six thèmes retenus sont, dans un ordre quelconque :

- Etude de la couverture neigeuse ;

- Etude des surfaces en eau ;
- Humidité des sols - Evaporation ;
- Bases de données d'occupation des sols ;
- Dynamique et Qualité des eaux - Turbidité ;
- Météorologie - Estimation des précipitations.

#### Etude de la couverture neigeuse

Plusieurs études ont été réalisées dans le domaine de la cartographie de l'enneigement, à partir d'images satellitaires provenant de satellites américains :

- TIROS et NOAA pour l'étude sur le Massif Central réalisée par des recherches du CNES, du Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA) et d'Electricité de France (EDF), [13]. Les résultats tirés des images satellitaires ont été jugés suffisamment précis et même, pour ce qui concerne l'estimation des limites de la couverture neigeuse, meilleurs que ceux obtenus par des moyens classiques.

- LANDSAT. Etude sur l'enneigement des Pyrénées à l'occasion d'une thèse de docteur-ingénieur [14]. Signalons également les travaux de L. LLIBOUTRY qui font l'objet du chapitre 11 B de l'atlas des images satellitaires des glaciers des Andes Chiléno-Argentines.

Enfin, notons qu'une simulation SPOT sur le bassin de la Haute-Bruche a notamment permis à une équipe du Centre de Géographie Appliquée de Strasbourg (CGA), Laboratoire Associé 95 du CNRS, d'étudier le rôle de la neige dans le bilan hydrologique.

Une communication a été présentée à la journée de Séminaire du Groupement de Télédétection de Strasbourg (GTS) en Novembre 1982 à Strasbourg (J. TRAUTMANN, G. MAIRE, J. TRICART, A. ENGELMANN).

#### Etude des surfaces en eau

C'est un thème pour lequel les études méthodologiques et phénoménologiques ainsi que les actions finalisées ont été particulièrement nombreuses.

- Les expérimentations "Brenne - Sologne - Dombes" menées par l'OPIT [15] à [17] sur les trois régions françaises les plus concernées par les étangs ont permis des comparaisons entre différents types de traitements, supervisés gaussiens, nuée dynamique et interactifs (IGN et ORSTOM). Les principales conclusions tirées de ces expérimentations sont que l'eau s'individualise bien dans le paysage (quelques problèmes de confusion avec des résineux en bordure) et que le traitement gaussien sous-estime l'eau par rapport au traitement interactif.

- Le GTS qui regroupe plusieurs laboratoires de Strasbourg intéressés par la télédétection, dans le cadre d'un groupement scientifique associé au CNRS, a mené plusieurs études, notamment :

- en Afrique de l'Ouest, J. TRICART et J-P. BLANCK ont analysé différents types de télé-enregistrements, en vue d'étudier les modalités de l'inondation dans les grandes plaines alluviales du Sénégal et du Niger. Au Sénégal, entre PODOR et BOGUE, l'analyse d'une image RBV de LANDSAT a permis entre autre :
  - l'identification des bras et chenaux par lesquels arrive l'onde de crue et ceux qui assurent la vidange pendant la décrue ;
  - la localisation des cuvettes de décantation encore humides alors que la décrue est déjà bien avancée.
- au Mali, deux types de télé-enregistrements ont été utilisés :
  - une image radar SIR-A obtenue à partir de la navette spatiale : elle a fourni une information sur le fonctionnement des bras et chenaux du Niger lors de la crue et lors de la décrue, l'identification des cuvettes d'inondation et des indications sur leur régime hydrique ;
  - une simulation d'enregistrement SPOT d'un petit secteur situé au nord de Mopti. Ce programme est réalisé en collaboration avec le CTAMN de l'Ecole des Mines, l'Ecole

Nationale Supérieure de Jeunes Filles et le Centre de Recherches Communautaire d'Ispra. Le traitement numérique est effectué à Sophia-Antipolis.

Publication : J-P. BLANCK, J. TRICART — Communication au Colloque sur l'Hydrologie des Grandes Plaines (Programme Hydrologique International) qui aura lieu à Buenos Aires en avril 1983.

- Au Brésil, étude de J. TRICART, J. TRAUTMANN, A. ENGELMANN, dans le cadre d'une coopération entre le GSA de Strasbourg et l'Institut Géosciences de l'Université Fédérale du Rio Grande do Sul. Le système de traitement d'image LAE 980 du GTS a été utilisé pour étudier les variations de niveau des eaux et cartographier les limites des inondations. En avril 1983 à Buenos-Aires une communication sera faite lors du Colloque International sur l'Hydrologie des Grandes Plaines organisé par le Comité National pour le Programme Hydrologique International. Enfin un numéro spécial de la TGS (Recherches Géographiques à Strasbourg) consacré à cette étude est en cours de publication.
  - Le Service Hydrologique et le Bureau de Télédétection de l'ORSTOM ont utilisé des images LANDSAT dans le cadre d'une étude, réalisée avec la collaboration du Bureau pour le Développement de la Production Agricole (BDPA), sur la détermination des causes des anomalies des crues du Niger [18].
  - Citons également un travail de B. GUILLOT de l'ORSTOM sur les lacs temporaires et les plaines de sel des Andes (Bolivie) [19], une thèse de docteur-ingénieur sur l'influence des petites retenues, "açudes" sur le régime hydrologique du Rio Acarau (Brésil), thèse dans laquelle le suivi des retenues et l'estimation des volumes retenus chaque année est fait à partir des données LANDSAT [20].
  - Enfin, deux études utilisant également les données LANDSAT ont été réalisées par le BDPA, l'une dans le cadre du Comité du Mékong — cartographie des zones inondables du bassin versant inférieur du Mékong —, l'autre sur la rive sud du lac Tchad — cartographie de la zone de marnage du lac.

#### Humidité des sols — Evaporation

Les études sur l'estimation de l'humidité des sols, à partir des données satellitaires, font appel soit à la thermographie infrarouge, soit aux hyperfréquences actives.

La thermographie infrarouge a été largement utilisée dans des études à différentes échelles.

— Le GTS a notamment étudié l'influence de l'humidité des sols sur leur réflectivité bidirectionnelle et leur émissivité dans le domaine de l'influence thermique (8 — 4 m) sur des échantillons de grandes dimensions (0 à 20 cm) en laboratoire et in-situ. Les résultats obtenus montrent notamment que la rétro-diffusion est extrêmement sensible à l'humidité de surface. Seule la méthode et une première série de résultats sur sols secs ont fait l'objet de publication [21] et [22].

J. TRAUTMANN et A. ENGELMANN, utilisant des enregistrements HCMM thermique et visible, ont étudié l'humidité des formations superficielles de la plaine d'Alsace. Les données LANDAST et ARIES ont été traitées en classification multispectrales supervisées ou non.

— L'Institut National Agronomique de Paris-Grignon (INA — P — G) a également entrepris de nombreuses études dans ce domaine [23], [24] bien que ses recherches soient très orientées vers les possibilités d'utilisation de la télédétection en pédologie. Dans le cadre d'un projet de recherche du CNES "Analyse des qualités spectrales du rayonnement des sols — Etude préalable à la cartographie des sols à l'aide des données SPOT", Ch. KING s'est intéressée au problème à 3 niveaux, mesure in-situ, mesure en laboratoire et mesures satellitaires, en utilisant LANDSAT et des simulations SPOT. Il ressort des résultats obtenus qu'aux 3 niveaux, les paramètres couleur, rugosité et humidité des sols ont un rôle similaire sur les propriétés de diffusion des surfaces entre 400 et 1 100 nm [24].

— Une équipe pluridisciplinaire composée de P. CLERGEOT (Université de Paris I), G. SAINT (CNES — Toulouse), M. POUSSE (Statiare CNES) et G. BEDIOT (Agence de Bassin Seine-Normandie) a utilisé des données LANDSAT et des simulations SPOT pour le suivi de l'évolution des surfaces irriguées du bassin de la Seine. Une communication sera présentée à Hambourg en 1983.

— L'équipe concernée par ces problèmes à l'Institut de Mécanique de Grenoble (IMG) a essentiellement été impliquée, jusqu'à maintenant, dans des études de "vérité-terrain" de la température et de l'humidité de surface mesurées respectivement par radiothermométrie Infrarouge et Hyperfréquences Actives.

Une modélisation des échanges sol-atmosphère semble montrer la faisabilité d'un radar en bande C pour inférer les flux d'évaporation.

Une campagne de mesures prochaine (juin et septembre 1983), mettant en oeuvre radiothermométrie et scattéromètre héliportés, couplés à des mesures in-situ, devrait confirmer les résultats préliminaires.

Deux publications [25] et [26] traitent particulièrement de l'utilisation des hyperfréquences actives.

— Citons également, dans le domaine des micro-ondes, la thèse de Doctorat de Ch. KING de l'INA-P-G [27].

La détermination de l'évapotranspiration réelle à l'échelle régionale, terme du bilan hydrologique, a été abordée à l'INRA d'Avignon, en utilisant la télédétection en thermographie infrarouge.

Une étude sur la plaine de la Crau a tout d'abord permis une mise au point méthodologique de l'utilisation de la thermographie IR sur 4 unités relativement homogènes. D'une façon générale, le gain de précision apporté par cette méthode par rapport aux méthodes plus simples n'est que de 5 à 8 %. Cependant, le principal intérêt est que la thermographie IR s'applique avec le même ordre de grandeur de précision (10 à 15 %) aux différentes situations [28]. Dans une seconde phase, les données des satellites NOAA-5 et TIROS-N ont été utilisées pour tester l'aspect opérationnel de la méthode. Les problèmes majeurs rencontrés sont d'ordre technologique — faible précision sur la mesure de la température de surface (incertitude de 5 à 10°), fréquence de passage du satellite trop faible — et méthodologique, notamment la nécessité de disposer de mesures, représentatives au niveau régional, de la température de l'air,  $T_a$ . Cependant, il semble que la thermographie IR par satellite soit plutôt bien adaptée à l'estimation de la variation spatiale de l'ETR [29] et [30].

#### Bases de données d'occupation des sols

La constitution de bases de données d'occupation des sols à des fins hydrologiques à l'aide des données satellitaires s'est largement développée ces dernières années. Nous citerons plus particulièrement les travaux de l'IGN dans le cadre de la mise au point du modèle mathématique du fleuve Niger, les études de l'ORSTOM sur les bassins de la Meuse et de la Moselle [31].

Dans ce dernier cas, le fichier d'occupation du sol obtenu par analyse numérique des données LANDSAT (procédure Loterie du Bureau de Télédétection de l'ORSTOM) a été utilisé dans un modèle à discrétisation spatiale. L'incertitude sur les surfaces des principaux thèmes, eau libre, feuilles, résineux, prairies, est très faible, seules les surfaces urbanisées posent quelques problèmes, la mise en service de SPOT permettra sans aucun doute de les résoudre.

#### Dynamique et qualité des eaux — Turbidité

— Le CGA de Strasbourg a mené sur le Rhin une campagne de télédétection au voisinage de la Centrale Nucléaire de Fessenheim, en utilisant le radiomètre ARIES embarqué sur un avion. Les traitements des enregistrements numériques ont abouti à l'établissement de cartes

isothermiques en températures absolues de la surface du Rhin. L'objectif recherché est double : surveillance de la pollution thermique et étude de l'hydrodynamique du Rhin, entre autre les échanges eaux de surface — eaux souterraines [32]. Pour ce faire, un modèle développé au GTS corrige les effets perturbateurs de l'atmosphère et permet de tenir compte des effets de l'émissivité, si besoin est [33] et [34].

— Dans le même domaine, citons également l'étude sur la zone côtière méditerranéenne [35] menée dans le cadre des expérimentations de l'OPIT.

— L'Ecole Pratique des Hautes Etudes a, parmi beaucoup d'autres études, utilisé la télé-détection dans le cadre de l'analyse de la turbidité des eaux [36] et [37].

#### Météorologie — Estimation des précipitations

De nombreuses études ont été réalisées ou sont en cours, notamment pour ce qui a trait à l'estimation des précipitations, au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (CMS) et au Centre de Recherches Atmosphériques de Magny-les-Hameaux. Elles ont trait le plus souvent à l'utilisation des données du satellite METEOSAT ainsi qu'à celle des radars [38] à [41].

C'est ainsi que le Service de la Prévision Météorologique Française a installé un réseau de radars pour la surveillance des zones pluvieuses ; c'est le projet ARAMIS comportant 10 radars de 5 ou 10 cm de l'ondeur d'onde [42]. Une méthode numérique pour traiter, de façon simple, les données fournies de capteurs aussi divers que les images fournies par les satellites, les PPI des radars météorologiques et les champs (de précipitation) restitués à partir d'un réseau de capteurs, a été mis au point [43].

Ce qui précède montre bien l'intérêt suscité par cette nouvelle technique qu'est la télé-détection dans le domaine qui nous préoccupe. Cependant, il est évident que subsistent de nombreux problèmes, d'ordre technologique et méthodologique.

#### Technologie

— Résolution au sol : la situation devrait s'améliorer avec la mise sur orbite de SPOT et la disponibilité des données de LANDSAT [4].

— Répétitivité : là il semble que la situation ne soit pas près de s'améliorer significativement et que le suivi par télé-détection satellitaire des événements hydrologiques à développement rapide ne soit pas pour demain.

— Hyperfréquences actives : bien que cette technique soit prometteuse, notamment pour l'étude de l'humidité des sols, il n'est pas prévu de radar embarqué sur SPOT et les définitions au sol des satellites existants n'autorisent que des études régionales.

#### Méthodologie

Un gros effort reste à fournir pour mettre au point de nouvelles méthodologies. La télé-détection, nouveau regard porté sur notre environnement, ne résoudra pas tout, mais devrait être vue comme un complément d'information d'un type différent, nécessitant donc une approche différente de la part des utilisateurs.

#### Bibliographie

- [1] *Nouvelles de Spot* (Publication semestrielle) :
  - CNES : 129, rue de l'Université, F 75327 Paris Cedex 07.
  - Spot Image : 18, avenue Edouard-Belin, F 31055 Toulouse Cedex.
- [2] *OPIT*. — Quatre ans d'activités (1976-1980), OPIT, Paris 1981.
- [3] *Etat de l'art en Télé-détection*. — Paris, OPIT, 1977, 4 vol. : 2<sup>e</sup> ed. 1979 :
  - 1<sup>ère</sup> partie — Chapitre 1 : La saisie des données, les principes physiques et la problématique de leur interprétation, 173 p. — F. BECKER *et al*.

- 1<sup>ère</sup> partie - Chapitre 2 : Les traitements en télédétection, 121 p. - G. de MONTRICHER, B. GAIGNEROT, J. DUVERNOY.
- 2<sup>e</sup> partie - Chapitre 1 : Télédétection et aménagement; 214 p. - M. BIED-CHARRETON *et al.*
- 2<sup>e</sup> partie - Chapitre 2 : Ressources en eau et Télédétection, 156 p. - Cl. VALERIO, Y. VUILLAUME.
- [4] *Expressions des besoins des administrations responsables des ressources naturelles et de la gestion du territoire.* - Paris, OPIT/CNES, 1978, 4 vol. : 2<sup>e</sup> éd., 1980 :
  - Aménagement du territoire, 183 p. - M. BIED-CHARRETON, P. GONFREVILLE.
  - Ressources en eau, 126 p. - P. GONFREVILLE.
  - Agriculture, 56 p. - Ph. FOURNIER.
  - Forêt, 47 p. - Ph. FOURNIER.
  - Tableaux synoptiques, 47 p.
- [5] *Les rencontres de Sophia-Antipolis.* - Présentation générale et documents de base. Paris, OPIT/CNES, 1980, 55 p.
- [6] *Analyse d'expérimentation de Télédétection.* - F. GAGNIER, E. JOLY, Paris, OPIT/CNES, 475 p.
- [7] *Analyse d'expérimentations de Télédétection (compléments) et programme Lacie.* - F. GAGNIER, E. JOLY, Paris, OPIT/CNES, 1980, 119 p.
- [8] *Approche bibliographique d'applications opérationnelles de la Télédétection.* - Paris, OPIT/CNES, 1980, 103 p.
- [9] *Laboratoires et organismes de Télédétection. Moyens et activités. Bibliographie.* - F. GAGNIER, Paris, OPIT/CNES, 1980, 240 p.
- [10] *Livre blanc : Pour une politique française de télédétection.* - Paris, OPIT, 1980 (en cours) :
  - 1<sup>ère</sup> partie : L'enjeu, 16 p.
  - 2<sup>e</sup> partie : Principes. Applications, 83 p.
- [11] *Mythes, réalités et perspectives de la Télédétection spatiale.* - J.L. PITON, Ph. TOUYAROT, M. WOHRER, Paris, OPIT, 1979, 86 p.
- [12] *Les Cahiers de l'OPIT :*
  - N° 0 : Sommaire, p. 116. Paris, AUT, Octobre 1979, 36 p.
  - N° 1 : Sommaire, p. 116. Paris, AUT, Hiver 1980, 36 p.
  - N° 2 : Sommaire, p. 117. Paris, AUT, Printemps 1980, 36 p.
  - N° 3 : Sommaire, p. 117. Paris, AUT, 3<sup>e</sup> trimestre 1980, 36 p.
  - N° 4 : Sommaire provisoire, p. 118. Paris, AUT, à paraître fin 1980.
- [13] *Cartographie de l'enseignement du Massif Central par télédétection.* - G. SAINT, Ph. HEBERT (CNES), C. LEPRIEUR, (GDTA), M. DENEAU (EDF). Présenté au 15<sup>e</sup> symposium international sur la télédétection de l'environnement. ANN Arbor, Mi, mai 1981.
- [14] *Etude de l'enseignement pyrénéen par télédétection à l'aide du satellite LANDSAT.* - C. LEPRIEUR, Thèse de Docteur-Ingénieur, Toulouse, France, 10.04.1979.
- [15] *Expérimentation Brenne - Eau libre.* - J.-P. LE GORGEU, Paris, OPIT, 1980, 33 p., 17 fig.
- [16] *Expérimentation Sologne - Eau libre.* - J.-P. LE GORGEU, Paris, OPIT, 1980, 10 p., 5 fig., 1 carte coul. h.t.
- [17] *Expérimentation Dombes - Eau libre.* - J.-P. LE GORGEU, Paris, OPIT, 1980, 23 p., 1 carte coul. h.t.
- [18] *Détermination des causes des anomalies des crues du Niger.* - Rapport de synthèse 1975-1977. Ministère de la Coopération, ORSTOM-BDPA.
- [19] *Suivi de phénomènes hydrologiques périodiques à l'aide du satellite géostationnaire GOES.* - B. GUILLOT, *La Météorologie*, t. 6, n° 27, décembre 1981, p. 5 à 9.
- [20] *Influence de la construction des réservoirs dans le bilan hydrologique du fleuve Acarau (Nordeste du Brésil).* - R.A. BARBOSA de OLIVEIRA, Thèse de Docteur-Ingénieur, ORSTOM, Paris VI, Paris, 1982.
- [21] *An active method for measuring thermal infrared effective emissivities, implications and perspective for remote sensing.* - F. BECKER, W. NGAI and M.P. STOLL, *Adv. Space Res.*, 1, 1981, 193-210.
- [22] *Reflectance bidirectionnelle et émissivité.* - P. RAMANANTSIZEHENA, M.P. STOLL and F. BECKER, International Colloquium on spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Avignon 8-11 septembre 1981.
- [23] *Analyse de l'environnement par traitement informatique des données LANDSAT. Un exemple : l'humidité des sols.* - M.-C. GIRARD, J.-P. ROGALA. - Intern. Archives of Photogrammetry, vol. XXIII, Hambourg, 1980, p. 335-344.
- [24] *Rapport annuel d'activités.* - Ch. KING, Laboratoire de pédologie, INA-P-G, avril 1982.
- [25] *Possible use of active microwave remote sensing data for prediction of regional evaporation by numerical simulation of soil water movement in the unsaturated zone.* - R. BERNARD, M. VAUCLIN and D. VIDAL-MADJAR, Centre de Recherches sur la Physique de l'environnement - IMG, in *Water Resources Research*, vol. 17, n° 6, p. 1603-1610, december 1981.
- [26] *C Band radar for determining surface soil moisture.* - R. BERNARD, Ph. MARTIN (CRPE), J.-L. THONY, M. VAUCLIN (IMG), D. VIDAL-MADKAR (CRPE), in *Remote Sensing of Environment*, 12, 189-200 (1982).
- [27] *Contribution à l'utilisation des micro-ondes dans l'étude des sols.* - C. KING, Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Doc. photocopié 122 p. (1979).

- [28] *Utilisation de la thermographie IR pour l'estimation de l'évaporation régionale :*  
 - I : Mise au point méthodologique sur le site de la CRAU. - B. SEGUIN (INRA Avignon), S. BAEZ (Ecole des Mines de Paris, Sophia-Antipolis), J.-M. MONGET et V. PETIT (CIG-Ecole des Mines de Paris), Agronomie, 1982, 2 (1), 7-16.  
 - II : Résultats obtenus à partir des données de satellites - Agronomie, 1982, 2 (2), 113-118.
- [29] *Estimates of regional evapotranspiration in south-eastern France using thermal and albedo data from heat capacity mapping mission, satellite.* - P. REINIGER, J. HUYGEN et J. MEGIER (CED-ISPRA), B. SEGUIN (INRA Avignon). Communication présentée à la première conférence thématique, télédétection et pays arides et semi-arides, Le Caire, janvier 1982.
- [30] *Détermination de l'évaporation réelle dans les bilans hydrologiques par la télédétection en thermographie infrarouge.* - B. SEGUIN (INRA Avignon), *Hydrological Sciences - Bulletin des Sciences Hydrologiques*, 25, 2, 6/1980.
- [31] *Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par Télédétection.* - M. LOINTIER, S. PIEYNS Télédétection 4 - Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 1982.
- [32] *Utilisation de la télédétection infrarouge aérienne pour l'étude de la dynamique fluviale du Rhin.* - J. TRAUTMANN, *Annales de géographie*, n° 499 1981.
- [33] *Measurement and mapping of the absolute surface temperature of water surfaces by remote sensing.* - F. BECKER, D. BLUMENRO EDER, E. HECHINGER, A. HOURANI, B. RAMEY and J. TRAUTMANN, C. DECHAMBENOY and A. PELLEGRIN. 13<sup>e</sup> symposium international de télédétection de l'environnement, Ann Arbor, Michigan, 1979.
- [34] *Mesure et cartographie de la température absolue de la surface des eaux par télédétection infrarouge aérienne et applications au Rhin et au système Rhin-Ried.* - F. BECKER, E. HECHINGER, A. HOURANI, A. ENGELMANN, F. SIROU et J. TRAUTMANN. Compte rendu de contrat DGRST 77, 70078, décembre 1979.
- [35] *Applications opérationnelles de la thermographie aéroportée en zone côtière méditerranéenne (dynamique et qualité des eaux).* - R. BURKHALTER, Montpellier, OPIT/CERGA, 1979.
- [36] *Approche diachronique par télédétection. Les zones turbides en milieu littoral.* - Y.F. THOMAS et R. ZBINDEN, Brouillons Dupont n° 5, 1980, p. 147-171.
- [37] *Etude par télédétection des eaux turbides de certaines zones côtières françaises.* - J. CASSANET, Y.F. THOMAS, H.R. YOO, R. ZBINDEN. Centre National pour l'Exploitation des océans, Contrat 79-2011, Paris, t. 1, 1980 et t. 2, 1981.
- [38] *Radiométrie hyperfréquence : Application à la télédétection des précipitations en mer.* - P. LEBORGNE, Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, CMS Lannion.
- [39] *Quelques développements et utilisations des traitements interactifs de l'imagerie satellitaire à l'échelle régionale. Etude du problème de l'estimation des zones de précipitation.* - F. MARQUINEZ, Note de travail ENM, mai 1982.
- [40] *Imagerie satellitaire et précipitation.* - G. FROMENT. Note technique de l'ERM, janvier 1980.
- [41] *Utilisation du satellite géostationnaire METEOSAT. Etude de la répartition de la convection sur les régions intertropicales africaines.* - H. BERTHOU et A. NOYALET. A paraître. Cahiers ORSTOM, série télédétection.
- [42] *Projet "Aramis" : le réseau français de radars météorologiques.* - M. GILET, P. DAVID, C. GAILLARD, J. TARDIEU. Météorologie Nationale, Observatoire de Magny-les-Hameaux. Observatoire de Trappes. Communication au Colloque de Hambourg, 1983.
- [43] *Chaîne "Sarah", traitement des images radar, satellite... sur un même repère géographique.* - J. TARDIEU, Direction de la Météorologie, Observatoire de Magny-les-Hameaux. Communication au Colloque de Hambourg, 1983.