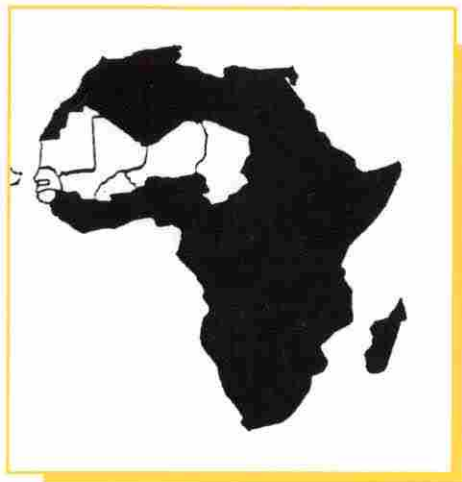


OCDE/OECD

Organisation de Coopération
et de Développement Economiques

Organisation for Economic
Co-operation and Development



CLUB DU SAHEL

4317

CILSS

Comité permanent Inter-Etats
de Lutte contre la Sécheresse
dans le Sahel

Permanent Inter-State Committee
for drought Control in the Sahel

Compte rendu de la conférence sur la télédétection satellitaire au service du Sahel

Palais des Congrès, NIAMEY, Niger
20-22 juin 1989

SAHEL CR (89)61
Octobre 1989

Distribution générale
Or.Fr.

Les idées exprimées et les faits exposés dans cette étude
le sont sous la responsabilité de ses auteurs et n'engagent
pas nécessairement l'OCDE, le Club du Sahel ou le CILSS.

Mots clés : Télédétection/Pluviométrie/Agrométéorologie
Agrhymet/Alerte Précoce/Indice de végétation
Prévisions de rendement/Surfaces cultivées
Estimation de récolte/Produits satellitaires
Recherches/Stations de réception/utilisateurs/
coordination/Hydrologie/pâturages

TABLE DES MATIERES

	Pages
I. Introduction	1
I.1. Communiqué de presse	4
I.2. Ordre du jour	5
I.3. Liste des participants	6
I.4. Liste des documents	12
I.5. Extrait du rapport de M. Roger PONS	15
II. Séance inaugurale	
II.1. Discours de M. Terry LAMBACHER	41
II.2. Discours de M. Brah MAHAMANE	43
II.3. Discours de M. le Ministre Brigi RAFINI	46
III. Compte rendu des sessions de travail	
III.1. Première session : Les caractéristiques de la télédétection, ses possibilités, ses contraintes (exposé de MM. LOVELAND & MOORE)	51
III.2. Deuxième session : La télédétection et le Sahel : les structures, les produits (exposé de M. DOMERGUE)	63
III.3. Troisième session : La pluie et la télédétection (Exposé de M. GUILLOT)	83
III.4. Quatrième session : Le suivi de la végétation et les systèmes d'alerte précoce : étude des coûts (exposé de M. LECHAPT)	98
III.5. Cinquième session : Détermination des cultures : types et surfaces emblavées (exposé de M. OUATTARA)	111
III.6. Discussion générale - Conclusions - Recommandations	134
IV. Séance de clôture	
IV.1. Déclaration de M. Dodo AMADOU	145
IV.2. Remerciements de M. Tidiani DIARRA	147
IV.3. Discours de M. Terry LAMBACHER	148
IV.4. Discours de M. Brah MAHAMANE	149
IV.5. Discours de M. le Ministre Brigi RAFINI	150

CHAPITRE I
INTRODUCTION

INTRODUCTION

COMPTE RENDU DE LA CONFERENCE SUR LA TELEDETECTION SATELLITAIRE AU SERVICE DU SAHEL (NIAMEY PALAIS DES CONGRES 20/22 JUIN 1989)

Considérant l'intérêt porté par le Club du Sahel à cette jeune technologie qu'est la télédétection satellitaire et le bilan dressé par Roger PONS l'an dernier à ce sujet, à la demande du Club, ce dernier et le Secrétariat Exécutif du CILSS ont conjointement organisé une conférence spéciale qui s'est tenue à Niamey du 20 au 22 juin 1989.

Le but premier de cette rencontre non technique était d'ouvrir un dialogue, jusqu'ici inédit, entre les spécialistes et les utilisateurs sahéliens, afin de mieux orienter les travaux et les produits vers les besoins réels des responsables de la région, et aussi, de familiariser ces derniers avec la télédétection.

De l'aveu unanime des 70 participants à ces débats animés et instructifs, ce premier objectif a bien été atteint. La plupart d'entre eux ont, d'ailleurs, exprimé le souhait que cette expérience se renouvelle d'ici quelque temps sous une forme à définir.

La conférence, qui s'est tenue au Palais des Congrès de Niamey, a en outre permis aux spécialistes venus du Sahel, d'Amérique du Nord et d'Europe, d'échanger des informations sur leurs recherches, résultats, projets et espoirs. En effet, le bilan effectué, l'an dernier, à la demande du Club du Sahel a fait apparaître clairement la nécessité de mieux coordonner les activités et les structures.

Les travaux ont été précédés et suivis de deux séances officielles présidées par M. Brigi RAFINI, ministre nigérien de l'Agriculture et de l'Environnement, en présence de plusieurs ministres, de membres du corps diplomatique, de hauts fonctionnaires et représentants des agences d'aide, ainsi que de la presse.

Les séances de travail, présidées alternativement par M. Brah MAHAMANE, Secrétaire Exécutif du CILSS, et M. Terry L. LAMBACHER, du Club du Sahel, ont donné lieu à des débats ouverts et directs sur les multiples questions que pose l'application de la télédétection satellitaire aux neuf pays du CILSS. Divers produits, plus ou moins opérationnels, ont été présentés aux utilisateurs sahéliens invités par le Club du Sahel : responsables de l'agriculture, de l'élevage ou des statistiques agricoles des pays sahéliens, membres des organisations régionales chargés du suivi de la campagne, de la lutte contre les acridiens ou encore du suivi hydrologique.

A côté de ces responsables directs, l'assistance comprenait aussi des délégués des organisations internationales (OMM, FAO, PNUD-UNSO, CEE), ainsi que les donateurs venus des pays

industriels qui contribuent dans la région (USAID, Coopération française, Coopération néerlandaise).

Devant ce parterre de spécialistes, les profanes ont laissé libre cours à leur curiosité et fait part de leurs opinions sur les produits offerts (cartes synoptiques, documents, estimations pluviométriques, indices de végétation, surfaces emblavées ou récoltées, etc...). Pour eux, ces produits doivent être adaptés aux besoins et il est indispensable de coordonner les activités relevant de cette nouvelle technologie, avec celles plus classiques et traditionnelles voire concurrentes, des hommes de terrain.

Par contre, la conférence s'est félicitée des apports déjà significatifs de la télédétection, notamment en matière de pluviométrie, de suivi de la campagne agricole et d'alerte précoce. La conférence a, en outre, fait observer que cette technique de pointe exigeante a un effet d'entraînement réel au Sahel où elle contribue indirectement à l'essor des télécommunications modernes, des nouveaux moyens informatiques ainsi qu'à la formation de spécialistes, opérateurs, chercheurs et personnel d'encadrement. Parallèlement, elle permet aux utilisateurs de se familiariser avec d'autres types d'équipements.

Outre une belle et édifiante exposition tenue sur les lieux mêmes de la conférence, les 70 participants ont pu découvrir le matériel moderne du Centre Régional du programme AGRHYMET, lors de la visite spéciale organisée à leur intention; ils ont été particulièrement intéressés par la station de réception des données des satellites NOAA et par l'unité de traitement de ces données. Cette installation unique en Afrique est désormais en service. Les visiteurs ont pu ainsi assister à la sortie des cartes d'indices de végétation de la région sahélienne établies en temps réel.

Le présent document représente le compte rendu détaillé de la conférence. Il eut été pratiquement impossible, dans un rapport comme celui-ci, de relater intégralement les interventions des 70 participants pendant la quinzaine d'heures qu'ont duré les débats. Ceux-ci sont donc rapportés d'une façon résumée, et parfois même regroupés. En revanche, les exposés introductifs à chaque session de travail figurent in extenso.

Compte-tenu de la composition de l'ordre du jour et de l'ordonnance des débats, il est apparu opportun d'adopter une relation chronologique. Le lecteur pourra ainsi vivre, ou revivre, la conférence telle qu'elle s'est déroulée, pour l'essentiel.

Enfin, ce compte rendu de la Conférence de Niamey, rédigé directement par le Secrétariat du Club du Sahel afin d'être diffusé dans des délais relativement brefs aux participants de cette rencontre, est disponible en français et en anglais en s'adressant soit au Club du Sahel, soit au Secrétariat Exécutif du CILSS.

Terry L. LAMBACHER

I.1. CONFERENCE SUR LA TELEDETECTION SATELLITAIRE AU SERVICE DU SAHEL

COMMUNIQUE DE PRESSE

A l'initiative conjointe du Secrétariat Exécutif du CILSS (Comité permanent inter-états pour la lutte contre la sécheresse au Sahel) et du Club du Sahel/OCDE, une conférence restreinte sur "la télédétection satellitaire au service du Sahel" se tiendra au Palais des Congrès de Niamey, les 20-21 et 22 juin 1989.

Le but premier de cette rencontre non technique est d'établir un dialogue entre les spécialistes de cette technologie nouvelle au Sahel, et ses utilisateurs sahéliens. Elle devrait permettre d'orienter correctement les travaux et les produits vers les besoins réels des responsables de la région et de familiariser ceux-ci avec la télédétection.

En outre, cette conférence fournira aux spécialistes l'occasion d'échanger leurs informations. Elle favorisera ainsi une meilleure coordination des actions et des recherches en cours dans la région et au dehors (Europe, Amérique du Nord).

Les travaux étalés sur trois journées seront ouverts et clôturés sous la présidence du Ministre de l'Agriculture et de l'Environnement, Membre du CSON (Conseil Supérieur d'Orientation Nationale) du Niger. Les séances de travail ont été organisées afin de permettre de larges discussions pratiques entre le monde des spécialistes de la télédétection et celui de ses utilisateurs sahéliens.

Parmi les 70 participants attendus à Niamey figurent, outre les représentants de ces deux groupes, ceux des donateurs qui financent les opérations et recherches sur la télédétection.

Une visite du Centre régional AGRHYMET, implanté à Niamey, est prévue pour les participants qui pourront ainsi découvrir la station de réception et de traitement des données du satellite NOAA, entrée en service depuis quelques mois. Cet important équipement fournit désormais aux pays du CILSS des cartes de végétation et autres produits, grâce auxquels le suivi de la campagne agricole et pastorale se trouve considérablement amélioré.

I.2. CONFERENCE SUR LA TELEDETECTION SATELLITAIRE AU SERVICE DU SAHEL

Niamey, 20-22 juin 1989

Ordre du Jour

Mardi 20 juin

- 10h00 Séance d'ouverture par le Ministre nigérien de l'Agriculture et de l'environnement. Discours précédé de deux brèves allocutions de Monsieur Brah Mahamane, Secrétaire Exécutif du CILSS et de Monsieur Terry Lambacher du Club du Sahel.
- 11h00 à Les caractéristiques de la TDT : ses possibilités, ses contraintes
- 12h30 Exposé introductif par Monsieur D. Moore (USGS) suivi des questions de l'auditoire.
- 14h30 à La télédétection et le Sahel : structures, produits
- 17h00 Exposé introductif par Monsieur J.L. Domergue, Ministère français de la Coopération. Discussion générale et réponses aux questions de l'auditoire.
- 17h15 à Visite du Centre régional Agrhymet
- 18h30
- 19h00 Cocktail à l'Hôtel GAWEYE.

Mercredi 21 juin

- 9h00 à La pluie et la télédétection
- 12h30 Exposé introductif par Monsieur B. Guillot (CMS Lannion). Discussion générale.
- 14h30 à Le suivi de la végétation et les systèmes d'alerte précoce.
- 17h30 Etude des coûts, et de la "rentabilité" de la télédétection, notamment pour l'alerte précoce. Exposés introductifs de Monsieur G. Lechapt, AGRHYMET.

Jeudi 22 juin

- 9h00 à Détermination des cultures : types et surfaces emblavées.
- 12H30 Exposé introductif de Monsieur F. Ouattara, AGRHYMET. discussion générale.
- 14h00 Session finale : conclusions, recommandations.
- 17h00 Discours de clôture du Ministre nigérien de l'Agriculture et de l'Environnement.

I.3. CONFERENCE SUR LA TELEDETECTION AU SERVICE DU SAHEL

Niamey, 20-22 juin 1989

REMOTE SENSING CONFERENCE
Niamey, 20-22 June, 1989

Liste des participants - List of Attendees
(par ordre alphabétique/by alphabetical order)

NOM/NAME	TITRE/TITLE	ADRESSE/ADDRESS
ADRIAN JAMIE	Assistant Project Officer	AID, Ambassade des Etats-Unis, B.P. 11201, Niamey, Niger
BA IBRAHIMA DEMBA	Coordonnateur Diaper	CILSS, B.P. 7049, Ouagadougou, Burkina Faso
BADOLO GASPARD	Chef, Service Statistiques Agricoles	Min. de l'Agriculture et de l'Elevage, B.P. 7010, Ouagadougou, Burkina Faso
BAUDRY FRANCOIS	Chargé de Programme, Représentant FAO	B.P. 11246, Niamey, Niger
BERGES JEAN CLAUDE	Responsable Station de Réception	Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
BETOLOUM NEASMIANGODO	Chef, Service climatologie	Direction Ressources en eau et de la météo. Min. de l'Agriculture, B.P. 429, N'Djaména, Tchad
BOULAND PATRICK	Directeur, Assistance aux utilisateurs	Centre Régional de Télédétection (CRTO), B.P. 1762, Ouagadougou, Burkina Faso
BRAH MAHAMANE	Secrétaire Exécutif du CILSS	CILSS, B.P. 7049, Ouagadougou, Burkina Faso

CHAVEZ ROBERT	Conseiller	Délégation de la CCE, B.P. 10388, Niamey, Niger
CUNIN LAURENT	Analyste télédétection	Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
CUQ FRANCOIS	Chercheur, IMAGEO	CNRS, 191, rue St. Jacques, 75005 Paris, France
DALIBARD CHRISTOPHE	Conseiller technique, Direction de la production et des Industries Animales	Coopération française, Min. des Ressources Animales, B.P. 12828, Niamey, Niger
DELMOTTE ALAIN	Agro- météorologiste	FAO, 00100 Rome, Italie
DELORME PASCAL	Expert projet CILSS-FED "Surveillance des Ressources renouvelables"	SODETEG.TAI, c/o Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
DENDA ISSA	Direction des Etudes et de la Programmation	Min. des Ressources Animales, B.P. 12168, Niamey, Niger
DIARRA TIDIANI	Chef Division Statistiques Agricoles	Direction Nationale de l'Agriculture, B.P. 1098, Bamako, Mali
DIEDHIOU IBRAHIMA	Ingénieur agronome, Chef Projet surveillance	Min. du Développement Rural, Direction de l'Agriculture, B.P. 486, Dakar, Sénégal
DIOP AMADOU BACHIROU	Directeur de la météorologie nationale	Min. de l'Equipe- ment, B.P. 4287, Dakar, Sénégal
DODO ADAMOU	Directeur des Statistiques de l'Agriculture	Min. de l'Agriculture et de l'Environnement, B.P. 12091, Niamey, Niger
DOMERGUE JEAN-LOUIS	Chargé de Mission	Min. de la Coopération, 20, rue Monsieur, Paris, France

DUGDALE GEORGE	Principal Research Fellow	Depart. of Meteorology, University of Reading, 2, Early Gate, Reading RG6 2AU, Royaume Uni
EL HADJ HADJER MAHMOUD	Directeur Adjoint Elevage	Direction Elevage, Ministère de l'Elevage, des Ressources Animales, B.P. 750, N'Djaména, Tchad
FOFANA SANOUSSE	Directeur des Productions Végétales	Min. de l'Agriculture et de l'Elevage, B.P. 7028, Ouagadougou, Burkina Faso
GAMATIE BOUBACAR	Responsable Station Réception photos-satellites	ASECNA, B.P. 1009, Niamey, Niger
GUILLOT BERNARD	Responsable Unité de Télédétection	ORSTOM, Centre de Météorologie spatiale, B.P. 147, Lannion, France
HIELKEMA J.U.	Coordinator, Environmental Monitoring Group	Remote Sensing Centre, FAO, 00100 Rome, Italie
HIERNAUX PIERRE	Coordonnateur programme de recherche	CIPEA, B.P. 60, Bamako, Mali
HOEPFFNER MICHEL	Responsable UR1B	ORSTOM, B.P. 5045, Montpellier, France
IMBERNON JACQUES	Ingénieur de Recherches	IRAT/CIRAD, B.P. 5045, 34032 - Montpellier, France
JOSSERAND HENRI	Research Scientist	University of Michigan, c/o USAID, B.P. 11201, Niamey, Niger
KASSAR ABDELAZIZ	Président, Commission de Météorologie agricole	OMM, B.P. 156, Tunis Carthage 2035, Tunisie

LAGOUARDE JEAN. P	Chargé de Recherches	Station de Bioclimatologie, INRA, 84140 - Montfavet, France
LALAU-KERALY ALAIN	Chargé de Mission	OSCE, Division C4, Bâtiment JMO, Kirchberg, L-2920 Luxembourg
LAMBACHER TERRY L.	Conseiller	Club du Sahel/OCDE, 39/41 Bd. Suchet, Paris, France
LE BARBE LUC	Représentant de l'ORSTOM	ORSTOM, B.P. 11416, Niamey, Niger
LECHAPT GILLES	Directeur de l'exploitation	CRA, Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
MAIDOUKIA ALIO	Chef Service agrométéorologie	Direction de la Météorologie Nationale, B.P. 218, Niamey, Niger
MALACAMP JEAN	Ingénieur commercial (Afrique)	SPOT IMAGE, 16 bis, ave. E. Belin, 31030 Toulouse, France
MANDENG AUGUSTIN	Représentant Régional et Chef Bureau Régional	UNSO, Ouagadougou, Burkina Faso
MONARD-JAHIEL ANNIE	Responsable de l'Antenne de biomodélisation éco-acridologue	CIRAD/PRIFAS/FAC, B.P. 11285, Niamey, Niger
MOORE DONALD	Manager, International Projects	USGS/EROS, Sioux Falls, South Dakota, Etats-Unis
MORAIS JULIO	Head of Department of Natural Resources	Min. du Développement Rural, C.P. 50, Praia, Iles du Cap- Vert
NEGRE THIERRY	Service Agrométéorologie	FAO, 00100 Rome, Italie

N'DIAYE AMADOU	Directeur	Centre de Suivi écologique (CSE), s/c PNUD, B.P. 154, Dakar, Sénégal
NEUVILLE GUY	Regional Remote Sensing Advisor	Regional Center for Services in Surveying, Mapping and Remote Sensing, B.P. 18118, Nairobi, Kenya
NGARA TODD	Director	SADCC, Box 4046, Harare, Zimbabwe
NOEL JACQUES	Chef Mission Téledétection	ORSTOM, 213, rue Lafayette, 75010 Paris
ODENYO VICTOR	Chief, Technical Adviser	FAO, B.P. 3730, Harare, Zimbabwe
OLSSON JONATHAN	Technical Advisor to FEWS	AID AFR/TR, Department of State, Washington, D.C. 20520, Etats-Unis
OUATTARA NIAMA FREDERIC	Coordonnateur Projet CILSS-FED, "Surveillance des Ressources renouvelables"	Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
PONS ROGER	Consultant, Club du Sahel	39-41, Bd. Suchet, Paris, France
PREVOST YVES	Consultant, UNSO	B.P. 154, CSE PNUD, Dakar, Sénégal
REGINSTER YVES	Ingénieur Conseil (Agronome)	WALPHOT, B-5100 Namur, Belgique
REID STEPHEN	Planning Advisor	CILSS/USAID, B.P. 7049, Ouagadougou, Burkina Faso
RIGAL DIDIER	Ingénieur (VSN)	Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
SLATTERY JOHN	General Development Officer	USAID, B.P. 11201, Niamey, Niger

SOARES HORACIO S.	Directeur Général	Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
SWANSON RICHARD	Chef d'Equipe USGS/TGS	Centre Agrhymet, B.P. 11011, Niamey, Niger
VAN DER STAAIJ FRANK	Project Officer	Ministère des Affaires Etrangères, Direction de la Coopération internationale, La Haye, Pays-Bas
YERGEAU MICHEL	Consultant, ACDI	Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection, Université de Sherbrooke, J1K 2R1 Québec, Canada

N.B. Cette liste ne comprend pas les auditeurs libres (Centre Agrhymet, Administration nigérienne, organismes internationaux et régionaux, etc.), ni les rapporteurs occasionnels, qui ont assisté partiellement aux sessions de la Conférence. Ce groupe comptait en moyenne une dizaine de membres. Au total les travaux ont été suivis par 70 personnes (60 participants + 10 auditeurs libres).

I.4. LISTE DES DOCUMENTS PRINCIPAUX

- Extraits de "La Télédétection Satellitaire et le Sahel"
Roger PONS

Exposés introductifs

- Les Caractéristiques de la Télédétection : ses Possibilités, ses Contraintes
T. LOVELAND & D. MOORE
- La Télédétection et le Sahel : Structures, Produits
J.L. DOMERGUE
- Estimation des Pluies au Sahel par Télédétection
B. GUILLOT
- Le Suivi de la Végétation par Télédétection au Sahel
G. LECHAPT
- La Télédétection Satellitaire et la Détermination des Productions Agricoles
F. OUATTARA

**1.5. EXTRAITS DE
"LA TELEDETECTION SATELLITAIRE
ET LE SAHEL"**

Rapport de Roger PONS - Réf.OCDE : D.(88) 313
de Septembre 1988

RESUME

La télédétection (TDT) appliquée au Sahel a ses partisans et ses détracteurs. Technique encore bien jeune - la plupart des projets datent de quelques années seulement et les produits vraiment opérationnels sont peu nombreux - elle met en oeuvre des équipes et des moyens matériels importants, au Sahel même et en dehors. Son coût annuel se situe entre 12 et 15 millions de dollars soit l'équivalent du programme Agrhymet. Les actions de recherche foisonnent, les intervenants sont très divers et dynamiques. Les jugements portés sur la télédétection sont souvent tranchés et contradictoires.

Le Club du Sahel a pensé qu'il serait utile de faire un inventaire et de procéder à une évaluation. C'est l'objet du présent rapport qui se divise en trois grandes parties :

- **La première partie est consacrée aux caractéristiques de la TDT.** Les moyens qu'elle exige sont exposés afin de mettre le lecteur au courant des contraintes, des possibilités et aussi des limites respectives des différents satellites, capteurs et systèmes de traitement de données utilisés. A cette occasion, les stations et grands opérateurs sont présentés. Les produits sont analysés à leur tour, selon leur nature : pluviométrie, température, évapotranspiration, indice de végétation, surface cultivée, type de culture, hydrologie, forêts, etc.

Outre leurs qualités intrinsèques et leur fiabilité, ces produits satellitaires sont envisagés en fonction de leur finalité : précipitations, bilan hydrique, état de la végétation, suivi des cultures et des pâturages, prévision de rendement, prévision et évaluation des récoltes, cultures de décrues, désertification, menace acridienne, etc.

- **La deuxième partie contient l'inventaire des activités** déployées en TDT, c'est-à-dire l'ensemble des projets et opérations qui concernent son application au profit des pays du CILSS.

Il a semblé intéressant de faire ce bilan en examinant le rôle joué par chacun des grands acteurs : Etats-Unis, Europe, FAO, PNUD, CILSS (programme Agrhymet essentiellement) ainsi que par le CRTO, le projet ACMAD et le Sénégal, pays où les techniques spatiales donnent lieu à de nombreux projets. Cette partie s'achève avec des tableaux synoptiques où apparaissent ces multiples opérations, classées successivement par thème, par promoteur ou opérateur, par pays.

- **La dernière partie représente l'appréciation portée sur la valeur des produits et techniques satellitaires pour les pays sahéliens.** Leur contribution est examinée, comparativement à celle des produits concurrents ou complémentaires obtenus selon les méthodes traditionnelles. Plusieurs idées maîtresses ressortent de cet examen :

- . il est trop tôt pour juger la rentabilité de la TDT au Sahel ; l'évolution de cette technique est rapide et des progrès importants sont raisonnablement possibles d'ici la fin du siècle ;
- . certaines limites se dessinent néanmoins qui inclinent à penser que les phénomènes atmosphériques se prêtent mieux à la TDT que ce qui se passe au niveau du sol ; la contribution et l'utilité de la TDT vont et risquent d'aller en décroissant depuis la climatologie - en particulier la pluviométrie où elle est indispensable - au suivi des cultures et des pâturages pour lequel les indices de végétation sont utiles, jusqu'aux prévisions de rendement encore incertaines et surtout les prévisions de récoltes pour lesquelles la mesure des surfaces cultivées et la discrimination des cultures buttent sur des difficultés majeures, techniques ou économiques ;
- . l'essor manifeste de la TDT dans le monde et au Sahel en particulier, conjugué avec les progrès attendus pour ce qui touche à son nécessaire environnement (station de réception HRPT des données NOAA au Centre Régional Agrhymet de Niamey, télécommunications, micro-ordinateurs, etc.) et à sa gestion (formation de spécialistes sur le tas et dans des stages extérieurs) devrait, dans un avenir assez proche, aboutir à une meilleure exploitation des données satellitaires ;
- . les retombées de la TDT bénéficieront surtout aux systèmes nationaux et régional d'alerte précoce, aux responsables de l'agriculture et à ceux de l'élevage et, dans une moindre mesure, aux Services de statistiques agricoles. Il ne faut pas négliger les applications plus particulières : cultures de décrue, environnement, lutte anti-acridienne, déboisement, etc., domaines où les techniques spatiales sont souvent les seules praticables à l'échelle des grands espaces sahéliens ;
- . l'idée d'utiliser exclusivement, soit la TDT, soit les méthodes de terrain, n'est guère judicieuse ; le plus souvent les deux techniques doivent être pratiquées d'une manière combinée. Reste à trouver la part optima de chacune, ce qui exige une réelle coopération de tous les intéressés et des expérimentations. Fort heureusement, un certain nombre de projets de recherche en cours sont conçus dans cet esprit.

La conclusion du rapport contient une série de recommandations dont la mise en oeuvre serait de nature à améliorer la productivité des multiples efforts faits pour appliquer la TDT aux pays sahéliens :

- coordination des programmes et projets de recherche et expérimentations afin d'éviter les travaux inutilement concurrents. A l'initiative du Secrétariat exécutif du CILSS et du Club du Sahel, une instance conjointe (pays du CILSS et pays ou organismes étrangers promoteurs de ces travaux) pourrait **organiser périodiquement** (1 fois l'an par exemple) **des rencontres consultatives** d'où naitrait peu à peu l'harmonisation qui fait vraiment défaut;

- création dans le cadre du CILSS, à l'initiative du Secrétariat exécutif, d'un organe plus directif pour coordonner, tant au plan régional que national, les opérations courantes de TDT. Il s'agirait de faire en sorte que les tâches soient judicieusement réparties entre le Centre régional Agrhymet, les Etats membres du CILSS, le CRTO, ACMAD et les stations de réception ou de traitement de données (CRODT - UTIS, etc.) afin d'éviter le gaspillage, les doubles emplois et les erreurs d'équipement. Cette instance, dont le CRA assurerait le secrétariat, serait ouverte à titre d'observateur aux grands organismes étrangers donateurs ou qui coopèrent techniquement avec les services spécialisés sahéliens (FAO, CMS Lannion, etc.) ;

- l'idée émise par certains de rassembler progressivement au CRA Agrhymet de Niamey l'essentiel des moyens et opérations courantes de TDT pour le Sahel est séduisante. Elle permettrait probablement, au plan régional, une certaine synergie et des économies de personnel et de matériel. Mais elle paraît difficilement réalisable, tant pour des raisons techniques que pour des motifs politiques.

En définitive, la télédétection vient depuis quelques années seulement de faire son entrée au Sahel. Elle s'y déploie d'une façon un peu bourgeonnante, notamment par ses projets de recherche nombreux et variés. Déjà, cette technique récente fournit une contribution significative. Même si l'on aperçoit certaines limites dans des domaines où l'on avait espéré davantage, son concours est apprécié par une partie de ceux que préoccupent l'alerte précoce, le suivi des cultures et des pâturages, sans parler de la climatologie. En outre, des progrès substantiels sont attendus à moyen terme.

Mais la TDT coûte cher comparativement aux modestes crédits alloués aux services sahéliens de l'agriculture, des statistiques ou de l'élevage.

Elle impose des équipements sophistiqués et des spécialistes compétents pour la mettre en oeuvre. Tout ceci provoque parfois réserve et appréhension, ce qui ne favorise pas la nécessaire collaboration des gens du «sol» avec ceux de «l'espace». Ces inévitables oppositions devraient peu à peu s'atténuer, pour peu que l'on veuille à associer «thématiquement» tous les intéressés dans des équipes mixtes, qu'il s'agisse des projets de recherche, ou encore des opérations courantes.

Il faut en ce domaine se garder de deux attitudes systématiques également erronées et dangereuses : croire que la TDT peut se substituer à la plupart des moyens traditionnels ou penser au contraire qu'elle n'est qu'une technologie coûteuse, superflue et presque inutile.

Mal dotés par la nature et en proie aux difficultés que l'on sait, les pays sahéliens du CILSS ont au moins la chance d'avoir suscité d'importantes initiatives en TDT. Celle-ci leur apporte déjà une contribution non négligeable, susceptible de se développer dans un avenir proche.

Une double erreur serait, chez les télédétectionnistes, de ne pas faire leurs meilleurs efforts pour bien coordonner leurs actions, éviter les dépenses inutiles, adapter leurs produits aux réels besoins du Sahel et s'insérer harmonieusement dans le dispositif en place ; de la part de tous ceux qui sont attachés, à un titre quelconque, à l'avenir des pays du CILSS (responsables régionaux et nationaux, des agences de coopération ou des organismes internationaux) de se laisser aller à une sorte de réaction de rejet envers la TDT et d'en faire une mal aimée.

INTRODUCTION

«Le technicien introduisit la disquette avec son information numérique que quelque part un satellite avait transmis. Après quoi il se redressa, regarda l'écran vidéo et sa main planota légèrement quelques instructions. Immédiatement, une multitude de signes multicolores apparurent, se déplacèrent, s'ordonnèrent... Une carte parfaite, mosaïque de couleurs multiples, s'était stabilisée sur l'écran. Le technicien la contempla d'un air satisfait... plus que satisfait, ému ! Il reconnut le village où son enquête avait démarré, la route qui menait au sommet de la principale colline... A son sentiment de familiarité avec les éléments de l'image se mêlait le plaisir de découvrir la zone dans sa totalité... il pensait plénitude... Ce que des semaines de parcours sur le terrain ne lui avaient jamais permis de voir, l'image - l'image qu'il venait de générer lui offrait... Le programme tournait sans ennui. Il appuya doucement sur une touche et l'imprimante à jet d'encre se mit à reproduire fidèlement, mais avec des tons plus pastel, la carte colorée de l'écran...»

Extrait de «Télédétection : techniques et applications cartographiques»

A l'automne 1957, lorsque le monde ébahi apprit le lancement du «Spoutnik» par l'URSS, même les observateurs les plus éclairés étaient loin d'imaginer les conséquences qu'allait avoir cet exploit technique.

On ne compte plus les applications de la science spatiale nées au cours des trente dernières années : télécommunications et télévision, aide à la navigation, météorologie et observation de la Terre avec ses nombreux champs d'intérêt, qu'ils soient civils ou militaires. En 1987, 127 lancements ont eu lieu et l'on s'apprête à envoyer dans l'espace le 3 000ème satellite !

Les retombées ont été d'autant plus rapides au cours de cette jeune ère spatiale, qu'elles ont été facilitées par des progrès simultanés et considérables dans d'autres domaines de la science et de la technologie : télécommunications, matériaux nouveaux, informatique, etc.

L'exploration du Cosmos se poursuit vers des horizons fort lointains, avec l'envoi de sondes en direction d'astres très éloignés, après que l'homme eût mis le pied sur la lune dès 1969 grâce aux Etats-Unis. C'est l'affaire avant tout des scientifiques... en attendant de nouvelles retombées.

Pour ce qui concerne la planète Terre, sans qu'on puisse parler encore d'une maîtrise et d'une connaissance complète des applications spatiales, il reste que l'exploitation des satellites a accumulé quantité d'enseignements au cours des deux dernières décennies surtout. En plusieurs domaines, on est vraiment «opérationnel», même si la marge des progrès potentiels est encore substantielle et qu'il faille poursuivre parallèlement les recherches et expérimentations.

L'observation de la Terre figure parmi ces activités spatiales. Elle est encore très jeune, puisque le premier satellite consacré à cette mission a été lancé en 1972, il n'y a guère plus de 15 ans. Les remarquables progrès faits, non seulement pour lancer et positionner les satellites, mais aussi pour ce qui touche aux capteurs embarqués, aux télécommunications, aux moyens de traitement et d'exploitation des données recueillies, ont abouti à donner à la télédétection par voie satellitaire une place croissante.

Cette irruption d'une technique aussi nouvelle, dotée par nature de moyens très modernes et puissants, ne peut pas ne pas déranger, et parfois même bouleverser l'ordre établi dans ses divers champs d'application. Ceci est déjà vrai dans les pays industriels avancés ; comment ne le serait-ce pas bien davantage encore dans les pays en développement, et plus particulièrement dans ceux du Sahel, donc chacun connaît le dénuement en matière de recherche et de technologie de pointe.

Quoi qu'il en soit, on n'arrête pas le progrès. Les promoteurs des applications spatiales le disputent en dynamisme aux chercheurs de la communauté scientifique, sensibles à l'attrait des sciences de l'espace tout comme nombre de jeunes chercheurs ou responsables africains.

Aussi, très vite, la télédétection a fait l'objet d'expérimentations et de projets de recherche en **Afrique sahélienne**, puis d'applications, au fur et à mesure que l'on parvenait au stade pré-opérationnel.

Comme on le verra un peu plus loin, les actions de recherche ou d'expérimentation l'emportent nettement dans les pays du CILSS sur les activités considérées comme déjà opérationnelles. Ces dernières sont pour l'essentiel l'oeuvre du Programme Agrhymet, plus spécialement du Centre régional de Niamey.

L'étude qui va suivre se borne à l'examen des opérations de télédétection orientées principalement vers l'agriculture, l'élevage, l'hydrologie, l'environnement, dans la mesure où elles contribuent aux actions menées, soit par les Etats sahéliens, le Secrétariat exécutif du CILSS, les agences, les donateurs ou les ONG, dans le but d'améliorer la satisfaction des besoins alimentaires, de préserver l'environnement, et plus généralement de concourir au développement rural des pays du Sahel.

D'une part, l'imbrication de la météorologie avec l'agrométéorologie et l'agroclimatologie, d'autre part, le rôle majeur que joue la TDT en météorologie, particulièrement au sud du Sahara, font que ce secteur sera exploré lui aussi, même si la météorologie stricto sensu déborde, ou plutôt précède le cadre de ce rapport.

De même, il ne faut pas que la télédétection par satellite occulte des modes plus anciens de repérage à distance telle la photographie aérienne. L'analyse des projets de TDT en cours au Sahel révélera que cette technique est toujours employée, en association avec la voie satellitaire et tous les autres moyens nécessaires à une bonne observation des ressources terrestres.

Le lecteur remarquera aussi combien la TDT spatiale exige de travaux au sol pour pouvoir être efficace. Les données venues de l'espace seraient inexploitable sans être corrélées, calées, vérifiées sur des échantillons ou des stations de référence à même le terrain.

Enfin, on n'insistera jamais assez sur l'importance cruciale des moyens de communication et de traitement de données qu'impose toute opération de TDT. Ces équipements sont non seulement coûteux en eux-mêmes, mais surtout, ils exigent des agents d'exécution très spécialisés, d'où des charges de formation et d'exploitation récurrentes souvent lourdes. Il s'ensuit une participation extérieure déterminante à la fois aux plans technique, humain comme au plan financier, les Etats du CILSS ne pouvant évidemment réunir eux-mêmes tous ces moyens.

Faut-il s'étonner, au terme de ces diverses considérations, que les projets de TDT tournés vers le Sahel aient pris naissance de manière plus ou moins spontanée, sans véritable coordination ? Les équipes de recherche sont habituées à une certaine autonomie ; le goût de la découverte suscite des compétitions, voire des rivalités, qu'exacerbe parfois le nationalisme ou l'esprit de chapelle. Les agences spécialisées dans l'exploitation des satellites et de tout ce qui les environne ou en dépend, ne sont pas totalement insensibles aux aspects industriels et commerciaux de leurs activités. Les ingénieurs et techniciens qui exploitent les équipements et participent à ces programmes, d'autant plus exaltants qu'ils sont souvent inédits, n'échappent pas toujours à la fuite en avant vers les matériels «dernier cri», provoquant ainsi l'inflation des devis et budgets.

Il n'est pas surprenant non plus que l'engouement suscité par la TDT, plus encore dans le Tiers-Monde qu'ailleurs, ait pour effet d'atténuer parfois la légitime question que doivent dicter le bon sens et une saine gestion : «A quoi cela sert ? Combien ça coûte ?». L'emploi de termes savants pour désigner telle opération, ne doit pas nous faire oublier que l'on agit dans des pays démunis, où les organismes et services chargés de suivre la campagne agricole manquent de beaucoup de choses, y compris des plus élémentaires pour remplir une tâche que la TDT ne peut encore accomplir que très imparfaitement, et à quel prix !

D'un autre côté, les espaces sahéliens offrent un domaine indiqué à cette technologie nouvelle qui, par essence, embrasse un vaste champ, instantanément et avec une périodicité intéressante, alors qu'on manque de stations d'observation au sol, de moyens de communication et de synthèse.

Il est vrai aussi que l'observation spatiale des ressources terrestres est loin d'avoir dit son dernier mot. Sa capacité de progrès est immense, au moins dans certains secteurs.

Le prix de la TDT est élevé certes, mais, là encore, il n'est pas d'exemple qu'une technologie nouvelle ne voit pas son coût s'abaisser avec le temps, sans compter son impact sur le niveau technique de ceux qui l'emploient.

Enfin, la recherche appliquée ne peut aller sans un certain désordre initial, et celui-ci est la rançon de l'esprit de compétition qui permet aux équipes rivales de progresser plus vite et de déboucher sur de nouveaux succès.

Face à cette situation et aux questions posées à propos de la TDT au Sahel par des responsables sahéliens ou par des donateurs quelque peu perplexes, le Club du Sahel a pensé qu'il serait utile de faire le point.

Le présent rapport vise, avant tout, à permettre au lecteur non averti de se faire une opinion sur ce qu'est la télédétection, ce qu'elle peut apporter aux Etats du CILSS, les activités et projets réalisés ou en cours, leur contribution aux activités de développement rural (alerte précoce, suivi et amélioration des cultures, de l'élevage, gestion de l'espace, environnement, hydrologie, etc.). Le concours de la TDT sera évalué non seulement en soi, mais aussi comparativement aux résultats et aux coûts des autres moyens traditionnels concurrents.

Le présent document comporte ainsi :

- une première partie intitulée **«Caractéristiques de la TDT»**, divisée en deux chapitres, le premier consacré aux moyens (satellites, capteurs, traitement des données) et opérateurs, le second aux produits susceptibles d'intéresser les pays sahéliens ;
- une deuxième partie relative à **«l'inventaire des activités de la TDT au Sahel»** par opérateur, chaque projet étant analysé l'un après l'autre (plus d'une trentaine) en distinguant ses objectifs, sa méthode, ses acteurs, ses résultats, l'origine de son financement, etc. ;
- une troisième partie **«contribution de la TDT»** dans laquelle ses apports sont évalués, comparés à ceux des moyens traditionnels lorsqu'ils visent à se substituer à eux, ou appréciés en eux-mêmes quand ils sont complémentaires ;
- une **conclusion** rassemblant les **commentaires, critiques et suggestions** suscités par l'ensemble des analyses et observations qui précèdent.

=====

PREMIERE PARTIE

CARACTERISTIQUES DE LA TELEDETECTION

Etymologiquement, la télédétection est le repérage à distance. Sous ce vocable, on désigne en général les techniques employées à partir d'avions ou de satellites pour obtenir de loin des données sur les objets terrestres et aussi pour traiter ces informations afin d'élaborer des mesures physiques, des cartes ou des statistiques nécessaires aux applications thématiques.

Si la photographie aérienne est déjà assez ancienne, la télédétection par voie satellitaire est une technologie très jeune ; elle s'est développée depuis une quinzaine d'années tout au plus avec le lancement des premiers satellites d'observation de la Terre ou météorologiques.

Les progrès gigantesques réalisés au cours des dernières décennies en matière d'électronique, d'informatique, d'optique, de miniaturisation, de télécommunications, ajoutés à ceux qu'ont connu les secteurs des matériaux nouveaux, du traitement de données, ou encore le domaine spatial ; tout cela explique que les techniques de télédétection aient fait des pas de géant depuis leur naissance, bien que celle-ci soit récente. Il est difficile de dire si ce rythme de progression va durer, ou bien si l'on va marquer le pas. Cette inconnue est importante, on le verra plus loin, lorsqu'il faudra juger de l'avenir des très nombreux projets de recherche et expérimentations en cours au sujet du Sahel. L'ignorance du potentiel d'amélioration des techniques de TDT - et donc de leurs résultats - d'ici la fin du siècle par exemple, interdit pratiquement de porter une appréciation valable sur les chances raisonnables de vulgarisation, à court ou moyen terme, d'expériences dont les résultats sont souvent encore assez loin d'être probants.

Autre caractéristique majeure de la TDT : son niveau technique étant élevé, elle exige des opérateurs très qualifiés ainsi que des équipements et un environnement à la fois sophistiqués et coûteux. Rien d'étonnant donc que la TDT soit pratiquée dans les grands pays industriels les plus avancés et que les implantations encore bien modestes qu'elle connaît dans le Tiers-Monde soient, en fait, des enclaves technologiques, tributaires des matériels et des spécialistes venus des pays avancés.

En revanche, et l'on y reviendra en plusieurs occasions, les vastes étendues de nombre de pays en développement, jointes à une très faible densité de stations ou de moyens d'observation au sol, font que souvent ces régions sont particulièrement indiquées pour la pratique de la TDT. Le Sahel est dans ce cas.

En plein essor, cet outil nouveau n'a pas seulement provoqué l'enthousiasme de tous ceux qui s'en servent, qu'ils soient techniciens, opérateurs ou bien chercheurs ou scientifiques ; il a aussi suscité l'intérêt des responsables des projets de développement, en particulier dans le Tiers-Monde.

Il faut dire que non seulement la TDT progresse à grandes enjambées, mais aussi que son champ d'application est vaste et varié. Elle est devenue l'un des principaux moyens d'information pour assurer l'inventaire et la gestion des ressources naturelles et aménagées comme pour la planification du développement. Elle concourt à la fois à la cartographie : topographique ou thématique, à la géologie et la prospection minière, l'hydrologie, la météorologie, l'océanographie, l'agronomie, l'utilisation du sol, l'aménagement du territoire et l'environnement.

Pour bien juger de l'emploi de la TDT, encore faut-il la connaître quelque peu de l'intérieur, c'est-à-dire s'initier d'une part à tout ce qu'elle exige comme moyens pour fonctionner, d'autre part à la gamme des produits qu'elle procure.

Cette information préalable ne sera pas peine perdue. On en tirera grandement profit lors de l'examen ultérieur des projets de télédétection intéressant le Sahel ; puis au moment de mesurer la contribution de cette technique, comparativement aux moyens traditionnels en usage dans les pays du CILSS pour l'alerte précoce, le suivi des cultures, les prévisions de rendement, les pâturages, l'hydrologie, etc.

TROISIEME PARTIE

CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION AU SAHEL

Au terme de l'inventaire des projets et des actions conduits en utilisant la TDT, il est nécessaire d'apprécier leurs résultats. Ceci revient à s'interroger sur le bénéfice que les pays sahéliens tirent et peuvent escompter dans un avenir proche de ces techniques modernes.

L'avenir est en effet à prendre en considération, car les techniques spatiales et celles qui leur sont associées évoluent si vite qu'en quelques années des progrès significatifs surviennent. Cette considération est à garder à l'esprit lorsqu'on veut juger les mérites de la TDT. Les évaluations qu'on peut faire aujourd'hui sur tel produit satellitaire sont fort différentes de celles que l'on aurait effectuées voici 4 ou 5 ans seulement. En sera-t-il de même dans le futur? Bien évidemment, la courbe du progrès décroît assez rapidement en général, et l'allure de cette marche en avant diminue au fur et à mesure que l'on explore une nouvelle voie. Mais, en de nombreux domaines de la TDT, il y a sans doute encore une bonne marge pour avancer assez vite d'ici la fin du siècle.

Le jugement que l'on porte sur les différentes opérations de TDT, sur leurs produits, sur leur coût, mérite donc d'être nuancé, car il risque d'être éphémère. La prudence est également nécessaire lors des comparaisons avec des produits similaires, plus ou moins concurrents, nés de méthodes appliquées au sol, plus traditionnelles, dont le progrès potentiel est souvent assez réduit.

Ces considérations étant faites, il faut quand même juger la TDT dans ses applications ou recherches expérimentales au profit des pays du CILSS. Plusieurs approches sont possibles. On peut évaluer les produits les uns après les autres, mais ceci a été fait pour une bonne part lors de leur description dans la première partie de ce rapport. Il est possible aussi d'évaluer la contribution satellitaire au niveau des utilisateurs dont les préoccupations en font de bons juges pour dire si tel produit, qu'il soit spécifique ou analogue à d'autres procurables en dehors de la TDT, est valable, voire indispensable, ou au contraire approximatif, secondaire ou même superflu.

Il a paru plus instructif d'avoir recours à cette seconde approche, en l'enrichissant des points de vue portés sur la TDT par ses promoteurs ou commanditaires et aussi par ses opérateurs spécialisés. Comme on le lira ci-après, les avis et commentaires des uns et des autres ne manquent pas. Certains d'entre eux ne sont peut-être pas dénués d'arrière-pensées, soit qu'ils émanent d'équipes plus ou moins en compétition, en particulier dans le vaste secteur de la recherche expérimentale, soit qu'ils proviennent de grands organismes ou de services plus ou moins concurrents ou même hostiles au changement. Les techniques spatiales n'excluent pas plus que d'autres, les chapelles, un certain «nationalisme», l'esprit de système, la prédominance des

grandes institutions. En outre, la projection dans le Sahel démuni, des technologies de pointe et des moyens sophistiqués qu'appelle la TDT provoque un effet de contraste tel, avec ceux dont disposent les services locaux, que des appréhensions, des rejets ou des conflits sont inévitables.

Tout ceci fait que les avis et appréciations des uns et des autres sont intéressants, même s'ils doivent être parfois un peu atténués, ce que nous ne manquerons pas de faire, à l'occasion.

Dans cet esprit, une première remarque s'impose. Elle concerne la critique faite, à juste titre, à la tendance qu'ont certains promoteurs des produits ou des équipements de TDT, à user ou abuser du côté quelque peu «gadget» que peut revêtir parfois cette technique. La citation qui figure en exergue, au début du présent rapport, est typique de ce fâcheux penchant à présenter les images satellitaires sur de coûteux «miroirs aux alouettes» plus ou moins nécessaires, ou en tout cas souvent prématurés, compte tenu de l'environnement technique et des priorités. Cette déviation ne concerne pas que le Sahel, elle a cours sous toutes les latitudes depuis la naissance de l'informatique visuelle.

En sens inverse, les habitués du «terrain» ont une réaction a priori souvent hostile à la TDT et à tout ce qui l'entoure. Pour eux, point de salut en dehors des pratiques directement inspirées du réel ou de ce qui est palpable, pour ne pas dire traditionnelles voire routinières. Leur méfiance systématique des techniques satellitaires est d'autant plus gênante que beaucoup d'entre eux jouent un rôle important dans les divers dispositifs sahéliens qui contribuent à l'alerte précoce aux crises alimentaires, au suivi des cultures ou de l'élevage, etc.

Fort heureusement, avec le temps qui s'écoule, les rencontres qui ont tout de même lieu entre les uns et les autres, ainsi que les expérimentations et opérations mixtes menées en commun font que le fossé qui sépare les uns des autres se comble peu à peu. Une meilleure compréhension réciproque se développe donc mais il reste encore beaucoup de méfiance de part et d'autre et ce problème doit être considéré bien au-delà des jugements portés sur la valeur des produits satellitaires pour le Sahel.

Ces précautions étant prises, on empruntera largement aux commentateurs des différentes catégories intéressées, leurs avis, suggestions et critiques à propos de la TDT, en les regroupant selon les objectifs poursuivis.

La connaissance de la pluviométrie est une donnée essentielle au Sahel. L'idéal serait de connaître en tout temps, la quantité de pluie tombée et en chaque endroit.

Un coup d'oeil à la carte, au réseau des stations d'observation au sol et à leurs moyens de transmission, suffit à montrer l'écart immense entre cet optimum et la réalité. Inutile d'insister sur le caractère irremplaçable des observations satellitaires en ce domaine. La question n'est donc pas, là, de savoir si l'on doit recourir ou non à la TDT, mais de s'interroger sur son

concours. Celui-ci est considérable, il est cependant encore loin d'être complet.

L'analyse des produits élaborés et diffusés par le CRA Agrhymet, faite antérieurement, a montré d'une manière concrète l'intérêt de la TDT, soit combinée avec les moyens des stations du réseau météo ouest-africain, soit directement par elle-même. Le bulletin agrométéorologique décadaire rend compte, durant la saison des pluies, des lignes de grains et des précipitations qui ont intéressé les pays du CILSS. A noter que le CRA procède à un suivi quasi instantané des amas nuageux et du champ de précipitations quotidien. Grâce aux cartes et autres données tirées des données numériques Météosat que lui procure le CMS Lannion, par voie postale, le Centre régional a une connaissance décadaire et un aperçu qualitatif des champs pluviométriques d'où il tire le tracé des isohyètes dans les zones à faible densité de pluviométrie. De la même source proviennent des cartes établies à partir des températures radiatives de surface sur lesquelles il est possible de tracer des isothermes pleins d'enseignement sur l'installation de la saison des pluies au Sahel et ses fluctuations ensuite jusqu'au retour de la saison sèche.

La plupart de ces documents sont établis en traitant les données du satellite Météosat. L'installation d'une station de réception primaire de ces données (PDUS) affranchirait le CRA du précieux relais du CMS Lannion et lui ferait gagner un peu de temps. Un tel équipement est prévu dans la capitale du Niger, par le futur Centre africain ACMAD. En attendant, il est possible que le CRA trouve un biais technique pas trop onéreux pour capter directement et traiter les données Météosat selon le mode digital (numérique).

Déjà, les produits disponibles de cette famille météorologique dans les Etats du CILSS sont pour une grande part d'origine spatiale. Il est permis d'espérer que, dans un avenir proche, les informations relatives aux précipitations, aujourd'hui encore souvent qualitatives, deviendront peu à peu quantitatives.

La maîtrise de la répartition spatiale des pluies s'améliorera, elle aussi, ne serait-ce qu'avec la possibilité qu'offrira la nouvelle station HRPT de réception des images NOAA au CRA.

La prévision des phénomènes météo représenterait un progrès appréciable elle aussi. Le futur Centre ACMAD l'a inscrite à son programme. Il faudra attendre sans doute cinq à six années avant de pouvoir en bénéficier, mais alors, grâce à la TDT, on pourra songer à faire profiter le monde paysan des prévisions relatives aux pluies.

Bien d'autres instances apportent leur contribution aux pays sahéliens : certains organismes établissent des documents plus ou moins similaires à ceux que réalise le CRA, comme par exemple Price Williams pour le compte de L'USAID (projet FEWS) ou le Centre de TDT de la FAO (projet ARTEMIS). Les nombreux instituts de recherche disséminés en Europe (France et Grande-Bretagne notamment) ou même au Sahel (Dakar essentiellement) travaillent pour perfectionner, étalonner et mieux interpréter les données spatiales relatives à la pluie et aux phénomènes météorologiques sahéliens. Certaines expérimentations sont jugées intéressantes à propos d'une prévision

à long terme de l'hivernage (cf. supra les études du CMS Lannion et du CRODT-ORSTOM Dakar). D'autres, peut-être moins spectaculaires car moins spéculatives, s'attachent à l'analyse de phénomènes élémentaires dont la connaissance facilitera de nouveaux progrès. Toutes ces actions ont leur utilité, à condition - ce qui n'est pas toujours le cas - qu'elles ne soient pas trop dispersées et qu'un minimum de coordination évite les doubles emplois ou les cloisonnements auquel le monde de la recherche n'échappe malheureusement pas toujours.

L'état de la végétation est une autre préoccupation majeure au Sahel. Du suivi des cultures et des pâturages dépend la faculté d'agir à temps pour les responsables gouvernementaux ou locaux, pour les agences de coopération ou d'aide, et pour les donateurs, en cas de crise alimentaire. Outre la pluviométrie, il est intéressant de tenter de connaître le mieux et le plus tôt possible, pour l'ensemble des lieux sahéliens, les éléments déterminants ou représentatifs de la végétation.

Que l'on parle d'évapotranspiration, d'humidité des sols et plus généralement du bilan hydrique, d'indice de végétation, de prévision de rendement, d'extension et de qualité des pâturages, la TDT intervient et apporte sa contribution. Son concours est rarement exclusif dans ces domaines où les moyens d'observation au sol sont, au moins potentiellement, nombreux et assez importants. Mais les caractéristiques sahéliennes, en particulier les grandes étendues et la modestie des réseaux d'enquêtes d'une part, les avantages incontestables de la TDT d'autre part, font que les techniques spatiales prennent une part croissante au suivi des cultures et des pâturages.

Toutes les données satellitaires n'aboutissent pas à des produits de précision, de fiabilité ou de qualité égale. Ceci fait que l'on doit peser avec soin la valeur des différents indicateurs.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) à partir de la mesure des températures de surface par satellite a fait l'objet de nombreux travaux. Certains d'entre eux ont pu démontrer la possibilité d'utiliser les données infrarouges thermiques de Météosat pour la cartographie de l'ETR, en complément des données agroclimatiques du réseau au sol. Mais il ne faut pas dissimuler les obstacles rencontrés à ce sujet. Une expérimentation conduite au Sénégal a montré que les difficultés résident d'une part, dans l'incertitude observée sur les valeurs des températures de surface, d'autre part dans l'appréciation du niveau de l'ETR sur des surfaces de 5 x 5 km à partir de modèles de bilan hydrique. Seule la disponibilité des données infrarouges thermiques mieux calibrées et disposant de deux canaux des satellites NOAA semble susceptible d'apporter une réponse pratique. Aussi, en attendant la mise en service des satellites Météosat de nouvelle génération, il paraît plus logique de réserver Météosat pour le suivi des épisodes pluvieux et d'envisager l'utilisation des données NOAA pour la cartographie de l'ETR. Un étalonnage plus précis est rendu possible grâce à la résolution spatiale plus fine (1 km² au lieu de 25 km² avec Météosat).

Là encore, la station de réception NOAA de Niamey va permettre à la Direction des applications agrométéorologiques du Centre régional de participer dans de bonnes conditions aux nécessaires opérations de mise au point de ce produit satellitaire susceptible de devenir opérationnel.

L'indice de végétation est typiquement un produit de la TDT. Il a été mis au point aux Etats-Unis et son apparition au Sahel ne date que de quelques années seulement, à l'initiative de la NOAA-NESDIS-AISC (Programme USAID). C'est un fruit de l'observation satellitaire qui est spectaculaire et séduisant. Il a suscité beaucoup de recherches, y compris en Europe et en Afrique où son application est particulièrement indiquée.

Depuis 1985, le Centre d'Agrhymet l'a utilisé progressivement. D'abord expérimentales, les applications de l'indice sont devenues désormais opérationnelles, même si là encore, la technique a ses limites. La station de réception des données NOAA va permettre des progrès substantiels, tant pour la résolution spatiale que pour les délais d'exploitation des images. On peut s'attendre à de bons résultats en ce domaine, et le transfert de technologie étant ainsi accompli vers le Sahel, celui-ci ne sera plus tributaire des Etats-Unis pour disposer de l'indice de végétation.

Ce produit est un bon indicateur, car il traduit instantanément l'aspect de la végétation en combinant sa vigueur et sa densité. Il est très utile pour qui veut savoir en gros, en cours de saison des pluies, quelles sont les régions favorisées ou défavorisées, en avance ou en retard. Avec les enregistrements effectués au cours de la période de croissance et ceux aussi datant des saisons précédentes, des comparaisons très instructives sont possibles.

Toutefois, un simple exemple donne un aperçu des effets aberrants que peut produire une exploitation hâtive de l'indice de végétation. Comme celui-ci est basé sur la réflectance des plantes, elle-même fonction de l'activité chlorophyllienne, on peut avoir un indice élevé après une petite pluie dans un espace subdésertique qui aura reverdi intensément mais où l'herbe sera rase, alors que dans une prairie abondante où il n'a pas plu depuis quelque temps, on enregistrera un indice faible en raison de la couleur de l'herbe jaunie, quand bien même celle-ci serait haute et dense. On voit ainsi que l'indice traduit la verdeur de la végétation et la biomasse verte plus que la biomasse totale utile. Cette remarque est importante pour le suivi des cultures et plus encore pour celui des pâturages. Elle montre, une fois de plus, la nécessité de corriger et de combiner les informations satellitaires avec les autres données disponibles (en l'espèce : type de région, date dans la saison, type de pâturages, etc.). Enfin, on rappellera que les caractéristiques du Sahel ajoutent encore à ces imprécisions (cultures hétérogènes, effets de sol, etc.).

Mais, au total, à condition de se servir de l'indice de végétation d'origine satellitaire de manière judicieuse, on dispose d'un produit fort utile. Son usage est tout indiqué pour suivre la végétation dans la perspective de l'alerte précoce et du suivi de la campagne agricole et des pâturages. En revanche, les espoirs nourris ces dernières années pour en déduire des prévisions ou des estimations de rendement sont loin de s'être réalisés.

Agrhymet, avec l'appui de la NOAA, a tenté de faire des estimations de rendement en 1986. L'expérience n'a pas été renouvelée en 1987, en dépit de la conviction de la NOAA de pouvoir les faire.

La difficulté provient de ce que la corrélation entre le rendement et l'indice de végétation est loin d'être établie. L'indice de végétation permet d'effectuer un suivi de l'ensemble de la végétation naturelle. Les conditions des cultures ne varient pas identiquement à celles de cette dernière. Les cultures sont plus sensibles à la sécheresse et aux pluies intermittentes que les herbes. La mesure de la vitalité de la végétation naturelle peut être un bon indicateur pendant une période de sévère sécheresse ; par contre, un bon état de cette végétation n'implique pas forcément un bon développement des cultures. Dans leur rapport d'évaluation des produits NOAA-CIAT de janvier 1987, les experts réunis par le National Research Council des Etats-Unis estiment que l'indice de végétation établi pour le Sahel n'est pas basé sur une méthode valable. Ils concluent, à propos des prévisions quantitatives de rendement pour le Sahel et la Corne de l'Afrique, que cela dépasse les possibilités de la technologie et des données employées, en particulier pour ce qui touche à la cellule de grille ($1^\circ \times 1/2^\circ$). Cette appréciation est toutefois contestée par les opérateurs de NOAA-CIAT dans leur réponse de mai 1987. En outre, une partie des arguments invoqués va tomber en désuétude lorsque fonctionnera la station NOAA au CRA (meilleure résolution spatiale et rapidité d'exploitation des données).

Pour les pâturages, l'indice de végétation est plus fiable et en dépit des aberrations possibles, comme celle donnée en exemple ci-dessus (prairie jaune et prairie verte), il permet, à condition de le combiner avec d'autres données (lieu, saison, type de sol, etc.) de se faire une assez bonne idée de l'état des herbages à un moment donné et même dans bien des cas, de la quantité de biomasse disponible.

Au total, l'indice de végétation représente tout de même un atout supplémentaire bien utile, à condition de ne pas lui demander plus qu'il ne peut donner et de l'exploiter très judicieusement, en association avec les divers indicateurs traditionnels sur l'état de la végétation. Ceux-ci sont la plupart du temps assez variés et relativement accessibles pour faciliter de bons recoupements ou corrélations avec l'indice d'origine satellitaire.

L'estimation des superficies cultivées et la prévision des récoltes

L'entrée en service des satellites de la famille Landsat d'abord, puis, à partir de février 1986, de Spot 1 de résolution spatiale encore plus fine (10 mètres en noir et blanc, 20 mètres en couleur) a suscité beaucoup d'espoirs au sujet de l'évaluation des récoltes au Sahel. On escomptait grâce à la TDT avoir un moyen d'aider sérieusement les services de statistiques. Les indicateurs d'origine spatiale examinés plus haut (pluviométrie, ETR, indices de végétation) apportent déjà des substituts ou des compléments appréciables aux moyens traditionnels d'information. La possibilité d'observer les surfaces cultivées et même de discriminer les espèces ou types de cultures entre eux, grâce à des capteurs aussi précis, opérant un peu comme un zoom par rapport à ceux des autres familles de satellites (NOAA, Météosat) devait, a priori, aboutir à la mesure des surfaces emblavées au Sahel et permettre désormais, en combinant les prévisions de rendement et ces superficies, de parvenir à l'estimation des récoltes. On voit bien l'intérêt de cette opération pour les pays du CILSS dont les moyens de réaliser des prévisions ou des estimations de récolte sont en

général bien réduits. Pouvoir dans l'espace, instantanément et pour toute la région, établir cette évaluation devait être le moyen de combler une grave lacune en matière de prévision et de statistiques agricoles.

Il est encore un peu tôt pour affirmer une réponse à ce sujet. Plusieurs expérimentations en cours ne sont pas tout à fait achevées ; au surplus, le dernier mot est loin d'être dit, en raison des progrès potentiels. Cependant, plusieurs obstacles sont apparus, que les chercheurs et opérateurs enthousiastes avaient peut-être parfois sous-évalués. Par nature même, les capteurs à très haute résolution spatiale ne peuvent couvrir une très large scène. Leur emploi est donc forcément limité à l'observation de zones-témoins, faute de pouvoir couvrir la totalité de l'espace agricole cultivé, ce qui coûterait un prix exorbitant. Cette méthode de tests exige déjà un ensemble de travaux au sol et en laboratoire pour stratifier cet espace.

Autre problème : celui de la couverture, dans des conditions acceptables, d'une zone donnée. Les satellites Landsat et Spot ont respectivement une répétitivité de 16 et 21 jours (avec possibilité de réduction à 4 jours sur commande pour Spot). Cette faculté de couverture, bien moindre que celle de Météosat ou de NOAA, est encore limitée par le fait que les canaux d'observation de Landsat et Spot, correspondant à des longueurs d'onde situées dans la partie visible du spectre, ne peuvent observer la surface terrestre lorsque celle-ci est couverte de nuages. Or, la mesure des superficies emblavées serait utile au Sahel, plusieurs fois pendant la période de végétation, laquelle se déroule naturellement durant la saison des pluies, période où la nébulosité est à son maximum.

Enfin, les stations de réception et de traitement des données Landsat et Spot étant situées à Mas Palomas (Canaries-Espagne) et à Toulouse (France), il s'ensuit des délais non négligeables pour disposer des images et données satellitaires qui concernent directement les pays sahéliens.

La discrimination des types de culture entre eux s'est révélée très décevante au cours des opérations de recherche appliquée effectuées surtout ces deux dernières années. Les écueils déjà énoncés à propos des indices de végétation déterminés pour le Sahel, grâce aux données NOAA, n'ont pas pu être évités totalement jusqu'ici sur des scènes pourtant réduites et malgré l'excellente résolution spatiale de Spot. La discrimination des espèces cultivées, par exemple entre le mil et le sorgho, n'a pu être maîtrisée, et beaucoup, parmi les spécialistes, semblent désormais réservés, sinon pessimistes.

Quant à la mesure des surfaces cultivées, cette donnée indispensable à toute prévision ou estimation de récoltes, les indications qui précèdent expliquent qu'elle ne soit pas praticable à grande échelle pour des motifs de coût, et même pas très commode à réaliser sur des zones tests en raison des limites techniques imposées à l'observation satellitaire elle-même.

Tout cela signifie-t-il qu'il faille renoncer à l'observation spatiale pour atteindre cet objectif ? Il serait prématuré et imprudent de répondre. Il est difficile d'imaginer ce qu'apporteront, comme innovations techniques et comme progrès, les satellites et capteurs de la future génération. On peut

s'attendre à des performances encore accrues en résolution spatiale ainsi qu'en résolution radiométrique, c'est-à-dire en sensibilité de mesures de réflectance, d'ici à la fin du siècle. Il n'est pas exclu qu'au cours de cette période, une station de réception des données Spot et/ou Landsat soit installée au Sahel, par exemple au CRTO de Ouagadougou, ce qui écourterait les délais et permettrait l'archivage des séries d'images sur une longue période.

Mais pour les prochaines années, il semble bien que les prévisions et estimations de récoltes au Sahel devront s'appuyer principalement sur les moyens locaux traditionnels. Les données spatiales concourront aux enquêtes, mais ponctuellement d'une manière encore expérimentale et modeste, alors qu'on avait escompté bien davantage.

Cette incontestable déception, due aux techniques spatiales elles-mêmes, ne doit pas masquer l'insuffisance des moyens disponibles actuellement dans les pays sahéliens pour mettre en oeuvre les produits satellitaires. La réunion technique de coordination de juin 1987, organisée à Niamey par les responsables du projet CILSS-FED (CEE) «Surveillance des ressources naturelles renouvelables au Sahel», a révélé diverses lacunes. L'équipe de coordination régionale du projet a noté : un chevauchement entre la recherche et les applications opérationnelles ; des effectifs et moyens réduits dans les «Composantes nationales» qui, dans le meilleur des cas, ne comptent qu'un ou deux éléments formés à l'usage de la TDT ; des problèmes de susceptibilité et de coordination à l'échelon national ; des difficultés pour la mise en place d'une base de données dans certains Etats membres, etc.

Les satellites à haute résolution apportent d'autres contributions intéressantes, comme on l'a vu, tant pour l'hydrologie et la mesure des surfaces inondables ou des cultures de décrues, que pour celles des régions boisées, ou encore pour l'aménagement du territoire (grandes agglomérations notamment). Leur concours se développe au Sahel, même s'il se traduit encore souvent sous forme de projets expérimentaux ou de recherche appliquée.

* * *

Malgré leur caractère récent, les techniques spatiales fournissent déjà des concours très variés et importants aux pays du CILSS. Cette contribution en plein essor est loin d'avoir atteint un régime stable, ne serait-ce que parce qu'elle repose sur une technologie elle-même en évolution rapide et incertaine.

L'inventaire des projets, des produits, des applications révèle parfaitement cette spécificité de la TDT. Dans tout pays du CILSS, il y a simultanément en cours : des applications devenues opérationnelles, des expérimentations, des actions de recherche appliquée, tout ceci sans compter les programmes qui se développent dans les pays industriels en charge des satellites et de leurs équipements, des stations de réception et de traitement des données.

Du point de vue des responsables sahéliens, les mérites de la télédétection doivent être jugés en fonction de l'aide que cette technique apporte à la satisfaction des grands besoins de leurs pays.

Les Systèmes d'Alerte Précoce (SAP) en sont les premiers bénéficiaires. En effet, ils utilisent largement les données satellitaires, telles que celles relatives à la pluviométrie et à l'état de la végétation, pour compenser ou compléter les informations locales. Déjà, la part de la TDT est importante dans ce domaine de préoccupation. Ses qualités de rapidité, de généralité pour l'ensemble du territoire en font un auxiliaire précieux dont le rôle devrait logiquement aller en s'accroissant. L'imagerie satellitaire fournit des indications irremplaçables en cas de sécheresse. Grâce à elle, les autorités sahéliennes peuvent très tôt connaître la tendance de la saison, les zones à risques, les menaces de criquets, la tendance approximative de la future récolte, celle des pâturages.

La prévision quantitative des récoltes, on l'a vu, risque de demeurer encore assez longtemps du ressort des services du sol, car la TDT n'est pas encore capable d'établir opérationnellement ou économiquement des prévisions de rendement ou des mesures de surface cultivée par type de production. Cette technique spatiale ne peut donc guère concourir aux diverses tentatives de détermination précoce et de quantification des récoltes de céréales. C'est bien dommage, car il y aurait là un moyen que les dirigeants et les services intéressés (statistiques agricoles, plan, aide alimentaire) seraient heureux de pouvoir employer. Les progrès à venir permettront peut être un jour d'y parvenir.

Les responsables de l'élevage sahélien et, dans une moindre mesure les pasteurs, bénéficient déjà des informations d'origine spatiale relatives aux pâturages. Grâce aux expérimentations réalisées au Sénégal, au Mali et au Niger, et surtout à la prochaine station NOAA du Centre Agrhymet, les données satellitaires vont être de plus en plus opérationnelles et efficaces. Il restera, bien sûr, aux autorités des pays du CILSS, à prendre les mesures nécessaires de formation et de vulgarisation pour que les éleveurs - comme les paysans dans d'autres domaines - mettent pleinement à profit les informations rapides devenues disponibles grâce à tout l'appareil complexe de la TDT.

Enfin, on a beaucoup parlé ces dernières années des applications agrométéorologiques dans le cadre du Programme Agrhymet. Parmi les actions ainsi envisagées, les conseils aux paysans occupent une place majeure. La possibilité de connaître à l'avance les phénomènes serait bien évidemment d'une grande utilité dans cette perspective. C'est dire que la TDT apporterait un concours de taille si elle permettait demain, aux Sahéliens, de disposer de prévisions météo. Les dirigeants, les animateurs et les paysans seraient alors en état d'orienter, de prendre les mesures propres à optimiser les chances de succès des cultures (semis appropriés et façons culturales au bon moment, etc.).

Le projet de Centre météo africain ACMAD se propose de faire des prévisions à court terme dans quelques années ; d'ici là, on peut espérer que les structures nécessaires dans les pays du CILSS auront suffisamment progressé pour que les informations ainsi rendues disponibles, grâce à la TDT, soient mises à profit, du moins pour la partie la plus évoluée du monde paysan et à condition que les moyens de transmission permettent de l'atteindre.

Au terme de cette revue de l'apport de la TDT aux pays sahéliens, il faut souligner l'importance de **la formation des hommes**, si l'on veut que les

techniques spatiales y soient admises, pratiquées et exploitées correctement. Plusieurs établissements s'efforcent de préparer les spécialistes et techniciens nécessaires ; la plupart des projets expérimentaux associent Sahéliens et étrangers, sans parler des Africains qui participent, au côté des expatriés, aux activités de TDT devenues opérationnelles.

Comme on l'a déjà indiqué, les deux établissements qui organisent des stages de préparation aux techniques satellitaires sont le CRTO de Ouagadougou, qui initie des jeunes Africains à la photo-interprétation en particulier et le Centre Régional Agrhymet. Avec l'aide financière et technique des Etats-Unis, le CRA a formé des spécialistes dont certains ont pu effectuer des stages à Columbia (Missouri), en 1986. Le Centre régional joue aussi le rôle de centre serveur en recevant les données satellitaires et en les redistribuant dans chacun des pays du CILSS par voie télégraphique. Le réseau Agrhymet, par les bulletins nationaux et régionaux qu'il publie chaque décade durant la saison des pluies, tout comme par les divers autres produits qu'il diffuse aux services publics et à tous les intéressés dans la région, est un organe très important de promotion des techniques satellitaires. Celles-ci sont ainsi mises en valeur et connues d'un grand nombre d'intéressés, car elles font partie intégrante des analyses agro-météorologiques, qu'elles illustrent de mieux en mieux (cartes, graphiques, schémas, etc.).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Si au Sahel la télédétection apporte une incontestable contribution à l'alerte précoce, au suivi des cultures et des pâturages, et à l'agroclimatologie en général, la vérité oblige à dire qu'elle suscite une réelle réserve chez nombre de Sahéliens et de non Sahéliens. Parmi les premiers, figurent des responsables du Secrétariat exécutif du CILSS et des services des Etats membres et, ce qui est important, le plus souvent ceux que leurs fonctions devraient conduire normalement à coopérer avec le monde de la télédétection.

Il est vrai que les oppositions ou les cloisonnements affectent aussi d'autres domaines et que la coopération entre les directions nationales de la météo et celles de l'agriculture ou des statistiques agricoles n'est pas toujours sans difficulté, comme on l'a vu naguère pour l'alerte précoce. Chez les étrangers qui s'intéressent au Sahel, la TDT est également loin de faire l'unanimité. Une bonne partie des donateurs la considèrent avec réserve.

Le long examen qui vient d'être fait n'est pas exhaustif ; il est pratiquement impossible de dresser un inventaire tout à fait complet des recherches et expérimentations auxquelles donne lieu la TDT au profit du Sahel. Cependant, le bilan qui précède révèle tout de même que cette technique, encore très jeune, fournit déjà des produits notables et appréciés. L'imagerie satellitaire remplace ou complète de mieux en mieux les moyens traditionnels. Et surtout, les années futures devraient être marquées par des progrès significatifs. Comme signalé plus haut, la contribution de la TDT au Sahel est importante en matière de pluviométrie ; elle est réelle et devrait s'accroître prochainement pour le suivi de la végétation (cultures et pâturages) ; elle est encore faible et tâtonnante à propos des prévisions de rendement et surtout des estimations de récoltes, la mesure des surfaces et la distinction des cultures s'étant révélées décevantes jusqu'à présent. Enfin, l'imagerie satellitaire apporte son concours très spécifique à des problèmes divers : en hydrologie (cultures de décrues, zones inondées), en foresterie, en aménagement du territoire ou pour l'environnement et dans la prévention et le suivi de la menace acridienne.

Au-delà des critiques et des réserves, la TDT possède des avantages indéniables dont les pays sahéliens du CILSS doivent profiter, d'autant plus que la région se prête particulièrement bien à certaines applications satellitaires, du fait de son étendue et de son réseau obligatoirement clairsemé de moyens d'observation au sol. Il est juste de dire aussi que, pour certaines investigations, telle la mesure des surfaces cultivées ou l'évaluation des récoltes, le Sahel est au contraire handicapé comparativement aux pays de grandes exploitations homogènes d'Europe ou des Etats-Unis.

Il reste, ainsi que l'écrit Gilles Hervio dans son rapport sur les systèmes d'alerte précoce (octobre 1987), que les données satellitaires sont intéressantes à utiliser dans ce cadre, car elles permettent : d'avoir une vision cartographique de l'espace, incomparablement plus riche que les données ponctuelles recueillies au sol, lesquelles sont difficilement extrapolables ; de

disposer d'une information rapide sur la localisation des zones qui connaissent les stress les plus graves et d'avoir une mesure de l'évolution de l'état végétatif d'une année sur l'autre. Selon l'auteur, les données émanant de Landsat et Spot peuvent déjà fournir des éléments de stratification de l'espace qui devraient permettre d'améliorer sensiblement la précision des enquêtes statistiques. Et Gilles Hervio de conclure : «L'information satellitaire est donc une source précieuse d'information, mais ce serait une erreur d'attendre trop de cette technologie. L'espoir d'arriver à des estimations des surfaces agricoles par culture semble très éloigné et les prévisions de rendement paraissent très aléatoires et douteuses.»

* * *

Au terme de ce rapport, que le Club du Sahel a pris l'initiative de faire établir afin d'éclaircir la situation, **quelles sont les mesures que l'on peut suggérer pour remédier aux incompréhensions et aux défauts du dispositif actuel ?** Voici une série de recommandations dont la mise en oeuvre serait de nature, semble-t-il, à améliorer la productivité des multiples efforts faits pour appliquer la TDT aux pays sahéliens du CILSS :

- **Coordination des programmes, projets de recherche et expérimentations** afin d'éviter les travaux inutilement concurrents. A l'initiative du Secrétariat exécutif du CILSS et du Club du Sahel, une instance conjointe (pays du CILSS - pays étrangers et organismes promoteurs de ces travaux), pourrait organiser périodiquement (une fois par an, par exemple) des rencontres consultatives d'où naîtrait peu à peu une certaine harmonisation des projets qui fait vraiment défaut. A noter que celle-ci s'accomplirait non seulement entre les participants, mais si l'on peut dire, aussi à l'intérieur d'eux-mêmes où la coordination est loin d'exister parfois, comme on a pu le voir tout au long de cette étude.
- **Création dans le cadre du CILSS, à l'initiative du Secrétariat exécutif, d'un organe plus directif pour coordonner, tant au plan régional que national, les opérations courantes de TDT.** Il s'agirait de faire en sorte que les tâches soient judicieusement réparties entre le Centre Régional Agrhymet, les Etats membres du CILSS, le CRTO, ACMAD et les stations de réception ou de traitement de données (CRODT-UTIS, etc.) afin d'éviter le gaspillage, les doubles emplois et les erreurs d'équipement. Cette instance, dont le CRA assurerait le secrétariat, serait ouverte, à titre d'observateur, aux grands organismes étrangers donateurs ou qui coopèrent techniquement avec les services spécialisés sahéliens (FAO, Agence spatiale européenne, CMS Lannion, etc.).

Les rencontres spécifiques organisées au CRA, telle celle tenue à Niamey sur la météo et les états de surface par l'ISLCP du 24 au 28 avril 1988 ou celle proposée sur l'utilisation des données NOAA pour l'automne, sont utiles. Mais une réelle coordination ne pourra résulter que de réunions plénières où toutes les parties seront représentées.

L'idée émise par certains de rassembler progressivement, au CRA Agrhymet de Niamey, l'essentiel des moyens et opérations courantes de TDT pour le Sahel, est séduisante. Elle permettrait assurément, au plan régional, une réelle synergie et des économies de personnel et de matériel. Mais, outre le fait qu'au sein du CILSS les statistiques agricoles, l'estimation des récoltes et la mesure des surfaces cultivées sont du ressort du projet Diagnostic Permanent et non pas d'Agrhymet, il semble que certains systèmes techniques (chaîne de traitement des données et station de réception : NOAA d'un côté, SPOT et LANDSAT de l'autre) aient peu de parties susceptibles d'être communes. D'autre part, au plan politique et institutionnel, les établissements doivent être non seulement répartis géographiquement à l'intérieur du CILSS, mais ceux qui sont en cause (CRTO, ACMAD) relèvent d'entités différentes dont le ressort géographique et les membres ne sont pas les mêmes que ceux du CILSS.

* * *

En définitive, la télédétection vient depuis quelques années seulement de faire son entrée au Sahel. Elle s'y déploie d'une façon un peu bourgeonnante, notamment par ses projets de recherche nombreux et variés. Déjà, cette technique récente fournit une contribution significative. Même si l'on aperçoit certaines limites dans des domaines où l'on avait espéré davantage, son concours est apprécié tout de même par ceux que préoccupent l'alerte précoce, le suivi des cultures et des pâturages, sans parler de la climatologie. En outre, des progrès substantiels sont attendus à moyen terme.

Mais, la TDT coûte cher comparativement aux modestes crédits alloués aux services sahéliens de l'agriculture, des statistiques agricoles ou de l'élevage. Elle impose des équipements sophistiqués et des spécialistes compétents pour la mettre en oeuvre. Tout ceci provoque parfois réserve et appréhension, ce qui ne favorise pas la nécessaire collaboration des gens du «sol» avec ceux de «l'espace». Ces inévitables oppositions devraient peu à peu s'atténuer, pour peu que l'on veuille à associer «thématiquement» tous les intéressés dans des équipes mixtes, qu'il s'agisse des projets de recherche et plus encore des opérations courantes.

Il faut en ce domaine se garder de deux attitudes systématiques également erronées et dangereuses : croire que la TDT peut se substituer à la plupart des moyens traditionnels ou penser au contraire qu'elle n'est qu'une technologie coûteuse, superflue et presque inutile.

Mal dotés par la nature et en proie aux difficultés que l'on sait, les pays sahéliens du CILSS, ont au moins la chance d'avoir suscité d'importantes initiatives en TDT. Celle-ci leur apporte déjà une contribution non négligeable, susceptible de se développer dans un avenir proche. Une double erreur consisterait :

- chez les télédétectionnistes, à ne pas faire leurs meilleurs efforts pour bien coordonner leurs actions, éviter les dépenses inutiles, adapter leurs

produits aux réels besoins du Sahel et s'insérer harmonieusement dans le dispositif en place,

- de la part de tous ceux qui sont attachés, à un titre quelconque, à l'avenir des pays du CILSS (responsables régionaux et nationaux, des agences de coopération ou des organismes internationaux), de se laisser aller à une sorte de réaction de rejet envers la TDT et d'en faire une mal aimée.

=====

CHAPITRE II
SEANCE INAUGURALE

PALAIS DES CONGRES, NIAMEY, NIGER
20 juin 1989 (matinée)

II.1. Discours d'ouverture de M. Terry LAMBACHER,
représentant le Club du Sahel

Monsieur le Ministre,
Excellences,
Mesdames, Messieurs,

Au nom du Club du Sahel et de son Directeur Mr Jean-H. Guilmette que je représente ici, je tiens à remercier tous ceux qui assistent à cette séance inaugurale, et particulièrement vous Monsieur le Ministre, qui honorez de votre présence l'ouverture de la Conférence sur la télédétection au service du Sahel.

La télédétection satellitaire est une technique encore bien jeune, d'où, à côté de résultats notables, certains balbutiements et tâtonnements fort compréhensibles. Elle a éveillé de nombreux espoirs dans des domaines variés. Ses applications au Sahel n'ont pas manqué de susciter des initiatives, avant tout dans les secteurs cruciaux pour la région, qui sont ceux de la pluviométrie, du suivi de la campagne agricole et pastorale, de l'hydrologie, de la lutte contre les criquets ou la désertification.

Après une période de recherches et d'expérimentations, voici que la télédétection commence à devenir peu à peu opérationnelle au Sahel. En association avec le Secrétariat Exécutif du CILSS, le Club du Sahel a estimé que le moment était venu de faire le point en ce domaine. Aussi a-t-il confié à Roger PONS le soin de cet inventaire l'an dernier. Le rapport établi a été examiné en novembre 1988, lors de la réunion du Réseau pour la prévention des crises alimentaires, tenue au siège de l'OCDE à Paris. Il ressortait de cette étude qu'il serait opportun, d'une part de mieux coordonner les efforts des spécialistes, d'autre part de rapprocher ceux-ci des utilisateurs sahéliens de télédétection afin de bien définir les produits utiles et les objectifs. Ainsi, l'idée est-elle venue tout naturellement d'organiser une conférence où s'engagerait le dialogue entre gens de l'art et profanes, cependant que ce rassemblement favoriserait les contacts entre tous les spécialistes, qu'ils soient chercheurs ou opérateurs.

Le Secrétariat Exécutif du CILSS et le Club du Sahel ont donc pris cette initiative. L'assistance ici présente est composée à peu près également de familiers de la télédétection et de non-spécialistes. Ces derniers sont des Sahéliens utilisateurs potentiels ou actuels des produits de cette technologie, ou des donateurs venus d'Europe ou d'Amérique du Nord qui financent les projets et recherches. Je salue également les représentants des organismes internationaux et des pays participants, ainsi que les observateurs venus des autres régions d'Afrique.

Nos débats dureront trois jours ; la règle du jeu veut que les intervenants s'expriment dans une forme vulgarisée, afin que tous les participants puissent en profiter pleinement. Les techniciens ou chercheurs auront d'ailleurs la faculté de se rattraper, en dehors des séances, en évoquant, dans leur langage familier, les informations techniques et les problèmes multiples et souvent complexes, que pose une technologie aussi avancée que la télédétection satellitaire.

Je forme le voeu que nos débats soient ouverts et qu'ils donnent lieu à de larges discussions. L'ordre du jour a été conçu à cette fin. J'ajoute qu'il est prévu un compte rendu, qui sera diffusé à tous les participant à l'automne.

Niamey a été choisi comme lieu de la conférence parce que la capitale du Niger abrite le Centre Régional d'AGRHYMET, établissement unique en son genre en Afrique subsaharienne. Vous aurez d'ailleurs l'occasion de le visiter en fin d'après-midi. Qu'il me soit permis de remercier publiquement Mr Soarès, son Directeur Général, ainsi que ses collaborateurs pour l'aide précieuse qu'ils apportent à notre rencontre.

J'espère que celle-ci sera fructueuse et qu'au terme de ces trois journées nous aurons, tous ensemble, fait progresser un peu la cause de la télédétection au Sahel, en atteignant, au moins partiellement, les objectifs que j'ai cités. Je souhaite également que l'on parvienne à rapprocher dans une meilleure compréhension: spécialistes et utilisateurs de cette technologie prometteuse pour les pays du CILSS. Ce faisant, nous aurons contribué à donner à la région sahélienne quelques armes supplémentaires pour mieux affronter les rigueurs d'une nature aussi souvent ingrate que capricieuse.

II.2. Discours d'ouverture de M. Brah MAHAMANE, Secrétaire Exécutif du CILSS

Messieurs les membres du Conseil Supérieur d'Orientation Nationale,
Messieurs les Ministres,
Excellences Messieurs les Ambassadeurs et Membres du Corps Diplomatique,
Messieurs les Représentants des Organisations Internationales et Inter-Africaines,
Honorables Invités,
Mesdames et Messieurs,

La conférence qui s'ouvre ce matin sur le thème de la télédétection satellitaire au service du développement dans le Sahel, s'inscrit dans le cadre de la recherche de solutions novatrices aux innombrables problèmes qui tenaillent les pays du Sahel. Ces problèmes ont pour noms : incertitudes climatiques, sécurité alimentaire, pression démographique, dégradation de l'environnement écologique, dépendance financière...etc.

La télédétection satellitaire, de par la possibilité qu'elle nous offre d'avoir une vision spatiale globale, synthétique, analytique et répétitive des phénomènes naturels, apparaît de plus en plus comme un outil avec lequel il faut compter pour la collecte, le traitement, la production et la gestion des informations relatives à notre environnement naturel. Mais comme toute médaille a son revers, la télédétection satellitaire ne suscite pas que de l'enthousiasme dans tous les milieux : aux réticences qu'elle engendre, s'ajoutent très souvent de nombreuses interrogations (coût élevé, fiabilité, degré de précision de l'information, applicabilité au contexte sahélien,...)

Face à ces espoirs et à ces interrogations qui sont fondés, il a paru opportun, voire indispensable pour le CILSS et le Club du Sahel d'avoir l'éclairage le plus approprié possible sur la question, en vue d'une prise de décision conséquente. Cette conférence permettra, au cours des trois jours qui viennent, d'engager un dialogue direct, franc et constructif entre orfèvres en matière de télédétection satellitaire, utilisateurs sahéliens et opérateurs de cette technologie nouvelle.

En effet la conférence aura à se pencher sur les points importants que sont :

- les caractéristiques de la télédétection (ses possibilités et ses contraintes, ses espoirs, ses limites),
- la télédétection et le Sahel (structures organisationnelles et produits),

- la télédétection et la pluviométrie au Sahel,
- la télédétection et la détermination des productions (types de cultures, surfaces emblavées).

Tous ces points ont déjà été abordés concrètement par la plupart d'entre nous, à travers les projets de recherche ou d'application qui sont actuellement menés au Sahel comme dans d'autres parties du monde. Il s'agira ici, de les traiter, non de façon sectorielle comme cela a été souvent le cas, mais sous l'angle de l'intégration et des inter-relations avec d'autres préoccupations qui interpellent les Sahéliens, le Sahel et la Communauté Internationale des Scientifiques comme des décideurs.

En effet, le sens de la responsabilité et du devoir veut que le champ de la télédétection satellitaire au Sahel ne soit plus la Caverne d'Ali Baba (où les chercheurs gèrent à discrétion leurs programmes), ni la Tour de Babel (où les incompréhensions et l'anarchie anéantissent tous les efforts). Ce champ doit se transformer en un creuset où les différents efforts viendront s'harmoniser et se coordonner pour faire de la télédétection satellitaire un outil opérationnel qui viendra appuyer, renforcer et fiabiliser les différentes méthodes d'observations terrestres actuellement mises en oeuvre dans la sous-région.

Je constate, dans la programmation, qu'il a été prévu de consacrer beaucoup de temps aux discussions, ce qui permettra, j'en suis convaincu, de traiter tous les sujets à fond et d'éviter que les petits aspects positifs ou négatifs ne masquent l'ampleur des vrais problèmes qu'il nous faut résoudre dans cette tentative de mise en oeuvre de l'outil satellitaire au service du Sahel.

Aussi mon plus grand souhait est que cette conférence débouche sur des conclusions pertinentes et pratiques relatives aux axes suivants :

- la situation exacte de la télédétection satellitaire, ses limites et les perspectives,
- les activités prioritaires à mener dans ces domaines au niveau du Sahel,
- la coordination des actions de télédétection, niveau états membres, niveau régional et international.

Aussi je terminerai mon intervention en souhaitant la bienvenue et un bon séjour à tous ceux qui ont répondu "OUI" à l'appel de Niamey. Le dernier mot est un remerciement à l'endroit de tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'organisation et à la tenue de cette conférence.

Nos remerciements vont aux Autorités nigériennes qui ont accepté d'abriter et de faciliter l'organisation de la

conférence. Ce geste illustre une fois de plus leur attachement à cet instrument commun qu'est le Comité permanent inter-états de lutte contre la sécheresse au Sahel. Avec cette générosité et cette hospitalité légendaire, nous sommes assurés de réussir une fois de plus une nouvelle entreprise à Niamey, relever le défi de la télédétection au service du développement du Sahel, des Etats Membres du CILSS.

Nos remerciements s'adressent aussi au Club du Sahel, aux pionniers de cette oeuvre commune, j'ai nommé mes amis Terry Lambacher et Roger Pons, qui, à nos côtés, se sont investis, depuis la conception jusqu'à la réalisation de cet édifiant projet de rencontre de Niamey, sur la télédétection au service du Sahel.

Nos remerciements enfin à tous les chercheurs et partenaires au développement, qui par leur savoir scientifique et leur disponibilité, ont facilité la mise en oeuvre de nombreux projets de télédétection satellitaire dans la région. Ces projets ont constitué la pâture qu'il nous a fallu digérer pour tirer la plupart des matériaux qui serviront de référence et guideront les discussions lors des séances.

M'adressant aux représentants des utilisateurs, je leur demanderai d'être très attentifs et de participer activement aux discussions, afin d'éviter tout dérapage et d'aboutir aux conclusions les plus pertinentes et les plus applicables possible par les décideurs. C'est sur cette note d'espoir et d'engagement que je termine en souhaitant plein succès aux travaux de la conférence sur la télédétection satellitaire au service du développement dans le Sahel.

Mesdames et Messieurs, je vous remercie.

II.3. Discours d'ouverture de S.E. M. Brigi RAFINI, Ministre de l'Agriculture et de l'Environnement, Membre du Conseil Supérieur d'Orientation Nationale (CSON) du Niger

Excellences,
Messieurs les Membres du Conseil Supérieur d'Orientation Nationale,
Messieurs les Ministres,
Messieurs les Membres du Corps Diplomatique,
Messieurs les Représentants des Organisations Internationales,
Honorables délégués,
Mesdames et Messieurs,

Nous voilà réunis aujourd'hui encore autour de la question sahélienne, j'aimerais tout d'abord, au nom du Conseil Supérieur d'Orientation Nationale et du Gouvernement souhaiter la bienvenue en terre sahélienne du Niger à l'ensemble des délégués venus de par le Monde. Une fois de plus, mon pays se trouve honoré du choix de Niamey pour abriter les travaux de la Conférence Internationale sur la Télédétection au service du Sahel.

Le thème de cette rencontre vient à nouveau, nous reconforter dans toutes nos tentatives de recherche de solutions aux grands maux qui assaillent notre sous-région sahélienne.

L'utilisation efficace de cette technologie de pointe qui sera le centre des débats de la présente rencontre constitue pour nous une source d'espoir devant nous permettre de mieux approfondir nos connaissances sur les potentialités et les contraintes de notre environnement et d'asseoir des politiques cohérentes et fiables du développement.

Mesdames et Messieurs,

Il faut cependant souligner que, même si la télédétection constitue un outil précieux de développement, comme toutes les autres technologies nouvelles, nous assistons à une prolifération mal contrôlée de son application dans nos différents projets et programmes de développement.

C'est ainsi qu'au Niger par exemple on note au cours de ces dernières années la mise en oeuvre de plusieurs projets, dont :

- le Projet Géophysique par télédétection à Tahoua,
- le Projet Statistique Agricole par télédétection (SOSPAT),
- le Projet Evaluation des Ressources Fourragères par Télédétection au Sud Tamesna,
- le Projet Estimation des Précipitations par Satellite (EPSAT),
- le Projet Surveillance des Ressources Naturelles Renouvelables au Sahel

- pour ne citer que ceux-là.

Certains de ces projets sont déjà achevés ou sont en voie d'achèvement, tandis-que d'autres se poursuivent. La caractéristique commune à la majorité de ces projets est la non disponibilité ou la non diffusion à une large échelle, des résultats finaux. Très souvent, quand ces résultats existent, ils sont difficilement exploitables par les décideurs et même parfois par les techniciens qui opèrent sur le terrain.

Mais il ne s'agit pas aujourd'hui de remettre en cause cet outil ; nous avons pleinement conscience du rôle très important qui lui revient dans nos pays confrontés aux problèmes d'inventaire ainsi que du suivi des productions et des ressources naturelles sur de vastes étendues.

Le problème qui se pose en réalité, c'est bien celui de la gestion cohérente de cet outil en vue du développement. Cette gestion passe nécessairement, à notre avis par une coordination des efforts de tous les acteurs :

- . les donateurs
- . les opérateurs
- . les utilisateurs
- . et les bénéficiaires.

Aussi, Mesdames et Messieurs les Délégués, je ne doute point de ce que les conclusions auxquelles vous parviendrez nous permettront d'aller de l'avant vers la maîtrise totale de cet outil au profit de nos pays.

Mesdames et Messieurs,

Tout en vous souhaitant plein succès à vos travaux, je déclare ouverte la Conférence Internationale sur la Télédétection au service du développement dans le Sahel. Je vous remercie.

CHAPITRE III
COMPTE RENDU DES SESSIONS DE TRAVAIL

PALAIS DES CONGRES, NIAMEY, NIGER
20-22 juin 1989

III.1. Première session : Mardi 20 juin (matin et début d'après-midi)

Présidence : M. Brah Mahamane, Secrétaire Exécutif du CILSS

**LES CARACTERISTIQUES DE LA TELEDETECTION :
ses possibilités, ses contraintes**

Le Président définit l'esprit de la rencontre : un dialogue ouvert entre spécialistes et utilisateurs. Il demande aux premiers de s'efforcer de vulgariser le mieux possible leurs interventions afin que chacun puisse suivre avec profit l'ensemble des débats.

Il indique que les séances seront présidées alternativement par lui-même pour le CILSS, et par M. Terry Lambacher du Club du Sahel.

L'assistance est également informée du programme de la journée ; la session de l'après-midi sera suivie à 17h00 d'une visite du Centre Régional AGRHYMET et à 19h00 d'un cocktail.

Il n'est pas prévu de compte rendu écrit des débats à l'issue de ceux-ci, mais seulement un résumé oral à la fin de chaque session. Par contre, le Club du Sahel établira la relation de la conférence et distribuera un rapport complet à chacun des participants vers la fin de l'été.

Pour une meilleure compréhension et un suivi plus commode des débats, les interventions relatives à des questions de coordination, institutionnelles ou étrangères au sujet des sessions spécialisées, seront relatées en même temps que la session finale réservée à la discussion générale et aux questions diverses.

Le Président soumet le projet d'ordre du jour à l'Assemblée. Celui-ci est adopté sans changement, malgré la proposition de modification présentée par le représentant de la FAO qui craint que l'agenda ne couvre pas l'ensemble des activités de télédétection au bénéfice du Sahel.

M. Brah Mahamane explique que la conférence est agencée afin qu'un large dialogue s'établisse avec les utilisateurs, produit par produit, ceci après une brève session générale d'initiation à la télédétection. Il n'a pas été prévu de présentation individuelle de leurs activités par les multiples organismes ou laboratoires spécialisés. Les membres de ces derniers auront, en revanche, de nombreuses occasions d'intervenir au cours des discussions consécutives aux exposés introductifs au cours des sessions ; ainsi les produits réalisés dans le cadre du programme ARTEMIS (FAO.RSC) pourront être évoqués au moment opportun.

La parole est alors donnée à Dr. Donald G. Moore de l'USGS pour la présentation du premier exposé dont il est le co-auteur avec M. Thomas R. Loveland.

LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES PAR LA TELEDETECTION

INTRODUCTION

La télédétection est le processus qui permet d'obtenir une information à distance. L'information ainsi obtenue est généralement sous forme d'images. Ces images peuvent être acquises à partir d'une variété de plate-formes et d'appareils enregistreurs. Historiquement, les photographies aériennes ont été prises par des appareils photographiques montés à bord d'avions. Ces dix-sept dernières années, les images prises par les déchiffreurs à bord de satellites en orbite autour de la Terre ont constitué la source principale des données télédétectées.

Les données acquises à distance sont combinées à d'autres données et interprétées pour fournir une information qui peut alors être utilisée dans des programmes cruciaux de surveillance et d'estimation des ressources. L'objet de cet article est de décrire les avantages des données acquises à distance, de citer les systèmes de télédétection les plus courants et de donner dans ses grandes lignes le protocole d'utilisation de la télédétection.

AVANTAGES DE LA TELEDETECTION

La télédétection a plusieurs avantages essentiels :

La permanence du témoignage

Les données acquises à distance servent de document historique permanent donnant une représentation instantanée d'un paysage. Ceci permet de faire un inventaire des conditions existantes et d'évaluer les changements au cours du temps.

Le point de vue synoptique

Les relations et liens existant entre les ressources peuvent être observés et la terre conçue comme un système.

L'information paravisuelle

Les images obtenues en télédétection peuvent résulter de la réflexion ou l'émission d'énergie électromagnétique correspondant à différentes régions du spectre. Certaines portions du spectre électromagnétique ont des caractéristiques uniques avantageuses pour certaines applications.

Un coût de revient optimum

L'emploi d'images lors des enquêtes permet de tirer le meilleur bénéfice des vérifications faites sur le terrain encore appelées tests de vérité.

LES SOURCES DE DONNEES TELEDETECTEES

Les images satellites des Etats-Unis proviennent des satellites TIROS à orbite polaire de l'Administration Nationale Océanographique et Atmosphérique (NOAA), et des satellites LANDSAT pour les ressources terrestres. Le programme français SPOT constitue une source de données satellites à haute résolution. Ces différents systèmes sont mentionnés non pour exclure les autres sources, mais parce que ce sont ceux dont les techniciens de la télédétection connaissent le mieux les utilisations et les limites. D'autres programmes sont soit en préparation, soit mis en place par l'Union Soviétique, l'Inde, la Chine, l'Agence Spatiale Européenne, l'Allemagne, le Canada et le Japon. Les services de photographie aérienne et de vidéographie sont en général disponible localement.

Les données des Satellites de NOAA

Les satellites de la série TIROS ont été lancés à l'origine comme satellites météorologiques par l'Administration Nationale et Atmosphérique (NOAA). Mais, le capteur du radiomètre avancé à haute résolution (AVHRR) a été largement utilisé pour le suivi des ressources terrestres. Contrairement à son nom, le capteur du radiomètre fournit des images à basse résolution ayant un champ de vision instantané (IFOV) au nadir de 1.1 km. La grossièreté de la résolution spatiale est compensée par la fréquence journalière de passage.

Le déchiffreur du radiomètre enregistre des images numériques en cinq portions du spectre électromagnétique: une dans le visible réfléchi, une dans l'infrarouge réfléchi et trois dans l'infrarouge thermique. Le capteur du radiomètre produit deux jeux de données séparées. Les données à couverture locale (LAC) ont un champ de vision instantané de 1.1 km au nadir. Les données à couverture globale (GAC) représentent ce même échantillon de données (prises à 1.1 km) mais pour un champ de vision instantané d'environ 4 km. Les données GAC sont enregistrées en permanence tandis que les données LAC sont soit enregistrées soit transmises aux stations au sol localisées sur la ligne de passage du satellite. Le Centre AGRHYMET à Niamey reçoit les données LAC à chaque passage du satellite au-dessus des pays du CILSS.

L'image du Niger présentée est une portion d'une scène LAC. Une mosaïque numérique d'images de cinq passages orbitaux couvrant les Etats-Unis est également présentée. Ces images cartographiques couvrent un pays ou un continent à bas prix.

D'autres illustrations donnent des images LAC qui ont été traduites en information sur la végétation. Dans l'une d'elle, plusieurs images LAC ont été :

- 1) intégrées à une banque de données géographiques,
- 2) transformées en images d'indice de la végétation,
- 3) composées pour créer des indices de la végétation du Niger sur 14 jours.

En utilisant une séquence de ces compositions, il est possible d'assurer un suivi continu au niveau de chaque pays de l'état et de la croissance de la végétation.

Un autre document présente une série d'images, d'indices historiques de la végétation produites par le Centre de Vol Spatial Goddard de l'Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace (NASA). La NASA a préparé des compositions sur dix jours d'images GAC pour la totalité du continent africain et divers autres lieux pour les 7 dernières années.

LANDSAT

La série américaine de satellites LANDSAT, lancée en juillet 1972, marque le début de l'époque moderne pour les satellites de télédétection terrestre. Les satellites LANDSAT en orbite autour de la terre ont permis la première accumulation systématique d'images à haute résolution. Les capteurs LANDSAT ont pris des images de la totalité de la surface terrestre comprises entre les 81 ièmes degrés de latitude nord et sud, la plupart des régions étant prises plusieurs fois.

De 1972 à 1983, le déchiffreur multispectre (MSS) des satellites LANDSAT 1, 2 et 3 a recueilli des images des régions terrestres non polaires tous les 18 jours. Le champ de vision instantané du déchiffreur est d'environ 79 m² (0.57 hectare), chaque image couvrant un carré de 185 km de côté. Le déchiffreur multispectre (MSS) enregistre l'énergie dans quatre zones du spectre: deux dans le visible et deux dans l'infrarouge réfléchi.

Du fait de sa résolution spatiale relativement élevée, de ses enregistrements répétés et du caractère unique des bandes spectrales, les images produites par le déchiffreur multispectre (MSS) sont considérées comme un fondement essentiel des inventaires de ressources. Il est courant de cartographier à une échelle comprise entre 1:1.000.000e et 1:250.000e à partir du déchiffreur multispectre (MSS). Ainsi un document présenté est une image de Niamey au Niger prise par le déchiffreur multispectre (MSS).

Depuis juillet 1982, le satellite LANDSAT 4 (et plus tard le satellite LANDSAT 5) ont transporté un second capteur, le cartographe thématique (TM) en plus du déchiffreur multispectre (MSS). Actuellement on enregistre à partir des deux capteurs. Le capteur TM a une résolution spatiale et spectrale plus élevée. Son champ de vision instantané est de 30 m (0.09 hectare) pour des images couvrant 185 km de côté. Il enregistre dans sept régions du spectre: trois dans le visible, trois dans l'infrarouge réfléchi et une dans l'infrarouge thermique. Les

images provenant du capteur TM peuvent être utilisées pour faire des inventaires plus détaillés grâce aux classifications plus complexes apparaissant en légendes. L'échelle des cartes peut atteindre le 1:50.000e ou le 1:100.000e.

SPOT

Le satellite de télédétection français nommé d'après le Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) a été lancé en février 1986. Le programme a été organisé par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Les caractéristiques de SPOT comprennent une couverture à l'échelle mondiale, une haute résolution spatiale, une capacité de stéréo.

Les images SPOT ont un cycle répétitif de 26 jours, mais le capteur peut être décentré hors du nadir ce qui permet d'assurer en moyenne une couverture tous les deux jours et demi (le nombre exact de jours dépendant de la latitude). La longueur de la surface terrestre enregistrée est de 60 kilomètres, mais une fois que l'on a mis côte à côte les bandes analysées, il apparaît qu'il est possible de couvrir une région de 117 kilomètres de long en un seul passage.

La Photographie Aérienne

Les photographies aériennes prises par les appareils à bord d'avions peuvent présenter une large gamme d'échelles, de taille de films et de caractéristiques géométriques suivant les types de lentilles, d'appareils photographiques, de films et de filtres utilisés, et l'altitude de l'avion. La photographie aérienne est souvent utilisée pour des activités particulières qui demandent des types de détails seulement fournis par des images à haute résolution. Les avantages de la photographie aérienne et/ou de la vidéographie sont la possibilité de cartographier à plus grande échelle et de contrôler les dates de prises d'images. Son gros inconvénient est le coût relativement élevé des images (si de larges surfaces sont à photographier). La figure 7 donne un exemple de couverture satellite par divers capteurs et le compare aux photographies aériennes.

LES IMAGES COMME POTENTIEL D'INFORMATION

Quelle qu'en soit la source, les données télédétectées sont devenues un moyen familier et reconnu d'évaluer les ressources et de suivre les programmes. La télédétection contribue à l'inventaire et à la cartographie des sols, de la végétation, de l'occupation et de l'utilisation des sols, des ressources en eau, de la géologie superficielle et de divers autres aspects de l'eau et des terres. Il est toutefois essentiel que les besoins de l'utilisateur en information motivent l'utilisation de la télédétection.

Le tableau 1 donne les coûts de l'acquisition des données et le nombre de scènes nécessaires pour couvrir un pays de la taille du Niger. Le tableau 2 résume les principaux types d'images disponibles, les types et l'échelle de l'information

qui peut en être déduite, les coûts approximatifs des enquêtes menées à partir de cette information.

Tableau 1. Coût des Données Numériques Provenant de Satellite Pour une Couverture Complète du Niger (1.267.004 km²)

	Nombre de scène	Coût par scène	Coût total des données	Coût par km ²
AVHRR	1	\$ 92	\$ 92	\$0.00007
Landsat MSS	57	660	37,620	0.03
Landsat TM	57	3,200	182,400	0.14
SPOT Multispectre	513	1,700	872,100	0.69
SPOT Panchromatique	513	2,200	1,128,600	0.89

Tableau 2. Exemples de types et coûts d'enquête qui peuvent être facilités par l'emploi de la télédétection.

Produit	Signification Géographique	Echelle Optimale des Cartes	Données Potentielles	Coût Typique par km ² en dollars US
Suivi de processus dynamiques	National ou Continental	1:2,500,000 au 1:10,000,000	AVHRR	\$0.01
Données Thématiques Généralisées et de Base	MultiNational ou National	1:1,000,000 au 1:5,000,000	AVHRR LANDSAT MSS	\$0.40 à 4.00
Cartes Thématiques Spécifiques de Base, Cartes Inventaire	National ou Provincial	1:100,000 au 1:250,000	LANDSAT MSS, TM SPOT	\$0.40 à 10.00
Enquêtes détaillées Spécialisées	Provincial ou Local	1:10,000 au 1:100,000	LANDSAT TM, SPOT	\$10.00 à \$100.00

Les estimations des coûts proviennent de : Méthodes pour l'Inventaire des Ressources et les Etudes de Base pour les Pays en Voie de Développement, Association Américaine pour la promotion des publications scientifiques - N°83-3, 1983.

LA STRATEGIE DE L'UTILISATION DE LA TELEDETECTION

Il faut employer une stratégie logique si on veut que les données acquises à distance soient d'un apport bénéfique aux programmes de gestion des terres. Il est essentiel que les exigences du programme soient le moteur de l'utilisation de la technologie de télédétection, plutôt que la technologie le moteur de ses applications. Le succès dépend de la bonne correspondance entre l'information requise et celle que peut fournir la télédétection.

Les étapes suivantes illustrent une séquence logique d'utilisation de la télédétection pour la reconnaissance et le suivi des ressources naturelles :

1. Définition des besoins de l'utilisateur à savoir :
 - a) la région géographique,
 - b) l'information requise,
 - c) la fréquence de l'information (inventaire instantané contre suivi périodique),
 - d) le budget nécessaire à la conduite du projet. Sur cette base on doit définir une politique d'ensemble permettant de s'assurer que l'on dispose de moyens nécessaires à la réussite du projet.
2. Recueil de l'information déjà existante décrivant la région géographique et les phénomènes qui doivent être cartographiés ou suivis. Il n'y a aucun substitut de la familiarisation avec la région ou le sujet d'étude quand on utilise les techniques de télédétection.
3. Choix des données télédétectées appropriées c'est-à-dire celles pourvoyant au mieux l'information requise. Le choix doit être fondé sur la disponibilité des données, les échelles de cartographie, les conditions d'obtention des données spectrales, et les coûts.
4. Définition des méthodes d'interprétation qui produiront l'information désirée. Pour cela, on doit prendre en considération, l'information requise, le niveau d'expertise du personnel, les possibilités d'accès à un équipement spécialisé, et le budget dont on dispose.
5. Conduite de l'enquête ou du suivi revient à combiner les données appropriées de la télédétection aux autres données disponibles et aux vérifications sur le terrain.

6. Présentation des résultats aux faiseurs de décision sous une forme facile à comprendre et à utiliser.

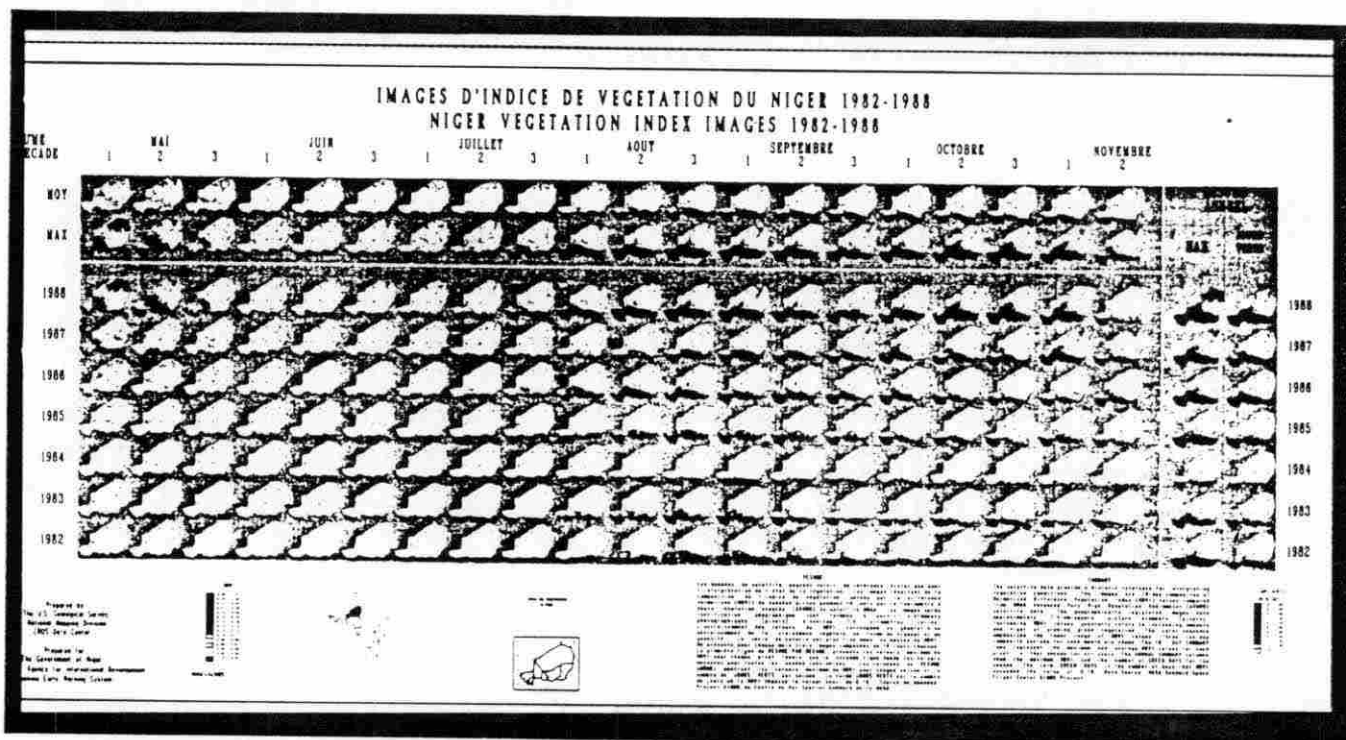


Figure 4. Composition d'images NDVI à couverture générale (GAC) prises par le radiomètre avancé à haute résolution au cours des années 1982 à 1988 et montrant des zones de la taille d'un continent. Les images journalières ont été confondues pour préparer ces compositions de la décennie, ayant un pixel d'environ 7.4 km. La source des données est la NASA/GSFC. L'original est en couleur.

Composite of 1982-1988 NDVI images from Global Area Coverage (GAC) AVHRR data for display of continent-size areas. Daily images are merged to prepare decadal composites having a pixel size of approximately 7.4 km. Data source: NASA/GSFC. Original in color.

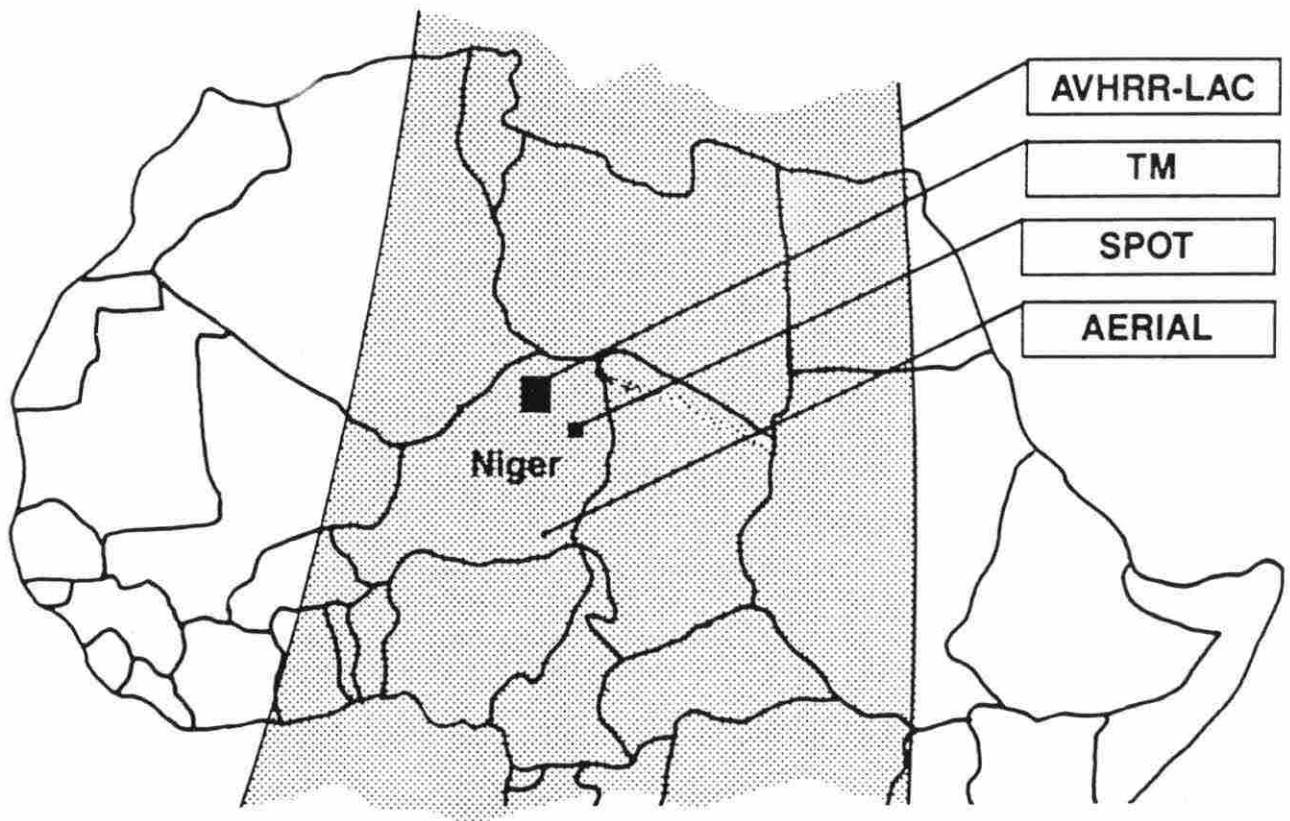


Figure 7. Surfaces couvertes par certaines images aériennes et satellites.

Coverage area of selected satellite and aircraft images.

Le Président remercie le Dr. Moore pour son exposé clair et instructif. Avant de donner la parole aux participants désireux de poser des questions, il souhaite demander à l'orateur s'il existe, en Afrique, d'autres stations de réception et de traitement des données NOAA analogues (AVHRR) à celle dont a été doté le Centre AGRHYMET.

Le Dr. Moore répond que la station de Mas Palomas (Canaries) est en service depuis plusieurs années ; elle permet de couvrir les pays du CILSS à l'exception du Tchad, le Sahara Occidental et Central et le Maghreb. Une station jumelle de celle de Niamey est en cours d'achèvement à Nairobi ; elle couvrira l'Afrique Orientale et une partie de l'Afrique Centrale.

Le Président souligne combien le transfert de la station de réception des données NOAA des Etats-Unis vers le Sahel privilégie la région comparativement au reste de l'Afrique.

M. Hielkema (FAO-RSC) demande au Dr. Moore quels sont, selon lui, les principaux objectifs que la télédétection doit chercher à atteindre au Sahel.

Le Dr. Moore répond par trois remarques :

- La télédétection est une technologie relativement nouvelle qui peut apporter des données et des informations supplémentaires susceptibles de faciliter la solution de certains problèmes. Vouloir lui assigner des buts précis ne paraît pas la bonne approche, d'autant que les besoins des utilisateurs n'ont pas encore été clairement définis. Il convient de faire le bilan des moyens et des ressources accessibles qui peuvent être associés à ceux que procurent les autres méthodes classiques, plutôt qu'un bilan de la télédétection en elle-même.
- La télédétection ne permet pas de mesurer directement divers éléments ou phénomènes ; elle fournit des données à partir desquelles, grâce à des modèles -qui sont d'ailleurs à améliorer- on procède à des déductions. Ceci est vrai pour la végétation à partir de l'humidité par exemple.
- La communauté des spécialistes n'a pas encore suffisamment pris en compte les besoins réels des utilisateurs de TDT. Cette technique apporte déjà une somme importante d'informations utiles, mais sa contribution est encore le plus souvent d'ordre qualitatif. Les performances réalisées visent naturellement le quantitatif, mais elles en sont plus ou moins éloignées. Il reste beaucoup de chemin à parcourir avant que la télédétection ne fournisse des données et produits répondant pleinement aux souhaits des utilisateurs sahéliens même si sa contribution est significative, et dans certains domaines relativement peu onéreuse.

Le débat se poursuit par l'examen d'une série de questions techniques spécifiques concernant :

- Les corrections atmosphériques relatives aux données reçues des satellites NOAA . Réponse : il s'agit d'un problème pour les techniciens.
- L'origine des informations sur l'évolution de la bio-masse au Niger (1982-88), telles qu'elles sont représentées dans les documents exposés. Sont-elles uniquement satellitaires ou mixtes ? Réponse : ces cartes d'indice de végétation sont élaborées exclusivement à partir des données spatiales.
- Le délai de livraison des données NOAA au Centre de suivi écologique de Dakar (CSE). Ces informations parviennent via la station de Mas Palomas, d'où des délais dans l'élaboration des cartes d'indice de végétation. Y-aurait-il une possibilité de travailler en temps réel ? Que peut apporter la nouvelle station de Niamey . Réponse de M. Bergès, responsable de la station NOAA-AVHRR du Centre AGRHYMET : les produits susceptibles d'être élaborés en direct par cette station sont principalement les indices de végétation et accessoirement, pour la pluviométrie, les températures de surface. Le CRA va les diffuser dans les différents pays du CILSS, dont le Sénégal, grâce au système de télécommunications envisagé ou existant. Cette voie transmet des produits élaborés et le CSE (Dakar) pourra en bénéficier, au lieu d'avoir à traiter des données brutes. Il lui suffira de se mettre en rapport avec la "composante AGRHYMET du Sénégal.
- Un échange de vues fait apparaître deux conceptions divergentes sur ce sujet : l'une favorable à un développement des moyens nationaux au niveau de chaque pays du CILSS, le Centre régional AGRHYMET jouant un simple rôle de coordonnateur chargé des synthèses, l'autre privilégiant au contraire le CRA afin de limiter les dépenses, chaque Etat membre étant destinataire des produits et informations grâce à un bon réseau de télécommunications. Le responsable du CSE-Dakar plaide en faveur de la première méthode, en faisant observer l'avance prise par le Sénégal, lequel dispose de plusieurs organismes spécialisés (CSE, UTIS). Le représentant du PNUD-UNSO (Dakar) appuie cette thèse et retrace l'historique du Centre de suivi écologique, projet déjà ancien soutenu par le PNUD et la FAO, dont les produits d'origine satellitaire sont exploités au Sénégal et venaient en outre enrichir les informations du Centre régional AGRHYMET (CRA) ces dernières années. Le Président souligne la nécessité d'une cohésion au sein des pays du Sahel, du moins tant qu'on se trouve dans une phase préparatoire où tous les Etats membres ne se situent pas au même niveau de développement. Il regrette la redondance qui apparaît désormais entre le traitement des données NOAA (Indices de végétation) par le CSE (Dakar) et le CRA (Niamey).

- Le responsable de la composante nationale AGRHYMET du Sénégal explique la situation de la télédétection dans ce pays, confronté à un problème de coordination interne, outre celui de la nécessaire coopération des organismes spécialisés nationaux avec le CRA.
- Le coût des images à haute résolution (LANDSAT, SPOT) qui pèse souvent lourd sur les maigres budgets des services ou organismes utilisateurs.
- Les limites d'utilisation de la télédétection, le degré de valeur des informations satellitaires comparées à celles obtenues sur le terrain.

Le Dr. Moore répond qu'il n'est pas facile de fixer ces limites. Il précise que la difficulté varie sensiblement selon le type de produit ou de donnée que l'on considère. La nécessaire modélisation qu'on doit réaliser pour exploiter les innombrables mesures radiométriques est parfois simple (exemple la surveillance des zones à risque par les feux de brousse), parfois très complexe. La télédétection est encore largement expérimentale et son domaine d'utilisation ne peut être limité actuellement ; la plupart de ses produits sont perfectibles, certains sont relativement fiables, d'autres encore trop flous. Les utilisateurs ont un rôle à jouer pour définir les besoins, et pour comparer les produits de télédétection avec ceux d'origine classique.

- La formation de spécialistes, au bénéfice des Etats, en vue de l'exploitation rationnelle de la télédétection à leur niveau. En réponse, le Dr. Moore expose ses vues sur cet aspect fondamental. Plus il y aura de gens familiarisés avec cette technologie et ses applications possibles au Sahel, en particulier pour accomplir les tâches de vérification au sol, mieux les pays sahéliens seront en mesure de tirer convenablement parti de la télédétection. La formation et l'accoutumance des personnels plus ou moins directement concernés demandent beaucoup de temps et d'expérience.
- Le Dr. Moore achève la session en donnant des éclaircissements sur la nécessité d'un suivi en temps réel des données de terrain et sur les diverses problématiques de méthodes, de coûts et d'échelles. Il explique les expériences réalisées aux Etats-Unis et les résultats atteints dans les divers domaines explorés par la télédétection, en particulier pour mesurer les surfaces cultivées. Il met l'accent sur les prix de revient des opérations, lesquels varient sensiblement, selon les cas.

III.2. Deuxième session : Mardi 20 juin (après-midi) et Mercredi 21 juin (début de matinée)

Présidence : M. Terry L. Lambacher, Club du Sahel

**LA TELEDETECTION ET LE SAHEL :
les structures, les produits**

Le Président rappelle d'abord à l'assistance que la conférence n'est pas organisée en fonction des projets, des programmes, des donateurs ou des organisations internationales en tant que tels, mais au contraire, par thèmes. Il espère que l'ordre du jour, qui a été structuré et planifié autour des principaux thèmes intéressant les utilisateurs permettra un débat ouvert.

M. Lambacher donne alors la parole à M. Domergue pour la présentation de son exposé.

**LA TELEDETECTION ET LE SAHEL :
structures, produits**

INTRODUCTION

La télédétection aérospatiale a de nombreux champs d'application notamment au Sahel où les besoins liés aux opérations de développement sont immenses. Pour organiser l'utilisation rationnelle des différents outils satellitaires actuellement disponibles il y a lieu de bien connaître leurs possibilités et aussi leurs limites au jour d'aujourd'hui. Nous ferons donc un bref rappel des principales applications de la télédétection aérospatiale aujourd'hui au Sahel avant de décrire les structures scientifiques et techniques de mise en oeuvre des techniques de télédétection et les produits disponibles opérationnellement. Nous terminerons par quelques considérations sur l'avenir tant au niveau des outils, des structures de réception et de traitement des données satellitaires que des produits attendus pour contribuer au développement de la région du Sahel.

1. Les principales techniques et les principales applications de la télédétection aérospatiale au Sahel

Dans tout ce qui va suivre il y aura lieu de distinguer les techniques et les applications liées aux satellites dits de ressources terrestres de celles liées aux satellites météorologiques.

1.1. Les satellites de ressources terrestres et leurs applications.

Les satellites de ressources terrestres sont des satellites défilants à orbite polaire, héliosynchrones, haute définition (jusqu'à 10 mètres de résolution au sol en mode panchromatique pour SPOT) mais à faible répétitivité (26 jours nominalement pour SPOT, 16 jours nominalement pour

LANDSAT). Une scène SPOT couvre 60 km X 60 km ; une scène LANDSAT 180 km X 180 km. Ces scènes sont disponibles soit sous forme de films photographiques ou de tirages papier soit sous forme de données numériques sur bandes magnétiques. En général ces images sont "regardées" et traitées par des thématiciens qui, connaissant le terrain, identifient, par leur forme, par leur structure ou par leur réponse spectrale, des objets sur le terrain. La généralisation visuelle (ou informatique) des indentifications ponctuelles à de vastes ensembles de points d'image permet d'exploiter d'un seul coup, rapidement et de façon fiable, de vastes étendues de terrain. C'est ainsi que les applications les plus au point intéressent les inventaires agricoles et pastoraux que ce soit pour l'exploration ou l'aménagement de territoires nouveaux ou pour la gestion des territoires déjà mis en valeur (surveillance ou suivi des terres en exploitation). Dans le cadre des Systèmes de Sécurité Alimentaire au Sahel, la demande est essentiellement tournée vers un outil d'estimation des surfaces emblavées pour les cultures pluviales afin de prévoir les productions agricoles (au moins par entité administrative de base), aussitôt que possible dans la saison des pluies et à la fin de celle-ci, si l'on peut estimer les rendements. Similairement, on attend de l'outil satellitaire une bonne cartographie des pâturages.

C'est donc dans le domaine agricole et pastoral que les applications sont les plus pratiques actuellement au Sahel. Il y a aussi des applications hydrologiques liées aux eaux de surface des fleuves, des lacs et des mares. L'aide à l'exploration géologique par la reconnaissance des structures susceptibles de fournir des sites de forages aquifères est aussi une application de première importance pour la zone sahélienne. On parle encore assez peu par contre dans cette partie du monde d'applications dans le domaine des grands travaux de génie civil ou dans le domaine des aménagements urbains et péri-urbains.

A noter que la haute définition de ces satellites étant obtenue au détriment de la répétitivité, une prise de vue faite en présence de nuages qui masquent le sol et les objets à observer peut être un handicap considérable pour l'application envisagée. Une prise de vue manquée avec LANDSAT reporte le résultat d'au moins 16 jours ; une prise de vue manquée avec SPOT peut ne reporter le résultat que de 2,5 jours s'il n'y a pas de conflit de programmation du satellite et si on peut donc utiliser pleinement les possibilités de dépointage de ce satellite.

1.2. Les satellites météorologiques et leurs applications

Les satellites météorologiques sont soit des satellites défilants à orbite polaire, héliosynchrones comme les satellites de la série TIROS N de la NOAA, soit des satellites géostationnaires à la verticale de l'Equateur

comme les satellites américains GOES et les satellites METEOSAT de l'Agence Spatiale Européenne. Par rapport aux satellites de ressources terrestres, ces satellites sont à faible définition (2,5 km de résolution au sol à la verticale de l'équateur pour METEOSAT et GOES ; 1.1 km pour les satellites TIROS N). Ils sont par contre à haute répétitivité : une image toutes les 1/2 heures pour METEOSAT, une image tous les jours pour chacun des satellites TIROS N / NOAA en service. Les applications de ces satellites tirent avantage de ces spécificités. Ils permettent en effet des vues d'ensemble sur de vastes territoires d'une part, une surveillance quasi continue de ces territoires d'autre part. Ils permettent d'appréhender les phénomènes à évolution rapide comme les phénomènes météorologiques ou à évolution moyennement rapide comme la réaction de la végétation aux événements pluviogènes. La haute répétitivité de la prise de vue permet enfin d'avoir une grande probabilité d'obtention d'une image "sans nuage" sur un laps de temps compatible avec l'observation de l'évolution de la surface intéressée, par exemple celle précisément de la végétation sahélienne naturelle ou cultivée qui réagit très visiblement dans les 5 à 10 jours qui suivent la pluie (c'est aussi le laps de temps au bout duquel l'absence de pluies "se voit" sur la végétation). On comprend que dans ces conditions, les scientifiques et les techniciens aient développé, en dehors des applications numérolologiques, celles qui intéressent l'observation de l'état de la végétation et en particulier les cultures et pâturages. On utilise pour cela, pour chaque point d'image reçu (et généralement stocké sur bande magnétique), des combinaisons de canaux spectraux tels qu'on obtienne des êtres mathématiques qui répondent numériquement 1 de façon compréhensible à tous les types d'évolution connus de la végétation. Ce sont les différents indices de végétation dont sont familiers les utilisateurs de l'imagerie NOAA. Les variations spatiales et temporelles de ces indices sont cartographiées informatiquement avec des teintes de gris ou des couleurs (fausses) selon le type d'imprimante dont on dispose. La relativement faible résolution et la haute répétitivité autorisent l'utilisation de ce type de satellites pour la surveillance continue de la biomasse végétale. Dans le cadre des Systèmes de Sécurité Alimentaire, on recherche non seulement une surveillance "Qualitative" de l'état de la végétation mais on cherche également à estimer les rendements prévisibles en fin de récolte aussitôt que possible pendant la saison des pluies sahélienne.

Au total, l'utilisation simultanée des deux types de satellites tend à appréhender depuis le ciel les deux termes de l'équation de la production agricole : les surfaces emblavées et les rendements. La recherche aura fait un grand pas lorsqu'elle générera des Systèmes opérationnels capables de cartographier et donc de superposer géographiquement ces deux paramètres

fondamentaux de la gestion du problème alimentaire sahélien.

2. Les structures de production de données satellitaires

2.1. Les satellites de ressources terrestres.

Aux formats standards, une scène SPOT couvre 60 km x 60 km et une scène LANDSAT 180 km x 180 km. Le nombre de points d'image générés par le satellite est très important et le débit de leur transmission vers le sol est très élevé. Il s'ensuit la nécessité de stations de réception très sophistiquées et donc très coûteuses tant à l'investissement qu'à la maintenance et à l'exploitation. Pour qu'une station de réception soit rentable économiquement il faut qu'il y ait un marché important en volume d'une part, solvable d'autre part, pour supporter le prix des redevances et celui des produits.

La carte des stations de réception SPOT dans le monde est particulièrement significative. En Afrique, seule la station de réception située en Afrique du Sud est une réalité. Elle se justifie par un marché consommateur d'images SPOT riche et probablement aussi par quelques considérations stratégiques. D'autres projets de stations de réception existent. Deux intéressent la région sahélienne. Il s'agit des projets de station à Ouadagoudou et à Nairobi. De nombreuses études techniques, de faisabilité et de rentabilité ont été faites. Il faut en conclure que le moment n'est pas encore venu de penser à une réception des satellites SPOT ou LANDSAT en Afrique Sahélienne. Ce qui n'empêche pas d'utiliser l'outil SPOT ou l'outil LANDSAT pour des opérations de développement ou dans les Systèmes de Sécurité Alimentaire dans cette région comme nous l'avons vu plus haut.

Pratiquement, l'obtention des scènes se fait auprès d'organismes commerciaux : EOSAT aux Etats-Unis pour les produits LANDSAT, la Société SPOT-IMAGE en France pour les produits SPOT. Chacun de ces producteurs exclusifs peut avoir des représentants ou des distributeurs locaux comme cela se pratique pour n'importe quel produit commercial. Dans la région Ouest-Africaine, SPOT-IMAGE, par exemple, travaille en Côte d'Ivoire et au Sénégal avec des commerçants locaux, agents distributeurs. En général, ceux-ci ne bénéficient pas d'exclusivité de distribution à cause de la susceptibilité de certains bailleurs de fonds qui préfèrent acheter "à la source".

Un paramètre qui peut être important est le délai d'obtention des produits. C'est le cas pour les Systèmes de Sécurité Alimentaire qui réclament pour être efficaces des délais rapides. Or l'expérience montre que ceux-ci peuvent être très variables et qu'ils ne dépendent pas uniquement de la réussite de la prise de vue (possibilité de couverture nuageuse trop importante). Dans le meilleur des

cas on a pu obtenir une scène SPOT dans un délai de 15 jours. C'est un délai acceptable pour l'estimation des surfaces emblavées pour les Systèmes de Sécurité Alimentaire si toute la procédure de traitement et d'exploitation qui suit est parfaitement opérationnelle. Il est malheureusement aussi arrivé que les délais aient été si importants que l'information souhaitée avait fini par être obtenue par un moyen non satellitaire (même approximativement). Il est probable que l'amélioration des conditions d'exploitation du satellite SPOT permettront dans un avenir proche d'obtenir des images avec des délais encore plus courts et surtout garantis.

Les scènes sont vendues par SPOT-IMAGE ou par EOSAT soit sous forme de films photographiques ou de tirages papier, soit sous des formes de données numériques sur bandes magnétiques. Achetées (et quelques fois payées avant leur obtention). Ces images sont expédiées depuis les Etats-Unis ou depuis la France vers les structures qui sont chargées, par l'utilisateur final, de leur traitement et de leur exploitation.

2.2. Les satellites météorologiques

Le nombre de données issues des satellites météorologiques est bien moins grand que le nombre de données générées par les satellites de ressources terrestres. Il s'ensuit des stations de réception des données primaires bien moins compliquées et donc bien moins onéreuses. Dans le cas des satellites météorologiques il existe même un système dit WEFAX de diffusion analogique de données à partir de centres de traitement de données primaires comme celui de Darmstadt (RFA). Ce système créé pour satisfaire les besoins d'exploitation des météorologistes protectionnistes d'aéroports et des météorologistes prévisionnistes ne nécessite que des équipements de réception secondaires légers tant et si bien que la plupart des services météorologiques en sont pourvus, y compris dans la région sahélienne. Ce système, où un traitement (par exemple à Darmstadt) des données numériques (primaires) permet d'obtenir un signal analogique (secondaire) où le contraste est optimisé, n'autorise pas de traitement numérique ultérieur sur le lieu de réception. On ne peut donc pas utiliser ces stations pour générer les indices de végétation dont on a besoin pour la surveillance de la végétation et en particulier des cultures et des pâturages. Cette surveillance nécessite l'utilisation de stations capables de recevoir les données numériques primaires issues des satellites. Ces stations sont dites PDUS (Primary Data User Station), les stations analogiques étant dites SDUS (Secondary Data User Station).

Les stations PDUS METEOSAT diffèrent des stations PDUS NOAA par plusieurs caractéristiques, l'une d'elles étant que les stations de réception NOAA nécessitent une antenne mobile capable de poursuivre le satellite lorsqu'il défile sur les

trajectoires passant au-dessus de la station de réception. Les satellites comme METEOSAT, géostationnaires, donc immobiles par rapport à la station, ne nécessitent qu'une antenne fixe donc moins compliquée et par conséquent moins onéreuse. Quoiqu'il en soit une station de réception PDUS pour NOAA ou pour METEOSAT coûte comparativement bien moins cher qu'une station de réception SPOT ou LANDSAT, en investissement comme en charges récurrentes d'exploitation et de maintenance. Un élément non négligeable vient du fait qu'il n'y a pas de redevance d'écoute au propriétaire du satellite comme c'est le cas pour LANDSAT ou pour SPOT. Les satellites météorologiques peuvent être "écoutés" gratuitement par quiconque en a les moyens techniques. Toutes ces considérations étant prises, la rentabilité d'une station PDUS s'évalue différemment puisqu'un des paramètres majeurs est souvent le temps de disponibilité des données ou des produits dérivés au niveau même des utilisateurs. C'est particulièrement vrai lorsqu'on utilise ces données au sein des Systèmes de Sécurité Alimentaire ou autre Systèmes d'Alerte Précoce de la Sécheresse.

Actuellement il n'existe qu'une station PDUS NOAA opérationnelle en Afrique sahélienne. Il s'agit de celle du Centre AGRHYMET de Niamey qui, après une saison 1988 préopérationnelle, devrait être totalement opérationnelle pour la saison 1989. Cette station est entièrement dédiée à la surveillance continue et en temps réel des cultures et des pâturages sahéliens pour le compte du Système opérationnel AGRHYMET du CILSS. Elle pourra, le moment venu, satisfaire d'autres besoins dans et hors du CILSS. Les données sont (ou seront) entièrement archivées sur place sur support informatique (Disque Optique Numérique) pour une utilisation également différée. Des arrangements particuliers avec l'Agence Spatiale Européenne permettront de faire figurer les données disponibles au catalogue général du Système EARTHNET consultable par télématique partout dans le monde.

Une station NOAA identique à celle de Niamey vient d'être construite par la météorologie nationale de Nairobi (Kenya). Des accords particuliers avec le Centre Régional de Télédétection (RCSSMRS) de Nairobi qui est officiellement en charge des activités de Télédétection de l'IGADD (dont le siège est à Djibouti) permettront de mettre en réseau les installations informatiques des deux institutions et donc l'utilisation des données NOAA disponibles pour l'IGAAD sur un mode identique à celui du Système AGRHYMET pour le CILSS. Cette station NOAA devrait, à terme, être doublée d'une station PDUS METEOSAT.

Il n'existe actuellement aucune station PDUS METEOSAT dans les pays du CILSS, mais un projet avec le Centre ACMAD qui s'implante à Niamey devrait permettre de mettre à la disposition conjointe du Centre AGRHYMET et du Centre ACMAD un équipement dont la fonction principale serait de générer

des cartes de champ pluviométrique sur le Sahel dans un premier temps, sur l'ensemble de l'Afrique ensuite.

A signaler enfin que les sources antérieures de données primaires NOAA continuent et continueront probablement à alimenter certaines institutions africaines. C'est le cas du Centre de Suivi Ecologique de Dakar qui se sert en données primaires NOAA sur le Sénégal auprès de la station de réception de Mas Palomas aux Canaries.

3. Les structures d'exploitation des données satellitaires

3.1. Exploitation des données satellites de ressources terrestres.

Actuellement l'essentiel des données satellitaires type SPOT ou LANDSAT acquises pour des applications au Sahel est traité en dehors de la région sahélienne. Qu'il s'agisse de traitements pour des projets d'aménagement ou de traitements pour des projets de surveillance ou de gestion de zones déjà aménagées, ceux-ci sont en général faits par des structures qui possèdent à la fois les équipements informatiques importants adéquats et les ingénieurs capables d'interpréter les produits obtenus. Il s'agit en général de bureaux d'études importants qui ont en général acquis leur réputation avant d'utiliser les produits satellitaires. Pour eux, l'outil satellitaire constitue tout juste un nouvel outil dont il faut tirer le meilleur parti. A la demande des états bénéficiaires et des organismes de coopération, on tend de plus en plus à organiser le transfert des technologies y compris en collaboration avec ces bureaux d'études. C'est ainsi que d'une part des pôles régionaux ont été officiellement créés et que d'autre part des projets décentralisés ont vu le jour. Le Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou a été créé avec une double vocation : celle de la formation des techniciens et cadres des applications de la télédétection dans la région et celle d'une assistance aux utilisateurs de la région qu'ils soient déjà opérationnels ou en voie de l'être ou qu'ils soient simplement des utilisateurs potentiels qui cherchent à s'informer ou à démarrer une application. Parmi les projets menés sur place nous ne citerons que le projet d'inventaire des ressources ligneuses au Mali qui se réalise entièrement à Bamako avec l'assistance technique d'un grand bureau d'étude français. A citer enfin les projets mixtes comme le projet CILSS/FED dit de "Surveillance des Ressources Naturelles Renouvelables" qui implique plusieurs structures de recherche/développement en Europe, une équipe de coordination régionale au Sahel (basée au Centre AGRHYMET de Niamey) et des équipes nationales. Cette structure permet une implication précoce des techniciens sahéliens, leur formation et leur équipement et permet donc d'augurer d'un transfert de technologie plus rapide et plus efficace.

3.2. Exploitation des données des satellites météorologiques

Comme indiqué déjà plus haut la station PDUS NOAA du Centre AGRHYMET de Niamey est entièrement dédiée à la surveillance continue et en temps réel des cultures et des pâturages sahéliens pour le compte du Système opérationnel AGRHYMET du CILSS. On attend donc que cette station, pour son démarrage opérationnel à l'occasion de la saison des pluies sahélienne 1989, produise au moins des cartes d'indices de végétation de chacun des pays membres du CILSS. Les équipements informatiques et les logiciels nécessaires sont en place. Dans un premier temps, ces cartes seront utilisées sur place au Centre AGRHYMET pour le suivi régional de la saison des pluies et dans les Etats, au sein des GTP AGRHYMET, auxquels il est prévu qu'elles parviennent en temps réel par télécopie. Ultérieurement des liaisons télématiques devraient permettre de diffuser directement les données primaires NOAA, ce qui nécessite d'envisager simultanément des équipements adéquats, des formations spécialisées et un véritable transfert de compétences du Centre Régional AGRHYMET vers ses composantes nationales.

Le Centre du Suivi Ecologique de Dakar est également en mesure de traiter les données primaires NOAA (reçues de Mas Palomas sur bandes magnétiques) grâce à des équipements informatiques adéquats et une compétence indéniable. Comme au Centre AGRHYMET de Niamey, ces données aboutissent à des cartes d'indices de végétation sur support papier.

4. L'utilisation des produits issus des données satellitaires

4.1. Les produits issus des données générées par les satellites de ressources terrestres

Les produits issus des traitements et de l'exploitation des données satellitaires type SPOT ou LANDSAT sont en général des produits cartographiques accompagnés de notices. Le tout est expédié ou livré à l'utilisateur final qui est, soit une autorité politique, soit un service technique à l'intérieur d'un Ministère Technique.

Les méthodologies d'évaluation des surfaces emblavées n'étant pas encore opérationnelles, le délai de disponibilité des produits n'est pas encore à l'ordre du jour. C'est cependant un paramètre sur lequel il faudra se pencher très vite.

4.2. Les produits issus de données générées par les satellites météorologiques

Comme indiqué plus haut les produits visés à partir des données NOAA sont surtout des indices de végétation. Ceux-ci peuvent être regardés sous la forme de cartes qui présentent la situation à un moment donné sur un espace donné, par exemple sur un pays. La comparaison des cartes

généérées au rythme d'une tous les 10 jours permet d'appréhender de façon quasi continue l'évolution de la situation sur ce même territoire. Ce stade peut être considéré comme quasiment opérationnel et il appartient aux GTP AGRHYMET d'exploiter cette information au niveau des réunions décadaires et d'intégrer cet outil nouveau à leur système de suivi et d'évaluation de l'impact du temps sur les activités agricoles et pastorales nationales. Encore faut-il que ces indices soient disponibles au niveau de chacun des Etats en temps utile c'est-à-dire dans les deux/trois jours qui suivent la fin de chaque période d'observation, en général la décade. D'où l'importance d'une station sur place au Sahel et d'un système de télécommunications associé conséquent. C'est ce à quoi tend le Programme AGRHYMET avec le soutien des bailleurs de fonds.

5. Quelques considérations sur les besoins qui pourraient être satisfaits par les outils satellitaires dans l'avenir

Il est évident qu'en ce qui concerne l'utilisation des données SPOT ou LANDSAT dans le cadre des Systèmes de Sécurité Alimentaire, l'effort doit être poursuivi, à notre sens pour mettre au point les méthodologies appropriées à l'obtention d'évaluations fiables des surfaces emblavées le plus tôt possible dans la saison des pluies. L'utilisation simultanée de LANDSAT et de SPOT peut s'avérer utile de même qu'il paraît évident que des mesures au sol seront toujours nécessaires. L'apport méthodologique des équipes scientifiques des pays du Nord sera encore nécessaire jusqu'à l'obtention de systèmes vraiment opérationnels au niveau régional comme au niveau de chacun des Etats sahéliens.

En ce qui concerne l'utilisation des données issues des satellites météorologiques, il y a lieu de chercher à "étalonner" les indices de végétation (ou tout autre être mathématique construit à partir de ces données) en terme de rendements agricoles "espérables" en fin de saison. Pour ceci on peut faire le raisonnement suivant : les indices de végétation peuvent aussi être regardés au niveau d'un groupe restreint de points d'image, couvrant par exemple une région à surveiller particulièrement. La courbe chronologique d'un indice de végétation intégré représentatif de cette région permet une surveillance plus serrée. Si on dispose en plus de données historiques, la comparaison des chronogrammes anciens et actuels renseigne encore plus. Si enfin c'est une région agricole pour laquelle on a des archives de rendements mesurés, on peut tenter de rechercher des corrélations entre ces rendements et certaines caractéristiques des chronogrammes des indices de végétation. Si ceux-ci sont significatifs, on a confectionné un outil de prévision des rendements pour cette région restreinte. Une exploration méthodique systématique des principales régions agricoles des pays intéressés devrait permettre de disposer de l'instrument de prévision des rendements dont les Systèmes de Sécurité Alimentaire des Etats comme les agences des pays pourvoyeurs d'aide alimentaire potentiels extérieurs ont besoin.

Des efforts de recherche/développement sont nécessaires dans ce domaine pour aboutir à des résultats concrets. Là encore l'apport des équipes de recherche des pays du Nord peut fortement contribuer à approcher les solutions aux problèmes posés.

Le croisement futur des données issues de différents satellites se fera efficacement par l'utilisation de ce qu'on appelle les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Il y a donc lieu d'en introduire l'usage au plus tôt, notamment dans le Système AGHRYMET où ils trouveraient par ailleurs des applications dès maintenant.

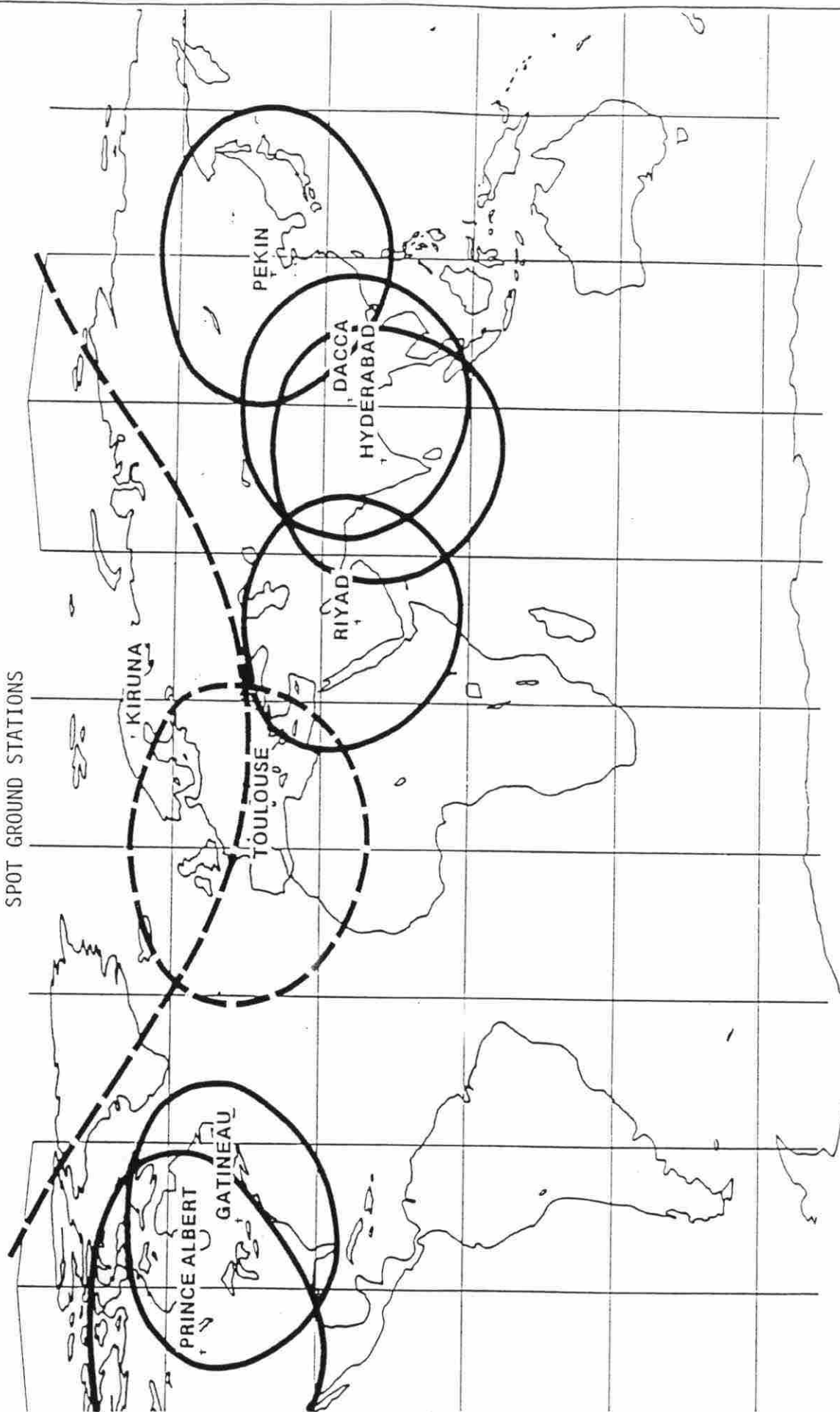
Enfin une mention spéciale doit être réservée aux satellites géostationnaires de type METEOSAT. En effet un gros effort de recherche/développement est encore nécessaire pour que cet outil soit opérationnel pour l'estimation des pluies. C'est ce à quoi se consacre le groupe d'expériences EPSAT (Evaluation des Pluies par SATellites) qui associe des équipes françaises, britanniques et sahéliennes (Niger, Sénégal) et au delà (Côte d'Ivoire).

CONCLUSION

Les besoins des pays sahéliens en produits issus des techniques de la télédétection aérospatiale sont considérables. Ils ne pourront être satisfaits que par : premièrement, le dialogue entre les utilisateurs finaux que sont les Sahéliens et les concepteurs et fabricants d'outils satellitaires que sont les pays industrialisés pour la définition des outils et des méthodes de demain ; et deuxièmement, la coopération entre chercheurs et techniciens du Nord et du Sud pour expérimenter les systèmes et les rendre utiles et adéquats pour le développement.

STATIONS DE RECEPTION SPOT

SPOT GROUND STATIONS



— Stations de réception principales / main receiving stations

- - - Stations de réception directe / receiving stations

NOAA ground stations in
Europe and Africa

Stations de réception NOAA
en Europe et en Afrique

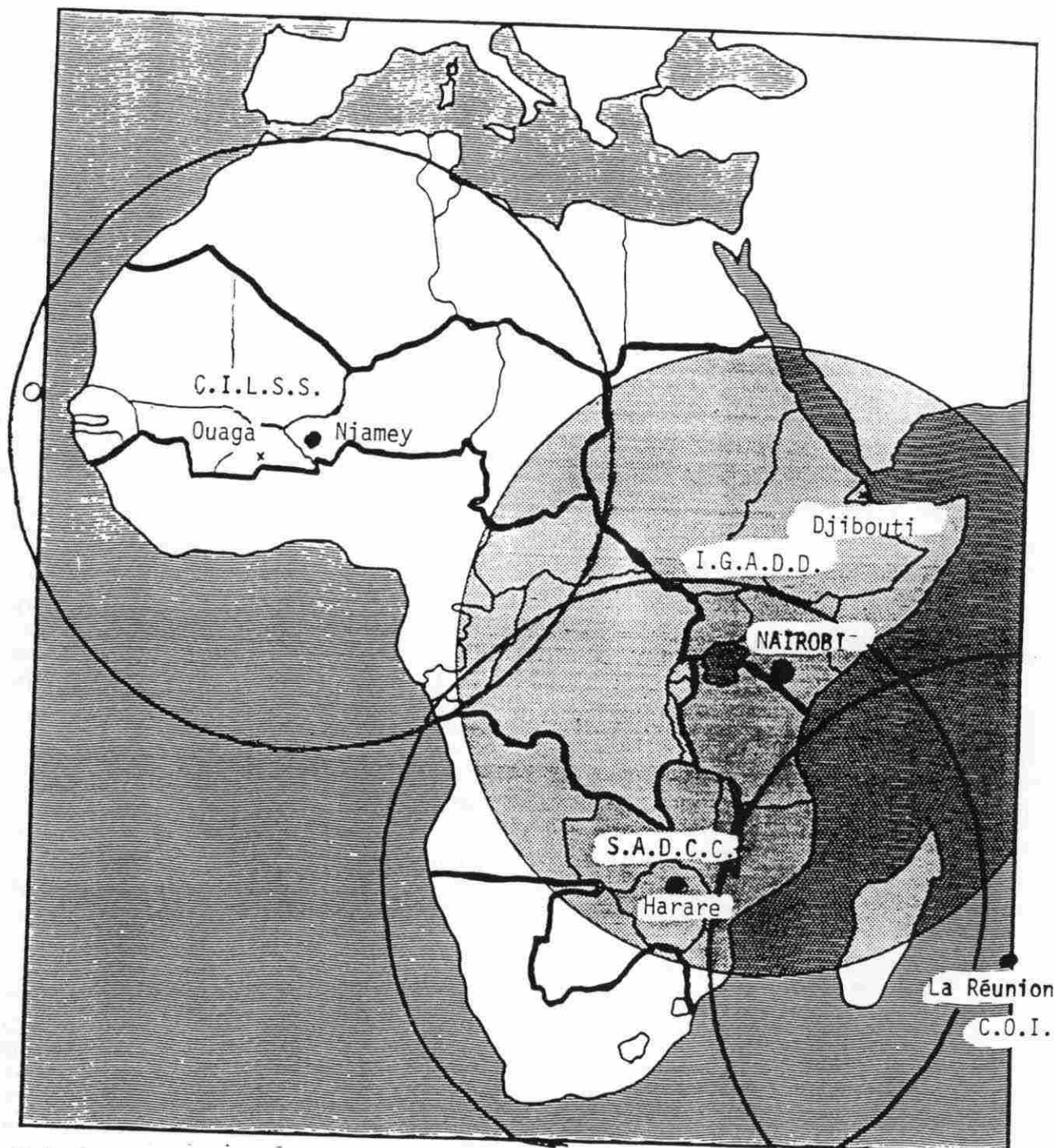


KEY / légende

1. TROMSØ
2. RUDESKOV
3. DUNDEE
4. BERLIN
5. LASIAN
6. LANNION
7. DEVLAR
8. MAS PALOMAS
9. SONDRE STRONFJORD
10. NORRKOPING
11. ROME
12. MADRID
13. DAKAR
14. NIAMEY

Regional Institutions and
NOAA Ground stations in Africa and the Indian Ocean

Institutions Régionales et
Stations de réception NOAA en Afrique et l'Océan Indien



- | | |
|------------|--|
| C.I.L.S.S. | Comité Interétats de lutte contre la sécheresse au Sahel |
| I.G.A.D.D. | Interstate Committee for Drought Control in the Sahel |
| S.A.D.C.C. | Inter-Governmental Authority for Drought and Development |
| C.O.I. | Southern African Development Coordination Committee |
| | Commission de l'Océan Indien |
| | Indian Ocean Commission |

M. Domergue complète cet exposé en donnant, à l'occasion, les indications suivantes :

- Avec l'entrée en service opérationnel de la station de réception et de traitement AVHRR-NOAA du Centre AGRHYMET, il croit bon de développer un peu plus ce sujet important. Il note que la station fonctionne bien et qu'elle a même assuré l'intérim de la station homologue de Mas Palomas (ESA) pendant plus d'un mois, lors de l'arrêt programmé de celle-ci.
- L'exploitation des données satellitaires au bénéfice des Etats sahéliens est en bonne voie. Le traitement est assuré pour l'essentiel hors de la région en ce qui concerne les données des satellites de ressources terrestres et l'exploitation est organisée dans le cadre du CILSS, en particulier avec l'aide du projet "Ressources renouvelables", et au bénéfice, entre autres, des Etats et du grand programme "Diagnostic permanent". Pour l'exploitation des données des satellites météo, le traitement est fait dans la région et en temps réel. La diffusion dans les pays membres va s'améliorer. Ainsi par exemple, le CRA distribue les produits issus des données NOAA. Pour la pluviométrie un réseau efficace et rapide est en place. Pour les indices de végétation, l'implantation prévue d'un système emprunté au projet américain FEWS (IDA : Image distribution) va permettre de substituer la voie télématique à la voie postale (envoi de disquettes) entre le Centre AGRHYMET et les Etats du CILSS. En outre, grâce au transfert de technologie offert par l'US-GS avec l'appui de l'USAID, le Centre AGRHYMET va pouvoir dans l'avenir élaborer lui-même des cartes de végétation imprimées et de grand format.
- La FAO gère le projet ARTEMIS (pluviométrie et indice de végétation) grâce à son Centre de télédétection de Rome. L'orateur trace une esquisse des objectifs et des produits de cet important projet dont le champ est l'ensemble de l'Afrique. Les pays du CILSS étant compris dans le ressort d'ARTEMIS des problèmes de coordination et de coopération se posent.
- La FAO est aussi la bénéficiaire et l'animatrice d'un vaste projet de réseau de télécommunications financé dans le cadre de l'Agence Spatiale Européenne. Ce projet dénommé DIANA sera centré à Rome et pourra bénéficier aux Etats sahéliens. La coopération proposée à AGRHYMET par la FAO facilitera l'établissement de liaisons à double sens, en particulier entre le CRA, Niamey et la FAO (Rome).
- Il serait opportun de procéder à une étude, avec les simulations nécessaires compte tenu de l'impossibilité de tout chiffrer réellement, pour évaluer d'une part les charges d'investissement, de formation, d'exploitation de la télédétection au Sahel, d'autre part les "bénéfices" retirés par la région des systèmes d'information

généralisée en temps réel qu'offre cette technologie nouvelle (gains de temps et précisions nouvelles dont profitent les systèmes d'alerte précoce, la sécurité alimentaire, l'agriculture, l'élevage, la lutte anti-acridienne, l'hydrologie, etc...).

Le débat s'engage après que le Président ait remercié M. J.L. Domergue pour la clarté de son exposé et toutes les précisions qu'il a données. Plusieurs questions sont posées par le représentant du CSE (Dakar) :

- Le fait que l'exposé n'ait pas fait mention de la station primaire (PDUS) METEOSAT de l'UTIS, Dakar, suppose-t-il que celle-ci se situe dans une catégorie à part ?

Réponse : Cette station a été involontairement omise alors qu'elle fonctionne normalement. Son statut particulier, dans une structure de recherche, et son absence d'ambition opérationnelle, expliquent un peu cet oubli regrettable.

- Quels ont été les critères de choix d'implantation à Ouagadougou et Nairobi des stations éventuelles de réception des données des satellites de ressources terrestres ?

Réponse : C'est dans le cadre de la Commission Economique pour l'Afrique des Nations Unies (CEA), qu'après 1976 le découpage géographique de l'Afrique a valu à ces deux villes d'être choisies comme siège de centres régionaux. Le CRTO (Ouagadougou) et le Centre Régional de télédétection de Nairobi sont nés avec comme vocation : la formation des projets pilotes, et -dans un délai non fixé- une station de réception. Dans le contexte actuel, il apparaît que de telles stations ne seraient pas rentables. Il est encore trop tôt. M. Domergue ajoute que, voici un mois, l'Organisation Africaine de Cartographie et télédétection (O.A.C.T) a décidé de confier à des experts une étude en vue d'un redécoupage géographique du continent et d'une remise en cause des centres régionaux.

- Ne pourrait-on pas, pour transmettre les produits et données du CRA vers certains pays éloignés du CILSS, comme ceux de l'Ouest, utiliser les moyens en place à Dakar comme station relais ?

Réponse : Pour les produits, le jour où l'on disposera de liaisons télématiques autorisant la transmission par "paquet", chaque pays sera accessible très facilement et directement. En attendant, le recours aux liaisons téléphoniques, coûteuses à grande distance, peut justifier une station relais pour desservir la Guinée-Bissau, le Cap Vert, la Mauritanie et la Gambie. Dakar deviendrait ainsi le centre serveur. En ce qui concerne les données brutes, leur volume est tel que cette méthode ne peut être retenue. La transmission en temps réel impose des moyens spécifiques tel le Système DIANA qui recourt à des satellites et dont on pourrait adopter le principe. Ce système a pour but, par un réseau spécial de télécom, de relier

la FAO (Rome) aux centres régionaux africains d'abord, puis plus tard à de multiples points en Afrique.

- Le logiciel IDA dont on a parlé précédemment est-il seulement consacré à l'indice de végétation ou bien englobe-t-il les éléments nécessaires à la connaissance des cultures ?

Réponse : Ce logiciel qui appartient au projet FEWS de l'USAID permet une visualisation de l'indice de végétation et de sa gamme de comparaisons ; il constitue une information qualitative. La donnée quantitative que représente le rendement, et qui intéresse au premier chef les services de statistiques agricoles sahéliens n'est malheureusement pas encore déductible des indices de végétation. Les recherches se poursuivent dans ce sens, un peu partout pour tenter d'aboutir à des prévisions de rendement, pour le moment inaccessibles par télédétection.

- Qu'en est-il de l'archivage des données collectées à Niamey ?

Réponse : Pour l'instant on procède à un archivage local interne avec l'intention d'aboutir ultérieurement à un système normalisé du type NOAA ou ESA ou autre. L'Agence Spatiale Européenne a approché le CRA afin de pouvoir intégrer ces données au catalogue qui contient les siennes propres, document qui a l'avantage d'être consultable par voie télématique, très largement, en faisant appel au Centre de Frascati près de Rome.

- Quelle est la politique de cession des données des satellites de ressources terrestres LANDSAT et SPOT ?

Réponse : Les produits correspondants ont un prix de revient élevé comparativement à ceux émanant des satellites météorologiques METEOSAT et NOAA. Alors que ces derniers sont accessibles gratuitement en général, les autres sont cédés selon des tarifs fixés par les distributeurs : EOSAT et SPOT-IMAGE respectivement. Le Dr. Moore et le représentant de Spot-Image expliquent en détail les modalités de cession des images, en particulier les aspects multiples de la question complexe des droits de reproduction (copyright). A noter que les tarifs varient sensiblement selon l'usage : but lucratif, recherche développement, réédition, etc...

- Pour les utilisateurs du monde agricole, la faible répétitivité de SPOT est un handicap. Peut-on espérer une amélioration dans ce domaine et dans quel avenir ?

Réponse : Déjà le satellite Spot I, actuellement en service, possède un dispositif de visée latérale grâce à son système de dépointage. La période séparant deux prises de vue de la même "scène" peut-être ainsi réduite à 2,5 jours. Encore faut-il que la programmation du satellite le permette. Le représentant de SPOT-IMAGE cite comme exemple le succès du programme lancé par l'OMVS, de suivi de la crue du Sénégal, durant les trois automnes 1986-87-88. Ce phénomène fugace devait

être observé durant les 10 jours suivant le passage de la crue (10 à 15 images SPOT dans ce laps de temps).

- Quelles sont les activités et le rôle du Centre Régional de télédétection de Ouagadougou (CRTO) ? Que fait exactement ce centre déjà ancien ?

Réponse : Orienté vers les satellites de ressources terrestres, le CRTO, ne possédant pas de station de réception et de traitement des données correspondantes, a des fonctions limitées. Il forme des utilisateurs aux techniques d'exploitation de la télédétection, et s'efforce de promouvoir celle-ci par divers moyens, notamment en prenant part à des projets au Burkina-Faso.

- Les conclusions de l'exposé de M. Domergue relatives au coût et à la productivité de la télédétection suscitent une certaine inquiétude. Cette technologie coûteuse est-elle rentable au Sahel ?

Réponse : La notion de rentabilité est difficile à cerner lorsqu'il s'agit par exemple de sécurité alimentaire. Mais il est vrai que l'usage de la télédétection dans les pays sahéliens suscite parfois une certaine réserve. Pour convaincre les réticents et malgré la difficulté d'un tel exercice, il serait peut-être utile de faire procéder à une évaluation des coûts et des avantages de la télédétection afin de cerner d'un peu plus près le rapport coût-efficacité selon les produits.

- Un utilisateur malien aborde alors un aspect institutionnel. Il estime que le forum en cours a l'avantage de réunir tous les intéressés à la télédétection au bénéfice du Sahel. Cette rencontre fort utile ne doit pas demeurer un événement unique, sans suite. Aussi, propose-t-il de l'instituer en créant par exemple un comité de concertation qui se réunirait périodiquement. L'usage de la télédétection est appelé à se développer dans la région, ne serait-ce que pour contribuer à la sécurité alimentaire.

Le Président trouve cette suggestion intéressante, mais il ne cache pas qu'elle dépasse sa compétence. Il propose de prendre l'avis des participants et de voir quels sont ceux qui en sont partisans. Il suggère à l'auteur de prendre à nouveau la parole, lors de la session finale consacrée à ce genre de questions et aux recommandations. En toute hypothèse, il précise que le rapport sur la Conférence relatera cette proposition de façon circonstanciée.

- Le représentant du CILSS livre son sentiment général sur la place, le rôle de la télédétection et son accessibilité aux pays sahéliens ; puis il pose diverses questions. L'inquiétude manifestée par certains intervenants au sujet des coûts des produits satellitaires n'est qu'un des aspects du problème. La télédétection n'est-elle pas plus un instrument de l'avenir que du présent pour les Sahéliens. Sa contribution, réelle dans certains domaines

comme l'agrométéorologie, demeure très marginale, comparée à celle des moyens classiques de terrain. Ceux-ci sont parfaitement capables de prévoir les catastrophes et les crises. Pour ce qui touche aux statistiques agricoles, un objectif crucial, ils fournissent la quasi-totalité des informations dont disposent les Sahéliens aujourd'hui. La télédétection demeure une interrogation. Elle a besoin de s'affirmer. Pourra-t-elle faire avancer les statistiques agricoles par les progrès susceptibles de naître des recherches en cours, et à quel prix ? Parviendra-t-elle à fournir aux utilisateurs de la région des produits fiables et accessibles ? Sera-t-elle toujours marginale ou deviendra-t-elle vraiment complémentaire des moyens classiques, après qu'elle aura été démystifiée ? Finira-t-elle par naître vraiment alors qu'elle demeure encore un mirage dans plusieurs domaines importants ? Le pouvoir de résolution qui limite l'identification des parcelles va-t-il s'améliorer ? Quid des progrès espérés en matière d'acquisition et de restitution des données. Comment vont évoluer les prix des produits (cartes, données, etc...) ; ceux-ci coûteront-ils de moins en moins cher ?

Le Président fait remarquer qu'il s'agit là des questions de fond relatives à la télédétection au Sahel. Il donne la parole à M. Domergue pour répondre, en souhaitant que d'autres intervenants nourrissent le débat.

Réponse : Le pouvoir de résolution est une question technique qui sera abordée le lendemain lors de la session consacrée à la mesure des surfaces. D'ores et déjà, M. Domergue indique qu'il n'est pas sûr que l'amélioration de cette caractéristique soit nécessaire, car il ne lui paraît pas certain qu'il faille travailler au niveau de chaque parcelle. L'outil satellitaire actuel semble suffisant. Pour progresser, il reste à poursuivre les recherches sur la meilleure manière de s'en servir. L'acquisition et la restitution des données sont accessibles au Sahel. Le CRTO par exemple réalise des opérations de ce type dans le cadre de divers projets. Des structures nationales également participent à des activités de cet ordre, certaines sont opérationnelles. Quant aux coûts des produits destinés au Sahel, on va bénéficier des progrès de la télématique, en particulier grâce aux micro-ordinateurs, dont les charges d'investissement et de fonctionnement sont relativement faibles. Les traitements et l'exploitation des données seront ainsi beaucoup moins coûteux.

Le représentant de l'OMM suggère que les spécialistes dressent trois tableaux :

- état actuel des caractéristiques et des performances des différents satellites susceptibles d'être utilisés par les pays du CILSS ;

- besoins en télédétection et agrométéorologie, disponibilité des données, utilité, point sur la recherche ;
- centres opérationnels de télédétection existant dans la région (Centre régional AGRHYMET, CRTO, UTIS et CSE de Dakar) en vue d'une meilleure coordination.

Réponse : Deux de ces trois tableaux figurent dans le rapport PONS, publié par le Club du Sahel. Pour ce qui touche à la coordination, le Comité des Experts du Programme AGRHYMET, qui se réunit tous les deux ans, est un organisme de concertation entre les spécialistes opérateurs de ce Programme.

- Un intervenant fait observer que les progrès de la télédétection vont avoir pour conséquences un accroissement des travaux de terrain. Les coûts de la "vérité terrain" vont donc croître et s'ajouter à ceux de la télédétection.
- Plusieurs participants ajoutent leurs commentaires ; ils évoquent successivement :
 - la nécessité de mieux cerner les problèmes que doit résoudre la télédétection, la proposition de concertation périodique pourrait être retenue afin de permettre aux multiples opérateurs et utilisateurs de les étudier systématiquement. En toute hypothèse, il faut que les utilisateurs expriment leurs besoins et que ceux-ci constituent le point de départ des travaux et programmes de télédétection.
 - le précédent de l'informatique avec sa vulgarisation très large grâce à l'abaissement énorme du prix des ordinateurs. Pourquoi la télédétection ne connaîtrait-elle pas un sort semblable. Il ne faut pas condamner la télédétection qui est encore bien jeune. Au contraire, il convient d'encourager toutes les recherches et expérimentations qui se déroulent au Sahel.
 - l'intérêt de la formation des Sahéliens à la télédétection pour que le dialogue technique soit constant entre opérateurs et utilisateurs. Cette coopération est vitale, elle ne doit pas se limiter à l'environnement immédiat des organismes spécialisées (AGRHYMET, CRTO, CSE, UTIS), mais s'étendre géographiquement, partout où elle peut être utile. Il est indispensable de former les techniciens sahéliens et aussi, faire un effort spécifique de valorisation des produits de la télédétection. Les cartes de végétation, par exemple, ne doivent pas rester inexploitées ; tous ceux qui ont un intérêt à les connaître doivent pouvoir les consulter aisément et bien savoir comment en tirer parti.

M. Brah Mahamane résume brièvement le débat en insistant sur l'intérêt de la télédétection pour le Sahel, même si elle entraîne des coûts supplémentaires. Il n'y a pas conflit avec

les méthodes terrestres, mais complémentarité. Il faut former les hommes et les informer, exploiter les progrès techniques et surtout aller vers les besoins réels exprimés par les vrais utilisateurs.

III.3. Troisième session : Mercredi 21 juin (2ème partie de la matinée et début d'après-midi)

Présidence : M. Terry L. Lambacher, Club du Sahel

LA PLUIE ET LA TELEDETECTION

Après qu'une nouvelle demande du représentant de la FAO de modifier l'ordre du jour n'ait pas obtenu l'agrément de l'assemblée, le Président donne la parole à M. Guillot responsable de l'unité de télédétection de l'ORSTOM au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (France) pour présenter l'exposé introductif de cette session.

L'orateur se propose de faire le point sur le caractère opérationnel des diverses méthodes d'estimation de la pluviométrie au Sahel. Il demande qu'après son exposé introductif, M. Dugdale de l'Université anglaise de Reading, puisse présenter quelques exemples concrets. Le Président consulte l'assemblée qui donne son accord.

ESTIMATION DES PLUIES AU SAHEL PAR TELEDETECTION

Introduction

Dans les régions sahélo-soudaniennes l'emploi de la télédétection pour l'estimation des pluies a pour objectif d'obtenir une couverture synoptique instantanée dans un centre de réception de données et de remplir ainsi les vides entre les stations du réseau sol, qui sont trop peu nombreuses. On espère ainsi réaliser un suivi agrométéorologique rapproché, utilisable pour diverses applications : estimation de récoltes, lutte anti-acridienne, etc...

1. Les outils de télédétection des pluies

On utilise deux sortes d'instruments : des capteurs "actifs" (radars) et "passifs" (radiomètres).

Les capteurs actifs sont des radars météorologiques, qui émettent un rayonnement dans des bandes spectrales, du domaine des micro-ondes, qui ont la particularité d'être réfléchies par l'eau liquide. Cet "écho" radar permet, moyennant certaines approximations, d'estimer le champ et l'intensité des averses. Il n'y a pas de radars de ce type embarqués à bord des satellites et une couverture de l'ensemble de la zone sahélienne est utopique par des radars au sol installés près des grands aérodromes. Ceux-ci fournissent cependant des informations utiles pour l'étalonnage des estimations faites par d'autres moyens.

Les capteurs passifs sont des radiomètres qui recueillent le rayonnement émis par les surfaces (sol ou nuages) et par l'atmosphère.

Les radiomètres micro-onde apportent une information sur les précipitations par l'effet d'absorption, par les gouttes d'eau, du rayonnement émis par la surface de la Terre. Cette mesure physique directe est complexe et encore peu utilisée, principalement du fait de la mauvaise résolution géométrique (ellipses de 109 km au point sous le satellite) et de la faible répétitivité : quatre observations par jour, des instruments placés à bord des satellites NOAA.

Les seuls capteurs utilisables actuellement en routine opérationnelle au Sahel sont les radiomètres du satellite géostationnaire METEOSAT. Le maximum d'énergie rayonnée par le soleil, qui est une source chaude à environ 6000°C, se situe dans les longueurs d'onde du domaine "visible" (celles que l'oeil perçoit), entre 0,4 et 0,7 μm : cette bande spectrale et une partie de celle du proche infrarouge (de 0,7 à 1,1 μm) correspondent à une "fenêtre" atmosphérique, où l'atmosphère est presque transparente au rayonnement. Elles constituent le canal visible de METEOSAT, qui enregistre ainsi une part importante de l'énergie solaire réfléchi par la terre. Celle-ci est une source moins chaude, qui rayonne dans des longueurs d'onde plus grandes, dans l'infrarouge moyen et l'infrarouge thermique. Le canal "vapeur d'eau", centré autour de 6,6 μm , reçoit une énergie émise par la haute atmosphère et le canal infrarouge thermique le rayonnement issu du sol ou des nuages, dans une fenêtre (10,5-12,5 μm) où la transparence atmosphérique, quoique bonne, n'est pas totale, ce qui induit que le signal reçu intègre une contribution de l'atmosphère. La figure 1 montre comment on obtient une reconnaissance des types de nuages par une utilisation combinée des canaux visibles et infrarouges.

2. Principales méthodes d'estimation de la pluie

A partir des outils décrits ci-dessus, de nombreuses méthodes d'estimation de la pluie ont été développées, qui peuvent se regrouper en deux catégories : les méthodes dites "life history" ou de "cloud tracking" fondent leur estimation par un suivi de l'évolution des nuages sous toutes ses formes : aire couverte, volume, croissance-décroissance... ; les méthodes statistiques consistent essentiellement à mettre en relation, sur des périodes de temps d'une durée convenable : décade, mois et saison, des durées ou des fréquences de nuages estimés pluviogènes ou des moyennes de température du sol, avec des données pluviométriques du moment ou des coefficients issus d'une climatologie.

Trois tentatives récentes illustrent l'application de ces différentes méthodes aux pays du Sahel et les limites actuelles de leur utilisation en système opérationnel.

- a) Au Laboratoire de Météorologie Dynamique de Palaiseau ont été conduits des suivis systématiques de nuages isolés, dont on trouvera les résultats dans la thèse de W. Thiao (1988). Le fondement physique de la méthode consiste dans le fait, souvent constaté, que la courbe d'évolution du volume des nuages convectifs présente une allure semblable

à celle des précipitations, d'où l'idée que ces coefficients calculés à partir d'événements anciens pourraient s'appliquer aux événements actuels pour en déduire la pluie.

L'étude a été conduite en trois étapes :

- les amas nuageux, liés à des lignes de grains de la période du 10 juin au 9 juillet 1986, ont été analysés sur les images infrarouges thermiques de Météostat au moyen d'un indice de convection. Celui-ci reflète la variation du volume nuageux, estimé par la température du sommet ;
- les relevés pluviométriques quotidiens de près de 300 stations du Tchad, du Niger et du Burkina Faso ont permis de calculer les précipitations au même moment, par une loi de répartition horaire tirée d'expériences conduites sur des lignes de grains (GATE : Houze et Betts, 1981 COPT : 1981 Sommeria et Testud, 1984). On a ainsi obtenu une courbe de précipitations et un indice de pluie qui est la moyenne des précipitations horaires multipliée par l'aire du nuage ;
- la précipitation est obtenue par une comparaison entre les deux séries de mesures et une régression sur l'indice de convection et sa variation temporelle.

Des coefficients moyens de précipitation calculés sur les 18 amas nuageux étudiés ont été appliqués à chacun d'entre eux pris isolément. La Figure 2 montre que des coefficients universels ne peuvent être utilisés, même sur une zone relativement limitée, lorsqu'on veut descendre à une échelle temporelle fine. En d'autres termes deux amas nuageux peuvent apparaître semblables sur les images, mais fournir des hauteurs de pluie différentes (Cadet, 1989).

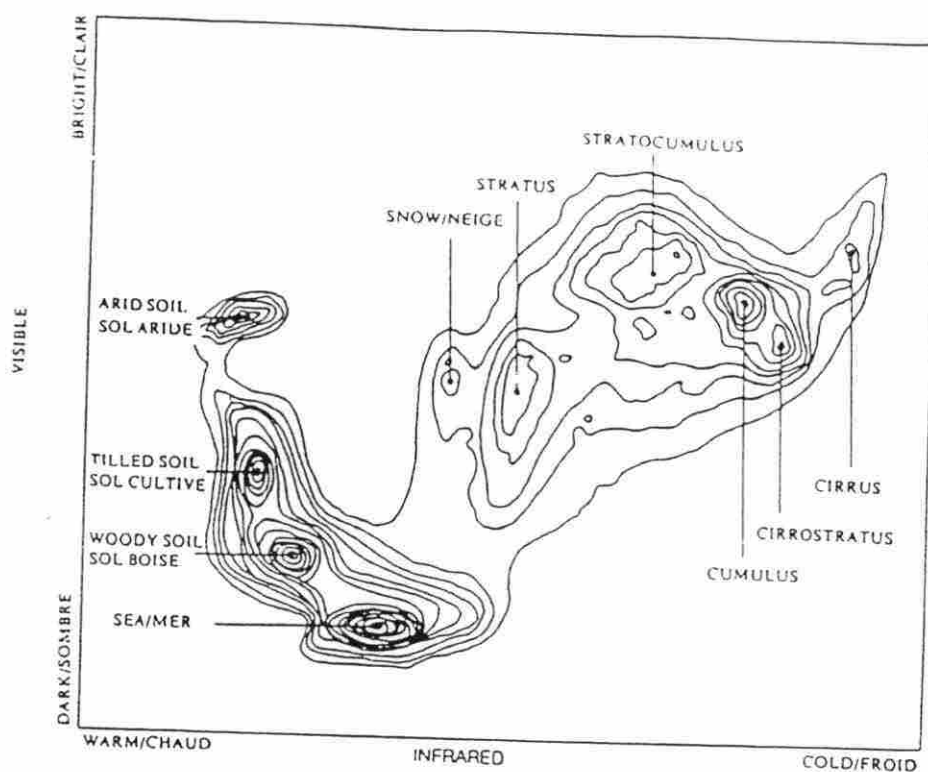
- b) Le groupe TAMSAT (Tropical Agriculture Meteorology Satellite project) conduit depuis 1985 des recherches dont le but est de fournir un algorithme d'estimation de la pluie objectif et automatisé, qui puisse être utilisé en service opérationnel et en temps réel.

Il s'agit d'une méthode statistique, basée sur le postulat que les pluies proviennent de nuages dont la température de sommet est inférieure à un seuil prédéterminé de - 50 ou - 60°C, sur le calcul de régressions entre les durées de ces nuages (en fait des fréquences) et la pluviométrie. 24 images infrarouges thermique sont analysées et les valeurs médianes des pluies décennales sont corrélées aux durées de nuages.

Les auteurs ont rapidement remarqué de grandes différences dans les résultats, liées à la latitude. Pour en tenir compte ils ont décidé de faire varier les seuils de

discrimination des nuages. Ainsi un seuil à -60°C (température de sommet) semble mieux convenir au-delà de 15°nord . Au Niger, en 1985, pour 109 stations les seuils à -50 et -60°C donnent des résultats comparables en juin et juillet, alors que celui de -50°C est plus adapté en août, d'où la conclusion qu'il faut faire varier les seuils en fonction de l'époque et de la latitude.

Ce travail a été réalisé sur les données des années 1986 et 1987 et les résultats des estimations décennales (plus de 300 observations) ont été classés en catégories, de 10mm en 10mm jusqu'à 40mm de pluie et de 20mm en 20mm au-delà de 40mm. Le pourcentage de réussite, c'est-à-dire le nombre de fois où l'estimation est entrée dans la bonne catégorie et dans les deux catégories voisines s'est situé entre 54 et 57 %, ce qui revient aussi à dire que près de la moitié des valeurs n'est pas bonne. La Figure 3, établie pendant la période la plus favorable (mois de juillet), montre que l'estimation de la pluie au niveau décennal, faite par des méthodes statistiques et ne prenant en compte que le paramètre nuage, paraît bien hasardeuse et qu'elle l'est sans doute davantage en début et fin de saison et dans les zones très arides où les événements pluvieux sont rares.



Carte des radiances pour une image prise dans deux bandes du spectre (visible et infrarouge). Cette Figure illustre quelques-uns des problèmes posés par l'utilisation d'un canal unique. C'est ainsi qu'un nuage de l'étage supérieur comme le cirrus au-dessus d'un sol aride aura même albédo et même brillance dans le visible. De son analogue, les cirrus et les cirrostratus contrastent faiblement avec les strato-cumulus et les cumulus. En revanche, aux deux bandes spectrales, le contraste devient plus sensible, en particulier dans le premier exemple.

Figure 1 : EXEMPLE DE METHODE DE DISTINCTION DES TYPES DE NUAGES PAR L'UTILISATION COMBINEE DU VISIBLE ET DE L'INFRAROUGE THERMIQUE DE METEOSAT; tiré de : BRIMACOMBE C.A., 1981. - Atlas Météosat, Agence Spatiale Européenne, Paris, 494 p.

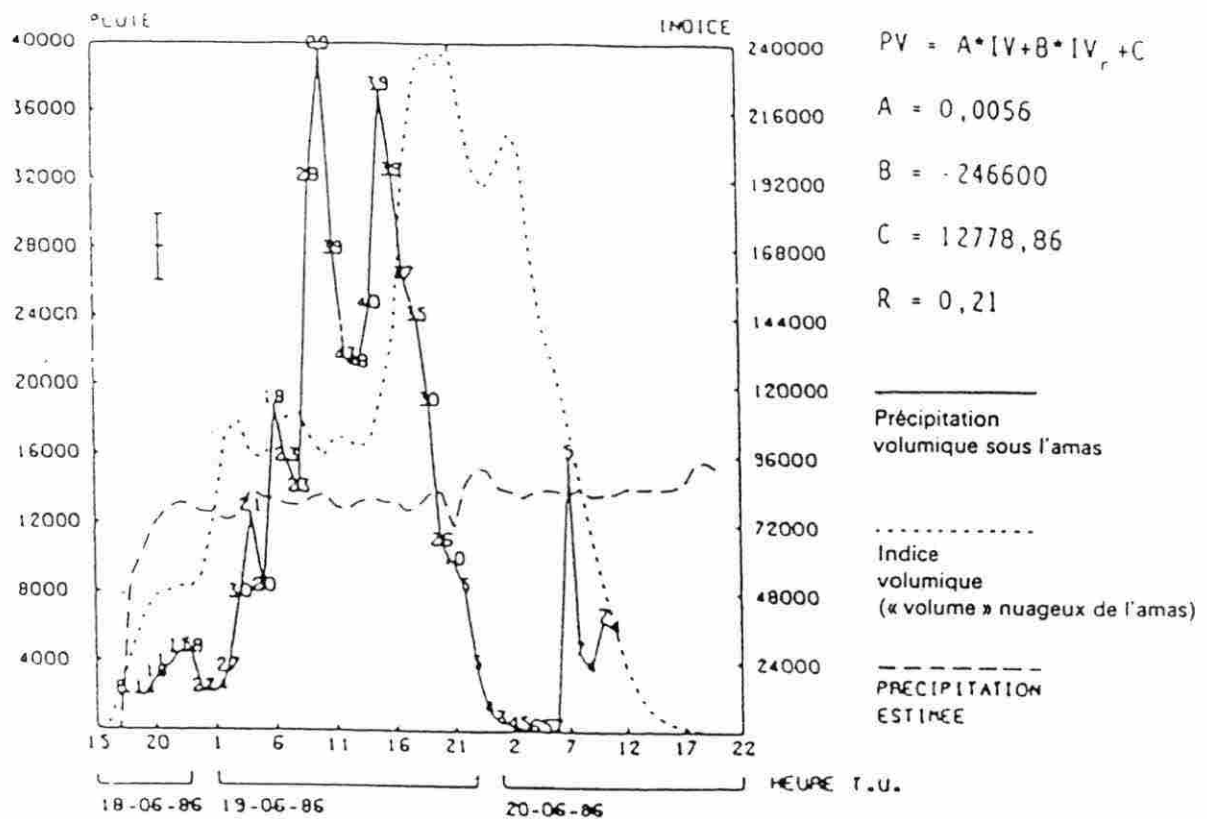


Figure 2 - DISTRIBUTION DES QUANTITÉS DE PRÉCIPITATION ESTIMÉE PAR SATELLITE. Comparaison avec l'évolution des précipitations observées et des indices volumiques. AMAS 06.

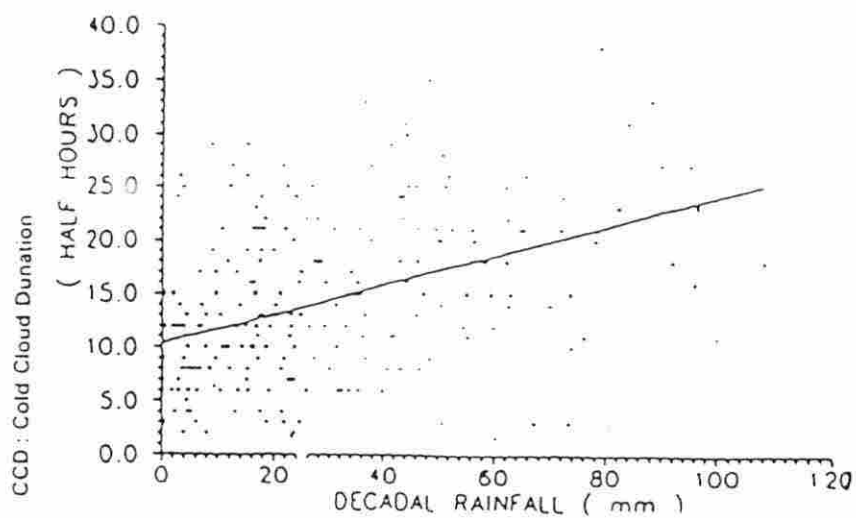


Figure 3 - DURÉES DE NUAGES A SOMMET FROID ET PLUVIOMÉTRIE AUX STATIONS (Niger, juillet 1985) (périodes décadales).

- c) Méthodes statistiques basées sur une utilisation des nuages et/ou de la température de surface du sol.

Des travaux menés par l'équipe de l'INRA/CIRAD (Assad et al., 1986) ont mis en évidence une réponse de la température de surface du sol aux événements pluviométriques. Partant de ces résultats, une méthode d'estimation sur le Sénégal a été développée (Imbernon et al., 1987). Des synthèses pentadaires de l'imagerie infrarouge de METEOSAT donnant les maxima de la température de surface à chaque pixel ont été utilisées. Une relation statistiquement significative apparaît à partir du 25 juillet et s'améliore progressivement jusqu'à la fin de la période (25 octobre).

Parallèlement des météorologistes et l'équipe ORSTOM du CMS de Lannion ont conduit une recherche basée sur l'emploi d'occurrences de nuages à sommet froid (seuil à -40°C). A chaque point de l'image infrarouge de METEOSAT ces occurrences ont été comptabilisées et la comparaison du champ obtenu au champ pluviométrique a mis en évidence une bonne corrélation au niveau saisonnier (Lahuec et al., 1986).

Le croisement des deux paramètres, température du sol et nuages a également été réalisé et a permis d'améliorer sensiblement les résultats, en réduisant les marges d'erreur. Un progrès important a encore été apporté par la prise en compte de l'effet de latitude qui introduit, du fait de la dégradation du climat du sud au nord, une réduction sensible de l'efficacité des nuages convectifs. Des estimations correctes (erreur inférieure à 20%) sont obtenues au niveau mensuel. Au niveau saisonnier les calculs de validation montrent que les erreurs sont inférieures à 10% dans une vaste zone comprise entre 12 et 15° nord (Figure 4).

Une autre originalité tient au fait que l'on vise à utiliser, pour obtenir les coefficients de l'estimation, les données réelles du moment, ce qui évite les erreurs de calibration liées à l'emploi de moyennes climatologiques. C'est un choix délibéré, qui a aussi l'avantage d'insister sur l'absolue nécessité qu'il y a à conserver un réseau météorologique de bonne qualité, dont les données sont transmises rapidement.

Champ des differences (%) entre Pm et Pe - Saison 1986

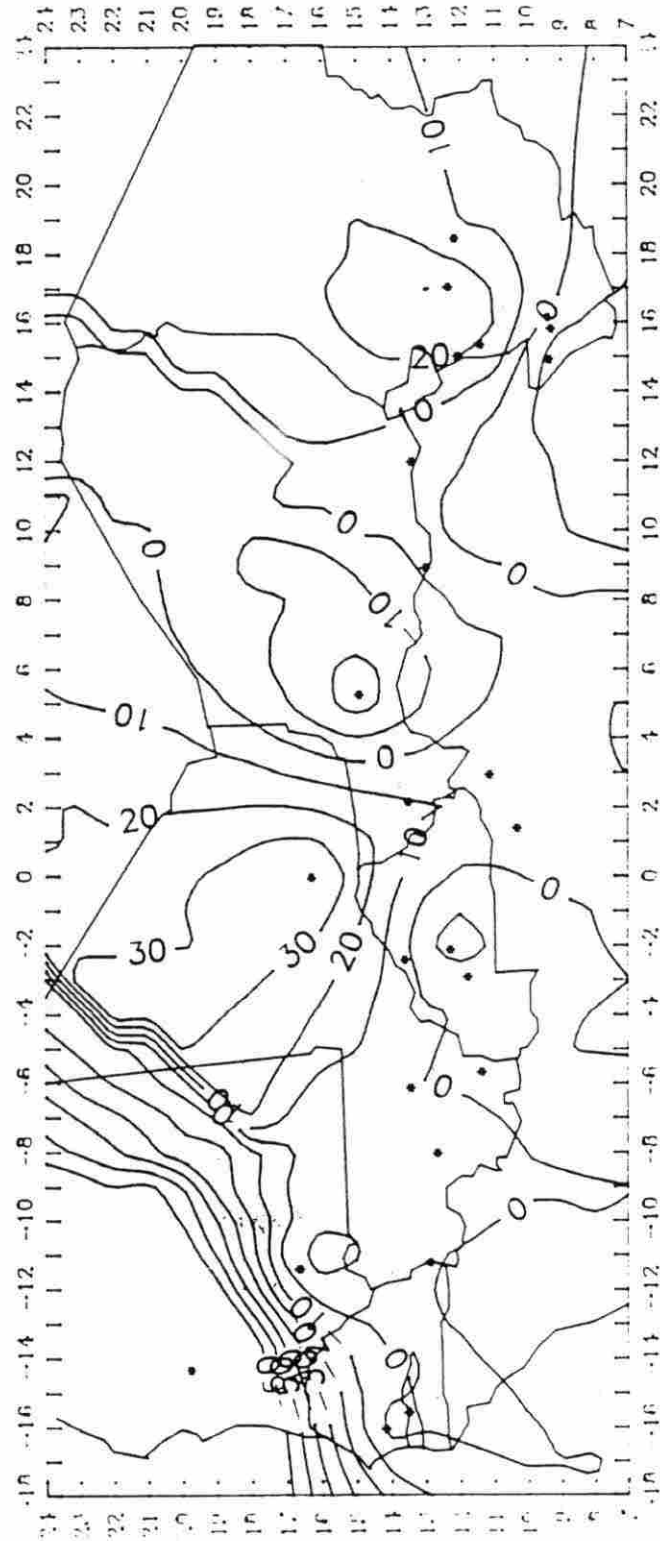


Figure 4

3. Bilan de la recherche, expérimentations en cours : Le réseau EPSAT, applications.

a) Rapide bilan de la recherche

La figure 5 représente les limites raisonnables de validité qu'atteignent les méthodes actuelles d'estimation de la pluie. Aux courtes échelles de temps et d'espace, on ne peut espérer descendre au-dessous du mois pour une estimation d'un niveau acceptable. Au-delà, on s'expose à des erreurs trop importantes, même au niveau décadaire, où la seule donnée à peu près sûre que l'on peut espérer est le binôme absence-présence de pluie.

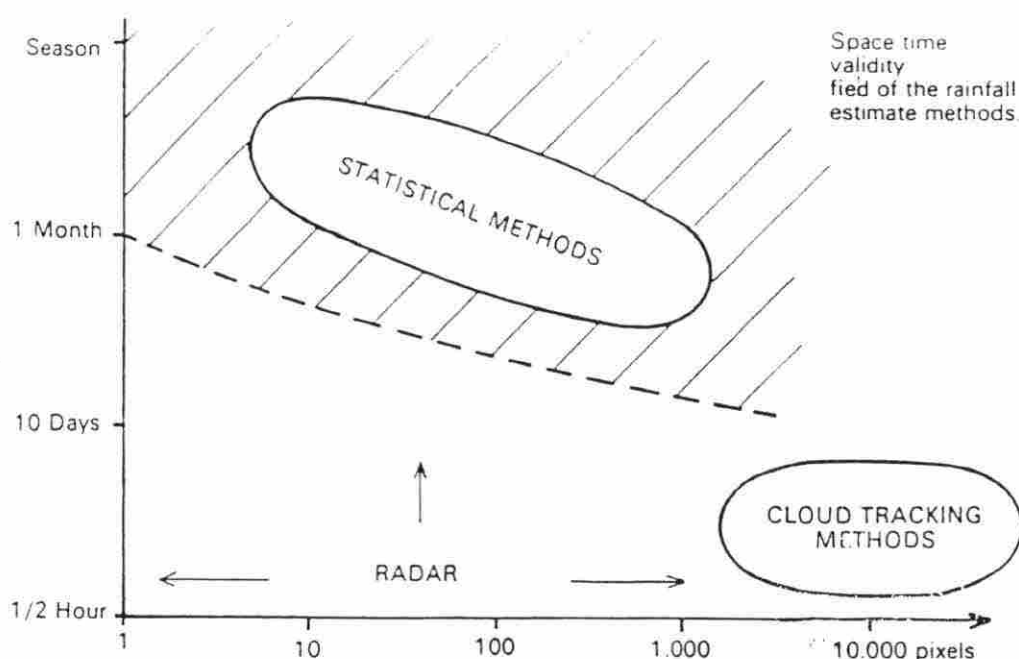


Figure 5 - CHAMP DE COMPÉTENCE SPATIOTEMPOREL DES DIVERSES MÉTHODES D'ESTIMATION DES PLUIES (SCHÉMA APPROCHÉ).

Une étude récente (Jobard, 1988) a montré que ceci était dû pour l'essentiel à l'extrême variabilité spatiale des précipitations, bien supérieure à celle des fréquences de nuages. De ce point de vue les données de température de surface apportent (Carn et al. 1989) une information plus fiable, notamment au niveau des coefficients à établir pour une climatologie.

b) Expérimentations en cours

Tout espoir n'est cependant pas perdu et des travaux sont actuellement en cours pour tenter d'améliorer ces résultats. C'est l'objectif du réseau de recherche EPSAT

(Estimation des Pluies par Satellite) en zone sahélo-soudanienne, que je coordonne. Notre souci est de regrouper les compétences et les moyens pour accélérer le processus, en multipliant les échanges et les collaborations. Des campagnes d'expérimentation ont eu lieu depuis 1986, par l'implantation de réseaux de mesure au sol. Actuellement une opération conjointe avec la Météorologie Nationale du Niger et l'ASECNA a permis de mettre en place, dans une aire de 1° carré à l'est de Niamey, un dispositif dense de pluviographes, complété par des mesures prises par le radar météorologique de l'aéroport de Niamey. Par le couplage des deux instrumentations nous espérons obtenir en 1989 l'équivalent d'un "super-pluviomètre", apte à fournir une bonne validation des estimations au niveau du point d'image METEOSAT. La variabilité spatiale de la pluie sera en effet prise en compte par le radar et ce dernier sera calibré par les pluviographes.

Parallèlement, des améliorations sensibles des algorithmes de discrimination des nuages pluviogènes seront tentées, par l'utilisation combinée des canaux visibles et infrarouges de METEOSAT de jour et des canaux vapeur d'eau et infrarouges de nuit. Il paraît en effet nécessaire d'éviter de recourir, dans des procédures de reconnaissance automatique, à des méthodes de seuil de température de sommet dans le seul canal infrarouge, qui sont trop grossières et qui conduisent souvent à des erreurs importantes.

c) Applications

Pour l'instant les seules applications de la télédétection de la pluie en zone sahélo-soudanienne ont eu lieu au Sénégal, à l'ISRA, en 1987 et 1988 (méthode par la température du sol) et dans le cadre d'une collaboration entre le CMS de Lannion, le Centre AGRHYMET de Niamey et les cellules nationales Agrhymet. Le CMS fournit des documents cartographiques qui permettent de compléter ou de corriger le tracé des isohyètes effectué avec les données synoptiques et il reçoit en échange les informations du réseau météorologique.

Des systèmes d'estimation opérationnels sont actuellement proposés, par l'Université de Bristol (E.C. Barret), avec livraison d'une station de réception METEOSAT haute résolution et de logiciels d'application. Ceux-ci consistent en un système hiérarchisé, mettant en oeuvre des procédés de plus en plus interactifs au fur et à mesure que les échelles, spatiale et temporelle, diminuent. Les méthodes les plus sophistiquées réclament une intervention humaine permanente et des temps de calcul trop importants pour être envisageables au niveau des bilans intégrés sur une grande région comme le Sahel.

Le système ARTEMIS mis au point par la FAO est à l'état de projet. Il utilise les méthodes d'estimation créées par le

groupe TAMSAT. Il repose sur une réception des informations et leur traitement au centre de la FAO à Rome et prévoit la diffusion des résultats par un système coûteux de transmission.

Un autre projet de station METEOSAT est en cours de préparation au CMS de Lannion. Cette station est prévue pour couvrir les besoins du futur Centre Africain pour l'Application de la Météorologie au Développement (CAAMD) et elle devrait être installée au Centre AGRHYMET de Niamey, pour être dans un premier temps plus particulièrement dédiée à une estimation en temps quasi réel des précipitations.

La méthode employée consistera en un mixage de données pluviométriques du réseau synoptique et de données satellitaires traitées au moyen des algorithmes mis au point au CMS ; en cas d'absence momentanée de données du réseau il sera fait appel à une climatologie fondée sur des moyennes de pluie calculées en fonction de variations de la température du sol. A chaque résultat sera associée une marge d'erreur ; une validation sera faite au niveau mensuel et saisonnier, les estimations décadaires étant livrées avec les précautions nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSAD E., SEGUIN B., KERR Y., FRETEAUD JP., LAGOUARDE JP., 1986 - Approche quantitative de la pluviométrie au Sénégal à l'aide d'images infrarouges thermiques du satellite METEOSAT. *Veille Climat. Sat.*, 13, pp. 21-29.
- BARRET C., 1988 - Hierarchical approaches to operational satellite rainfall monitoring. *Int. Workshop on Sat. Tech. for Estimating Precipitations*, Herndon, Va., USA., 21 p.
- CADET D., 1989 - EPSAT : Estimation des Précipitations par Satellite. LMD, inédit, 1989, 23 p.
- CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P., 1987 - Estimation des précipitations par satellite au Sahel pour la période de mai à septembre 1987. *Veille Climat. Sat.*, 1987, 20, pp. 26-31.
- CARN M., LAHUEC J.P., DAGORNE D., GUILLOT B., 1989 - Rainfall estimation using T.I.R. METEOSAT imagery over the western Sahel (1986-1987). Interest of the maximum radiative Temperature technique. 4th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography. May, 16-19, San Diego, Ca., USA.
- IMBERNON J., ASSAD E., GUILLOT B., DAGORNE D., 1987 - Evaluation de la pluviométrie par cumuls des images infrarouges thermiques METEOSAT. *Veille Climat. Sat.*, 16, pp. 49-58.
- HIELKEMA J.U., HOWARD J.A., TUCKER C.J., VAN INGEN H.A., 1988 - Le FAO/NASA/NLR Système ARTEMIS : un concept intégré pour le contrôle de l'environnement par satellite à l'appui de la sécurité de l'aliment/l'alimentation et pour la surveillance du criquet pèlerin. FAO, inédit, 4p. + annexes.
- HOUZE R.A., Jr., BETTS A.K., 1981 - Convection in GATE. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 541-576.
- JOBARD I., DESBOIS M., 1988 - Influence of time and space scales in estimation of precipitation over the Sahel. 7th METEOSAT Scientific User's Meeting, Madrid, 6 p.
- LAHUEC J.P., CARN M., GUILLOT B., 1986 - Convection et pluviométrie en Afrique de l'Ouest. Bilan provisoire pour la saison 1986 : 1er mai-31 octobre. *Veille Climat. Sat.*, 15, pp. 19-24.
- McDOUGALL V.D., SAUNBY M., DUGDALE G., MILFORD J.R., 1988 - Relationship between rainfall and cloud top temperature in tropical Africa. Seasonal and regional effects. 7th METEOSAT Scientific User's Meeting, Madrid, 7 p.
- G., TESTUD J., 1984 - COPT 81 : a field experiment designed for the study of the dynamic and electrical activity of deep convection in continental tropical regions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 65, pp. 4-10.
- THIAO W., 1988 - Contribution à l'estimation des précipitations au Sahel par l'imagerie satellitaire. Thèse de Doct.ing., Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 180 p.

Le Président remercie M. Guillot pour son exposé et donne la parole à M. Dugdale, comme convenu.

M. Dugdale (Département de météorologie - Université de Reading - Royaume-Uni) complète les informations données par M. Guillot sur les expérimentations qu'il a effectuées au Sahel pour mettre au point la méthode TAMSAT, méthode d'estimation des pluies adoptée par la FAO (Projet ARTEMIS). Il précise que cette méthode en est à sa première année d'utilisation opérationnelle ; elle permet des estimations sur une période de 10 jours et selon le pixel METEOSAT de 5 x 5 km environ.

Au niveau des pays, on peut utiliser un système basé sur PC mis au point par l'Université de Bradford, équipement relativement peu onéreux (30.000\$) pour appliquer cette méthode. Il suffit de trois mois pour former le personnel. Les pays d'Afrique du Nord, le Botswana et le Soudan se sont dotés de ce système.

La méthode TAMSAT est mise à profit pour l'agriculture, le suivi de la sécheresse, la lutte contre les prédateurs, et l'hydrologie, M. Dugdale relate l'expérience acquise au Soudan, en particulier pour le contrôle de l'hydrologie (Nil Bleu), et donne des précisions également sur la mise au point de sa méthode au Niger (modélisation). Il insiste sur le caractère complémentaire des centres régionaux et des services nationaux, dont les objectifs sont différents.

Le Président remercie M. Dugdale et déclare le débat ouvert.

Le représentant néerlandais note d'abord que M. Dugdale estime compatibles les centres régionaux et les services nationaux. Il indique ensuite que son gouvernement apporte sa contribution financière à ARTEMIS et à AGRHYMET. Ayant noté que certains travaux de ces programmes risquent d'aboutir à des duplications au Sahel, il demande si la nécessaire coordination va avoir lieu. Il souhaite enfin savoir d'une part si les méthodes et produits du Centre AGRHYMET sont effectivement opérationnels et réellement diffusés et utilisés dans la région, d'autre part si la méthode TAMSAT donne lieu à des droits d'usage.

Réponse : M. Dugdale précise d'abord que pour ces droits, le logiciel de capture d'images est la propriété de l'Université de Bradford. Les droits d'exploitation sont compris dans le prix l'achat du système. Quant aux logiciels de l'Université de Reading, ils sont dans le domaine public et donc non payants.

A l'importante question de la coordination : AGRHYMET-ARTEMIS, Directeur d'AGRHYMET répond qu'à son avis, il n'y a pas double emploi entre ce qui est développé par l'un ou l'autre programme. Ceux-ci se situent à deux niveaux différents : AGRHYMET au plan sous-régional du Sahel, ARTEMIS à celui de l'ensemble de l'Afrique. M. Soarès ajoute, à propos de coordination avec Artemis et la FAO, que des contacts viennent

d'être pris avec M. Hielkema pour étudier comment AGRHYMET pourrait utiliser ce qui a été développé. De même, au sujet du projet télécom DIANA, le CRA a accepté la proposition de la FAO d'établir une sous-station régionale au Centre. Une contre-proposition a même été faite pour obtenir l'autorisation d'utiliser le Système DIANA pour diffuser les produits AGRHYMET.

M. Hielkema regrette de n'avoir pu faire une présentation complète des activités de la télédétection de la FAO, mais il tient à exprimer ses vues et faire quelques commentaires. Il note d'abord avec satisfaction l'opinion exprimée par M. Soares relative à la complémentarité des programmes ARTEMIS et AGRHYMET. Les 3 niveaux : national, régional, siège FAO ont chacun leur rôle, mais il faut entre eux une étroite coopération, que pour sa part il réclame depuis 4 ans. Le Système ARTEMIS est opérationnel au siège FAO depuis 1988 ; compte tenu de sa complexité et des investissements nécessaires, il ne peut encore être mis en oeuvre ni appliqué dans la plupart des pays en développement, y compris les centres régionaux.

Le représentant de la FAO expose ensuite les caractéristiques du Système de télécom DIANA. Un accord vient d'être signé mi juin à Rome qui prévoit à ce titre des investissements et crédits divers d'un total supérieur à 7 M\$. Grâce à ce réseau, les données générées à Rome pourront être rapidement diffusées. Les structures nécessaires à la liaison FAO-Centres Régionaux en Afrique vont bénéficier de 2 M. \$. De leur côté, ces centres devront investir localement environ 100.000 \$ chacun pour s'équiper. Au terme de ce programme, les utilisateurs finaux que sont les Etats africains pourront recevoir les données et produits FAO pour un coût d'équipement de 20 à 25.000 \$ seulement.

Plusieurs participants interviennent ensuite pour débattre des mérites respectifs des diverses méthodes d'estimation des pluies ou pour répondre à des questions sur ce sujet. De ces échanges de propos il ressort que :

- les estimations sont encore assez imprécises, même en utilisant la méthode exposée par M. Guillot et appliquée par AGRHYMET. Cette méthode associe plusieurs autres données, dont la température de surface, laquelle représente une donnée supplémentaire très intéressante. Suit une discussion technique sur la précision de cette donnée selon qu'elle est mesurée à partir de METEOSAT ou de NOAA.
- la méthode TAMSAT ne prend pas en compte cet élément ; plusieurs spécialistes s'interrogent sur sa fiabilité et contestent en tout cas sa validité pour une estimation décadaire des précipitations. Ils se demandent si cette méthode peut vraiment être proposée aux Etats du Sahel.
- en toute hypothèse il reste à faire des recherches pour aboutir à une estimation quantitative valable au niveau de la décade, période vivement souhaitée par les

agrométéorologistes et les utilisateurs. M. Guillot se déclare prêt à élargir le groupe des experts du projet "Estimation des Pluies par Satellites" (EPSAT) afin d'étudier avec tous les intéressés les axes de recherche. Une réunion spéciale pourrait se tenir à AGRHYMET.

- une expérimentation est en cours sur le degré carré centré à Niamey pour permettre une véritable corrélation entre les estimations par voie satellitaire et les mesures réalisées à l'aide d'un réseau très dense et régulièrement réparti sur le terrain.
- la technique nouvelle expérimentée aux Etats-Unis, qui utilise les micro-ondes (radar), n'en est encore qu'au stade de la recherche.
- malgré les imperfections des méthodes actuellement appliquées au Sahel, méthodes basées sur des statistiques, la télédétection apporte déjà une contribution positive en ce domaine : tracé des isohyètes, comblement des lacunes des réseaux sols, résultats plus fiables dans les zones où l'on a fait des calibrations au sol, etc...
- un utilisateur malien voudrait qu'on aborde un domaine un peu oublié, mais important : celui de l'hydrologie (maîtrise de l'eau, zones inondées, débit des fleuves, cultures, décrue, ...). Quel est l'apport de la télédétection et quelles sont les perspectives ?

M. Guillot répond, qu'à partir des données METEOSAT, il est possible de faire d'assez bonnes estimations. La mesure des pluies sur les bassins versants permet de prévoir les flux et la montée des eaux. Il cite en exemple les bons résultats qu'a donnés l'étude du Lac Tchad, réalisée par un ingénieur du Centre AGRHYMET ; ainsi que les études de certains autres bassins versants. M. Hoeffner (hydrologue de l'ORSTOM-France) donne des précisions acquises au cours de plusieurs années d'observation du fleuve Niger à Niamey. Le problème de l'hydrologie, plus particulièrement pour prévoir les crues, revient à prendre en compte, d'une part la répartition spatiale des pluies, d'autre part l'humidité des sols. Or ces deux facteurs sont particulièrement hétérogènes, l'un comme l'autre dans la région. On a donc beaucoup de mal à déterminer d'abord la quantité d'eau recueillie, ensuite celle qui ruisselle par rapport à celle qui s'infiltre et va grossir les nappes phréatiques. Un gros travail de recherche sera nécessaire dans le futur pour mieux connaître ces données de base, en particulier pour cerner de plus près les précipitations. Au total, il serait donc souhaitable que l'hydrologie obtienne une place et une considération accrues dans le monde de la télédétection.

Enfin, il convient de noter les travaux que mène en Guinée et au Mali le Centre Commun de Recherche d'ISPRA (CCR) de la CEE, depuis 5 ans, sur la prévision des crues en amont du delta central du Niger.

III.4. Quatrième session : Mercredi 21 juin (Après-midi)

Présidence : M. Terry L. Lambacher, Club du Sahel

LE SUIVI DE LA VEGETATION ET LES SYSTEMES D'ALERTE PRECOCE Etude des coûts

Le Président ouvre la séance et donne aussitôt la parole à M. Lechapt, Directeur de l'Exploitation au Centre AGRHYMET pour la présentation de l'exposé ci-après qu'il a préparé en collaboration avec M. Rigal, VSNA, ingénieur au Centre AGRHYMET.

LE SUIVI DE LA VEGETATION PAR TELEDETECTION AU SAHEL

Cet exposé ne sera certainement pas exhaustif ; il tentera d'être le moins technique possible ; il essaiera essentiellement d'être introductif à une discussion. Je n'ai donc pas la prétention de tout dire, mais j'essaierai de poser quelques questions, de susciter quelques débats. Il me semble intéressant d'étudier des questions de fond sur la base d'un problème, au départ technique, qui est le suivi de la végétation.

Tout d'abord je présenterai l'indice de végétation comme outil privilégié de suivi de la végétation. Ensuite j'évoquerai quelques uns des problèmes de mesure et de difficultés d'interprétation. Puis nous examinerons une espèce de typologie, une classification des différentes formes d'utilisation possible de l'indice de végétation pour le suivi de la campagne. Enfin nous essaierons de tirer quelques lignes directrices. Après avoir vu de quoi il s'agit, nous examinerons les modes de travail, comment les mettre en oeuvre, dans quelles structures, avec quel réseau, quels moyens, quelle organisation pour utiliser ces techniques.

La télédétection permet, grâce à l'indice de végétation un suivi tout à fait remarquable du développement de la végétation en zone sahélienne. Pour être plus complet il faudrait évoquer éventuellement des problèmes de suivi de feu de brousse : je les écarterai volontairement de cet exposé sachant que l'on peut toujours évoquer cette question par la suite.

Qu'est-ce que l'indice de végétation ?

C'est un être mathématique défini à partir des propriétés optiques d'un végétal vert par rapport au comportement d'un sol nu, ou d'un végétal qui serait complètement desséché par exemple. La chlorophylle absorbe certaines longueurs d'ondes du spectre de la lumière visible, en particulier le rouge. La lumière réfléchie, que l'on appelle réflectance du végétal, sera donc nettement diminuée dans la bande du Rouge, alors que par contre la lumière réfléchie dans le Proche infrarouge ne sera

pas modifiée par rapport à un couvert nu. C'est justement cette propriété de base que l'on utilise pour calculer l'indice de végétation. Le principe en est simple : on définit un rapport qui est la fraction :

$$\frac{\text{Proche infrarouge} - \text{Rouge}}{\text{Proche infrarouge} + \text{Rouge}}$$

Ce rapport est voisin de zéro quand son numérateur est lui-même voisin de zéro, c'est-à-dire lorsque le Proche infrarouge est à peu près identique au Rouge, ce qui se produit en l'absence d'activité chlorophyllienne. Par contre, ce rapport sera voisin de 1 lorsque l'activité chlorophyllienne sera forte, puisque à ce moment là, le terme Rouge, devient négligeable par rapport au Proche infrarouge. On a alors un rapport qui tend vers PIR/PIR, c'est à dire qui aura tendance à atteindre la valeur de 1.

En quelque sorte, on a un être mathématique qui varie entre zéro et 1 : plus il est proche de zéro, moins il y a de végétation, ou moins la végétation est active ; plus il est proche de 1, plus il y a de végétation ou plus la végétation est active.

Mais comment mesurer cet indice par télédétection et comment l'interpréter ?

Cela pose un certain nombre de problèmes qu'il faut examiner pour expliquer les diverses précautions à prendre lorsque l'on va travailler sur ces indices de végétation.

Première observation : l'indice est vu par un satellite qui a une maille -un pixel- relativement grand. Ce que l'on voit est la manifestation globale de ce qui se passe dans un carré qui, avec NOAA, fait 1 km de côté au minimum. L'indice est aussi une traduction d'une activité globale. Ce qui se passe sur cette zone peut revêtir des combinaisons très différentes, à la fois de volume de végétation, d'espace occupé par la végétation au sol, et d'activité de cette végétation.

Avec des valeurs identiques, on peut avoir une réalité tout à fait différente à l'intérieur de ce pixel. C'est un des premiers problèmes que pose l'indice de végétation. En fait celui-ci traduit, non pas une seule chose donnée mais deux : une intensité d'activité, et une surface occupée par le végétal, surface vue exactement d'en haut. Et encore, ce n'est pas même une représentation de la masse de végétal, mais de sa couverture au sol, et ce qui en est vu d'en haut.

Le deuxième problème est en fait la perturbation apportée par le couvert nuageux qui diminue l'indice observé. Comment s'affranchir de cette couverture nuageuse qui empêche de voir correctement s'il y a peu ou pas de végétation en dessous ?

C'est là qu'intervient le deuxième principe de calcul de cet indice de végétation, qui consiste à faire des synthèses, en général sur des périodes de 10 jours puisqu'il arrive que certains jours, un pixel, une zone ne soit pas vue. On va ensuite prendre sur les relevés des 10 jours la valeur maximale observée. Cette valeur sera fatalement celle qui correspond à l'absence de nuages.

Mais, par là même on crée une hétérogénéité temporelle dans cet indice qui est calculé sur 10 jours. En effet, il peut très bien exister des cas dans lesquels une partie de l'image n'a été visible par exemple qu'en début de décade alors que le reste a été suffisamment dégagé en fin de décade pour que les valeurs les plus élevées (l'hypothèse d'une croissance normale) soient retenues dans la synthèse.

L'écueil problème du couvert nuageux est ainsi évité mais on a recréé un nouveau problème qui est parfois l'hétérogénéité temporelle interne à cet indice. Il existe d'autres difficultés, d'autres perturbations : des problèmes d'absorption, des problèmes de diffusion, des problèmes donc purement physiques, des problèmes géométriques qui sont aussi gênants, qui sont beaucoup plus difficiles, voire, à l'heure actuelle, pratiquement impossibles à éliminer pour avoir un indice totalement correct.

Le phénomène des brumes sèches en particulier est particulièrement gênant, d'où l'intérêt de mener des études et d'essayer de maîtriser ces phénomènes de formation de déplacement d'aérosol. Enfin, toujours à propos des difficultés de mesure, et des problèmes d'interprétation, il ne faut pas oublier que l'indice n'est pas une photographie. Lorsque l'on regarde une carte on ne regarde pas une photographie et les couleurs choisies sont choisies relativement arbitrairement, on parle justement de "cartes en fausses couleurs".

Les utilisations possibles de l'indice en zone sahélienne.

La zone sahélienne se prête tout particulièrement à un suivi satellitaire. En effet, tous les ans il y a un cycle complet de végétation qui s'accomplit : on assiste à l'émergence de la végétation à partir d'un sol pratiquement nu, puis ce phénomène a tendance à disparaître.

Les niveaux des réponses radiométriques enregistrées restent dans les tolérances des capteurs, on n'observe pas au Sahel de phénomène de saturation comme on en voit sur la forêt équatoriale par exemple. Les situations sahéliennes sont donc relativement favorables, surtout si l'on ajoute que le type de végétation que l'on veut suivre est constituée en grande partie d'étendues de pâturages, qui sont des milieux relativement homogènes avec une structure spatiale simple. On a là effectivement, un terrain privilégié d'application de la télédétection, ce qui ne serait pas le cas sous d'autres latitudes avec d'autres types de végétation.

C'est la raison pour laquelle cet indice de végétation a connu des applications tout à fait spectaculaires, importantes, au niveau du Sahel et que les publications de recherches "appliquées" ont été nombreuses.

On peut distinguer deux grandes catégories d'utilisation de l'indice : la cartographie et l'analyse temporelle.

Pour la cartographie, il ne s'agit pas de celle que l'on peut faire avec les satellites de ressources terrestres, mais d'une représentation spatiale d'un phénomène.

Lorsqu'on regarde une carte d'indices de végétation, on remarque que sans avoir une précision aussi importante qu'avec des images LANDSAT ou SPOT, on a malgré tout une représentation d'une diversité qui apparaît très nettement et l'on met en évidence facilement des zonages, des sites liés à l'hétérogénéité de la végétation. De cette façon, tout au long de la saison des pluies, on peut suivre la progression vers le nord du développement de la végétation. On peut repérer les zones où la faiblesse de l'indice traduit une situation anormale. Dans ce cas, il s'agit bien d'une faiblesse relative de l'indice puisque la "valeur" en elle même n'a pas beaucoup de sens.

Ce sont surtout des écarts, ce sont des comparaisons qui nous informent sur ce qui a pu se passer au niveau du comportement de la végétation. Ces comparaisons peuvent être des rapprochements entre zones : on peut comparer des zones entre elles à une date donnée et voir que des zones ayant un type de végétation identique sont plus vertes (si on utilise la représentation verte), il y a alors un indice plus élevé dans un secteur que dans un autre. Le plus intéressant est de faire des comparaisons par rapport à d'autres années, c'est-à-dire à des situations connues.

Si on compare l'indice de végétation de cette année, à la même époque en 1984 ou en 1988, on a là une référence tout à fait intéressante, 1984 étant une année mauvaise, 1988 étant une bonne année. On a un certain encadrement des situations et par rapprochement on peut voir si la situation est plutôt bonne ou plutôt mauvaise. Ces comparaisons, même si elle sont simples et grossières, donnent déjà une information.

Mais ce travail de cartographie, s'il se fait uniquement sur un support analogique c'est-à-dire sur des images que l'on regarde, que l'on compare à l'oeil, demande un travail relativement difficile. Pour pouvoir faire des comparaisons de façon efficaces, il faut disposer de données numériques, non pas d'une représentation colorée, mais des valeurs d'indices, pouvoir calculer des écarts cartographiés. Ces écarts vont faire vraiment l'objet d'un travail de calcul numérique. C'est là qu'effectivement on va exploiter beaucoup plus les comparaisons avec des années ou avec des régions qui sont des repères.

L'utilisation de la cartographie qui se fait couramment, est par exemple celle des cartes diffusées par l'USGS, qui sont bien connues, de grand format, que vous avez vu exposées ici. C'est aussi ce qui se fait avec le projet ARTEMIS qui diffuse des informations complètement prêtes à l'emploi, qui peuvent faire directement l'objet d'un examen et être analysées instantanément.

Deuxième type d'utilisation de l'indice de végétation : l'analyse temporelle.

Celle-ci consiste, pour un site ou une zone donnée, à étudier l'évolution de l'indice de végétation dans le temps. La première chose que l'on cherche à voir, et qui est facile à réaliser, que l'on peut faire de façon assez précise, est le repérage de la date d'émergence de la végétation.

En effet on observe classiquement qu'après une stagnation de l'indice pendant la saison sèche (l'indice variant selon les zones entre 0 et 0,1), on observe tout d'abord un fléchissement de cet indice et ensuite une remontée très rapide qui va dépasser une valeur que l'on considère comme seuil, véritable top de départ du démarrage de la végétation.

Les études qui ont été réalisées par exemple sur les zones de pâturages ont déterminé que ce seuil pouvait être fixé à la valeur de 0,08 d'indice de végétation.

Quel est l'intérêt de ce "calage" du cycle végétatif ? Quel est l'intérêt de cette date d'émergence ? Cela permet de fixer à partir de là, quelles vont être les dates auxquelles la végétation va arriver à des périodes critiques, où cette végétation sera la plus sensible au stress hydrique. On va fixer aussi la fin du cycle végétatif. Le simple fait de "caler" le cycle végétatif permet donc de faire un pronostic, d'alimenter éventuellement des modèles de bilan hydrique à ce niveau là, de faire un pronostic de productivité en fonction des aléas de pluviométrie qui sont constatés aux différents stades de la végétation.

Une expérience de ce type a été initiée à AGRHYMET. Malgré la taille d'un pixel vraiment très grand, on peut dire que déjà on a pu vérifier tout l'intérêt de ce type de travail. On peut être à fortiori optimiste sur l'utilisation opérationnelle, sur une base plus fine avec un zonage plus précis, de cette technique de repérage du démarrage de la végétation.

L'analyse temporelle permet aussi d'envisager des études beaucoup plus fines, plus intéressantes, peut être pas entièrement opérationnelles mais que l'on peut escompter à une échéance relativement proche.

A propos de la cartographie, non pas de la valeur de l'indice à un moment donné, mais de certains profils d'évolution de l'indice, il est intéressant de noter qu'elle permet certainement d'améliorer l'estimation de surface occupée par

telle ou telle culture. La technique que l'on peut entrevoir est simple. Elle consiste, sur des zones connues, où le milieu est parfaitement déterminé, à étudier le profil d'évolution de l'indice, à voir par exemple le temps qui s'écoule entre l'émergence et le maximum, à repérer la hauteur du maximum, à observer la pente de la courbe, etc... On peut examiner ensuite la durée du plateau et étalonner le système en rapprochant ces profils types de certains types de végétation. Par la suite un système de cartographie automatique peut repérer sur une campagne entière, ou en cours de campagne, quels sont -sur des valeurs de profils qui sont partielles- les pixels, les zones où l'on est proche de tel profil, ou de tel autre afin d'affiner la cartographie des surfaces occupées. Cela fait partie des applications qui pourraient déboucher très rapidement.

Une autre étude plus intéressante est envisageable à court terme. Dans des zones cultivables ou de pâturages, bien identifiées, pour lesquelles on dispose de données de terrain, il est tout à fait réaliste de penser qu'on pourra bientôt faire des estimations de rendement ou des estimations de biomasse.

Pourquoi j'indique que ceci pourrait se faire dans le cadre d'une évolution, d'une utilisation par analyse temporelle de l'indice ? C'est parce qu'il est certain -les études préliminaires l'ont montré- que si l'on ne se base pas uniquement sur la valeur maximale de l'indice, mais si on intègre l'ensemble de l'évolution de l'indice on peut beaucoup mieux étalonner, beaucoup mieux préciser l'un des paramètres qui va servir à estimer les rendements. Mais je ne vais pas entrer plus dans le détail. Ces deux applications qui sont, je crois du futur proche, font partie des travaux qui sont menés en particulier dans le cadre du projet CILSS/FED et l'exposé suivant montrera beaucoup plus précisément ce dont il s'agit.

Après avoir vu les différents types d'analyse il convient de voir comment les mettre en oeuvre. On peut déjà, au travers des quelques éléments qui ont été donnés jusqu'à présent, définir un certain nombre d'idées directrices sur lesquelles on pourra discuter utilement.

La première idée : si l'on veut travailler efficacement et faire vraiment une utilisation productive de l'indice de végétation, il faut disposer de référentiels, c'est indispensable. Qu'est-ce-qu'un référentiel ? Si on l'évoque au niveau temporel, cela consiste à disposer d'études d'indices de végétation sur les années antérieures. Lorsqu'on voit par exemple sur la grande carte de l'USGS, l'évolution des profils de 1982 à 1988, on comprend que disposer d'un référentiel de suivi d'indices est déjà un outil précieux ; cela permet de "caler" les années les unes par rapport aux autres.

Mais ce référentiel là, est un système en quelque sorte interne, un barème par rapport à des indices eux-mêmes. Ce qu'il faut encore, c'est avoir des références par rapport aux données du terrain. Il faut disposer de données sur : le sol, la pluviométrie, le suivi des stades végétatifs, les niveaux de

productivité, etc... de façon que les indices observés puissent être rapprochés de conditions objectives réelles. Il convient que l'on puisse dire que tel suivi de la végétation, telle évolution de l'indice correspond bien, recoupe bien, les données de suivi hydrique de la culture dans cette zone, compte tenu des pluies connues ; il faut pouvoir conclure que ces observations correspondent bien au type de sol, au faciès de végétation que l'on considère. Si cela ne correspond pas c'est qu'il se passent des choses anormales sur lesquelles il faut s'interroger ou sur lesquelles on peut directement donner une réponse : un diagnostic soit plus favorable, soit moins favorable que la normale en ce qui concerne l'évolution de la végétation.

Cette notion de référentiel est absolument fondamentale. Le référentiel "images" existe dans les archives, ça n'est pas un problème majeur. Par contre le référentiel "terrain", lui, n'existe pas toujours et l'on sera certainement obligé de faire un effort d'investigation au niveau du terrain pour mieux étalonner les méthodes de suivi par indice de végétation.

Faute de faire cet effort au départ, il y a de fortes chances que l'on ne puisse pas contrôler la qualité et la signification de cet indice. L'effort nécessaire au niveau du terrain n'est pas obligatoirement permanent, il peut être temporaire, mais il coûte cher, en hommes, en organisation, en collecte de données. Sans cet effort on n'aboutira pas à utiliser valablement les données d'indices de végétation qui, prises en elles-mêmes, n'ont pas grand sens.

La deuxième condition de l'utilisation efficace de l'indice de végétation est que le travail d'interprétation se fasse dans le cadre d'un zonage. Il faut effectivement replacer chaque zone dans son contexte. Telle zone qui a, à un moment donné un indice plus bas que les autres n'est pas obligatoirement dans un état plus mauvais : tout dépend de ce qui s'y passe, de la culture qui s'y déroule, de la période de semis etc... Ce n'est donc que dans le cadre d'un zonage que l'on va pouvoir exploiter les indices de végétation.

Si l'on veut opérer efficacement au niveau du zonage, il faut que le suivi, le travail d'interprétation soit transféré le plus tôt possible, au plus près des utilisateurs, c'est à dire au niveau des Etats. Il n'est pas réaliste de faire un exercice d'interprétation au niveau d'un centre, aussi ambitieux soit-il et aussi bien informé soit-il. Ce n'est que là où les spécialistes connaissent bien leur terrain, là où ils sont capables d'actualiser leur connaissance du terrain, que l'on pourra faire une interprétation correcte, qui s'appuie sur un zonage le plus fin possible et qui va en s'affinant au fur et à mesure du travail. L'étude de l'indice permet, par elle-même, d'affiner la cartographie, et les zonages.

Troisième condition pour réaliser des opérations efficaces : travailler en temps réel et sur des données numériques. Si on opère sur données numériques il vaut mieux

travailler en temps réel pour ne pas risquer d'être dépassé par les événements.

Cela signifie qu'il va falloir mettre en place un système de diffusion des données auprès des utilisateurs, qui soit le plus efficace possible. Aussi bien le projet ARTEMIS que le programme AGRHYMET, ou tous les autres projets envisageables, comprennent cette composante : diffusion. Le problème est de savoir jusqu'où elle va et de bien indiquer la condition supplémentaire : diffuser des données, certes, mais autant que possible disposer de données numériques. On a vu précédemment l'intérêt de travailler sur des données numériques au niveau de l'analyse chronologique.

Enfin la dernière condition est, à l'évidence, qu'il faut des hommes formés pour travailler sur l'indice de végétation. Cette formation est une composante essentielle des projets d'implantation de la télédétection. Mettre en place un projet d'indice de végétation qui ne s'accompagnerait pas d'un programme de formation, ce serait aller à l'échec. La tentation est grande, en effet, de voir sur ces couleurs plus ou moins vertes, des choses qui n'existent pas, ou des informations fausses.

En somme, la conclusion que j'en tirerai, c'est que pour travailler sur l'indice de végétation, il faut autant que possible se rapprocher de l'utilisateur, et banaliser les outils de travail que l'on met à sa disposition, les outils de traitement, les matériels, les logiciels, etc...

Il est sûr qu'il ne faut pas se contenter de transmettre une information. Cette information doit être fournie en même temps qu'un transfert de technologie, et la capacité de bien l'utiliser, de bien l'interpréter.

Pour ne parler que du projet AGRHYMET, il est clair que l'on disposait au départ, dans le Système AGRHYMET de données de terrain, puisque le système avait pour objectif principal de collecter des données météorologiques, des données sur la situation, sur le terrain, etc..., mais à des niveaux de précision relativement faibles. Il faut faire des progrès dans ce domaine. Les phases suivantes, mises en place conjointement au niveau d'AGRHYMET par l'USAID et la Coopération Française sont tout à fait cohérentes : équipement en matériel au niveau des pays, effort au niveau des moyens de télécommunication et un effort de formation.

Cet exposé se voulait un exposé introductif et il est volontairement schématique. Je vous propose maintenant de discuter sur ces thèmes. Quand au problème du coût, je crois qu'il ne s'agit pas tellement de savoir si l'on a ou si l'on a pas l'argent, mais plutôt de raisonner en terme de disponibilité de ressources, lesquelles sont parfois rares. Le coût le plus important de la télédétection est humain, plutôt

que financier. On trouvera assez facilement les équipements, les matériels, etc... les donateurs ne manquent pas. Par contre ce qui manque le plus et ce que les donateurs ne peuvent pas apporter indéfiniment, ce sont les hommes pour faire le travail d'interprétation. Que dans un premier temps, on mette en place des équipes, ou que l'on installe des systèmes qui font le travail de base, de réception, de décodage, de fabrication des produits élaborés, soit. Mais au niveau de l'interprétation, il faut que ce soient les hommes qui le fassent eux mêmes et là, il est clair que les ressources sont limitées. Si par exemple, un pays comme le Sénégal a des ressources en hommes suffisantes pour se permettre d'avoir une station de réception, plusieurs stations de réception, pourquoi pas, puisque je crois qu'il y a encore des projets d'installation de stations au Sénégal, pourquoi d'autres pays n'ont-ils pas cette possibilité ?

Et je crois donc que les systèmes à mettre en place devront être des systèmes économes à ce niveau là. Il faut se décharger autant que possible des servitudes de l'acquisition, du traitement des données et agir au niveau des Etats, sur l'interprétation. Voilà les éléments que je voulais donner, il est clair que je ne réponds pas à la question, mais est-ce qu'on peut parler de coût par exemple, d'une image NOAA ? Son coût est absolument dérisoire, l'image est gratuite. Qui peut capter l'image la capte librement, il n'y a pas de royalties, il n'y a pas de copyright comme sur une image LANDSAT ou SPOT. C'est donc un problème d'organisation pour la collecter, pour la diffuser, pour l'interpréter, etc...

M. Lechapt conclut son exposé en ajoutant que pour bien exploiter l'indice de végétation, il faut se rapprocher de ses utilisateurs et banaliser les outils de travail mis à leur disposition. En télédétection, le coût le plus important est le coût humain que représentent les équipes, en particulier celles chargées de l'interprétation.

Le Président remercie l'orateur et invite les intervenants à poser leurs questions ou faire leurs commentaires.

Le premier d'entre eux préconise des contacts directs entre ceux qui élaborent les indices de végétation et les utilisateurs afin que ces derniers maîtrisent et exploitent correctement les produits. Il partage entièrement les idées de M. Lechapt sur l'importance de la calibration et des stations de contrôle au sol ainsi que sur celle de la formation.

Le second intervenant ne cache pas qu'il reste un peu sur sa faim après avoir entendu l'exposé. En tant qu'utilisateur, il escomptait de la télédétection une analyse quantitative alors que, pour le moment au moins, cette technique apporte surtout des informations d'ordre qualitatif sur la végétation. Ceci étant, peut-on néanmoins compter sur la télédétection pour aider les populations sahéliennes et les responsables à mieux maîtriser l'environnement et à gérer la dégradation des terroirs ?

M. Lechapt répond que le cas du Centre de suivi écologique (CSE) de Dakar est spécifique au Sénégal, lequel dispose de moyens exceptionnels avec cet établissement (sans compter d'autres comme l'UTIS). Les indices de végétation produits par le CSE sont élaborés à partir de données brutes reçues de la station de Mas Palomas. Les autres pays du CILSS ne sont pas dotés de moyens semblables au niveau national ; ceci coûterait très cher et demanderait des moyens qu'ils n'ont pas. Pour ce qui touche à l'analyse plutôt qualitative fournie par la télédétection ; il sera plus approprié de reposer la question des quantitatifs lors de la session suivante, consacrée à la mesure des surfaces cultivées et aux types de culture, pour déterminer les productions agricoles. La dégradation des forêts (déforestation par excès de coupe de bois de chauffe) peut être mieux observée et suivie par les satellites de ressources terrestres (LANDSAT et SPOT) que par ceux de la série NOAA couramment employés pour déterminer les indices de végétation.

Le représentant du PNUD rappelle que l'utilisation de l'indice de végétation a commencé en 1981 au Sahel pour y suivre l'évolution des pâturages. Les premiers travaux dûs à la NASA (Procédé TUCKER) ont eu lieu au Sénégal. Ensuite plusieurs autres expérimentations ont été faites notamment au Mali et au Niger. De nombreuses calibrations ont ainsi été réalisées. Celles-ci sont coûteuses (environ 30.000\$ l'une au Sénégal) mais nécessaires si l'on veut éviter les risques d'erreur d'interprétation des cartes d'indices de végétation. Ces cartes sont parfois aberrantes pour d'autres causes (satellites différents de la série NOAA, absence de signe distinctif pour le surpâturage autour des forages).

Le Dr. Moore répond à une question du représentant de l'élevage nigérien relative aux facteurs qui provoquent l'augmentation de l'indice de végétation en fin de saison : baisse de l'humidité de l'air et diminution de la hauteur du soleil. Le représentant de l'ILCA au Mali ajoute des précisions techniques détaillées concernant la validité relative de l'indice et ses diverses imperfections. Les cartes doivent être utilisées avec précaution et nuance. Il serait bon de créer des banques de données pour le Sahel. Le point sur les résultats des recherches en ce domaine est fait par le responsable du laboratoire spécialisé du CNRS à Paris. Les travaux des chercheurs sont orientés en distinguant bien les deux types d'usage des indices : exploitation numérique visant à établir une relation quantitative entre la production de biomasse et l'indice (les chercheurs y travaillent depuis une dizaine d'années au profit des utilisateurs et gestionnaires responsables sur le terrain) ; cartographie dont le but est plutôt d'ordre qualitatif pour montrer l'évolution de la végétation. Afin d'améliorer les résultats, il est évident qu'il faut tenir compte aussi des paramètres relatifs au bilan hydrique outre la mesure de l'activité photosynthétique, et en outre intégrer au schéma les caractéristiques des écosystèmes sahéliens.

Les 2 voies explorées par les chercheurs sont orientées vers :

- l'amélioration du prétraitement des données. A noter que déjà sont apparues des solutions pratiques applicables à cet effet ;
- une approche de l'estimation de la production des pâturages sahéliens.

Deux méthodes sont mises à profit pour cela, l'une agrométéorologique qui recourt à la télédétection (estimation de la pluie par METEOSAT), l'autre plus physique, basée sur le comportement physiologique de la végétation, en partant de travaux américains récents sur le rayonnement global.

Le débat aborde ensuite les aspects financiers et les coûts.

Le représentant néerlandais souhaite qu'on examine les coûts de la télédétection tout comme les profits retirés par les utilisateurs. Jusqu'ici le débat a été un peu décevant pour les bailleurs de fonds. Ceux-ci sont constamment sollicités pour le financement de multiples projets entre lesquels ils doivent choisir. Un "comité de concertation" ne pourrait-il être constitué pour répondre à cette préoccupation ?

Se référant au rapport R. Pons, le représentant de la FAO évoque le coût des recherches et opérations de télédétection, du Centre AGRHYMET, relatif aux indices de végétation (1,5 M \$ d'équipement et 1 M \$/an de fonctionnement). Si l'on installe une station PDUS il faudra compter 2 M \$ supplémentaires d'où une charge totale de 3 M \$ par an pour générer des produits dont la valeur est manifestement moindre. M. Pons maintient-il ces évaluations ?

M. Pons répond que son rapport donne avant tout des ordres de grandeur. Sa diffusion a été large, aucune demande de rectification ne lui a été présentée. Certaines estimations doivent être révisées en hausse, à la lumière d'informations récentes, notamment celles des deux stations PDUS METEOSAT financées par les Japonais à Nairobi et Harare (+ 50%), ainsi que le devis du projet DIANA qui dépasse désormais 7 M \$. Pour ce qui concerne AGRHYMET, il faut bien sûr interroger les responsables ici présents, mais à sa connaissance les ordres de grandeur inscrits dans son rapport pour la station NOAA, son personnel, sa maintenance, demeurent valables. Pour l'ensemble du Centre Régional, on peut penser que la télédétection va dans les 5 à 10 ans qui viennent absorber près du 1/3 des dépenses. Le programme AGRHYMET coûte à peu près 15 M \$ par an dont les 2/3 pour le Centre de Niamey. Sur les 10 M \$ dépensés annuellement par celui-ci, la télédétection absorbera probablement 2 à 3 M \$ dans le futur. M. Bergès, responsable de la station NOAA du Centre AGRHYMET précise les dépenses inhérentes à cette unité : investissements matériels et logiciels (4 millions FF) ; fonctionnement annuel maintenance

(400.000 F) ; produits consommables (archivage modulable à la demande) ; personnel : actuellement 3 experts expatriés qui ont développé le logiciel de la station et réalisent l'interprétation des images, et à terme un ingénieur de haut niveau et une équipe d'opérateurs.

M. Domergue complète ces informations sur les coûts de la station NOAA. Il fait observer que les financements sont d'origines multiples ; le Centre lui-même assumant certaines charges à côté des bailleurs de fonds. Pour ce qui concerne la part d'origine française, il précise que la station nue (équipements) est revenue à 7 millions FF. Il note au passage que celle de Nairobi coûtera nettement moins, probablement 4 millions FF du fait de la répétition. Les développements informatiques qui restent à faire sur la station de Niamey nécessitent un personnel expatrié important. Il faut compter 700.000 à 1 million de FF par personne et par an. Ces coûts sont élevés comme cela est en général le cas pour les transferts de technologie vers l'Afrique. Les activités en cause coûteraient moins cher si on les réalisait en Europe ou en Amérique du Nord, mais faut-il pour autant condamner ces transferts de technologie ? La solution consiste à remplacer progressivement les spécialistes expatriés par des sahéliens, d'où la nécessité de faire un grand effort de formation et de trouver, dans le cadre du Programme AGRHYMET, une solution à l'épineuse question de la sahélistation des cadres et des techniciens.

Le Directeur Général d'AGRHYMET conclut ce débat général sur les coûts de la station NOAA. Il est difficile de préciser maintenant quelles seront les charges récurrentes de cette unité financée et soutenue par le Centre, et l'assistance technique française et américaine. Un tel équipement est valable dès lors qu'on sait qu'il pourra être pris en charge par les Sahéliens. Pour le moment, compte tenu des indications de base qui ont été fournies par MM. Bergès et Domergue, il est exclu que les responsables du CILSS acceptent d'assumer la charge de cette unité sans une importante aide extérieure. Ce serait un cadeau empoisonné. Pour apprécier le coût de la station, il serait utile de connaître exactement les produits qu'elle va engendrer, qui va les employer. Nous ne le savons pas encore, il est trop tôt.

M. Soares désire faire deux annonces à l'assemblée, relativement à l'exploitation de la station :

- une brochure "bleu" précisant les produits standard de la station NOAA et leurs prix de cession vient d'être distribuée aux participants. A noter que ce tarif s'inspire de celui de l'Agence Spatiale Européenne.
- une formation à l'interprétation des indices de végétation sera organisée au Centre AGRHYMET de Niamey en Octobre 1989 au profit des utilisateurs des pays du CILSS. Pour s'inscrire, prendre contact avec le CONACILSS ou le correspondant du Programme AGRHYMET au Service météo, dans chaque Etat membre.

Plusieurs participants interviennent au sujet des coûts. Ils font valoir successivement que : les charges doivent être considérées dans une perspective à long terme ; il est préférable d'examiner d'abord les produits puis les coûts ; le transfert de technologie vers l'Afrique n'augmente pas forcément les coûts ; la nécessité de disposer en permanence des spécialistes indispensables et d'éviter leur départ après qu'ils ont reçu une formation poussée.

III.5. Cinquième session : Jeudi 22 Juin 1989 (matin et début d'après-midi)

Présidence : M. Brah Mahamane (Secrétaire Exécutif du CILSS)

**DETERMINATION DES CULTURES :
TYPES ET SURFACES EMBLAVEES**

Le Président ouvre la séance et donne aussitôt la parole à M. Frédéric Ouattara, coordonnateur du Projet Surveillance des ressources renouvelables de la CEE (FED) au Centre AGRHYMET, pour la présentation de son exposé introductif.

L'orateur avertit l'assistance qu'il n'est pas certain que cet exposé et le débat qui s'ensuivra, apporteront les réponses annoncées la veille aux questions pendantes. Les techniques inscrites à l'ordre du jour de la présente session n'en sont encore, pour la plupart, qu'au stade de la recherche méthodologique.

M. Ouattara annonce qu'il évoquera successivement, après une introduction, les méthodes conventionnelles utilisées par les services de statistiques agricoles, les méthodes employées en télédétection, l'amélioration des connaissances sur les statistiques et les rendements grâce à l'emploi de la télédétection. Sa présentation s'achèvera par une conclusion.

**LA TELEDECTION SATELLITAIRE
ET
LA DETERMINATION DES PRODUCTIONS AGRICOLES**

INTRODUCTION

La faiblesse des méthodes conventionnelles d'observation au sol ainsi que le développement rapide des applications des Sciences de l'Espace ont fait de la Télédétection Satellitaire, un outil avec lequel il faut compter pour l'inventaire et le suivi des ressources naturelles. Mais en ce qui concerne les productions agricoles en particulier dans le contexte sahélien, les méthodes classiques de télédétection ont des limitations d'ordre technologique et de coût. Elles ne peuvent fournir directement des informations de type quantitatif sur les superficies occupées par les différentes cultures et leurs rendements.

Cependant à travers une méthodologie de stratification de l'espace à trois niveaux intégrés, il est possible d'utiliser les données satellitaires à coût raisonnable pour conférer aux observations ponctuelles de terrain (faites sur les cultures, les superficies, les rendements,...), une représentativité spatiale appropriée. L'extrapolation de ces informations de base peut se faire de façon fiable pour fournir des données chiffrées qu'on peut regrouper ensuite suivant un découpage géographique donné (arrondissement, département, région,...).

Sous l'instigation du CCR d'ISPRA, une telle méthodologie est actuellement mise en oeuvre dans le cadre du Projet Surveillance des Ressources Naturelles Renouvelables au Sahel à partir de zones test des quatre pays du CILSS (voir carte A). Le travail est orienté suivant deux grands axes permettant d'approcher les superficies et les rendements des différentes cultures. Les deux premières parties de ce document sont consacrées à la description de cette approche et cela permet ensuite de dégager des conclusions visant une meilleure conjugaison des efforts pour la maîtrise de l'outil satellitaire dans les systèmes d'alerte précoce pour la sécurité alimentaire.

I. LES DONNEES SATELLITAIRES DANS L'APPROCHE DES SUPERFICIES EMBLAVEES

Dans les pays dits sahéliens, le paysage agricole se caractérise le plus souvent par un parcellaire de petite dimension de l'ordre d'un are en cultures de bas-fonds et d'un à deux hectares en cultures de plaine (exception faite des zones cotonnières ou arachidières). Outre les zones de cultures permanentes ou à jachère courte, situées à la périphérie des villages ou le long du réseau hydrographique ou des grands axes routiers, des champs temporaires sont éparpillés dans la savane, isolément ou en petits groupes. Les cultures elles-mêmes se pratiquent fréquemment en association qui n'est pas toujours homogène sur toute l'étendue du champ. A l'intérieur d'une même parcelle une variabilité importante des conditions de croissance peut exister, liée à l'hétérogénéité des sols ou à la répétition des semis. Par ailleurs, l'organisation spatiale du paysage varie en fonction du milieu et des populations locales.

Cette complexité du paysage agricole des cultures pluviales ne permet pas une utilisation efficace (performance et coût) des méthodes classiques d'observation au sol ou d'observations satellitaires.

En effet, si l'on veut au cours d'une année donnée avoir une connaissance exhaustive des superficies occupées par les différentes cultures sur les 5.000.000 km² que constituent les pays du CILSS, il faudrait arriver à déterminer pour chaque km² l'occupation exacte du sol et à l'intérieur de chaque km², mesurer les superficies occupées par les différentes cultures. Le faire par les méthodes classiques de levée de terrain, revient à envoyer annuellement sur le terrain plus de 5.000.000 d'enquêteurs ce qui revient à affecter plus d'un habitant sur sept à cette tâche pendant deux mois). Cela devient lourd à gérer, coûteux et donne des résultats finaux entachés d'erreurs. Le faire exclusivement aussi par les méthodes satellitaires revient à acquérir et à traiter 150 images LANDSAT ou 1.300 scènes SPOT ; les résultats ne sont guère meilleurs avec en plus d'autres problèmes pratiques à résoudre simultanément.

Dans ce contexte, la stratification de l'espace à plusieurs niveaux hiérarchisés devient une voie privilégiée permettant d'utiliser judicieusement les deux modes d'approche (terrestre

et satellitaire) de manière à améliorer considérablement les évaluations sur les superficies emblavées et sur les rendements. La stratification permet en effet de délimiter des unités spatiales à l'intérieur desquelles la variabilité des observations est réduite. La stratification commence par une définition de critères pertinents de nature spatiale et qui ont trait aux systèmes agraires. En d'autres termes, les nombreuses stratifications "écologiques" qui existent actuellement, ne sont pas nécessairement pertinentes surtout si elles indiquent des potentialités agricoles plus que la situation réelle.

— LIMITE AU SUD DE LAQUELLE LE PROJET DOIT ETRE ETENDU EN PHASE II



Zone sur laquelle la méthodologie concernant le satellite Landsat MSS a été mise au point

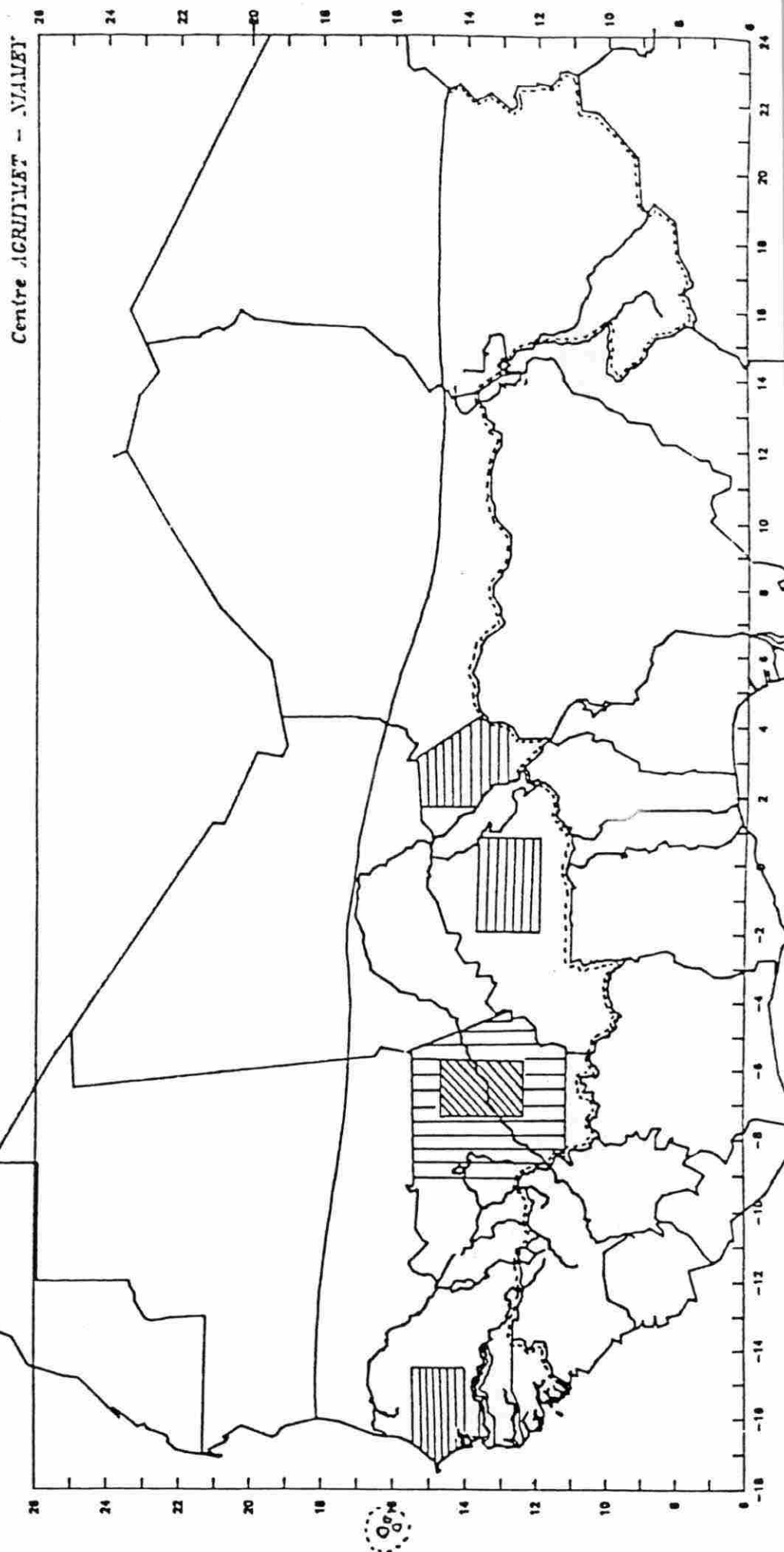


Zone sur laquelle la méthodologie concernant le satellite Landsat MSS doit être validée



Zone sur laquelle l'ensemble de la méthodologie doit être testée

Carte A



La procédure de stratification proposée s'appuie sur l'existence de niveaux hiérarchisés et facilement reconnaissables dans l'organisation de l'espace (voir figure 1 : organigramme de la stratification). Après avoir défini ces niveaux d'unités spatiales pertinents pour la stratification on évalue l'application de tel ou tel type de capteur satellitaire. On retient en gros trois niveaux d'organisation du paysage sahélien :

- la région agricole,
- le terroir,
- et le bloc de parcelles.

1) La région agricole (1er niveau de la stratification)

C'est l'unité spatiale qui est homogène du point de vue de l'environnement (géomorphologie, sol, climat...) et des systèmes agraires, caractérisés par des structures de paysages spécifiques et répétitives.

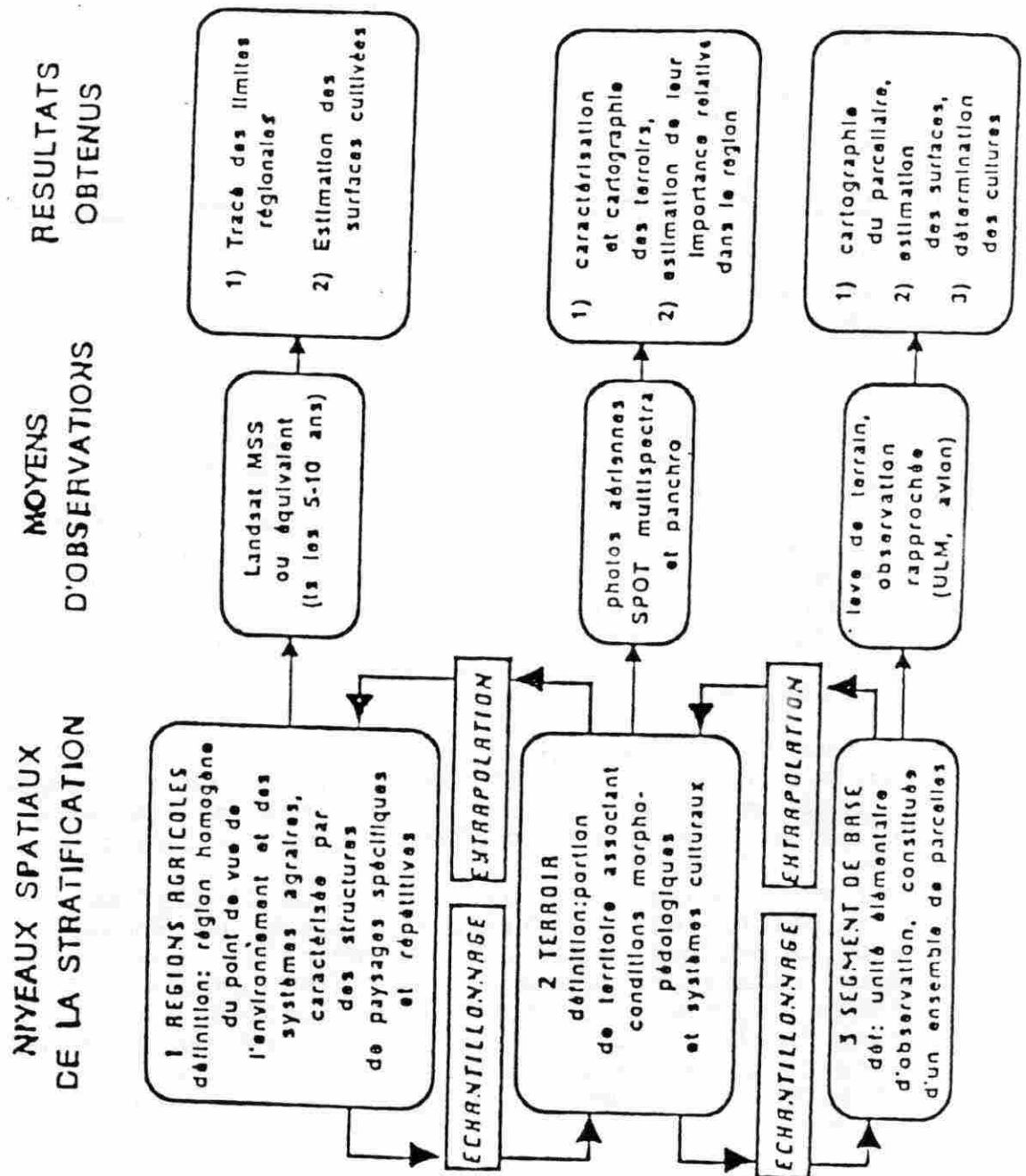
A ce niveau on peut utiliser les données LANDSAT MSS (compositions colorées) pour le découpage des régions, la cartographie du domaine agricole et l'évaluation de la part du domaine agricole dans chaque région. Cette cartographie donne une base de référence qui est relativement stable pour le domaine agricole sur une période de dix ans. Une telle opération nécessite environ 150 images pour la zone agricole de l'ensemble des pays du CILSS. L'opération ne se répétant que tous les dix ans, ce type d'investissement peut être largement rentabilisé surtout que les mêmes images peuvent également servir à d'autres types d'analyses.

Le volume des données étant raisonnable, on peut sans coûts excessifs réaliser systématiquement une couverture complète des territoires concernés tous les dix ans avec des images de saison sèche qui sont relativement plus faciles à acquérir.

On observe cependant que si l'image LANDSAT MSS permet de faire la discrimination entre l'agricole et le non-agricole dans la majorité des cas, cette discrimination ne se fait pas sur des critères constants. C'est ainsi qu'on constate une dérive spectrale de ces deux classes au travers d'une image, en fonction de la nature du sol, de son recouvrement et de la phénologie locale. Ce problème est important surtout lorsqu'on veut traiter correctement de larges aires géographiques par voie numérique.

Les compositions colorées du TM ou SPOT présentent de nombreux avantages mais leur contenu informatif n'est pas significativement supérieur à celui du produit MSS pour ce qui concerne simplement l'identification du domaine agricole, leur coût revenant nettement plus cher.

Fig. 1 : Stratification de l'espace à plusieurs niveaux hiérarchisés.



2) Le terroir (2ème niveau de la stratification)

Le terroir ou facette du paysage est une portion du territoire caractérisée par des conditions morphopédologiques particulières auxquelles sont associées des systèmes de cultures spécifiques (types de cultures, rotations, techniques culturales). Les limites des terroirs sont relativement fixes même si leur contenu évolue en fonction de l'introduction de nouvelles techniques ou cultures.

Pour une région agricole donnée, on peut évaluer l'importance relative de chaque type de terroir. Pour des raisons de coût des données et du volume de travail, la cartographie des terroirs est faite sur une sélection de zones témoins suffisamment représentatives de la région agricole. Cette étape de la procédure permet de connaître la part de chaque type de terroir dans le domaine agricole d'une région.

Les terroirs peuvent être classés et cartographiés avec une très bonne précision à l'aide d'imagerie SPOT ou TM avec une périodicité de cinq ans. Les photographies aériennes au 1/50.000e peuvent servir également.

3) Le bloc de parcelles (3ème niveau de la stratification)

La segmentation du terroir en portions homogènes permet de sélectionner dans chaque type de terroir des segments élémentaires ou blocs de parcelles sur lesquels l'identification des cultures et la mesure des superficies sont effectuées.

La Télédétection n'apporte pas encore de réponse satisfaisante au problème de l'identification des cultures dans les systèmes agricoles sahéliens (résolution spectrale et spatiale inappropriée à l'hétérogénéité des parcelles, acquisition systématique difficile des images en saison de croissances,...) bien qu' expérimentalement cela puisse se faire sur des sites restreints de quelques dizaines de km².

L'enquête de terrain est le meilleur moyen de collecte de l'information agricole sur les segments élémentaires. Mais elle doit être organisée à partir des documents satellitaires ou aéroportés pour permettre une meilleure exploitation des données récoltées au sol. Les blocs de parcelles sont sélectionnés dans chaque type de terroir proportionnellement à leur importance.

L'enquête terrain menée dans ces conditions permet de déterminer de façon fiable, l'importance relative des différentes cultures (superficies occupées, rendement...) sur les segments enquêtés. Les données collectées au niveau des segments élémentaires sont agrégées pas à pas de manière à établir les estimations par région agricole et à les exprimer ensuite selon les unités administratives.

II. LES DONNES SATELLITAIRES DANS L'ESTIMATION DES RENDEMENTS

Les méthodes classiques d'évaluation de rendement au sol (carré de rendement) sont simples et rigoureuses du point de vue statistique, mais elles ne sont que partiellement utilisées car lourdes et coûteuses à mettre en oeuvre. Des modèles agroclimatologiques établis sur la base d'observations expérimentales pour les principales cultures sub-tropicales sont rarement utilisables par manque ou insuffisance de données permettant de faire tourner le modèle, ou sont difficilement extrapolables sur une grande zone. Les résultats de ces évaluations sont donc souvent critiqués et parfois contestés.

Cela explique la mise en oeuvre ces dernières années de nombreuses tentatives visant à utiliser les outils satellitaires à cette fin. Mais dans ce domaine la solution n'est pas si simple et le contexte de l'agriculture sahélienne la complique davantage. Les efforts sont menés suivant deux voies : les indices de végétation et la modélisation.

1) Les indices de végétation

De nombreuses études ont démontré l'existence des relations entre les rendements agricoles et les "indices de végétation". Ceux-ci sont avant tout une estimation de l'activité photosynthétique de la végétation obtenue par combinaison de la mesure collectée par satellite de l'énergie lumineuse réfléchie par la surface terrestre dans les deux bandes spectrales : le rouge (R) et le proche infrarouge (PIR) pour lesquelles le contraste entre le sol et la végétation est le plus important (voir courbe de réflectance de la végétation).

Il existe plusieurs indices de végétation différents :

- la différence = $PIR - R$
- le simple rapport = PIR/R
- la différence normalisée = $\frac{PIR-R}{PIR+R}$
- l'indice de végétation perpendiculaire

$$PVI = [(R_{sol}-R_{veg})^2 + (PIR_{sol}-PIR_{veg})^2]^{1/2}$$