



## **Programme d'évaluation préliminaire SPOT PEPS n° 149 SPOT Oursi**

Jean-Louis Devineau, Anne D. M. Fournier, Jean-Marie Lamachère

### **► To cite this version:**

Jean-Louis Devineau, Anne D. M. Fournier, Jean-Marie Lamachère. Programme d'évaluation préliminaire SPOT PEPS n° 149 SPOT Oursi. [Rapport de recherche] IRDP:

**HAL Id: hal-03170801**

**<https://hal.science/hal-03170801v1>**

Submitted on 16 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Institut Français  
de Recherche  
Scientifique  
pour le  
Développement en  
Coopération  
O R S T O M

Centre National  
d'Etudes Spatiales

C N E S

S P O T I M A G E

PROGRAMME D'EVALUATION PRELIMINAIRE SPOT

P E P S N° 149

S P O T O U R S I

Rapport intermédiaire  
=====

Centre ORSTOM  
de OUAGADOUGOU  
BURKINA FASO

Jean-Louis DEVINEAU  
Anne FOURNIER  
Jean-Marie LAMACHERE  
Novembre 1986

\*\*\*\*\*

\*\*\*

\*

ORSTOM Fonds Documentaire :

N° : 23796

Cote : B

12.8.1987 97

Me 1

# PROGRAMME D'EVALUATION PRELIMINAIRE SPOT

Programme PEPS n° 149

Cartographie thématique - échelle 1/50 000ème, de l'évolution des états de surface d'un bassin versant en zone sahélienne au cours d'une saison des pluies. Le bassin versant de la mare d'Oursi au Burkina Faso.

## RAPPORT INTERMEDIAIRE

ORSTOM - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

Responsable scientifique : Lamachère Jean-Marie, hydrologue

Chercheurs associés : Devineau Jean-Louis, phytoécologue  
Fournier Anne, phytoécologue  
Malek Chakib, géomorphologue  
Lortic Bernard, télédéacteur

Stagiaires burkinabè associés :

Badiara Léon  
Yabré Brahim

Novembre 1986

# BURKINA FASO

CARTE DE SITUATION

Fig. 1

BASSIN VERSANT  
DE LA MARE D'OURS

STATION CLIMATOLOGIQUE  
DE JALAFANKA

OU DALAN

Beli

GOROM  
GOROM

Goudabo

DORI

Faga

Niger

NIGER

OUAGADOUGOU

Sirba

Dougoula Moundi

Kompianga

Doudodo

Pendjari

BENIN

GHANA

TOGO

BOBO DIULASSO

YAKALA

BAGRE

Sissili

Volta Rouge

Volta Blanche

Volta Noire

Volta Hou

Sourou

Volta Noire

Kou

Bougouriba

poni

Léraba  
Occale

COTE D'IVOIRE

Echelle: 1/4000000  
12°

15°

13°

11°

9°

16°

14°

12°

10°



M A L I

## S O M M A I R E

---

	Pages
Carte de situation.....	1
Introduction.....	2
1 - Cadre géographique.....	3 à 8
2 - Objectifs du programme SPOT OURSI et méthodologie générale	9 à 12
3 - Moyens humains, matériels et financiers.....	13 à 14
4 - Objectifs et méthodologies propres à chaque discipline, résultats des observations effectuées au cours de l'hivernage 1986.....	15 à 44
4.1. Le couvert végétal.....	16 à 24
4.2. Les états de surface.....	25 à 31
4.3. Les observations hydrologiques.....	32 à 36
4.4. Les observations radiométriques au sol.....	37 à 41
4.5. Observations et enquêtes agronomiques.....	42 à 44
5 - Analyse des services fournis par la société SPOT IMAGE.....	45 à 46
6 - Conclusions.....	47
Bibliographie.....	48 à 52

## INTRODUCTION

Ce premier rapport du programme SPOT OURSI, PEPS n° 149, se situe à la fin de l'hivernage 1986, après une série de trois campagnes d'observations phytoécologiques, hydrologiques, radiométriques et épipédologiques sur le bassin versant de la mare d'Oursi, à l'extrême nord du Burkina Faso. Ces trois campagnes ont été programmées pour se dérouler sur des périodes de 10 jours, identiques aux périodes de programmation des images SPOT.

Une méthodologie originale, associant sur les mêmes transects l'observation des états de surfaces du sol, les mesures de recouvrement végétal, de biomasse, et les mesures radiométriques, a pu être développée puis complétée par un inventaire floristique. Nous ne présentons ici qu'une partie des observations au sol, suffisante pour que le lecteur puisse se faire une idée de leur nature et de leur consistance.

Des rapports plus complets et plus spécialisés se chargeront d'exposer tous les résultats de nos observations.

Simultanément aux travaux de terrain, le satellite SPOT effectuait régulièrement ses passages dans le ciel d'Oursi. Une première image fut acquise le 9 août puis deux images successives le 30 août et le 4 septembre. La première image n'a pas encore été livrée par SPOT IMAGE. Celle du 4 septembre, livrée au début du mois de novembre, se révèle excellente et augure bien de la suite du programme.

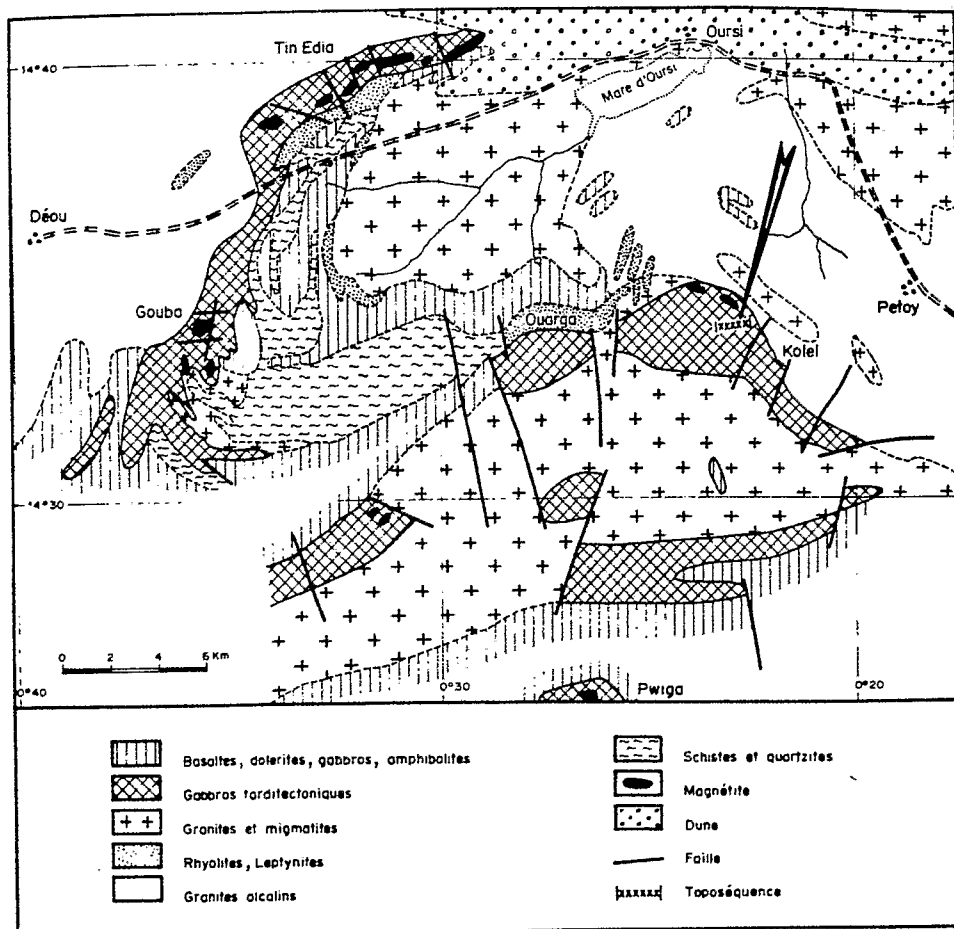


Fig.2 - Esquisse géologique de la région de Koulé (NEYBERGH, 1970)

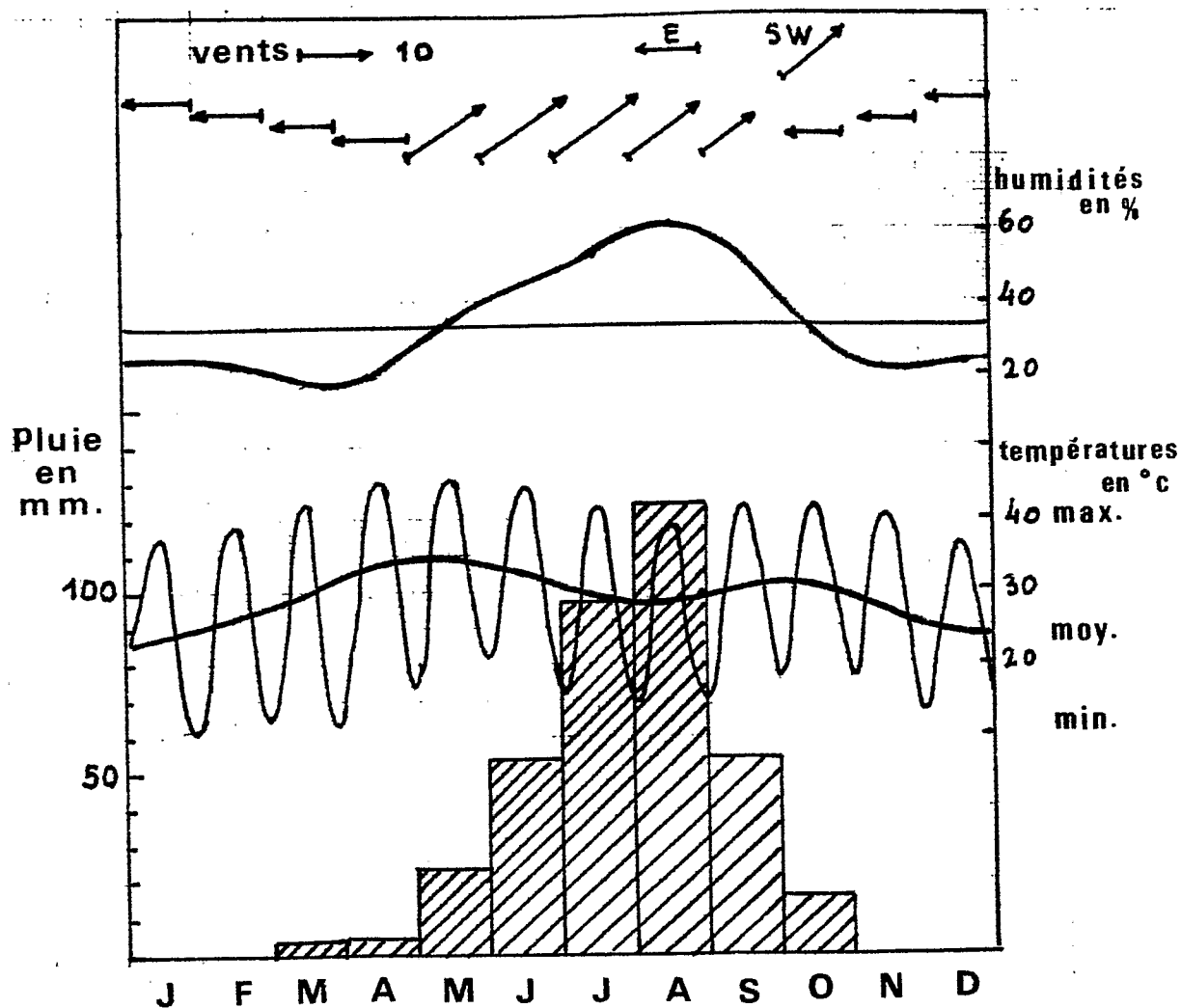


figure n° 3 CLIMATOLOGIE A LA STATION JALAFANKA 76-83

## 1. Le cadre géographique

Le bassin versant de la mare d'Oursi est situé dans la province de l'Oudalan, au nord du Burkina Faso (figure n° 1), entre les parallèles 14° 33' et 14° 41' de l'hémisphère nord et entre les méridiens 0° 26' et 0° 40' à l'ouest du méridien international.

### - Géologie (figure n° 2)

Les formations géologiques du bassin versant de la mare d'Oursi s'organisent essentiellement autour d'un noyau granitique (granites de type Taïma) auréolé de gneiss et d'amphibolites (formation de Sikiday), de schistes et quartzites souvent manganésifères (formation de Gouba). Au sud et au nord de ce noyau, affleurent des gabbros intrusifs qui constituent les principaux reliefs de la région : massifs de Tin Edjar, de Kolel et de Warga. A l'est et à l'ouest du bassin, affleurent des granites alcalins de type Déou vers l'est, de type Pétoy vers l'ouest.

Un cordon dunaire limite le bassin versant de la mare d'Oursi dans sa partie septentrionale et des placages sableux éoliens se sont accumulés sur les piémonts des collines méridionales.

### - Climatologie

La région d'Oursi appartient à la zone sahélienne sud, où la pluviométrie est supérieure à 350 millimètres et permet la culture pluviale. Sur la période 1976-1986, la pluviométrie annuelle moyenne est de 360 millimètres à la station climatologique de Jalafanka, située quelques kilomètres au sud de la mare.

D'une année à l'autre, d'un lieu à un autre lieu, la pluviométrie présente une forte variabilité. Ainsi, sur la période 1976-1986, le minimum pluviométrique annuel est-il de 204 millimètres et le maximum de 480 millimètres. Pour une même année, l'année 1986 (figure n° 17), le total pluviométrique annuel observé passe de 150 millimètres près du massif de Tin Edjar à 405 millimètres à la station Jalafanka, pour des postes distants de moins de 10 kilomètres.

Température et hygrométrie permettent de distinguer une saison fraîche et sèche, de novembre à mars, une saison chaude et sèche de mars à juin, une saison humide de juin à octobre et une petite saison chaude et humide de la mi-septembre à la mi-novembre.

La figure n° 3 résume l'essentiel des données climatiques recueillies à la station de Jalafanka de 1976 à 1983.

Les pluies sont souvent précédées de vents extrêmement violents qui soulèvent des nuages de sables et de poussières particulièrement denses en début d'hivernage et les vents alizés continentaux (harmattan), qui soufflent de manière épisodique en saison sèche, réduisent parfois la visibilité à quelques centaines de mètres pendant plusieurs jours.

Le climat de la région d'Oursi présente donc un caractère aride assez net, qui s'est accentué depuis 1970 avec une chute de la pluviométrie moyenne d'environ 100 millimètres entre les périodes 1950 - 1970 et 1970 - 1986.

Combinée avec une surcharge des pâturages, sensible dès les années cinquante, la dernière période de sécheresse a provoqué une dégradation générale du milieu dont l'évaluation est une des préoccupations des chercheurs mobilisés autour du programme SPOT-OURSİ.



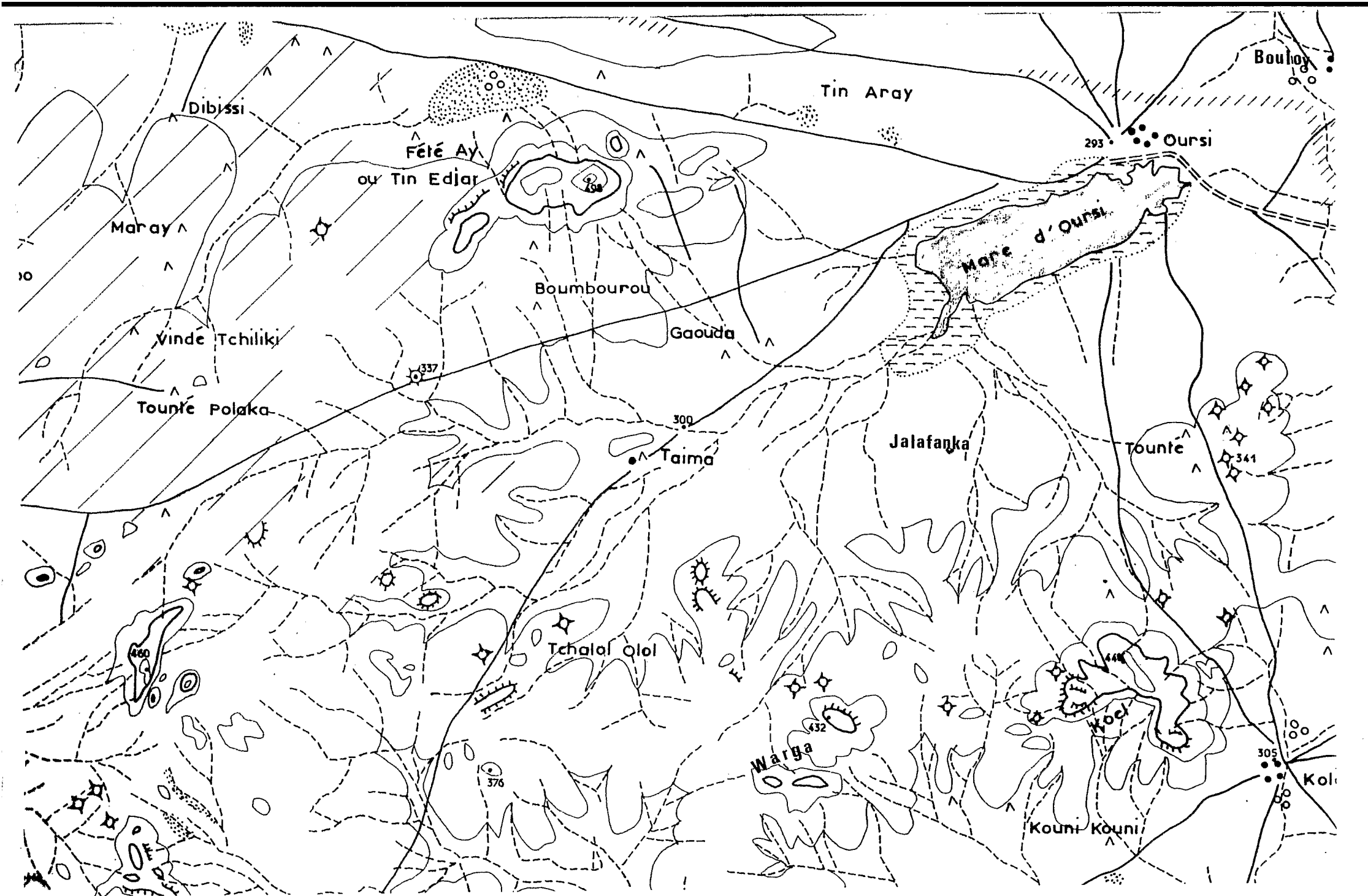


figure n° 4

CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSIS au 1/100 000

### - Topographie, géomorphologie (figure n° 4 )

Les unités géomorphologiques du bassin versant de la mare d'Oursi peuvent être groupées en quatre types de paysages : les buttes et massifs, les glacis, les talwegs et dépressions, le système dunaire.

Les reliefs, collines, buttes cuirassées et inselbergs granitiques, sont issus de roches particulièrement résistantes à l'érosion : gabbros, latérites, quartzites, îlots granitiques. Le massif gabbroïque de Tin Edjar, le plus élevé en altitude, culmine à 518 mètres et domine de plus de 200 mètres la mare d'Oursi.

Les glacis, surfaces planes aux pentes faibles, inférieures à 10 %, couvrent 60 % de la superficie du bassin. Ils convergent vers la mare en adoucissant progressivement leurs pentes. La texture de leur couverture minérale varie en fonction de leur environnement. Elle est graveleuse près des roches métamorphiques, arénacée près des inselbergs granitiques, gravillonnaire au voisinage des cuirasses latéritiques, sableuse lorsque dominant les dépôts éoliens superficiels ou même argilo-limoneuse sur les piémonts des massifs de gabbros.

Les talwegs et les dépressions couvrent 20 % de la superficie du bassin. Ils se caractérisent par leur couverture végétale abondante et leurs sols hydromorphes où apparaissent en saison sèche, de larges et profondes fentes de retrait. Talwegs et dépressions sont des zones de concentration des eaux de ruissellement.

Le système dunaire comprend un vieux cordon dunaire fixé couvert de végétation, l'erg vif d'Oursi, des dunes d'obstacles localisées autour des massifs rocheux et des placages éoliens sur les glacis.

### - Pédologie, hydrologie

Les sols des reliefs ont été identifiés comme des sols minéraux bruts non climatiques. Ils ont généralement des coefficients de ruissellement élevés. A l'échelle des massifs, les nombreuses fractures et les altérites, qui résultent de la désagrégation des roches, captent une partie du ruissellement avant qu'il ne parvienne sur les piémonts.

Les sols des glacis sont essentiellement de type brun subaride ou de type ferrugineux tropical. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, à taches et concrétions, sont bien développés sur les glacis arénacés des granites alcalins de type Déou et de type Pétoy, généralement en position topographique d'interfluve.

Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, à drainage interne limité en profondeur, en association avec des sols gravillonnaires, se situent exclusivement autour du massif de Tin Edjar.

Les sols bruns subarides modaux et les sols bruns subarides vertiques occupent la majeure partie des glacis. Les seconds couvrent vers l'ouest et vers le sud, les terrains proches de la mare et remontent, par les talwegs, jusqu'au pied des massifs rocheux. Les premiers couvrent assez largement les glacis situés au sud de la mare entre les granites de Déou et de Pétoy.

Les glacis sont peu perméables et les organisations superficielles des sols y règlent essentiellement la rapidité de déclenchement du ruissellement. L'importance de l'infiltration y dépend surtout de la densité du couvert herbacé. Drainées par un réseau hydrographique en arêtes, particulièrement bien marqué sur les piémonts des massifs rocheux, les eaux de ruissellement s'écoulent lors des fortes averses, en nappes liquides réparties sur l'ensemble des glacis.

Les vertisols, caractérisés en saison sèche par leurs larges et profondes fentes de retrait, se partagent les talwegs et les dépressions avec les sols bruns subarides vertiques.

Ces deux types de sols, perméables en début de saison des pluies, sont vite saturés et deviennent ensuite très imperméables.

Le système dunaire est couvert de sols bruns-rouges subarides pauvres en argiles et en limons, et de sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur. Les premiers se situent sur l'erg le plus récent et sur le piémont du massif rocheux de Warga. Au nord de la mare d'Oursi, ils suivent une bande large de 2,5 à 3 kilomètres, orientée d'est en ouest. Les seconds se situent sur l'erg ancien du complexe dunaire septentrional et à proximité du massif de Kolel, à partir duquel ils s'étendent assez largement vers l'est. Le ruissellement sur sols sableux éoliens, dépend de la compacité du sol. Très faible sur l'erg le plus récent, il peut être important sur les sols les plus indurés de l'erg ancien et des piémonts. La végétation herbacée contribue très significativement à limiter l'induration des sols et favorise l'infiltration. Inexistant sur l'erg récent, le réseau hydrographique est à peine ébauché sur l'erg ancien où l'eau se concentre dans de petites dépressions très dispersées.

#### - Végétation

La région étudiée appartient au domaine phytogéographique sahélien. Sa végétation est une steppe qui comporte une strate arbustive lâche et une strate herbacée composée principalement d'espèces annuelles à cycle court.

La strate herbacée, particulièrement dense dans les talwegs et les dépressions, est bien répartie sur l'ensemble du système dunaire. Elle se distribue très inégalement sur les glacis et s'appauvrit sur les reliefs.

Les espèces les plus communes se localisent de préférence selon le schéma ci-dessous.

milieux espèces	système dunaire	talwegs et dépressions	glacis	reliefs
<i>Aristida adscensionis</i>				+
<i>Aristida funiculata</i>			+	+
<i>Aristida longiflora</i>	+			
<i>Aristida mutabilis</i>	+			
<i>Cenchrus biflorus</i>	+			
<i>Panicum laetum</i>		+	+	
<i>Penisetum pedicellatum</i>			+	
<i>Schoenfeldia gracilis</i>	+	+	+	

En milieu sableux éolien, la croissance de la strate herbacée est rapide, complète environ un mois après la germination des graines. Elle se prolonge d'une quinzaine de jours dans les talwegs et les dépressions et dure environ deux mois sur les glacis.

La strate ligneuse s'organise en galeries dans les talwegs où elle est assez dense. Elle est très inégalement répartie sur les glacis où ne subsistent, sur le bassin versant de la mare d'Oursi, que des lambeaux très dégradés de brousse tigrée. Elle est peu dense sur le système dunaire et s'y concentre dans les creux d'anciennes barkhanes.

Les principales espèces se localisent de la façon suivante :

espèces	milieux	système dunaire	talwegs et dépressions	glacis	reliefs
Acacia adansoni			+		
Acacia albida		+	+		
Acacia laeta				+	
Acacia raddiana			+	+	+
Acacia senegal		+		+	
Acacia seyal			+		
Adansonia digitata			+	+	
Balanites aegyptiaca		+	+	+	
Combretum glutinosum		+			
Combretum micranthum				+	+
Leptadenia hastata		+			
Pterocarpus lucens				+	+
Ziziphus mauritania			+	+	

#### - Occupation des sols

Les cultures de mil sont implantées sur les sols sableux éoliens autour des mares et sur les piémonts des massifs rocheux. Quelques champs de Sorgho sont cultivés dans les talwegs. Quelques champs de cultures maraîchères bordent la mare d'Oursi. Tous les milieux sont pâturés à des degrés divers et à des époques bien définies, fonction de la qualité des fourrages et de leur disponibilité.

La population de la région d'Oursi est très hétérogène. Elle comprend des sédentaires, installés dans les villages d'Oursi, Kolel, Bouloy, Boulel et des nomades dont les campements se regroupent autour des mares subpérennes. Les sédentaires sont d'ethnies Songhaï au village d'Oursi, Peul Rimaïbé au village de Kolel. Les nomades sont essentiellement des Kel Tamacheck de la tribu des Alkasseybaten, regroupés autour des mares de Tin Edjar et de Yomboli, et des Peul Djelgobé, installés plus au nord autour de la mare de Ganadaori et au sud-ouest de la mare d'Oursi. Les populations nomades ont actuellement tendance à se sédentariser suite aux grandes sécheresses qui se succèdent dans l'Oudalan depuis 1973. Elles contribuent ainsi à accroître les surfaces cultivées et à augmenter le surpâturage des terrains proches de la mare.

## 2. Objectifs du programme SPOT-OURSI et méthodologie générale

### 2.1. Objectifs

Le programme SPOT-OURSI, PEPS n° 149, s'inscrit dans la lignée des programmes de recherche qui se sont succédés dans la région d'Oursi depuis 1976. Nous avons établi, à la fin de ce rapport, une bibliographie aussi exhaustive que possible, des publications relatives à cette région et à la province de l'Oudalan, province la plus septentrionale et la plus aride du Burkina Faso. La richesse des études scientifiques réalisées dans la région d'Oursi aurait pu nous inciter à nous désintéresser d'une contrée trop bien connue. La lecture des ouvrages qui lui sont consacrés, nous a plutôt convaincu de l'intérêt d'études scientifiques complémentaires.

Le lancement par le Centre National d'Etudes Spatiales et la société Spot Image, d'un appel d'offre de propositions pour la participation au programme d'évaluation préliminaire SPOT, nous a finalement donné l'occasion de définir, en collaboration avec d'autres chercheurs, des objectifs scientifiques susceptibles d'être traités par analyse des images SPOT et comblant quelques lacunes dans la somme des documents disponibles. Une des lacunes les plus évidentes concerne l'absence de documents photographiques réalisés à l'échelle de la région en cours de saison des pluies. Or, la végétation sahélienne, à l'exception de quelques espèces ligneuses et de quelques espèces hydrophiles, développe ses parties épigées chlorophylliennes pendant l'hivernage et depuis quelques années, les mesures de ruissellement, par simulation des pluies, montrent l'influence prépondérante du couvert herbacé sur l'infiltration superficielle de l'eau dans la plupart des sols sahéliens.

Ces considérations phytoécologiques et hydrologiques nous ont conduit à proposer un programme où la prise des images satellitaires est couplée avec des observations au sol, suivant un calendrier de quatre prises de vue qui permet de suivre l'évolution de la biomasse herbacée, du couvert végétal et plus généralement des états de surface des sols au cours d'une même année. Par l'analyse des images SPOT, l'objectif principal du programme SPOT-OURSI (PEPS n° 149) est finalement de produire les cartes de biomasse et les cartes de recouvrement végétal correspondant aux quatre dates de prise de vue réparties sur l'hivernage 1986, d'établir une carte des états de surface des sols nus et de leur recouvrement minéral, de cartographier l'occupation des sols en 1986 dans la région d'Oursi.

A cet objectif principal nous avons associé des objectifs secondaires qui constituent des interprétations des cartes précédentes à partir de données, soit récoltées sur le terrain, soit trouvées dans la littérature spécialisée. Ces objectifs secondaires concernent la cartographie de l'aptitude des sols au ruissellement, la cartographie des groupements phytoécologiques et de leur évolution, la cartographie des unités géomorphologiques et de leur dynamique.

Jusqu'à présent, la cartographie thématique était réalisée à partir de cartes topographiques et de photographies aériennes. Le coût d'une campagne de photographies aériennes sur la région d'Oursi, couvrant une superficie de 500 km<sup>2</sup>, a été estimée à 40 000 francs français par l'Institut Géographique Burkinabè en juin 1985. Le prix d'une couverture aérienne est donc relativement élevé et il ne permet pas d'envisager des prises de vues répétitives sur une même région au cours d'une seule année.

Pour le même prix, la société SPOT-IMAGES offre 4 images qui peuvent être réparties au choix du client. Cependant, photographies aériennes et images satellitaires SPOT ne sont pas de même nature. La définition des images SPOT, dont la taille au sol des pixels est de 400 m<sup>2</sup>, reste encore très inférieure à la définition des photographies aériennes. Ainsi, bien que disposant d'images de la simulation SPOT, réalisées en 1981 dans la région d'Oursi, il s'est avéré indispensable d'utiliser les photographies aériennes pour effectuer avec précision les repérages au sol. Plus généralement, les objets au sol, identifiables sur photographies aériennes : arbres, pistes, maisons, campements, ravines, de taille trop réduite, ne le sont plus sur les images SPOT. Un des objectifs du programme SPOT-OURSIS sera donc de préciser quels sont les objets identifiables sur l'image SPOT.

Par ailleurs, l'information contenue dans les images SPOT multispectrales est plus riche que celle contenue dans une photographie aérienne ordinaire et la numérisation des images autorise les comparaisons directes entre valeurs radiométriques observées sur le même site à des dates différentes. Un autre objectif du programme SPOT-OURSIS sera donc d'étudier les variations des signatures spectrales d'objets bien identifiés.

## 2.2. Méthodologie générale

Les études phytoécologiques, géomorphologiques et hydrologiques, menées depuis 1975 sur le bassin versant de la mare d'Oursi, ont guidé notre démarche méthodologique.

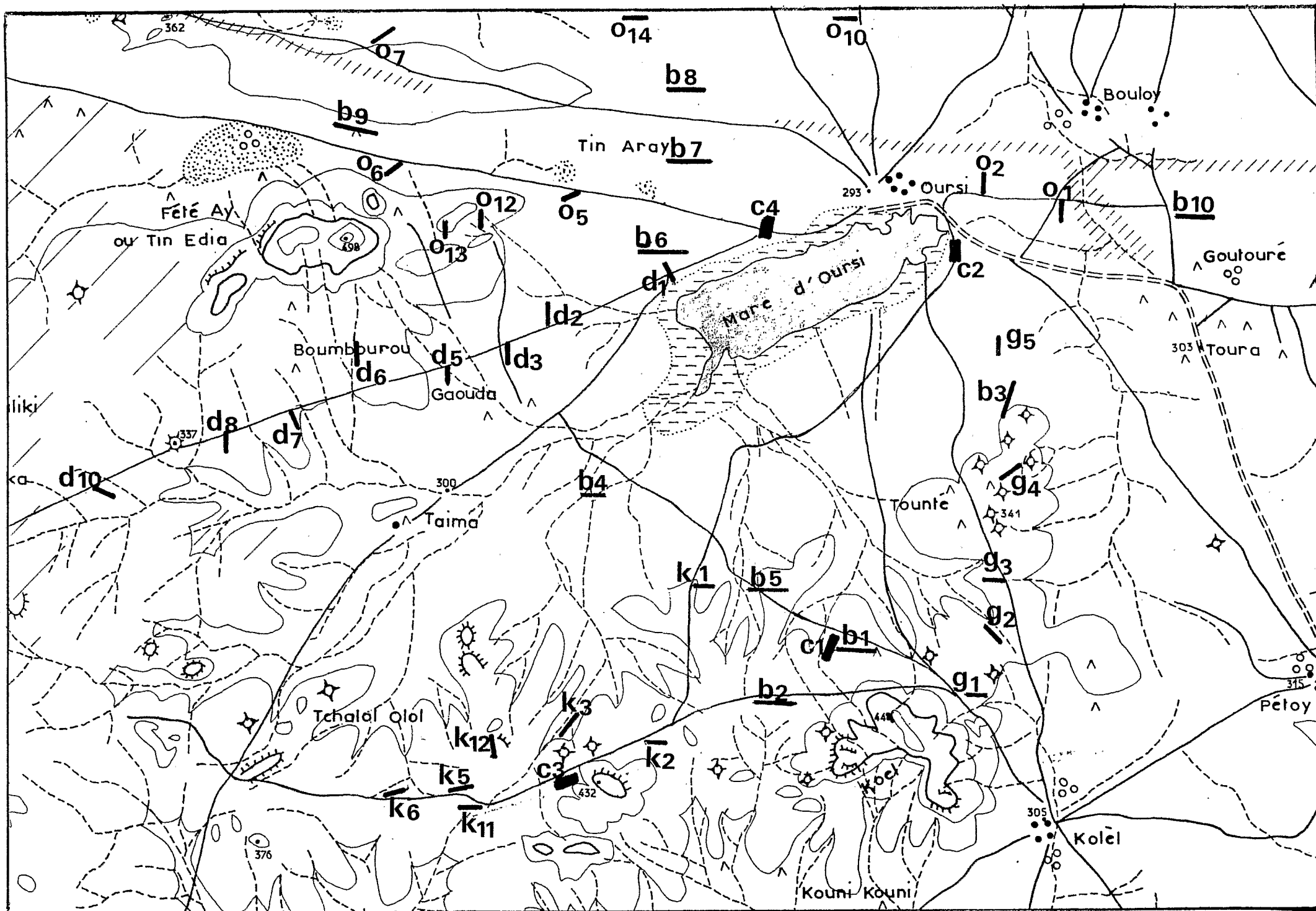
Il nous est apparu rapidement souhaitable d'associer sur les mêmes sites, les mesures de biomasse, de couvert végétal, de pluviométrie, de radiométrie et de topographie ainsi que les observations des états de surface des sols. Cette association est une des originalités du programme SPOT-OURSIS.

L'analyse méthodologique des observations de biomasse herbacée (LEVANG, GROUZIS), a montré qu'un échantillonnage de 35 à 40 sites, répartis sur l'ensemble du bassin versant, sur lesquels on pratique 30 à 40 coupes sur des surfaces de 1 mètre carré, suffisait à estimer correctement les biomasses herbacées du bassin versant, chaque site étant considéré comme une portion de la surface du bassin appartenant à un même groupement végétal.

Munis d'une première interprétation des images de la simulation SPOT d'octobre 1981 (LORTIC, MALEK), nous avons effectué, en mai 1986, une mission sur le terrain qui nous a conduit à présélectionner une cinquantaine de sites. Pour des raisons d'accessibilité, la plupart des sites ont été répartis le long des pistes.

Après avoir établi le calendrier des observations, qu'il était nécessaire d'étaler sur une dizaine de jours entourant la prise des images SPOT, nous avons décidé de limiter à dix, le nombre des sites sur lesquels devaient être mesurées les biomasses herbacées, en les répartissant à peu près équitablement entre les glacis et la zone dunaire, un seul site étant choisi dans les bas-fonds. Ils sont reportés sur la figure n° 5 et correspondent aux lignes b<sub>1</sub> à b<sub>10</sub>. L'exploitation des images SPOT et des mesures de biomasse couplées avec les mesures radiométriques au sol, devrait nous permettre d'étendre, à l'ensemble du bassin, la cartographie des biomasses herbacées.

En ce qui concerne les groupements végétaux et leur couvert, nous avons sélectionné 26 sites supplémentaires distribués sur l'ensemble du bassin versant, de manière à compléter la répartition des dix premiers. Ils sont reportés sur la figure n° 5 et groupés par itinéraire de la façon suivante :



- 11 -

. itinéraire K

sites  $K_1, K_2, K_3, K_5$  et  $K_6$

. itinéraire G

sites  $G_1, G_2, G_3, G_4$  et  $G_5$

. itinéraire O

sites  $O_1, O_2, O_5, O_6, O_7, O_{10}, O_{12}$ , et  $O_{14}$ .

. itinéraire D

sites  $D_1, D_2, D_3, D_5, D_6, D_7, D_8$  et  $D_{10}$

Les sites  $B_1$  à  $B_{10}$  et  $G_5, G_5$  étant finalement classé parmi les sites de mesure des biomasses, correspondent, sur le terrain, à des rectangles de largeur 200 mètres, de longueur 1 kilomètre.

Les autres sites correspondent à des lignes ou transects, de longueur 500 mètres, orientées de manière à recouper une unité cartographique homogène sur les images de la simulation SPOT, l'unité cartographique homogène ayant été définie selon des critères visuels de répartition des couleurs, de taille des plages colorées et de leur répartition.

Une comparaison entre ces unités cartographiques homogènes et les unités destinées en 1976 par TOUTAIN sur la carte des formations végétales de la région d'Oursi, a permis de constater une bonne correspondance cartographique.

Pour l'observation journalière des chutes de pluie, un réseau de 6 pluviographes et 11 pluviomètres (figure n° 16) fut installé en juin 1986 sur le bassin versant de la mare d'Oursi. Ainsi la connaissance des pluviométries journalières en chacun des 36 sites est-elle possible par interpolation entre les pluviométries observées aux postes les plus proches du site choisi.

Afin d'étendre les observations du couvert végétal aux zones cultivées, nous avons sélectionné quatre champs, numérotés  $C_1$  à  $C_4$  sur la figure n° 5. Les champs  $C_1$  et  $C_3$  sont situés sur les glacis des piémonts de Kolel et de Warga, les champs  $C_2$  et  $C_4$  sont situés autour de la mare d'Oursi. Des observations agronomiques de recouvrement et de croissance du mil ont été prévues pour se dérouler en juillet et en août 1986 sur ces quatre champs selon un protocole d'échantillonnage particulier que nous définirons ultérieurement. Des questionnaires d'enquête ont été dressés de manière à cerner les stratégies culturales.

Dans tous les sites retenus, des observations d'états de surface des sols seront associées aux observations du couvert végétal et aux mesures radiométriques.



### 3. Moyens humains, matériels et financiers

#### 3.1. Moyens humains

Pour la réalisation de la première phase du programme SPOT-OURSI, l'équipe complète était constituée de 4 chercheurs et 1 technicien français, de 2 stagiaires Burkinabè, de 3 techniciens ORSTOM Burkinabè, de 2 chauffeurs Burkinabè et de 6 manoeuvres, soit un total de 17 personnes dont l'emploi du temps, les qualités et qualifications se répartissent ainsi :

##### Chercheurs et techniciens français

DEVINEAU (J.L.) chargé de recherche 1ère classe - CNRS  
phytoécologue - 4 mois en 1986

FOURNIER (A.) chargé de recherche 2ème classe - ORSTOM  
phytoécologue - 4 mois en 1986

LAMACHERE (J.M.) chargé de recherche 1ère classe - ORSTOM  
hydrologue - 5 mois en 1986

LORTIC (B.) ingénieur de recherche - ORSTOM  
télédécteur - 3 mois en 1986

MALEK (C.) allocataire de recherche  
géographe - 10 mois en 1986

##### Stagiaires burkinabè

BADIARA (L.) élève de l'Institut de Développement Rural, ingénieur cycle court, mémoire de fin d'études - 8 mois en 1986

YABRE (B.) élève de l'Université de Ouagadougou, géographie physique  
mémoire de maîtrise - 5 mois en 1986

##### Techniciens ORSTOM burkinabè

BOUKARI (S.) observateur météorologique 4 mois en 1986

BAMBARA (A.) agent technique 1 mois en 1986

##### Chauffeurs burkinabè

KOUDOUGOU (J.B.) - 2 mois

COMPAORE (M.) 2 mois

##### Manoeuvres

Six manoeuvres ont été employés pendant 30 jours en 1986.

#### 3.2. Moyens financiers en 1986

L'enveloppe budgétaire globale de fonctionnement pour l'année 1986, correspond à une dotation ORSTOM d'un montant de 75 000 francs français.

Le programme SPOT-OURSI est rattaché au département B, milieux et sociétés et à l'unité de recherche 222 intitulée : dynamique spatiale et historique des grands milieux bioclimatiques.

Les dépenses de fonctionnement pour l'année 1986 se répartissent ainsi :

Manoeuvres burkinabè	5 000	FF
Achat des images SPOT	8 000	FF
Matériel divers	5 828	FF
Carburant	25 000	FF
Missions (LORTIC et MALEK)	23 872	FF
Frais de missions agents burkinabè	4 900	FF
Frais de missions agents ORSTOM expatriés	2 400	FF
	<hr/>	
	75 000	FF

Compte tenu de l'enveloppe budgétaire 1986, attribuée au programme SPOT-OURSI, les missions sur le terrain ont pu être réalisées grâce à la suppression des frais de mission de la totalité des agents ORSTOM expatriés, y compris ceux de Monsieur Malek qui séjourna 4 mois à Ouagadougou en 1986.

La campagne de simulation des pluies, initialement prévue pour se dérouler au cours de la saison des pluies, a été purement et simplement supprimée.

Un effort tout particulier a été consenti pour faire participer un télédéetecteur du Centre ORSTOM de Bondy aux travaux de terrain.

### 3.3. Moyens matériels mis à disposition par l'ORSTOM

Le Centre ORSTOM de Ouagadougou a mis à la disposition de l'équipe SPOT-OURSI les véhicules nécessaires à l'accomplissement des missions. Le kilométrage effectué, en véhicules tous terrains, pour l'année 1986 dans le cadre du programme SPOT-OURSI, est proche de 20 000 kilomètres.

Notre installation au campement ORSTOM, situé à Jalafanka, à quelques kilomètres au sud de la mare d'Oursi, a grandement facilité nos conditions de travail sur le terrain.

Un montage financier du département B, entre plusieurs programmes de recherche, a permis l'achat d'un radiomètre de terrain, de type cimel, qui fut mis à la disposition du programme SPOT-OURSI au cours de l'hivernage 1986.

4. Objectifs et méthodologies propres à chaque discipline, résultats des observations effectuées au cours de l'hivernage 1986.

Après avoir exposé les principaux objectifs du programme SPOT-OURSI, il convient de resituer ce programme au sein des disciplines scientifiques où sont définis les objectifs et les méthodes de travail.

Il serait trop long de présenter ici tous les résultats des observations effectuées sur le bassin versant de la mare d'Oursi au cours de la saison des pluies 1986. Chaque chercheur exposera, dans un rapport plus spécialisé, les résultats de ses observations. En choisissant quelques exemples dans la collection des données disponibles, nous essaierons simplement de mettre en évidence leur nature et leur consistance.

#### 4.1. Le couvert végétal

##### 4.1.1. Orientations générales des recherches

L'objectif principal de l'étude de la végétation considérée comme l'une des deux composantes des "états de surface" est l'analyse et la caractérisation de l'organisation du couvert végétal - en particulier de son recouvrement dans l'espace et dans le temps.

Les progrès technologiques liés à la télédétection ouvrent dans ce domaine des possibilités nouvelles et doivent permettre de développer plus largement les recherches sur l'organisation spatio-temporelle des phytocoenoses.

Certains phénomènes pourront être perçus à des échelles qu'il n'était jusqu'alors pas possible d'appréhender globalement. Par exemple les études du suivi de l'indice foliaire (LAI), du recouvrement ou de la phytomasse herbacée ne pouvaient jusqu'à présent être effectuées qu'à l'échelle de la parcelle. L'existence de liens, plus ou moins étroits, entre valeurs radiométriques et indice foliaire, souvent mis en évidence (TUCKER, 1977, GROUZIS et METHY, 1983, etc...) permet d'envisager la généralisation de ce suivi à une autre échelle, celle du bassin versant par exemple.

Cette perception des phénomènes écologiques à l'échelle des paysages et la grande répétitivité des prises d'images doivent ainsi permettre une meilleure définition des systèmes biologiques et une meilleure approche de leur dynamique.

Elles peuvent apporter beaucoup dans l'étude des mécanismes qui permettent le maintien des équilibres dans les écosystèmes ainsi que dans celle des limites à l'intérieur desquelles ces mécanismes peuvent agir. A ce thème des équilibres se rattachent la question plus particulière de la dégradation et celle de la définition et de la localisation des zones fragiles.

Bien évidemment le fondement de l'interprétation des images satellitaires reste le lien qu'il faut établir entre des "objets" au sol et leur représentation radiométrique.

Lorsqu'il s'agit de reconnaître des phytocoenoses la prise en compte de la structure globale de leur couvert est déterminante. C'est pourquoi une voie de recherche qu'il convient de développer est une identification des sites fondée sur des critères structuraux.

De ce point de vue les radiomètres portables - tels que le CIMEL utilisé dans le présent travail - peuvent être des outils précieux qui permettent d'effectuer depuis le sol des mesures rapides avec des répétitions nombreuses.. Ces études réalisées au sol doivent permettre la caractérisation radiométrique des sites sur des bases statistiques, mais aussi donner la possibilité de simuler les relations réflectance - structure à d'autres échelles de résolution, en particulier celle du satellite SPOT.

Le programme PEPS-SPOT sur la mare d'Oursi présente un grand intérêt en ce qui concerne l'aspect méthodologique de l'analyse et de la reconnaissance des unités phytoécologiques. On possède en effet une information importante sur le milieu à la suite d'études précises et approfondies réalisées en particulier sur la structure, la phénologie et la production du tapis végétal (GROUZIS, 1979, LEVANG et al., 1980). Cette information et les travaux effectués sur le terrain pour le présent travail doivent permettre une définition fine des unités phytoécologiques qui pourra être confrontée aux possibilités d'analyse offertes par l'imagerie SPOT.

#### 4.1.2. Protocole de terrain et résultats attendus

L'objectif des études entreprises a été de caractériser au moment de chaque passage du satellite le recouvrement, la structure horizontale et la phytomasse herbacées. Les méthodes utilisées ont été d'une part les classiques points-contacts et récoltes et d'autre part la mesure radiométrique au sol à l'aide d'un CIMEL. Toutes ces mesures ont été mises en relation avec les organisations superficielles du sol.

Il s'agissait en outre de préciser et d'actualiser la définition phytosociologique des diverses phytocoenoses tout en analysant et caractérisant leur structure spatiale.

Un certain nombre de ces études ont été menées sur l'ensemble des sites sélectionnés par l'équipe (cf. carte de LAMACHERE). D'autres études plus approfondies ont été réalisées sur une dizaine d'entre eux considérés comme représentatifs des situations les plus courantes.

Le choix et la distribution des sites ont été guidés par les résultats de la simulation SPOT effectuée sur le bassin versant d'Oursi en 1981.

Une stratification du milieu sur la base de critères radiométriques a en effet été réalisée par l'ATOB au Centre ORSTOM de Bondy.

Sur le terrain le critère d'homogénéité physionomique tel qu'il est généralement défini en phytoécologie a cependant aussi été respecté.

##### 4.1.2.1. Etudes faites sur l'ensemble des sites

###### a) Mesures faites à chaque passage du satellite.

###### a-1) Estimation du recouvrement, du phytovolume et de la part relative des parties vivantes et mortes au sein de la strate herbacée.

Cette étude a été réalisée par "points-contacts", méthode qui consiste à dénombrer les contacts entre une aiguille glissée dans la végétation et les espèces rencontrées. Les observations ont été réalisées sur 200 points le long de lignes de 500 m pour chaque site.

L'ensemble des sites test étudiés recouvre une large gamme de couvert herbacé.

Ainsi fin juillet en milieu de dune les valeurs observées se distribuent elles entre 39 et 86 % pour ce qui est dû au matériel vivant. Le recouvrement sur dune est à cette époque en moyenne de 66 %. Le recouvrement dû à la matière verte seule est d'environ 61 %.

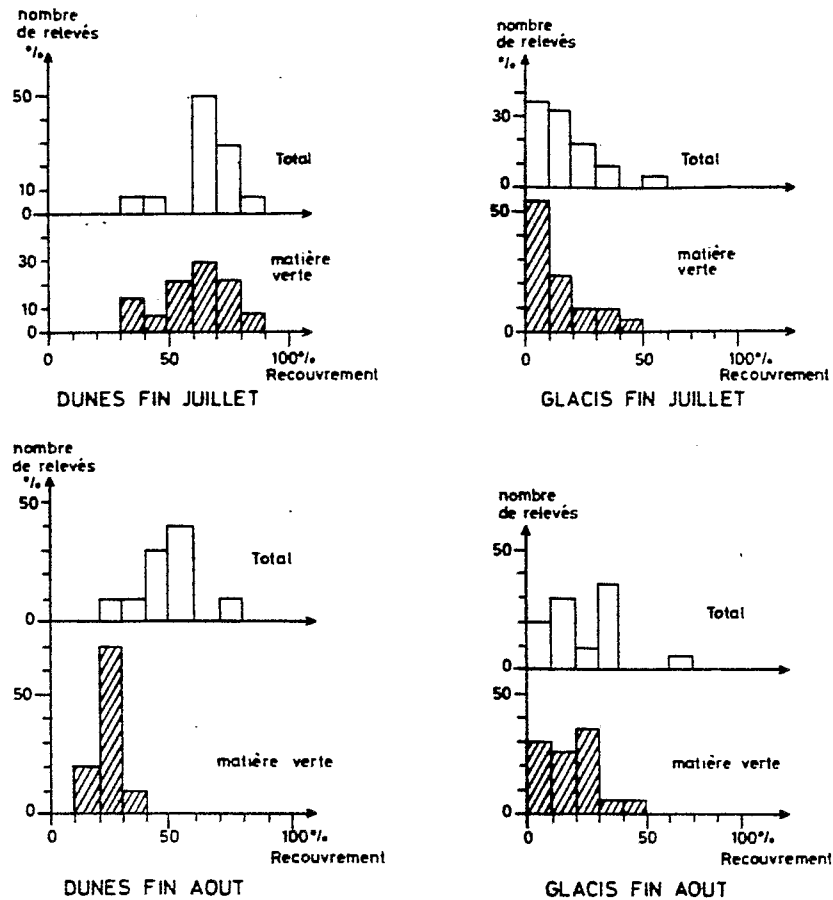


Figure 6 : Répartition en classes de recouvrement herbacé des relevés effectués dans deux grands types de milieux.

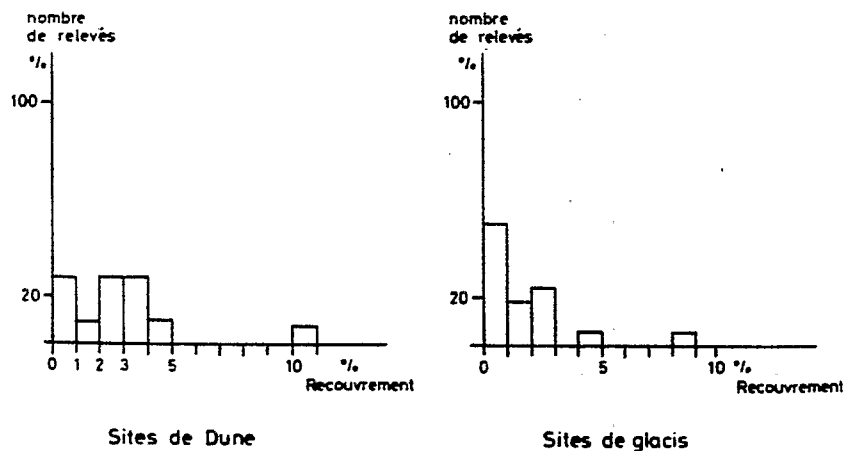


Figure 7 : Répartition en classes de recouvrement ligneux des relevés effectués dans deux grands types de milieux.

Fin août, dans ces mêmes milieux la gamme des recouvrements observés va de 33 à 78 % avec une valeur moyenne de 49 %, ce qui représente une baisse sensible par rapport au mois précédent. La diminution des valeurs relatives au matériel vivant est plus nette encore puisqu'elles ne sont plus que de l'ordre de 24 %.

Sur glacis les valeurs moyennes sont plus faibles n'atteignant à leur maximum fin août que 23 % avec un taux relatif de matériel sec de l'ordre de 22 % (fig. 6 ).

#### a-2) Inventaire floristique exhaustif

L'inventaire a été réalisé en juillet et en août pour tenir compte du caractère fugace de certaines espèces à cycle court. Les relations entre espèces et états de surface ont été étudiées lors des relevés.

Plus de 160 espèces ont ainsi été recensées au total, dont une trentaine sont des végétaux ligneux. La richesse floristique pour un site donné varie de 21 à 64, le nombre des espèces ligneuses n'excédant jamais 13, tandis que les espèces herbacées varient entre 18 et 52. Ces résultats sont en accord avec ceux de GROUZIS (1979).

L'analyse détaillée des tableaux floristiques ainsi que celle du lien entre espèces et états de surface sont en cours.

#### b) Mesures faites une fois à la période la plus favorable

##### b.1) Estimation du recouvrement ligneux

Elle a été faite par la méthode de la ligne et les valeurs citées représentent donc des recouvrements linéaires.

Les valeurs de recouvrement observées sur l'ensemble des sites de dune et de glacis sont faibles.

Les plus fortes valeurs observées sur dune atteignent 11 %, mais elles sont peu fréquentes et la valeur moyenne du recouvrement ligneux dans ces milieux n'est que de l'ordre de 2,5 %.

Sur les glacis, le recouvrement moyen est sensiblement plus faible (1,6 %) bien que des valeurs de l'ordre de 8 % aient été localement rencontrées (fig. 7 ).

#### 4.1.2.2. Etudes faites sur quelques sites (une dizaine) à chaque passage du satellite.

##### a) Mesures radiométriques en série à 2 mètres au dessus du sol.

Ces mesures ont été réalisées le long de lignes recoupant toute l'étendue du site, en pratique des longueurs de 500 m ont été le plus souvent utilisées. Ces lignes ont été orientées selon la ou les directions qui doivent a priori rendre compte au mieux de la variabilité du milieu (ligne de pente, direction des vents dominants, etc...).

Pour une analyse des structures horizontales sur chacune des lignes, un espacement de 2,5 mètres entre les points de mesure semble convenir. Deux cent points ont ainsi été échantillonnés par ligne de 500 m.

B1 (piemont Koël)

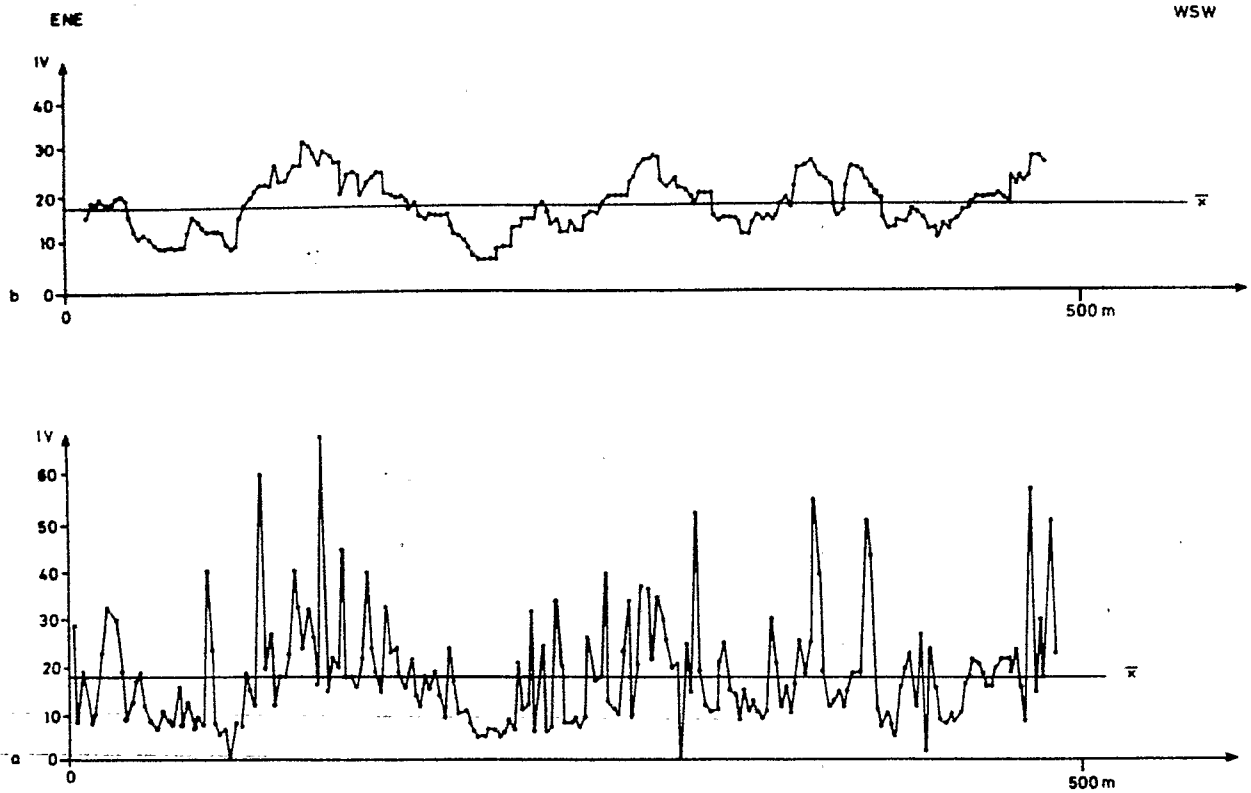
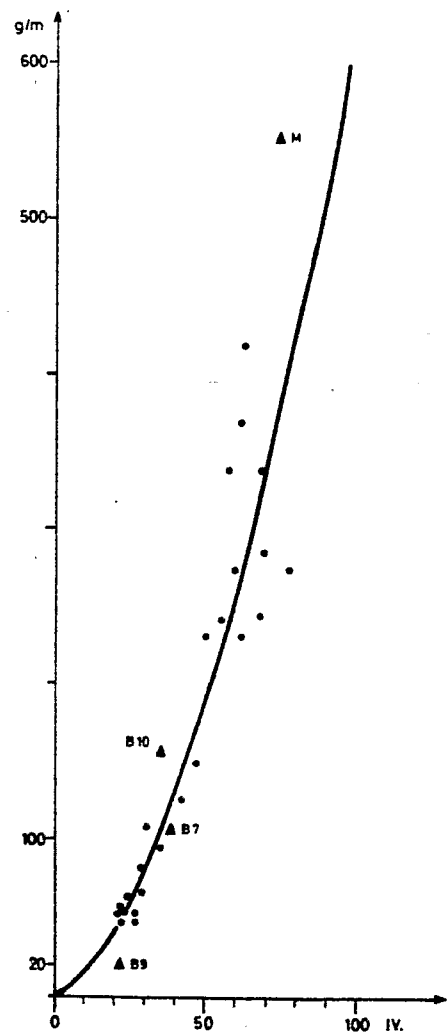


Figure 8 : Exemple de traitement par les moyennes mobiles d'une série de valeurs radio-métriques au sol.  
a) indice de végétation de la série d'origine  
b) lissage avec un pas de 8

Figure 9 : Courbe de régression entre l'indice de végétation (calculé d'après les mesures au sol) et les phytomasses herbacées.  
M = bord de mare ; B7, B9, B10 sites de dune.





La figure 8 donne l'exemple d'une telle série de mesures radiométriques effectuées sur un glacis de piedmont, et illustre la variabilité spatiale de l'indice de végétation ( $S3-S2/S3+S2$ ) dans ces milieux.

Il existe diverses possibilités d'analyse de telles séries qui permettent l'étude de la structure horizontale de la végétation et la simulation des relations radiométrie-structure à d'autres échelles.

Dans l'exemple présenté un traitement simple consistant en un lissage de la série d'origine par la méthode des moyennes mobiles a été effectué. Le pas de lissage utilisé est de 8, ce qui correspond à des valeurs moyennes sur des segments de 20 mètres, échelle compatible avec le pouvoir de résolution de SPOT.

Après ce lissage l'existence d'une structure en plaque à l'échelle hectométrique est nettement perçue.

#### b) Estimation de la phytomasse herbacée couplée avec des mesures radiométriques

Sur chacun des sites retenus le suivi de la phytomasse a été réalisé du début à la fin de la saison des pluies. La méthode utilisée est celle de la récolte. Sur chaque site, à chaque date la phytomasse a été estimée à partir de la coupe intégrale au ras du sol de 30 carrés de 1 m<sup>2</sup> répartis sur l'ensemble du site.

Une nette désynchronisation entre les milieux de dune et les glacis est à noter (fig. 10).

Les phytomasses les plus importantes sont observées fin juillet sur dune où les plus fortes estimations atteignent 1,6 t/ha (BADIARA, 1986).

Sur glacis les valeurs les plus fortes sont atteintes seulement fin août - début septembre et sont par endroits de l'ordre de 0,970 t/ha.

Lors des récoltes de phytomasse correspondant aux périodes de passage du satellite une mesure radiométrique a été faite à deux mètres du sol à la verticale de chaque point de coupe sur les sites suffisamment herbeux. Plus de 300 couples radiométrie - phytomasse ont ainsi été établis sur l'ensemble des sites étudiés et sur l'ensemble des périodes d'observation.

L'analyse d'un petit échantillon de couples radiométrie-phytomasse établis dans des milieux de glacis et de dépression est présentée à titre d'exemple. Ces couples correspondent à une assez large gamme de phytomasses.

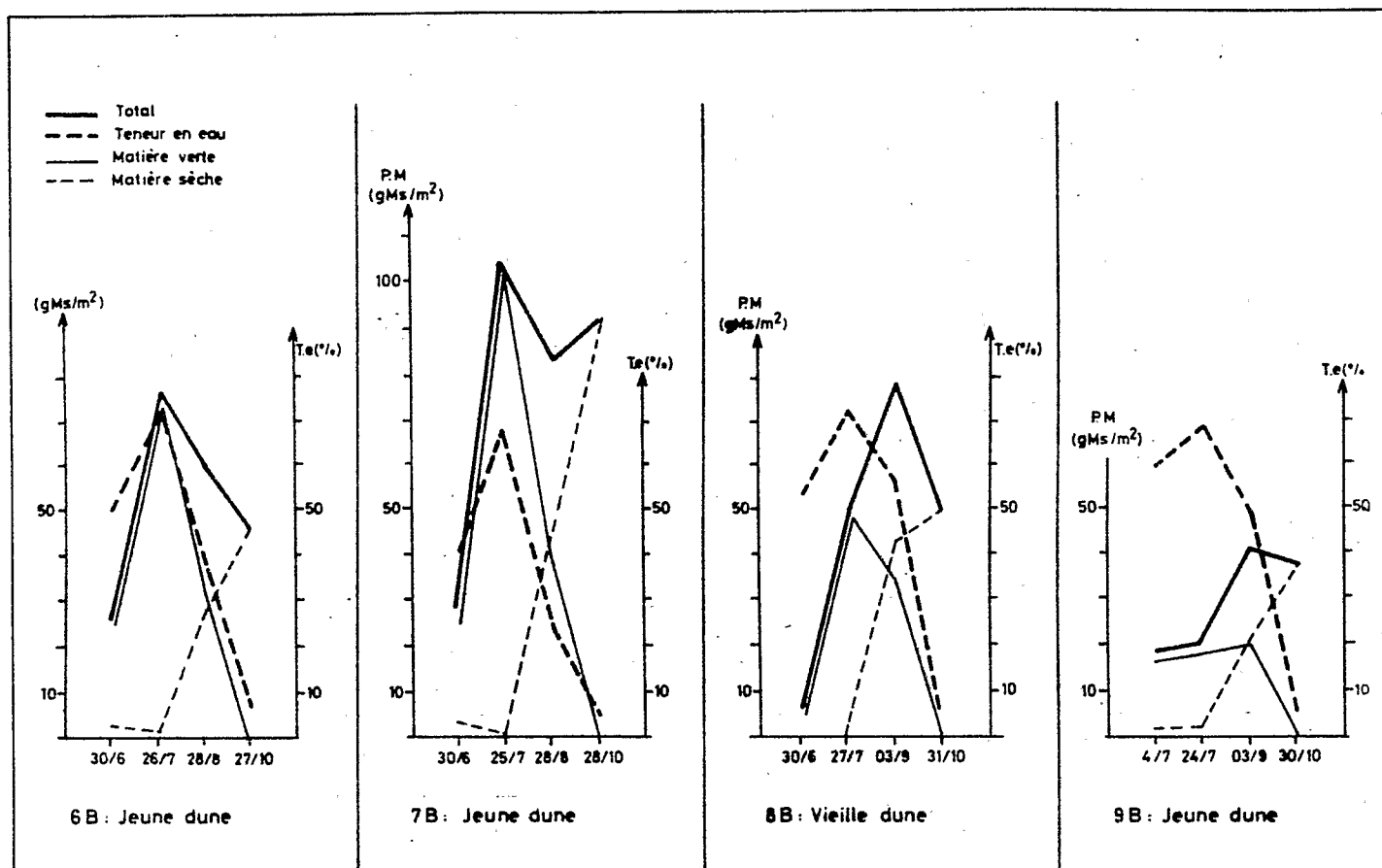
La relation obtenue entre l'indice de végétation ( $I = ((S3-S2)/(S3+S2)) \times 100$ ) et la phytomasse (P) exprimée en grammes de matière sèche par mètre carré est de la forme :

$$P = 0,216 \times I^{1,7}$$

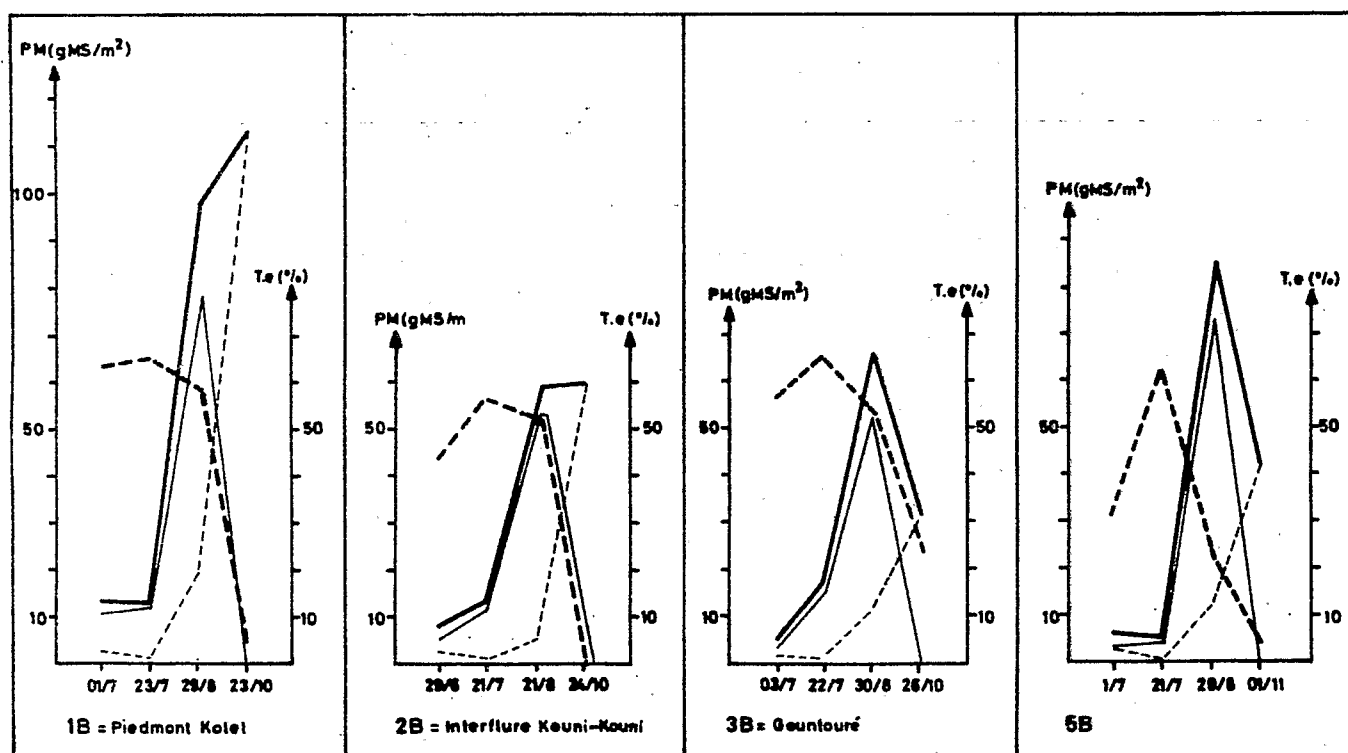
La probabilité du coefficient de corrélation ( $r = 0,963$  pour 27 degrés de liberté) est hautement significative.

Les valeurs moyennes de couples radiométrie - phytomasse obtenues dans quelques autres sites (de dune et de bord de mare) ont également été reportées sur le graphique de la figure 9 bien qu'elles n'aient pas été prises en compte pour l'établissement de la courbe de régression.

Ces valeurs laissent penser que des relations du même type que celle qui vient d'être mise en évidence pourraient effectivement rendre compte des rapports radiométrie phytomasse sur l'ensemble des sites étudiés.



a) sites de dunes



b) sites de glaciers

Figure 10 : Evolution de la phytomasse herbacée sur huit sites (d'après BADIARA, 1986)

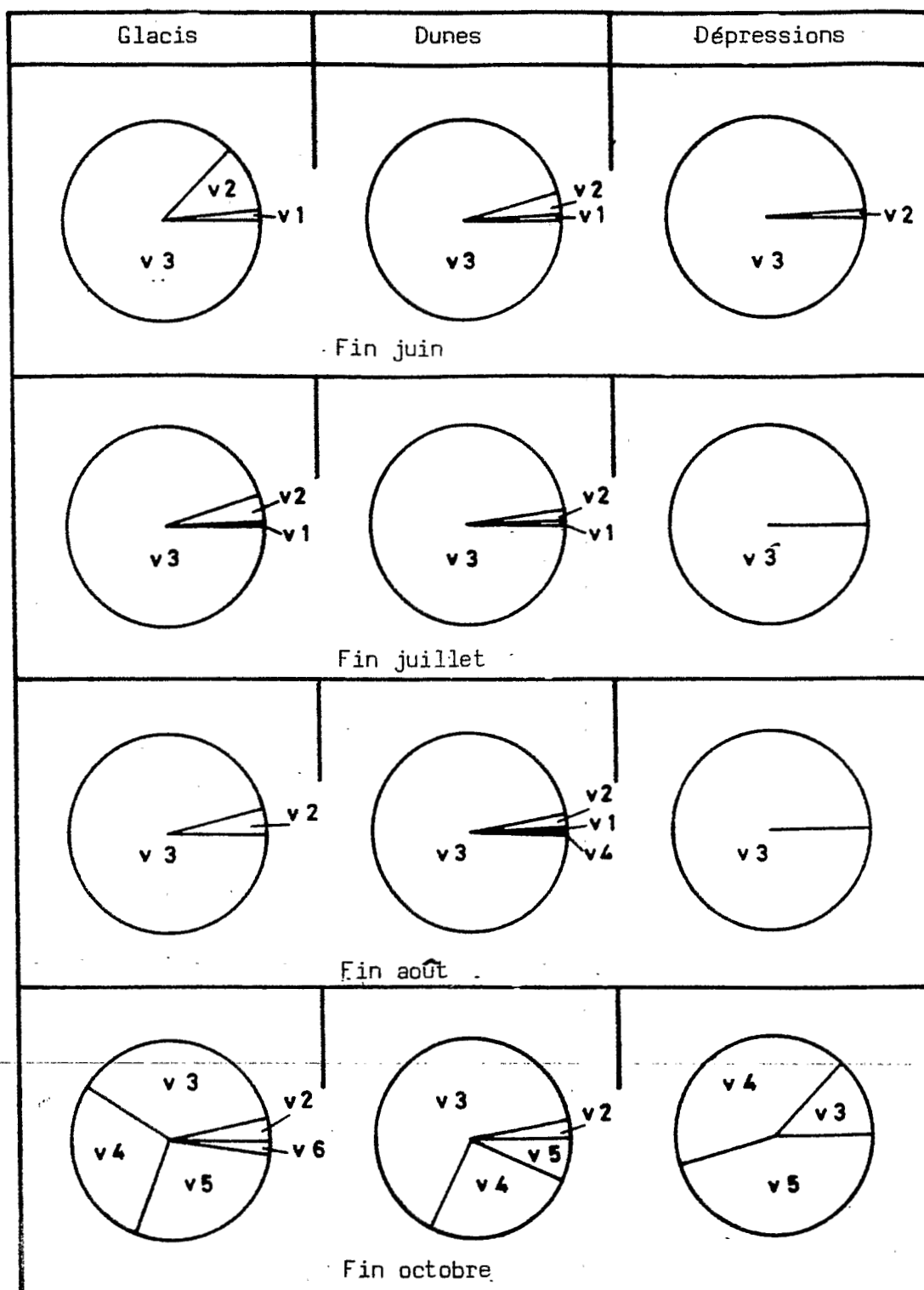


Figure 11 : Caractérisation quantitative des stades végétatifs des espèces ligneuses de quelques milieux (Oursi, 1986 d'après BADIARA, 1986)

$v_1$  = gonflement des bourgeons, pas de feuilles développées,  $v_2$  = début foliation = bourgeons foliaires + quelques feuilles développées (plus de 10 % et moins de 50 % des organes de l'individu),  $v_3$  = pleine foliation (plus de 50 % des organes de l'individu ont des feuilles épanouies),  $v_4$  = déclin de la foliation (plus de 10 % mais moins de 50 % des feuilles ont changé de couleur,  $v_5$  = chute des feuilles (plus de 50 % des organes de l'individu ont des feuilles sèches),  $v_6$  = aucune feuille, pas de gonflement visible de bourgeons foliaires.

c) Caractérisation quantitative des stades phénologiques des espèces ligneuses.

La méthode utilisée est celle proposée par GROUZIS et SICOT (1980).

Les résultats obtenus montrent en particulier que la majorité des individus sont en pleine feuillaison pendant toute la saison pluvieuse. Des défeuillaisons importantes sont cependant intervenues en fin de saison, comme l'indique le diagramme réalisé à la fin du mois d'octobre (fig. 11 ).

d) Caractérisation radiométrique des principales espèces ligneuses.

La hauteur généralement faible du peuplement ligneux, composé pour l'essentiel d'espèces arbustives a permis d'effectuer des mesures radiométriques à la verticale de la canopée pour les principales espèces rencontrées.

L'ensemble de ces études doit aboutir à la création de cartes selon deux thèmes principaux.

Des cartes des recouvrements et des phytomasses herbacées seront d'une part établies à partir de chacune des images de juillet, août et octobre.

Les cartes des phytomasses serviront à estimer les potentialités fourragères de l'ensemble du bassin versant.

Une carte synthétique des groupements phytoécologiques sera d'autre part réalisée.

## 4.2. Les états de surface

### 4.2.1. Objectifs

L'étude des états superficiels des sols se rattache aux thèmes de recherche qui visent à comprendre les mécanismes du ruissellement et les processus générateurs des crues. L'invention du minisimulateur de pluies, appareil peu coûteux, opérationnel depuis une dizaine d'années, a permis aux hydrologues et aux pédologues d'analyser de façon très précise le comportement d'un grand nombre de types de sols soumis aux mêmes pluies, selon des protocoles identiques.

En zone sahélienne, les premiers résultats de cette analyse (VALENTIN, ALBERGEL, RIBSTEIN) montrent que l'état superficiel du sol est un facteur déterminant du ruissellement à l'échelle des parcelles expérimentales, c'est-à-dire sur des surfaces élémentaires de 1 mètre carré. A l'échelle d'un bassin versant, l'analyse de l'influence des sols sur le ruissellement paraît plus complexe. Elle passe nécessairement par une cartographie des états de surface et l'étude de leur évolution en relation avec leur aptitude au ruissellement.

Jusqu'à présent, les photographies aériennes disponibles servaient de support à la cartographie des états de surface. Dans des milieux en rapide évolution, elles ne donnaient pas toujours satisfaction et le coût des campagnes de photographies aériennes ne permettait pas d'envisager leur répétition. Le satellite SPOT et les services qui lui sont associés, grâce à la possibilité de commander des prises de vues répétitives dans des délais relativement courts, ouvre donc dans ce domaine, de nouveaux horizons. En outre, en zone sahélienne, la grande variabilité spatiale des unités superficielles du sol est une des difficultés de la cartographie des états de surface. Elle limite la précision des cartographies classiques. A cet égard, l'utilisation des images SPOT, bien que présentant une définition au sol moins précise que la photographie aérienne, devrait permettre d'améliorer la représentation graphique des unités superficielles du sol en dégagant leur structure par l'analyse numérique des images.

La cartographie des états de surface est une des opérations nécessaires à la modélisation des ruissellements sur bassins versants. Une des opérations complémentaires consiste à mesurer l'aptitude des sols au ruissellement. En zone sahélienne, les mesures effectuées avec le simulateur de pluies ont été réalisées en saison sèche (CHEVALIER, ALBERGEL) en faisant varier l'indice d'humectation des sols. Nous aurions aimé, dans le cadre du programme SPOT-OURSIS, réaliser des mesures de ruissellement avec le simulateur de pluies pendant l'hivernage 1986, afin de préciser l'évolution de l'aptitude des sols au ruissellement en relation avec le développement de la végétation. Faute de moyens suffisants, cette opération n'a pu être réalisée en 1986 dans la région d'Oursi mais elle reste un de nos objectifs prioritaire à moyen terme.

### 4.2.2. Protocoles, méthodologie

Les états de surface des sols ont été décrits au cours de la saison des pluies 1986 selon le calendrier suivant :

. entre le 21 juillet et le 1er août, pour les sites  $K_1$  à  $K_6$ ,  $G_1$  à  $G_4$ ,  $D_1$  à  $D_{10}$  et  $O_1$  à  $O_{14}$  ;

. entre le 20 août et le 6 septembre pour les sites  $B_1$  à  $B_{10}$  et  $G_5$ .

La togographie des sites B<sub>1</sub> à B<sub>10</sub> et G<sub>5</sub>, a été relevée en même temps que leur description, celle des autres sites sera levée au début de l'année 1987.

Nous aurions aimé effectuer une description complète par site au cours de chaque période de 10 jours entourant le passage du satellite SPOT.

Les moyens disponibles et la nécessité de piloter un élève stagiaire dans ses travaux nous ont contraint à limiter nos déplacements et nos durées de séjour sur le terrain.

En outre, les observations que nous avons pu effectuer lors de passages successifs montrent que chaque type d'état de surface évolue de manière autonome au cours de la saison des pluies, en fonction de ses caractéristiques et de sa position topographique, sans que le découpage du site en soit affecté.

Sur chaque site, nous avons choisi, en accord avec les autres membres de l'équipe SPOT-OURSIS, une ligne longue de 500 mètres, repérée avec précision par des marques sur le sol ou sur des arbres et par une orientation géographique relevée à la boussole. Cette ligne sert de base commune aux observations, qu'elles soient pédologiques, radiométriques ou phytoécologiques.

Avant de cheminer sur cette ligne, nous avons procédé à la description des principaux types d'état de surface rencontrés, abstraction faite de la couverture végétale. En général, 3 à 4 types d'état de surface suffisent à caractériser le site.

Au cours du cheminement sur la ligne, des repères définissent les limites d'unités homogènes qui sont décrites de la façon suivante :

. couvert végétal herbacé

On distingue le tapis herbacé vert du tapis herbacé sec en notant leurs pourcentages respectifs de recouvrement par estimation visuelle.

La hauteur du tapis herbacé, son état, la présence de graines et de résidus végétaux sont notés.

. couvert végétal arboré

Les arbres et arbustes rencontrés, morts ou vifs, sont notés au fur et à mesure de la progression avec leur hauteur, le diamètre de leur couronne feuillue et la position du tronc par rapport à la ligne.

. état superficiel du sol, couvert minéral

Le couvert minéral est décrit en association avec les types d'état de surface, chaque état de surface étant caractérisé par son sol, sa couleur, la présence ou l'absence de couvert minéral, la nature de son couvert minéral et l'organisation structurale des 5 premiers centimètres du sol. L'état superficiel d'une unité homogène est finalement défini par des pourcentages, estimés à l'oeil nu, de recouvrement des types d'état de surface.

. microrelief

Le microrelief est noté lorsqu'il présente un caractère répétitif ou une importance certaine.

. activités fauniques

Termitières, trous de rongeurs, fourmilières, piétinements, pistes du bétail, fécès, sont notés selon leur importance.

#### . activités humaines

Hors des zones de culture, la surface du sol garde encore les traces d'anciens campements, d'anciens villages ou d'anciennes zones de culture qui sont relevées au fur et à mesure de leur découverte.

#### 4.2.3. Résultats

Il serait trop long d'exposer tous les résultats de nos observations. Nous nous contenterons de deux exemples qui illustrent bien la méthodologie utilisée.

Le premier exemple se situe sur la zone dunaire et correspond à la ligne B<sub>7</sub>. On y rencontre trois types d'états de surface dessinés schématiquement sur la figure n° 12 :

- . des surfaces nues, compactes, caractérisées par leur croûte superficielle épaisse, particulièrement dure et l'absence de végétation herbacée (type 1),
- . des surfaces encroûtées, à croûte assez épaisse, souvent pluristratifiée mais friable (type 2),
- . des surfaces peu encroûtées, à pellicule très fine, recouvrant des sols meubles bien couverts par la végétation (type 3).

La figure n° 13 résume l'essentiel des observations effectuées sur cette ligne. Il y manque simplement l'indication des espèces arbustives et de l'activité faunique.

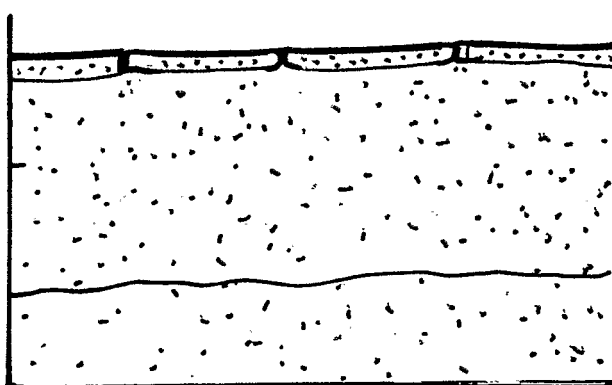
Le second exemple se situe sur un glacis de piémont et correspond à la ligne B<sub>1</sub>.

On y rencontre quatre types d'états de surface représentés sur la figure n° 14 :

- . des surfaces nues de sol brun tropical comprenant une croûte superficielle fendillée sur un sol brun grumeleux à l'état sec, parcouru de radicelles blanches. (type 2 sans recouvrement pierreux et graveleux),
- . des surfaces de sol brun tropical pierreux, analogues aux précédentes mais couvertes de pierres et de graviers (type 2),
- . des surfaces de sol brun tropical à faible recouvrement sableux, souvent bien couvertes par la végétation (type 1),
- . des surfaces caractéristiques des buttes sableuses éoliennes, encroûtées en strates successives de sable fin ou grossier, séparées par des films argileux (type 3).

La figure n° 15 résume l'essentiel des observations effectuées sur la ligne B<sub>1</sub>. Il y manque simplement l'indication de la nature des roches, la taille des éléments minéraux de recouvrement et les espèces arbustives.

2 mm



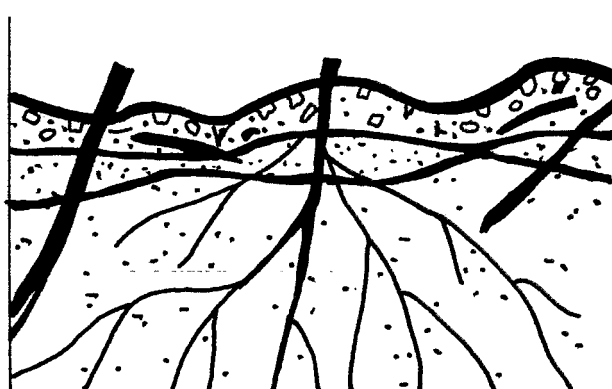
Film argileux  
Croûte sableuse

Sable fin induré

Sable meuble

**Type 1 : Sol sableux éolien compact  
brun à rouge**

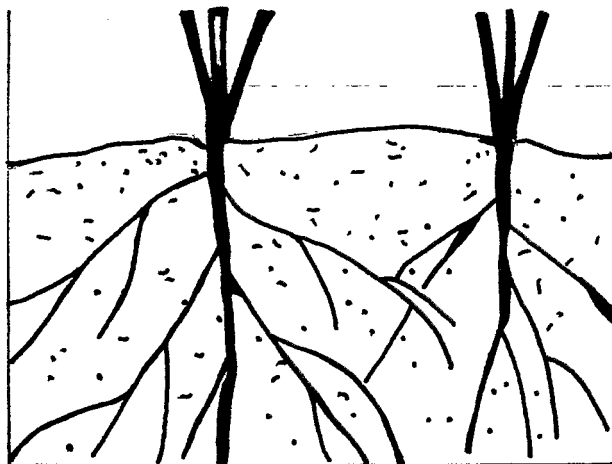
1 à 2 mm



Pellicule argileuse  
Couche sableuse  
à porosité vésiculaire

Sable fin meuble

**Type 2 : Sol sableux éolien faiblement encroûté  
jaune à gris**



Recouvrement herbacé

Sable fin meuble,  
jaune, parcouru de  
radicelles

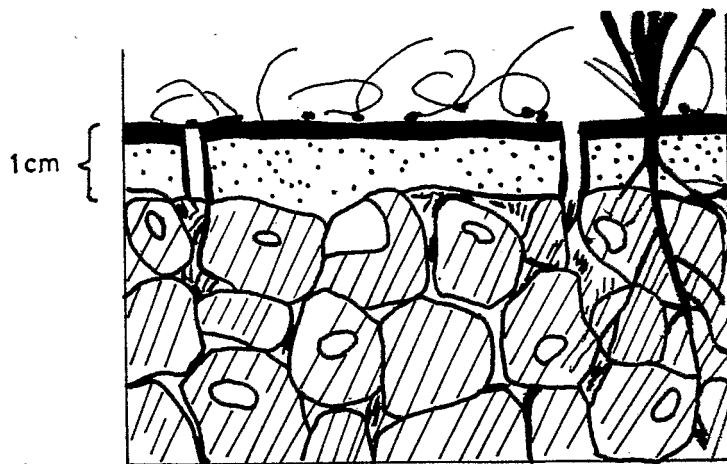
**Type 3 : Sol sableux éolien**

échelle : 1/1

**Fig. n° 12 ETATS SUPERFICIELS DU SOL  
SUR LA JEUNE DUNE - Ligne B7.**





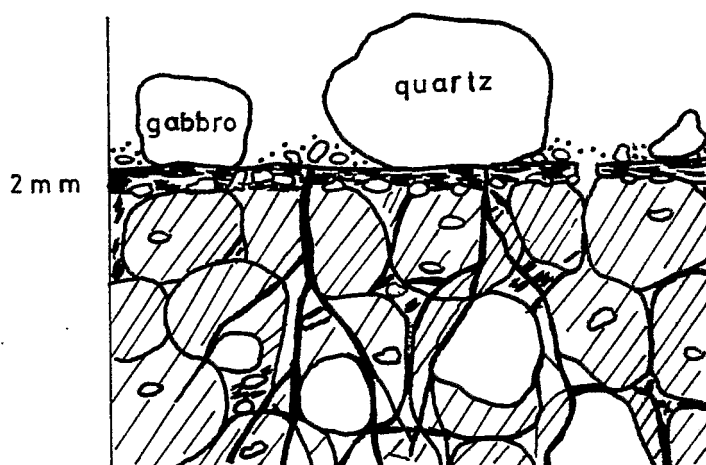


Touffes de graminées  
et graines

Croûte superficielle  
sableuse

Sol brun tropical  
argileux, grumeleux  
à l'état sec, gravillonnaire

**Type 1 : Sol brun tropical à faible  
recouvrement sableux**

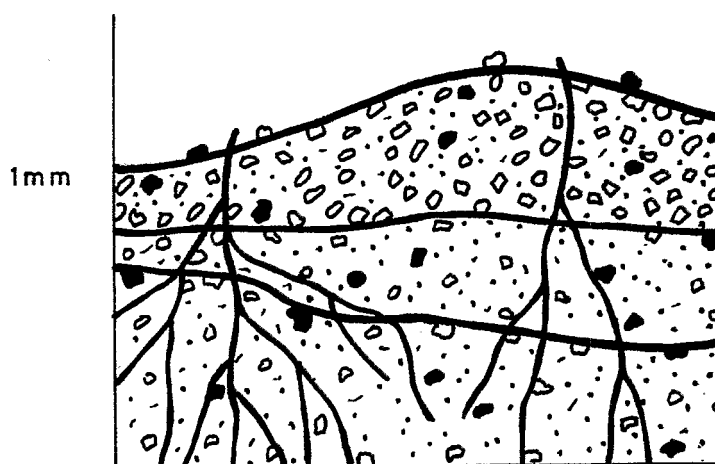


Pavage de cailloux  
de quartz et roches vertes

Croûte fendillée

Sol brun tropical  
argileux, grumeleux

**Type 2 : Sol brun tropical pierreux**



Fine pellicule argileuse

Sable grossier à porosité vésiculaire

Fine pellicule argileuse

Sable fin à porosité vésiculaire

Fine pellicule argileuse

**Type 3 : Butte sableuse encroûtée**

échelle : 1/1

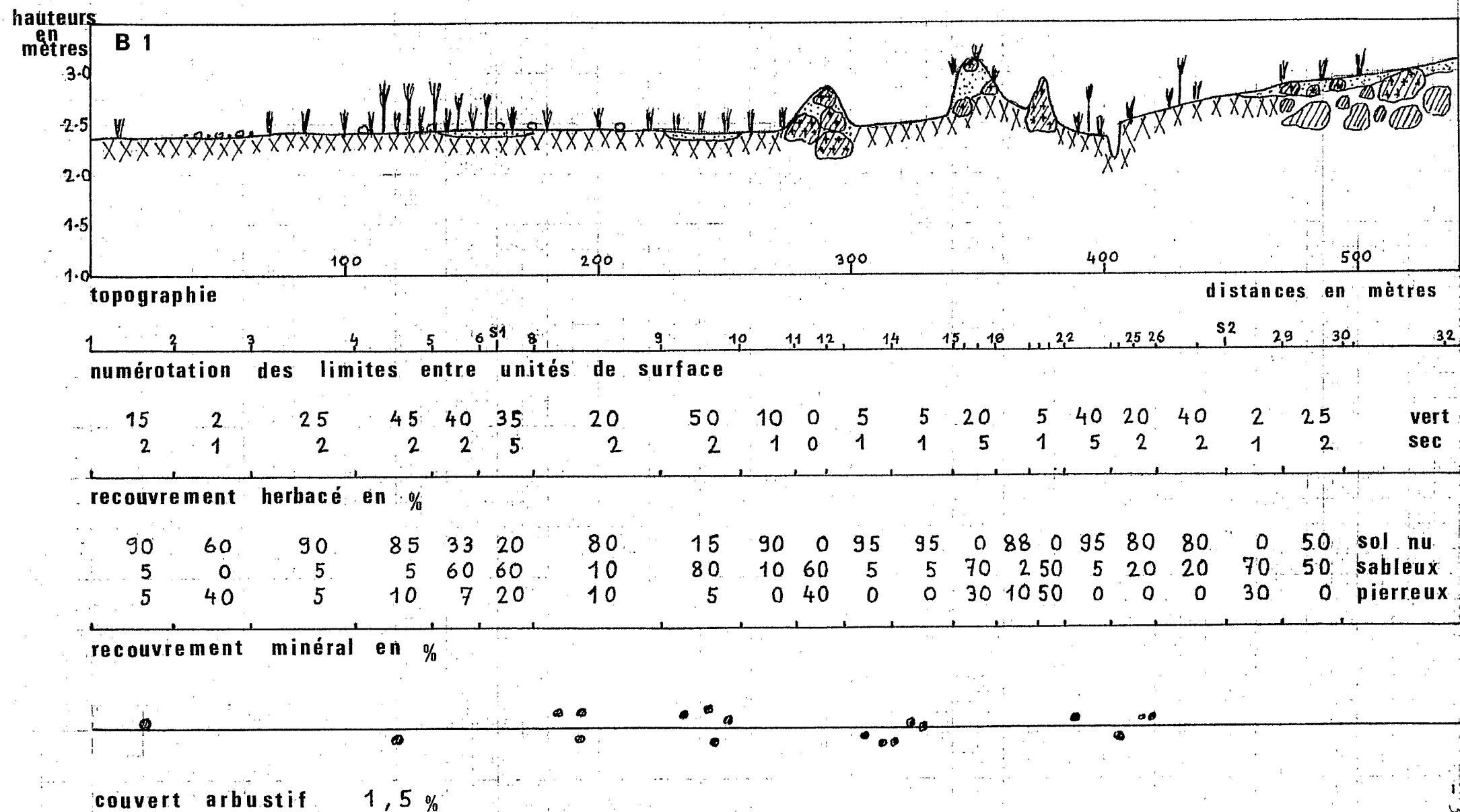


figure n° 15 BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURS, glacié bas Kotel, ligne B1  
observations effectuées le 29/08/1986

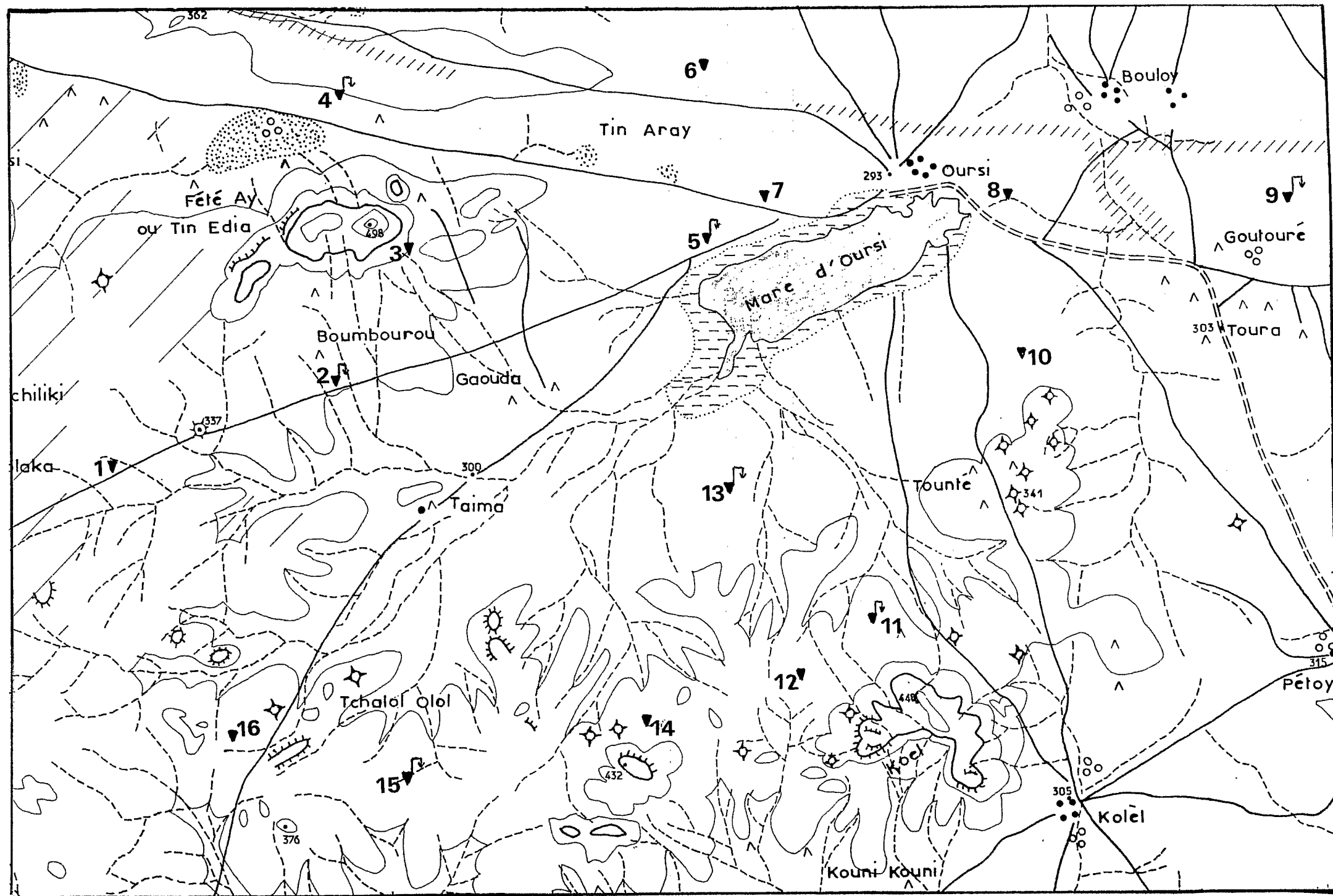


figure n°16 Equipement pluviométrique installé en 1986 sur le bassin versant de la mare d'OURSIS

#### 4.3. Les observations hydrologiques

Un réseau de 5 pluviographes et 11 pluviomètres a été installé les 10 et 11 juin 1986 sur le bassin versant de la mare d'Oursi (figure n° 16 ). Un limnigraphe est installé sur la mare d'Oursi depuis 1975.

##### 4.3.1. Objectifs

La connaissance des pluviométries journalières, sur l'ensemble du bassin au cours de la saison des pluies 1986, devrait nous permettre de situer les productions végétales de l'année 1986 parmi les observations antérieures et d'expliquer ainsi les différences de production végétale observées entre sites ayant les mêmes conditions édaphiques.

Les observations limnimétriques de la mare et pluviométriques sur son bassin versant situeront les crues de l'année 1986 parmi celles qui ont été observées sur le même bassin versant de 1975 à 1980.

##### 4.3.2. Résultats

Les isohyètes de l'année 1986 (figure n° 17 ) sont centrées autour du massif de Kolel, en cercles de plus en plus élargis vers le nord dans le sens des pluviométries annuelles rapidement décroissantes. L'isohyète 200 millimètres suit approximativement la piste Déou - Oursi, limitant vers le nord, dans la zone dunaire et sur les glacis du massif de Tin Edjar, une zone à pluviométrie fortement déficitaire, inférieure à 200 millimètres. La seule partie du bassin versant, où la pluviométrie de l'année 1986 est voisine de la normale, se situe autour du massif de Kolel et se prolonge sur le glacis de Jalafanka. Cette situation pluviométrique très contrastée pour l'année 1986, a induit des productions végétales également très contrastées. Particulièrement abondante sur le piémont du massif de Kolel, la production végétale semble réduite sur la dune et sur le glacis du massif de Tin Edjar.

Les observations limnimétriques, effectuées en 1986 sur la mare d'Oursi, sont consignées au tableau n° 1 . Le maximum observé s'établit à la cote 2,95 mètres. Il indique un remplissage normal de la mare, provoqué essentiellement par les pluies du 13 juillet, du 30 août et du 1er septembre, dont les hauteurs pluviométriques enregistrées à Jalafanka ont été respectivement de 53,6 mm, 40,0 mm et 51,7 mm. L'année 1986 apparaît finalement comme une année moyenne, encadrée sur la figure n° 18 par les années 1983 et 1976 représentant deux situations extrêmes.

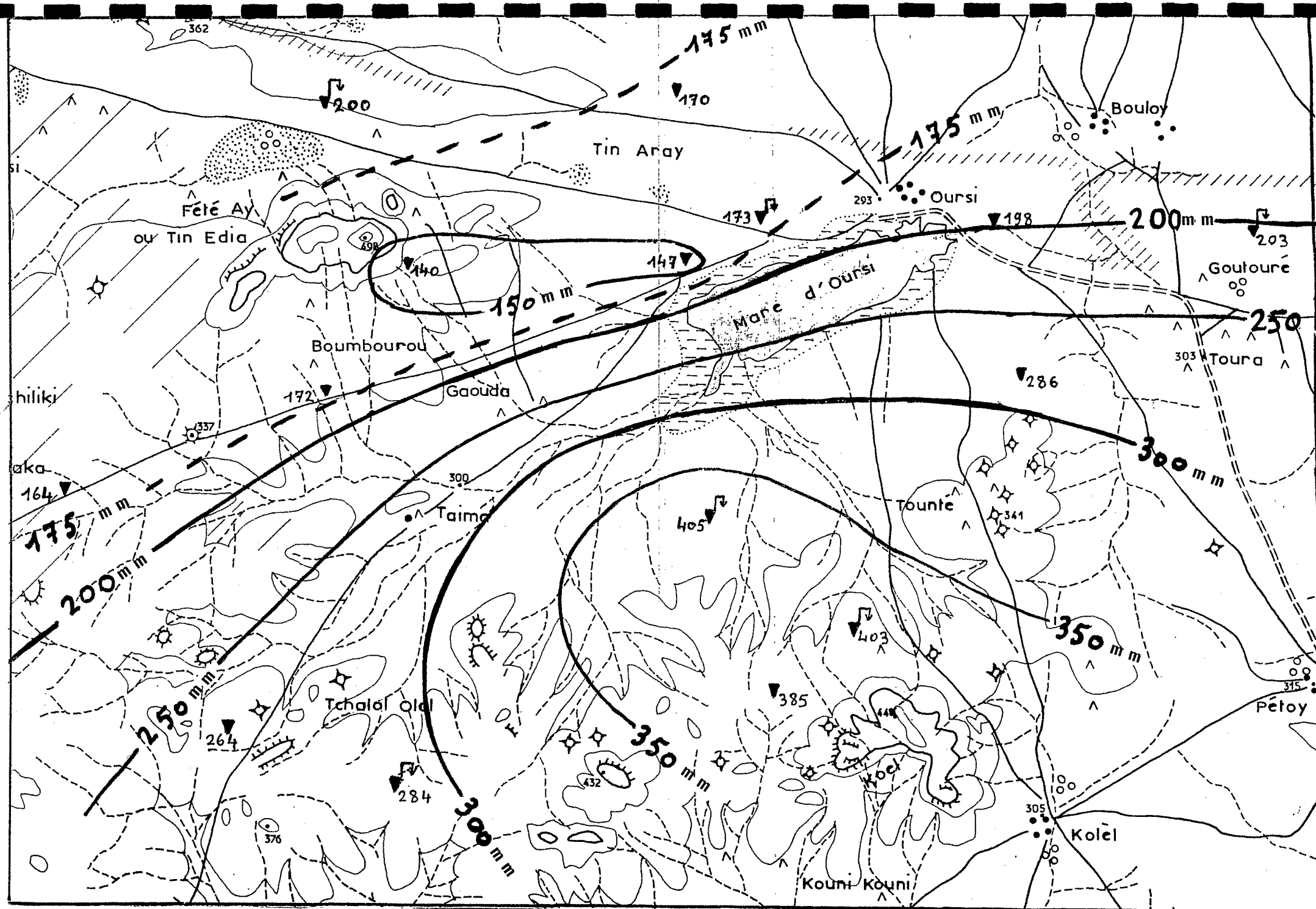
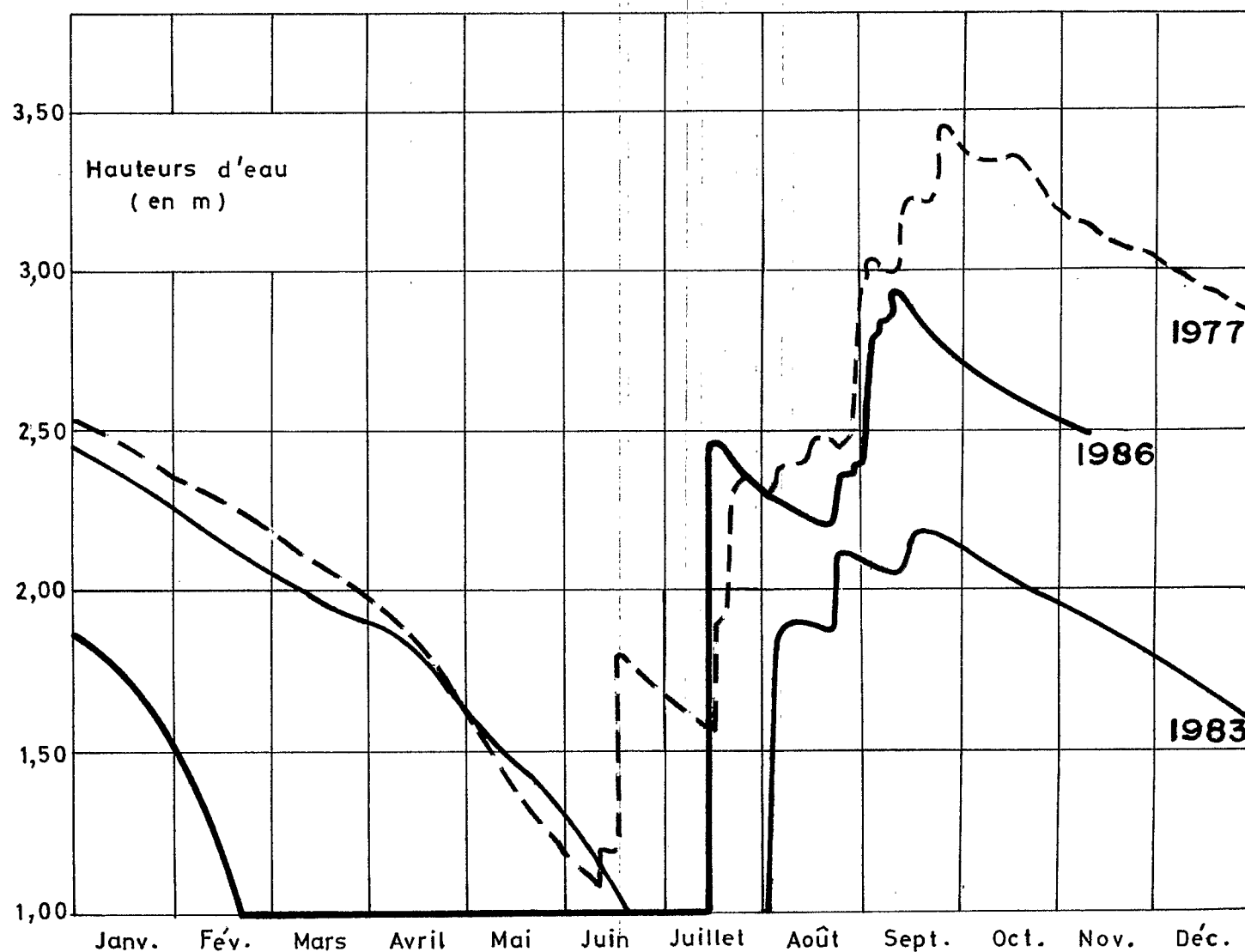


figure n°17 Pluviométries annuelles observées en 1986 sur le bassin de la mare d'OURSIS



**Fig. n°18 CHRONIQUES DES HAUTEURS D'EAU DE LA MARE D'OURSI**

remarque : La mare s'assèche à la cote 1,00 mètre

Tableau n° 1 : Hauteurs d'eau de la mare d'OURSI.

Année 1986.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct	Nov.	Déc.
1	185	151	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	233	244	272	253	
2	185	* 150	"	"	"	"	"	232	275	272	252	
3	184	148	"	"	"	"	"	231	* 279	271	251	
4	183	146	"	"	"	"	"	* 230	280	270	251	
5	182	144	"	"	"	"	"	229	280	269	250	
6	182	142	"	"	"	"	"	228	* 280	260	250	
7	181	140	"	"	"	"	"	227	295	268	* 249	
8	180	138	"	"	"	"	"	* 226	294	267	249	
9	179	136	"	"	"	"	"	225	293	266	248	
10	179	134	"	"	"	"	"	225	292	265	247	
11	178	131	"	"	"	"	"	224	291	265		
12	* 177	128	"	"	"	"	"	224	290	264		
13	176	125	"	"	"	"	à sec	224	289	264		
14	175	122	"	"	"	"	<u>246</u>	223	* 288	263		
15	174	119	"	"	"	"	<u>247</u>	223	287	263		
16	173	116	"	"	"	"	<u>247</u>	223	286	262		
17	172	113	"	"	"	"	* 247	222	285	261		
18	170	110	"	"	"	"	245	222	285	261		
19	169	107	"	"	"	"	243	222	284	260		
20	168	104	"	"	"	"	242	221	283	260		
21	166	101	"	"	"	"	241	221	282	259		
22	165	à sec	"	"	"	"	* 240	221	282	259		
23	* 164	"	"	"	"	"	239	227	281	258		
24	163	"	"	"	"	"	239	236	280	257		
25	162	"	"	"	"	"	* 238	237	279	257		
26	161	"	"	"	"	"	238	237	278	256		
27	159	"	"	"	"	"	237	237	277	255		
28	157	"	"	"	"	"	237	236	275	255		
29	156	////	"	"	"	"	236	236	274	254		
30	154	////	"	"	"	"	235	* 236	273	253		
31	153	////	"	////	"	////	234	240	////	////		

\* valeur lue à l'échelle

valeur maximale annuelle : 295 cm

valeur maximale observée : 345 cm en septembre 1977.



#### 4.4. Les observations radiométriques au sol

##### 4.4.1. Objectifs

Les objectifs à atteindre par les observations radiométriques au sol sont assez simples. Il s'agit d'une part de caractériser les signatures spectrales de toutes les unités cartographiques simples, que l'on peut identifier à des états de surface homogènes, et d'autre part d'utiliser ces signatures pour la cartographie thématique en les comparant aux signatures spectrales observées par le satellite SPOT.

##### 4.4.2. Protocoles, méthodologie

Un radiomètre de type CIMEL fut utilisé, sur le bassin versant de la mare d'Oursi, accroché à une potence montée sur une perche de hauteur standard 2 mètres, définissant des surfaces observées au sol d'environ 0,7 m<sup>2</sup>. Un appareil photographique, fut accroché à la même potence, permettant de couvrir à peu près la surface observée par le radiomètre.

Des contraintes particulières limitent l'utilisation du radiomètre. Une première contrainte concerne l'ensoleillement. Bien que le radiomètre CIMEL fournisse des valeurs relatives, grâce à ses deux têtes de lecture, le ciel doit être suffisamment dégagé pour que les observations aient une signification. La seconde contrainte majeure concerne la durée journalière d'utilisation du radiomètre qui reste limitée à 4 heures par jour, de 10 heures à 14 heures, afin de restreindre les variations de l'angle d'incidence des rayons solaires. Ces restrictions nous ont finalement conduit à définir des objectifs prioritaires pour chaque séjour sur le bassin versant de la mare d'Oursi. Du 20 juillet au 1<sup>er</sup> août et du 27 août au 6 septembre 1986, le radiomètre fut utilisé essentiellement sur les sites B<sub>1</sub> à B<sub>10</sub> et G<sub>5</sub>, où les mesures radiométriques ont été couplées aux mesures de biomasse herbacée et aux photographies pour l'estimation du couvert végétal. De plus, sur chacun de ces 11 sites, qui sont en fait des rectangles longs de 1 kilomètre et larges de 200 mètres, une ligne de 500 mètres a été définie où les mesures radiométriques ont été couplées avec l'observation des états de surface.

Du 14 octobre au 30 octobre, le radiomètre fut surtout utilisé pour caractériser les types d'état de surface et leurs variations spatiales en relation avec leur couvert minéral, sa nature, sa couleur et sa texture. Quelques transects furent également relevés au cours de cette période.

Chaque transect étant défini par son origine, repérée par des marques au sol, et par sa direction, relevée à la boussole, les observations radiométriques ont été effectuées tous les 2,5 mètres. Sur chaque ligne, longue de 500 mètres, nous avons donc relevé 200 triplets de mesures radiométriques.

Sur les états de surfaces dont on voulait caractériser la signature spectrale, les observations radiométriques ont été effectuées par grappes de 8 triplets répartis généralement sur un cercle de rayon 1 mètre, égal à la longueur de la potence de la perche.

##### 4.4.3. Résultats

Quelques relations ont été établies entre les mesures radiométriques et les biomasses herbacées. On se reportera au paragraphe 4.1 pour en apprécier la pertinence et l'utilisation qui peut en être faite.

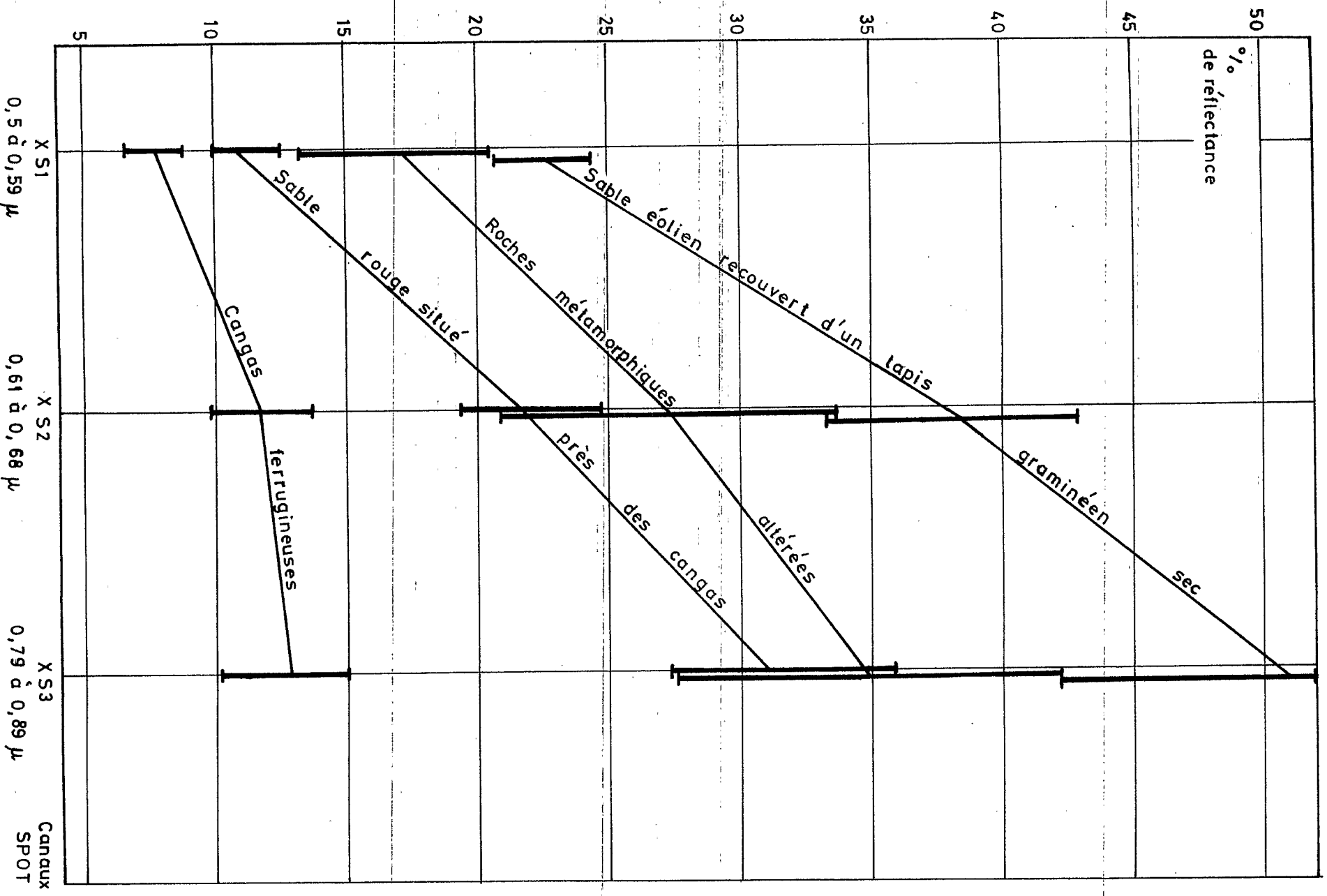


Fig. n° 19 OBSERVATIONS RADIOMETRIQUES  
EFFECTUEES PRES DU MASSIF DE TINEDJAR  
SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURS

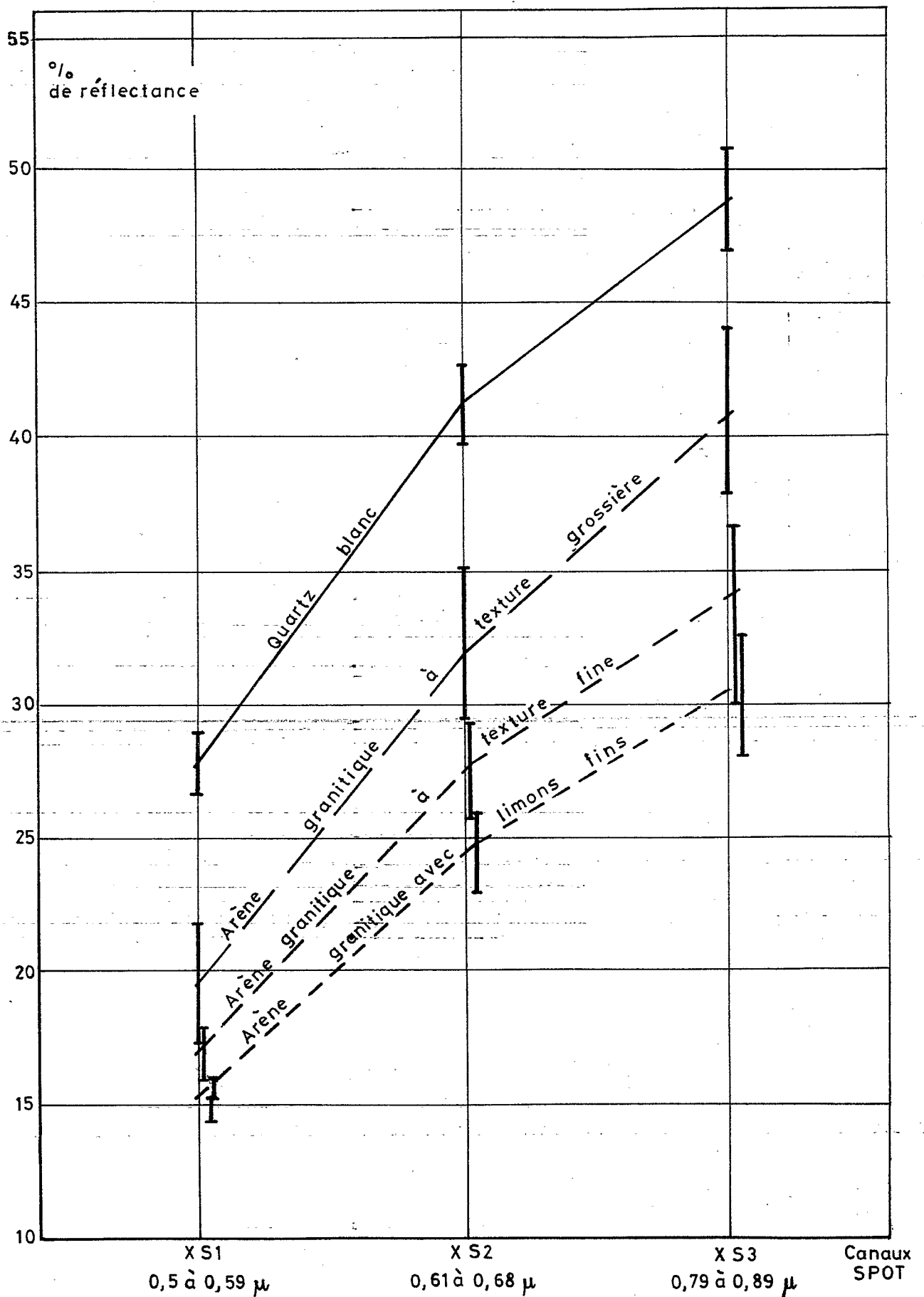


Fig. n° 20 OBSERVATIONS RADIOMETRIQUES  
EFFECTUEES AUTOUR DE LA BUTTE  
GRANITIQUE DE JALAFANKA

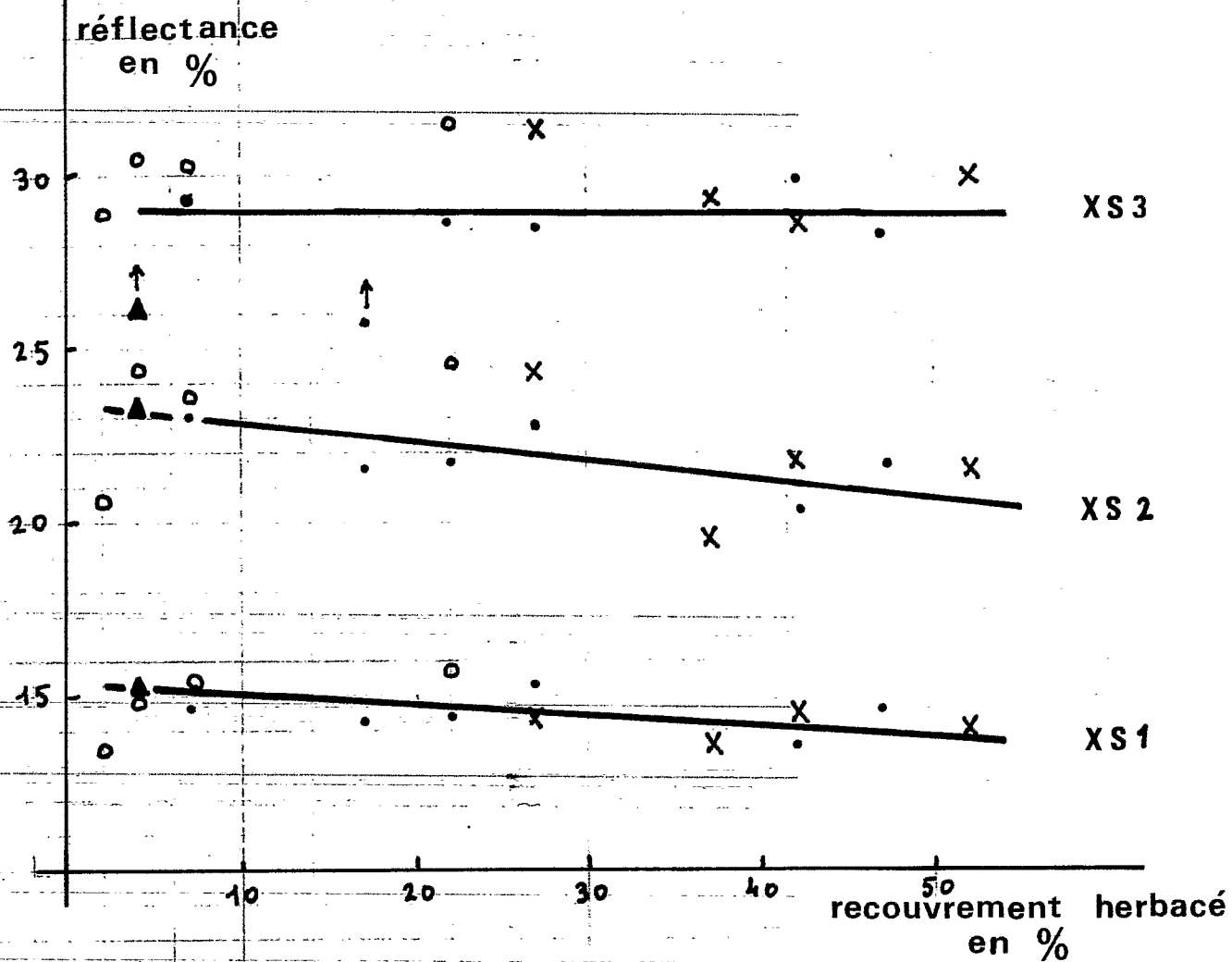


figure n° 21 RELATIONS ENTRE LES MESURES RADIOMÉTRIQUES ET  
 LES ETATS DE SURFACE SUR LA LIGNE B1  
 LE 29/08/1986

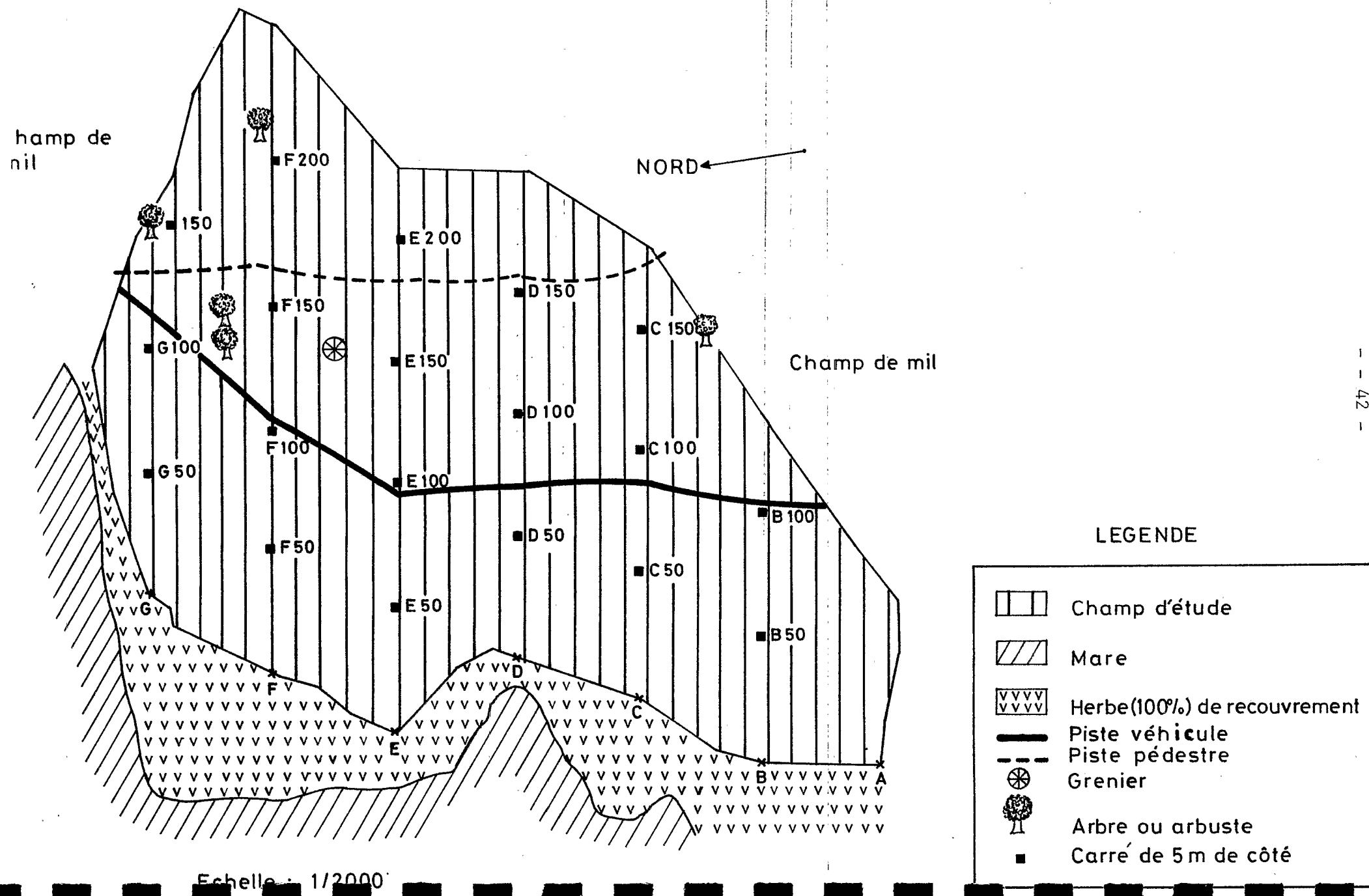
Entre les états de surface et les mesures radiométriques, quelques relations ont été dégagées, illustrées par les deux exemples des figures n° 19 et n° 20. Avant d'en généraliser l'utilisation à l'échelle du bassin versant, elles devront être confrontées aux signatures spectrales des autres états de surface rencontrés sur les transects radiométriques relevés au cours de l'hivernage 1986.

Afin d'illustrer la recherche des signatures spectrales des états de surface d'un transect radiométrique, nous avons choisi la ligne B<sub>1</sub>, observée le 29 août 1986. Les réflectances sont déterminées en calculant les moyennes des réflectances d'unités homogènes, c'est-à-dire de segments ayant le même recouvrement herbacé et le même recouvrement minéral. La figure n° 21 résume l'ensemble des observations effectuées le 29/08/1986 sur la ligne B<sub>1</sub> et permet d'observer l'influence du recouvrement herbacé sur les réflectances. Les résultats sont consignés sur le tableau ci-dessous :

Types d'états de surface	pourcentages de recouvrement herbacé vert								
	10 %			20 %			50 %		
	XS <sub>1</sub>	XS <sub>2</sub>	XS <sub>3</sub>	XS <sub>1</sub>	XI <sub>2</sub>	XS <sub>3</sub>	XS <sub>1</sub>	XS <sub>2</sub>	XS <sub>3</sub>
Sol brun tropical nu	15	22,8	29	14,4	21,8	29	13,8	20,7	29
Sol brun tropical pierreux	15	23	26	-	-	-	-	-	-
Sol sableux pierreux	15	24	30	15	24	32	-	-	-
Sol sableux	-	-	-	14,4	24	31,5	13,8	20,7	29

Tableau des réflectances moyennes des états de surface observés  
le 29/08/1986 sur la ligne B<sub>1</sub>.

Oursi Août 1986



#### 4.5. Observations et enquêtes agronomiques

##### 4.5.1. Objectifs

L'étude agronomique, menée en 1986 sur le bassin versant de la mare d'Oursi, vise essentiellement la cartographie des zones cultivées, l'interprétation des variations spatiales des radiométries observées par le satellite SPOT sur les zones cultivées, et l'analyse explicative des productions agricoles.

Cette étude s'inscrit dans une étude plus vaste comprenant une analyse diachronique de l'occupation des sols dans la région d'Oursi depuis 1955.

##### 4.5.2. Méthodologie, protocoles

Afin d'interpréter les variations spatiales des radiométries observées par le satellite SPOT sur les zones cultivées, il nous a semblé judicieux de choisir plusieurs champs dans des zones assez éloignées les unes des autres. Deux champs ont été choisis sur les glacis de piémont et deux autres champs ont été choisis à proximité du village d'Oursi, l'un à l'est, très près de la mare, l'autre à l'ouest sur le flanc sud de la dune.

Sur chacun de ces champs, nous avons prévu un relevé topographique précis, un suivi de la croissance et du développement des cultures, un suivi des travaux culturaux, un suivi de l'évolution des états de surface, des mesures de biomasse et une estimation précise de la récolte.

Faute de moyens suffisants, les mesures de biomasse et l'estimation précise de la récolte, qui auraient nécessité une indemnisation des paysans, ont été abandonnées. Toutes les biométries sur les cultures ont été finalement effectuées entre le 21 août et le 6 septembre, selon des protocoles identiques pour chaque champ. Les travaux culturaux ont été suivis par des enquêtes auprès des paysans ; les récoltes ont été assez grossièrement estimées de la même façon. Il serait fastidieux de développer ici tout le protocole des mesures effectuées sur les champs. Signalons simplement qu'elles sont réalisées sur un échantillon d'une vingtaine de stations par champ. Les stations sont des carrés de 5 mètres de côté, répartis équitablement sur l'ensemble du champ, (conf. figure n° 22). Sur chaque carré on compte le nombre de poquets et on sélectionne 8 poquets pris au hasard dans la station. Sur chacun des 8 poquets les mesures portent sur son recouvrement, sa hauteur, le nombre des tiges et le diamètre de la plus grosse tige. Les observations d'état de la surface du sol sont effectuées à chaque passage sur les stations.

Afin d'expliquer les variations observées dans les productions végétales, des pluviomètres ont été installés à proximité des champs et des questionnaires d'enquête ont été dressés. Les questionnaires visent à décrire les travaux réalisés en 1986 sur les champs en précisant leur chronologie, leur répartition spatiale et leur durée. Ils ont également pour but de mieux comprendre les coutumes qui règlent l'appropriation des sols et les façons culturales.

#### 4.5.3. Résultats

Le dépouillement des observations agronomiques et des enquêtes se poursuit actuellement à Ouagadougou et devrait aboutir à la publication d'un rapport agronomique.

L'interprétation des images SPOT suivra assez rapidement la rédaction de ce rapport.



## 5. Analyse des services fournis par la société SPOT IMAGE

Afin de suivre l'évolution des états de surface sur le bassin versant de la mare d'Oursi au cours de la saison des pluies 1986 et plus particulièrement l'évolution du couvert végétal, il était indispensable d'adopter une stratégie permettant d'associer les prises d'images et les observations de terrain. Dans ce but, nous avons défini quatre périodes pour lesquelles nous souhaitions obtenir des images SPOT :

- . entre le 20 avril et le 10 mai 1986,
- . entre le 20 juillet et le 5 août 1986,
- . entre le 20 août et le 5 septembre 1986,
- . entre le 20 octobre et le 10 novembre 1986.

Le système SPOT n'étant pas complètement opérationnel au mois d'avril 1986, nous avons formulé le 3 juin 1986 une demande de modification du calendrier des prises de vue. Cette demande n'a pu être prise en compte par la société SPOT-IMAGE .

Pour que le programme SPOT-OÛRSI se déroule normalement, il était essentiel que nous obtenions des images entre le 20 juillet et le 5 août puis entre le 20 août et le 5 septembre. A cette fin, nous avons demandé à SPOT-IMAGE de prévoir une prise de vue à chaque passage du satellite SPOT entre ces dates.

SPOT-IMAGE a satisfait partiellement à notre demande en confirmant les prises de vue du 9 août 1986, du 30 août 1986 et du 4 septembre. La confirmation des prises de vue du 30 août et du 4 septembre nous est parvenue par l'intermédiaire de l'atelier de télédétection de l'ORSTOM à Bondy, assortie d'une injonction à choisir entre les deux scènes.

Les observations sur la nébulosité du ciel, effectuées dans la région d'Oursi le 30 août et le 4 septembre 1986, nous incitèrent à choisir la scène du 4 septembre.

Au début du mois de novembre, l'image du 4 septembre parvenait à l'atelier de télédétection à Bondy. Elle s'est révélée d'excellente qualité. Par contre, la scène du 9 août n'est pas encore parvenue à Bondy et nous attendons des nouvelles de la prise de vue programmée entre le 20 octobre et le 10 novembre.

Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions sur tous les services fournis par la société SPOT-IMAGE dans le cadre de notre programme PEPS. En ce qui concerne l'appréciation de la qualité des images, étroitement dépendante des conditions météorologiques, il semble que le moyen le plus sûr d'en apprécier la qualité soit d'observer la nébulosité du ciel au moment du passage du satellite. Dans l'immédiat, la vue la plus importante, qui correspond au maximum du développement de la végétation dans la région d'Oursi, nous est acquise dans d'excellentes conditions et nous en sommes pleinement satisfaits. Cette acquisition démontre qu'il est possible d'obtenir des images SPOT de bonne qualité en zone sahélienne en cours de saison des pluies à condition d'envisager des prises de vues répétitives et d'effectuer des observations de la nébulosité du ciel à chaque passage du satellite. Elle démontre également une certaine capacité de la société SPOT-IMAGE à répondre favorablement aux desiderata des utilisateurs.

Afin d'améliorer les prestations offertes par la société SPOT-IMAGE, il nous paraît souhaitable d'augmenter la précision et la rapidité des échanges d'informations entre la société et les utilisateurs.

Un premier objectif pourrait être d'avertir rapidement les utilisateurs de l'acquisition des images et de leur qualité.

## 6. Conclusions

Bien que les travaux de terrain n'aient pas encore été totalement dépouillés, les premiers résultats, confrontant les observations au sol et les mesures radiométriques, sont encourageants pour l'interprétation des images SPOT sur le bassin versant de la mare d'Oursi.

L'image SPOT, programmée entre le 20 août et le 5 septembre 1986, a été acquise le 4 septembre dans d'excellentes conditions et nous attendons des nouvelles plus précises des autres scènes. L'interprétation de cette image, prise au maximum de croissance de la végétation, est particulièrement intéressante pour l'étude des unités phytoécologiques, de leur structure et de leur biomasse. Elle présente également un intérêt certain pour l'étude des cultures et l'estimation de l'aptitude des sols au ruissellement.

L'association entre phytoécologues et hydrologues nous semble une expérience originale qui mérite d'être poursuivie. Nous chercherons dans l'avenir à étendre cette association aux pédologues. Le sol est en effet à la fois le support et le nutriment de la végétation, il est aussi l'interface entre l'atmosphère et la lithosphère jouant le rôle de surface de ruissellement et de filtre. Ce type d'association devrait permettre, à moyen terme, à partir d'images satellitaires, judicieusement choisies au cours de la saison des pluies, de prévoir les productions végétales des pâturages sahéliens.

Depuis une vingtaine d'années, les sols et la végétation de la région d'Oursi subissent les agressions d'un surpâturage caractérisé dont les effets se sont accentués depuis une dizaine d'années en raison d'une sécheresse exceptionnellement longue. Pour analyser l'évolution des unités géomorphologiques et phytoécologiques et évaluer leur état de dégradation, l'imagerie SPOT semble fournir des informations nouvelles que phytoécologues et géographes, prolongeant le programme SPOT OURSI essaierons d'exploiter dans un souci de compréhension des phénomènes de dégradation afin d'en prévoir l'évolution et tenter ultérieurement de définir une gestion plus rationnelle et moins destructrice des ressources fourragères et pédologiques.

## BIBLIOGRAPHIE

### Hydrologie, climatologie

CLAUDE (J.), BERNARD (A.), SAADOUN (N.), BARDIN (E.), LOINTIER (M.) - 1978 à 1981  
- Etude hydrologique de sept bassins versants alimentant la mare d'Oursi.

T.1. rapport des campagnes 1976 et 1977  
74 pages, 64 figures, 55 tableaux annexes

T.2. rapport de campagne 1978  
66 pages, 56 figures, 49 tableaux et 1 carte topographique en annexe.

T.3. rapport de campagne 1979  
22 pages, 51 figures, 47 tableaux annexes

T.4. rapport de campagne 1980  
55 pages, 44 figures, 42 tableaux annexes  
Burkina Faso (ex. Haute-Volta), Centre ORSTOM de Ouagadougou, DGRST, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

CLAUDE (J.), BERNARD (A.), SAADOUN (N.), BARDIN (E.), LOINTIER (M.) - 1978 à 1981  
- Observations climatologiques à la station de Jalafanka - mare d'Oursi.

T.1. juin 1976 - décembre 1977, 91 pages, 7 figures

T.2. année 1978, 73 pages, 14 figures

T.3. année 1979, 75 pages, 12 figures

T.4. année 1980, 80 pages, 17 figures

Burkina Faso (ex. Haute-Volta), Centre ORSTOM de Ouagadougou, DGRST, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

CLAUDE (J.), BERNARD (A.), TOURI (H.), ALBERGEL (J.) - 1982  
- Observations climatologiques à la station de Jalafanka et observations hydrologiques à Kolel, Jalafanka et mare d'Oursi, année 1981, Burkina Faso, Centre ORSTOM de Ouagadougou, 98 pages, 28 figures.

BERNARD (A.), - 1983, 1984  
- Observations climatologiques à la station de Jalafanka et suivi de la mare d'Oursi.

T.1. année 1982, 59 pages, 12 figures

T.2. année 1983, 61 pages, 10 figures

Burkina Faso, Centre ORSTOM de Ouagadougou

CHEVALIER (P.) - 1982  
- Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (mare d'Oursi - Haute-Volta), Burkina Faso, Centre ORSTOM de Ouagadougou, 105 pages, 27 figures.

CHEVALIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARD (A.) - 1985  
- Pluies et crues au sahel, hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso) (1976-1981), ORSTOM, Travaux et Documents n° 190, Paris, 251 pages, 2 cartes.

### Pédologie

LEPRUN (J.C.) - 1979  
- Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Génèse. Transformations - Dégradation. Université Louis Pasteur, Strasbourg, Thèse de docteur es sciences naturelles, 222 pages, 13 planches et 3 annexes.

ANONYME - 1981  
- Etude pédologique de reconnaissance de la région de la mare d'Oursi, échelle 1/50 000ème, Burkina Faso, Ministère du Développement Rural, Service National des sols, PNUD projet UPV/74/007, rapport technique n° 25, 69 pages, 34 annexes, 2 cartes.

COLLINET (J.), ASSELINE (J.) - 1977  
- Compte rendu de mission préliminaire pour un projet de mise en oeuvre du simulateur de pluies sur la périphérie de la mare d'Oursi, ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire, 20 pages, A.C.C. lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

ANONYME - 1978  
- 1ère campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi. CTFT, Haute-Volta, 14 pages, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

ANONYME - 1979  
- 2ème campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi, CTFT, Haute-Volta, 16 pages, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

SICOT (M.) - 1978  
- Programme  
  . Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la mare d'Oursi (Haute-Volta);  
  . Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 ; critique des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien, ORSTOM, Centre de Ouagadougou, 76 pages, 11 tableaux, 49 figures.  
A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

SICOT (M.) - 1979

- Etalonnage de l'humidimètre solo dans les sols sahéliens du bassin versant de la mare d'Oursi (Haute-Volta) ORSTOM, Centre de Ouagadougou, 24 pages, 16 figures - A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.

- Agronomie

MILLEVILLE (P.), COMBES (J.), MARCHAL (J.) - 1982

- Systèmes d'élevage sahéliens de l'Oudalan - Etude de cas Haute-Volta - Centre ORSTOM de Ouagadougou  
129 pages, Ministère du Développement Rural, ORD Sahel, projet de développement de l'élevage.

MILLEVILLE (P.) - 1980

- Etude d'un système agropastoral sahélien de Haute-Volta.  
1ère partie : le système de culture.  
ORSTOM Ouagadougou, 66 pages.

- Ecologie végétale

LEVANG (P.) - 1978

- Biomasse herbacée de formations sahéliennes. Etude méthodologique et application au bassin versant de la mare d'Oursi.

I - texte - 34 pages

II - annexes 27 figures et 15 tableaux

A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta) - Centre ORSTOM, Ouagadougou.

TOUTAIN (B.) - 1978

- Etude des effets de la mise en repos temporaire de quelques formations végétales sahéliennes dégradées sur leur évolution. Rapport de campagne - Centre ORSTOM de Ouagadougou, 67 pages.  
A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).

TRAORE (B.) - 1978

- Observations sur la phénologie de quelques espèces herbacées et ligneuses sahéliennes.  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 29 pages et 17 figures,  
A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).

SICOT (M.) - 1979

- Déterminisme de la production et des immobilisations minérales de la strate herbacée des parcours naturels sahéliens. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 29 pages.

GROUZIS (M.), SICOT (M.) - 1983

- Production fréquentielle du bassin versant de la mare d'Oursi. Application à l'estimation des potentialités pastorales.  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 11 pages.

- GROUZIS (M.), METHY (M.) - 1983  
- Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien : perspectives et limites.
- TUCKER (C.J.), - 1977  
- Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance  
Appl. Opt. 16, 1151 - 1157.
- GROUZIS (M.) - 1979  
- Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta)  
Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan.  
Action complémentaire coordonnée DGRST-ORSTOM 59 p.  
15 tabl. 17 fig. h.t.
- LEVANG (P.), GROUZIS (M.) - 1980  
- Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la mare d'Oursi, Haute-Volta  
Acta oecologica, Oecol. plant. : Vol (15), 3 : 231 - 244.
- BADIARA (L.) - 1986  
- Contribution à l'étude de l'évolution saisonnière des états de surface des zones pâturées sur le bassin versant de la mare d'Oursi (Burkina Faso).  
Mémoire de fin d'études. IDR/ORSTOM Ouagadougou, 146 p.
- Géographie humaine
- BARRAL (H.), BENOIT (M.) - 1976  
- Nature et genre de vie au sahel.  
L'année 1973 dans le nord de la Haute-Volta  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 20 pages
- BARRAL (H.) - 1977  
- Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral  
ORSTOM-PARIS - Travaux et Documents n° 77, 119 pages, 8 cartes
- SODTER (F.) - 1980  
- Enquête démographique sur la zone de la mare d'Oursi.  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 54 pages et 15 annexes - A.C.C.  
Lutte contre l'Aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta)
- LANGLOIS (M.) - 1980  
- Fonctions et organisation de deux marchés en zone sahélienne voltaïque : Oursi et Déou.  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 33 pages, 15 figures, 28 tableaux, A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).
- BRASSEUR (G.) - 1983  
- Notes sur les établissements humains en Oudalan, sahel voltaïque.  
Centre ORSTOM de Ouagadougou, 58 pages, 5 planches.

- Divers

CLAUDE (J.) - 1978

- Etude des possibilités d'aménagement agro-sylvo pastoral en vue de la lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. (Haute-volta) Projet mare d'Oursi - Rapport scientifique annuel. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 18 pages. A.C.C. Lutte contre l'Aridité en milieu tropical.

CLAUDE (J.) - 1979

- A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta) Opération mare d'Oursi. Compte rendu de fin d'études. Centre ORSTOM de Ouagadougou, 49 pages.

LOINTIER (M.), LORTIC (B.) - 1984

- Mare d'Oursi, traitement numérique de la vue LANDSAT du 4 février 1976. ORSTOM, Centre de Cayenne, 13 pages, 7 figures, 1 planche.