

Communication au Colloque "Mare d'Oursi"
CNRST, ORSTOM, LIPTAKO-GOURMA
Ouagadougou - 17 au 21 Février 1992

Le Programme d'Evaluation Préliminaire
SPOT n° 149 - SPOT OURSI
Observations au sol, photointerprétation
et traitements numériques d'images satellitaires
sur le bassin versant de la mare d'Oursi

J.L DEVINEAU, A FOURNIER, J M LAMACHERE, C. MALEK
Institut Français de Recherche pour le Développement
en Coopération - ORSTOM 01 BP 182 - Ouagadougou -

Introduction

Le programme SPOT OURSI a commencé en 1986 à l'occasion du lancement du satellite français SPOT Retenu par la société SPOT IMAGE pour être intégré à un ensemble de programmes scientifiques destinés à évaluer les possibilités d'utilisation des images satellitaires SPOT, il s'est déroulé en trois phases : une phase d'observations au sol couplée avec les prises de vues du satellite, une phase de dépouillement des données de terrain, une phase d'interprétation et de traitement numérique des images

Le but du programme SPOT-OURSI était une cartographie thématique de l'évolution des états de surface d'un bassin versant sahélien au cours d'une saison des pluies. Le couvert végétal étant le facteur principal d'évolution des états de surface naturels, une partie importante des observations au sol fut consacrée au suivi de son évolution entre le mois de juin et le mois de novembre 1986.

1. Les observations au sol

L'étude méthodologique des observations de biomasse herbacée (Levang, Grouzis, 1980) a montré que l'échantillonnage de 35 à 40 sites sur lesquels on pratique 30 à 40 coupes sur des surfaces de 1 mètre carré, suffisait à estimer correctement les biomasses herbacées sur l'ensemble du bassin versant, chaque site ne recouvrant qu'un même groupement végétal

Munis d'une première interprétation des images de la simulation SPOT d'octobre 1981, nous avons effectué en mai 1986 une mission sur le terrain qui nous a conduits à sélectionner une quarantaine de sites d'observation, codés sur la figure n° 1 par une lettre et un chiffre, parmi lesquels onze sites ont été retenus (b1 à b10 et 95) pour le suivi des biomasses herbacées du début à la fin de l'hivernage 1986. Quatre périodes d'observations au sol, correspondant au calendrier des prises de vue du satellite SPOT 1, ont été définies

20 juin au 10 juillet 1986	. 20 août au 10 septembre 1986
. 20 juillet au 10 août 1986	. 20 octobre au 10 novembre 1986

Sur les itinéraires d, g, k et o, les observations du couvert végétal ont été effectuées à deux reprises au cours de la seconde et de la troisième période. Les observations pédologiques superficielles des états de surface : couvert minéral, organisations superficielles, micro-relief, activités biologiques, hydriques et éoliennes, ont été réalisées une seule fois sur chaque site. Les mesures de couvert végétal sur les champs (C1 à C4) ont été faites au cours de la troisième période

Un reseau de 5 pluviographes et 11 pluviometres fut installe des le 11 juin 1986. La mesure des hauteurs pluviometriques et des intensites s'y poursuivirent jusqu'a la fin du mois de septembre 1986. Les pluviometries annuelles observees entre le 11 juin et le 30 septembre 1986 sont reportees sur la figure n° 2. On remarquera l'extrême variabilite spatiale des precipitations qui caracterise les regions sahelienues . le total pluviometrique de l'annee 1986 est inferieur a 200 mm au nord de la mare d'Oursi mais il est proche de 400 mm autour du massif de Kolel.

2. Les prises de vues satellitaires

Une condition essentielle a la reussite du programme etait l'obtention d'images SPOT au cours de la saison des pluies 1986. L'examen des enregistrements heliographiques de la station meteorologique de Djalafanka, situee 4 kilometres au sud de la mare d'Oursi, laissaient esperer l'absence de couvert nuageux un jour sur trois au cours des periodes les plus pluvieuses. Nous avons donc demande a la societe SPOT IMAGE une programmation repetitive entre le 20 juillet et le 15 août puis entre le 20 août et le 15 septembre 1986, a chaque passage du satellite SPOT 1. Cette exigence a ete pleinement satisfaite puisque nous avons finalement obtenu les scenes suivantes

- la scene 1, prise le 9 août 1986 sans nuages mais non corrigee des effets barrettes,
- la scene 2, prise le 4 septembre 1986 sans nuages, d'excellence qualite,
- la scene 3, prise le 17 decembre 1986 et la scene 4, prise le 27 mai 1987, toutes deux de bonne qualite

3. Interpretation visuelle des images satellitaires SPOT

Le paysage de la region d'Oursi se subdivise en quatre grandes unites le systeme dunaire qui comprend l'erg ancien, l'erg recent et les jupes sableuses , les massifs rocheux, buttes cuirassees et inselbergs granitiques , les glacis qui se distinguent les uns des autres par leur recouvrement mineral et vegetal , les bas-fonds, les thalwegs et les mares formant le reseau hydrographique.

L'examen visuel des images SPOT, prises dans la region d'Oursi au cours de l'hivernage 1986, montre que les grandes unites de paysage peuvent être decomposees en zones visuellement homogenes, a la fois par leur composition coloree, leur texture et leur structure. La clef de l'interpretation des couleurs de l'image SPOT prise le 4 septembre 1986 est la suivante la couleur rouge est associee a l'existence d'une vegetation chlorophyllienne herbacee, arborée ou aquatique , la couleur vert fonce est associee a l'existence de sols nus et d'elements grossiers a la surface du sol rochers, cailloux, graviers, gravillons ferrugineux, cuirasse lateritique , la couleur vert clair a gris tres clair est associee aux sables grossiers d'origine granitique , la couleur jaune est associee aux sables fins d'origine eolienne, dunes et jupes sableuses.

La morphologie des taches colorees peut être limitée dans la region d'Oursi à cinq grands ensembles Les formes ramifiees caracterisent le reseau hydrographique qui converge vers les bas-fonds et les mares, donnant un aperçu sommaire de la topographie. Les formes massives aux bords festonnees caracterisent les massifs rocheux Kolel, Warga, Gouba, Tin Edjar d'ou divergent les ramifications du reseau hydrographique. Les formes en flots caracterisent les buttes cuirassees et les inselbergs granitiques Kouni-Kouni, Djalafanka, Gountoure. Les formes en fles allongees, très decoupees, caracterisent l'affleurement de cuirasses lateritiques ennoyees sous un sol peu epais. Les larges bandes claires, orientees d'ouest en est, caracterisent le systeme dunaire qui se fragmente en taches claires aux formes ambienues phagocytant les massifs et les pointements rocheux

Les zones visuellement homogènes sur les images SPOT ayant été décrites au sol par 38 lignes d'observation longues de 500 mètres à 1 kilomètre réparties sur l'ensemble des unités paysagiques, il nous a été possible de produire une cartographie thématique comme celle de la figure n° 3 qui définit l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des sols de la région d'Oursi.

4. Traitements numériques des images satellitaires SPOT

L'image satellitaire SPOT est constituée de pixels correspondant à des surfaces au sol de forme carrée dont les côtés ont une longueur de 20 mètres. Pour chaque pixel, le satellite SPOT a enregistré 3 valeurs numériques correspondant aux canaux XS1, XS2 et XS3 dans des gammes de longueurs d'onde propres à chaque canal : dans le bleu pour le canal XS1, le jaune pour le canal XS2, le rouge et le proche infra-rouge pour le canal XS3.

Le traitement des données brutes normalise les valeurs fournies à l'utilisateur pour qu'elles soient comprises entre 0 et 255. À partir des valeurs normalisées, l'utilisateur peut traiter son image soit en utilisant directement les valeurs ainsi fournies, soit à l'aide d'indices, encore appelés neocanaux, mieux adaptés à la mise en évidence de la végétation chlorophyllienne, des surfaces à forte réflectance ou des couleurs du sol. Les indices les plus couramment utilisés sont :

- l'indice de brillance

$$IB = XS3 - XS2 - 100 \quad \text{ou} \quad IB = \sqrt{XS_2^2 + XS_3^2}$$

- l'indice de végétation

$$IV = 255 \frac{XS3}{XS3 + XS2} \quad \text{ou} \quad IV = \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}$$

- l'indice de couleur des sols

$$IC = 255 \frac{XS2}{XS1 + XS2}$$

Les traitements de données numériques d'images satellitaires ont été réalisés selon deux types de démarches radicalement différentes : la démarche dirigée et la démarche non dirigée.

Dans la démarche dirigée, on collecte des informations terrain sur des zones que l'on estime représentatives du milieu. Les sites sont ensuite repérés le plus précisément possible sur l'image et servent à initialiser la classification. C'est la démarche qui a été suivie par J.L. Devineau pour la cartographie des groupements végétaux, du couvert végétal et de la biomasse herbacée (cartes n° 4, 5 et 8).

Dans la démarche non dirigée, les pixels de l'image satellitaire sont classés automatiquement en un nombre de classes fixées à l'avance. Une signification thématique a posteriori est donnée aux classes ainsi obtenues. C'est la démarche utilisée par C. Malek pour étudier l'évolution dynamique des paysages à partir de 2 images SPOT puis créer une image multidates par croisement des 2 classifications (carte n° 3).

Il est également possible de combiner les deux démarches comme le firent J.M. Lamachère et B. Lortie en utilisant la classification réalisée par J.L.

Devineau sur le couvert vegetal de l'image SPOT du 4 septembre 1986 et la classification realisee par C. Malek sur l'image SPOT du 17 decembre 1986 pour cartographier numeriquement l'aptitude au ruissellement et a l'infiltration des sols de la region d'Oursi (carte n° 9).

5. Cartes thematiques, resultats

La carte des groupements vegetaux (cartes n° 4)

La methode cartographique utilisee par A. Fournier consiste d'une part a faire une partition de l'ensemble des releves fondee sur leur similitude floristique et, d'autre part, a realiser une partition similaire sur les valeurs radiometriques donnees par l'image SPOT. La confrontation de ces deux classifications permet de definir des classes radiometriques, statistiquement differentes les unes des autres et ayant une signification floristique.

Les cartes du couvert vegetal (cartes n° 5 et 6)

Une relation, presentee sur la figure n° 4, a ete etablie entre les valeurs moyennes de l'indice de vegetation et les valeurs moyennes du couvert vegetal (recouvrement, phytovolume) estimees au sol sur des sites reperes avec precision sur les images SPOT.

L'indice utilise est l'indice de vegetation verte

$$IV = 256 \frac{XS3}{XS3 + XS2}$$

Cet indice est lie au recouvrement total de la vegetation par la relation

$$IV = 0,188 RTT + 125,27$$

Aucune difference significative n'a pu être mise en évidence entre les droites de regression des mois d'août et septembre. La carte n° 5 presente le couvert vegetal de la region d'Oursi du 9 août 1986

Les cartes de la phytomasse herbacee (carte n° 8)

L'estimation des phytomasses herbacees sur l'ensemble du bassin versant de la mare d'Oursi a partir des images spatiales est fondee sur l'établissement d'une relation entre l'indice de vegetation obtenu sur les images SPOT et la phytomasse herbacee estimee par la methode de la coupe. Au total, les correlations entre indice de vegetation et phytomasses ont ete etablies a partir de 16 couples de mesures correspondant a des formations de glaciers et de dune, auxquels s'ajoutent les mesures realisees sur deux sites du bord de la mare a phytomasse forte. Sur les scenes d'août et septembre, l'indice de vegetation (IV) est lie a la phytomasse herbacee (P) par la relation

$$IV = 137,12 P^{0,0279}$$

Cette relation est utilisee pour etablir la carte des phytomasses en août et septembre 1986. La phytomasse moyenne, calculée a partir de la scene du 4 septembre 1986, est de 0,708 tonne par hectare pour une pluviométrie annuelle de 405 mm a la station de Jalafanka

La carte des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration (carte n° 9)

Chaque ligne d'observation sur le terrain est constituée de surfaces élémentaires aux caracteristiques hydrodynamiques connues grâce aux mesures effectuées avec le mini-simulateur de pluies (A Casenave, C. Valentin, 1989). Sans tenir compte des effets dus aux transferts des eaux de ruissellement nous avons formulé pour

chaque ligne ou transect une relation hydrodynamique ou chaque surface élémentaire intervient en fonction de sa probabilité d'occurrence sur la ligne. Une utilisation intéressante de ces relations consiste à calculer pour chaque ligne la hauteur d'eau disponible pour le ruissellement dans le cas d'une forte chute de pluie (pluie journalière de fréquence décennale), hauteur d'eau que nous appellerons lame non-infiltrée.

Il est alors très pratique de classer les transects en fonction croissante des lames non-infiltrées de fréquence décennale puis de cartographier l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des sols du bassin versant de la mare d'Oursi à partir de cette classification en se servant des lignes observées comme parcelles d'entraînement pour une classification numérique de l'image satellitaire. Un exemple de représentation numérique des transects est fourni sur les figures n° 6 et 7. Couplée avec une classification numérique supervisée, cette représentation des transects peut conduire à une carte analogue à la carte n° 9.

6. Conclusion

En zone sahélienne, dans un milieu en rapide évolution, la possibilité offerte par le satellite SPOT de programmer les prises de vues paraît un atout important pour le suivi de l'évolution des états de surface. Les images SPOT, prises en fin de saison des pluies constituent de bons documents de travail pour cartographier la végétation, son couvert total et sa biomasse, ainsi que l'aptitude des sols au ruissellement et à l'infiltration. Associées à un bon échantillonnage au sol et à des observations bien conduites, les images satellitaires se révèlent être des outils particulièrement bien adaptés à la quantification à l'échelle régionale des productions végétales. La quantification des ruissellements à l'échelle des bassins versants fait intervenir d'autres facteurs tels que l'hétérogénéité spatiale des averses, la répartition spatiale des états de surface sur les versants et la forme du réseau hydrographique, facteurs dont les effets sur le ruissellement global sont encore mal connus.

Bibliographie

- CASENAVE (A.) et VALENTIN (C.) - 1989
Les états de surface de la zone sahélienne. Editions de l'ORSTOM - Collection Dactiques - 227 p.
- DEVINEAU (J L), FOURNIER (A), LAMACHERE (J.M.) - 1986
Programme d'évaluation préliminaire SPOT PERS n° 149 - SPOT OURSI. Rapport intermédiaire - Centre ORSTOM de Ouagadougou - 52 p.
- GROUZIS (M) - 1979
Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi) - Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. ACCT - DGRST - ORSTOM - 59 p , 15 tabl , 17 fig.
- LEVANG (P.), GROUZIS (M.) - 1980
Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes application à la mare d'Oursi, Acta oecologica, Oecol. plant. : Vol (15), 3 ; p 231-244
- LAMACHERE (J M.) - 1988
Interprétation des images satellitaires SPOT et cartographie des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration des sols sur un bassin versant de la mare d'Oursi - Burkina Faso - Communication aux journées techniques du CIEH - 9-11 février 1988
- MALEK (C) - 1988
Diagnostic du paysage à partir des données satellitaires - application au sahel Oudalan - Burkina Faso - Thèse de doctorat en géomorphologie, Université de Paris VII.

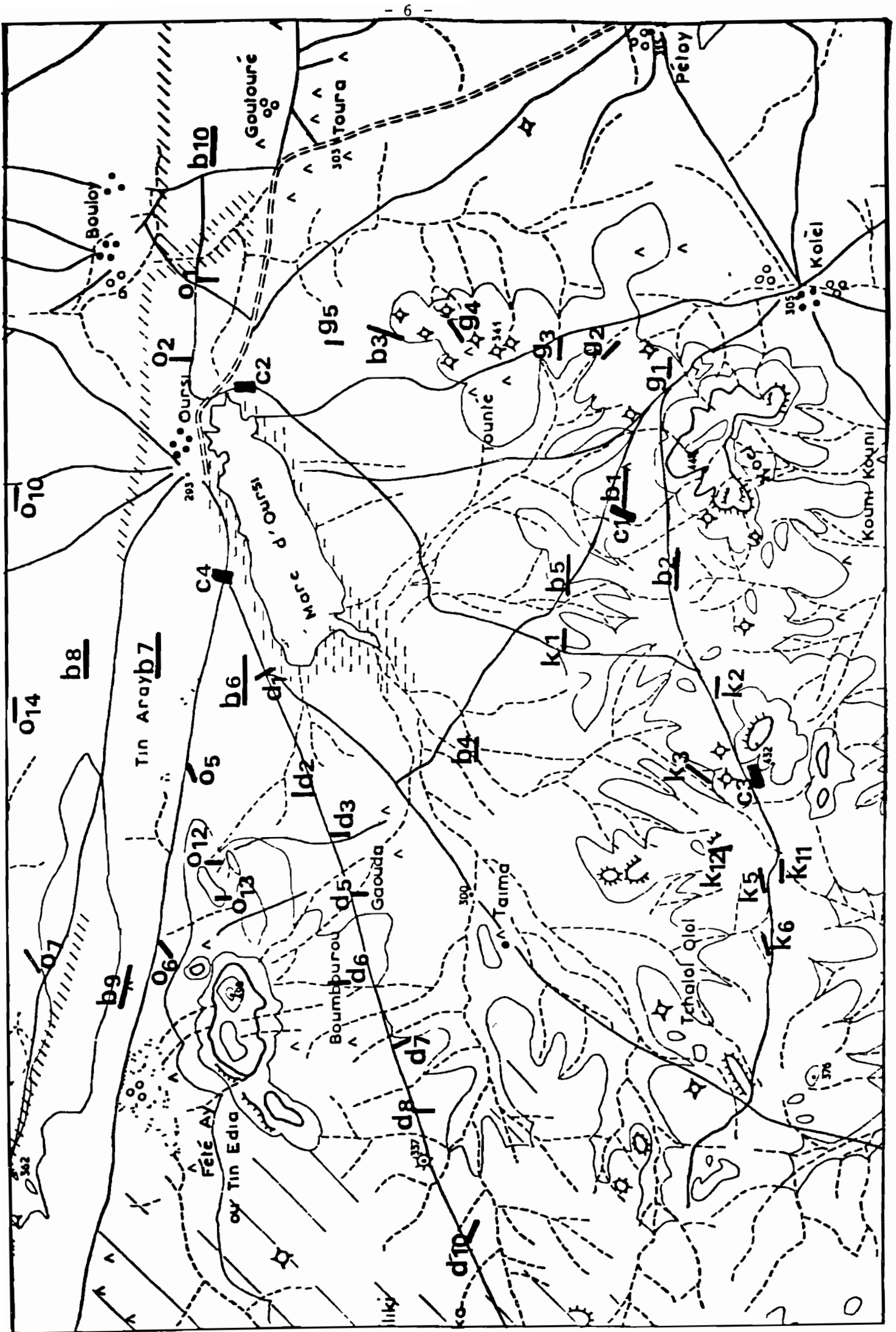


figure n° 1 Localisation des lignes et parcelles observées en 1986 -- 2 km échelle --

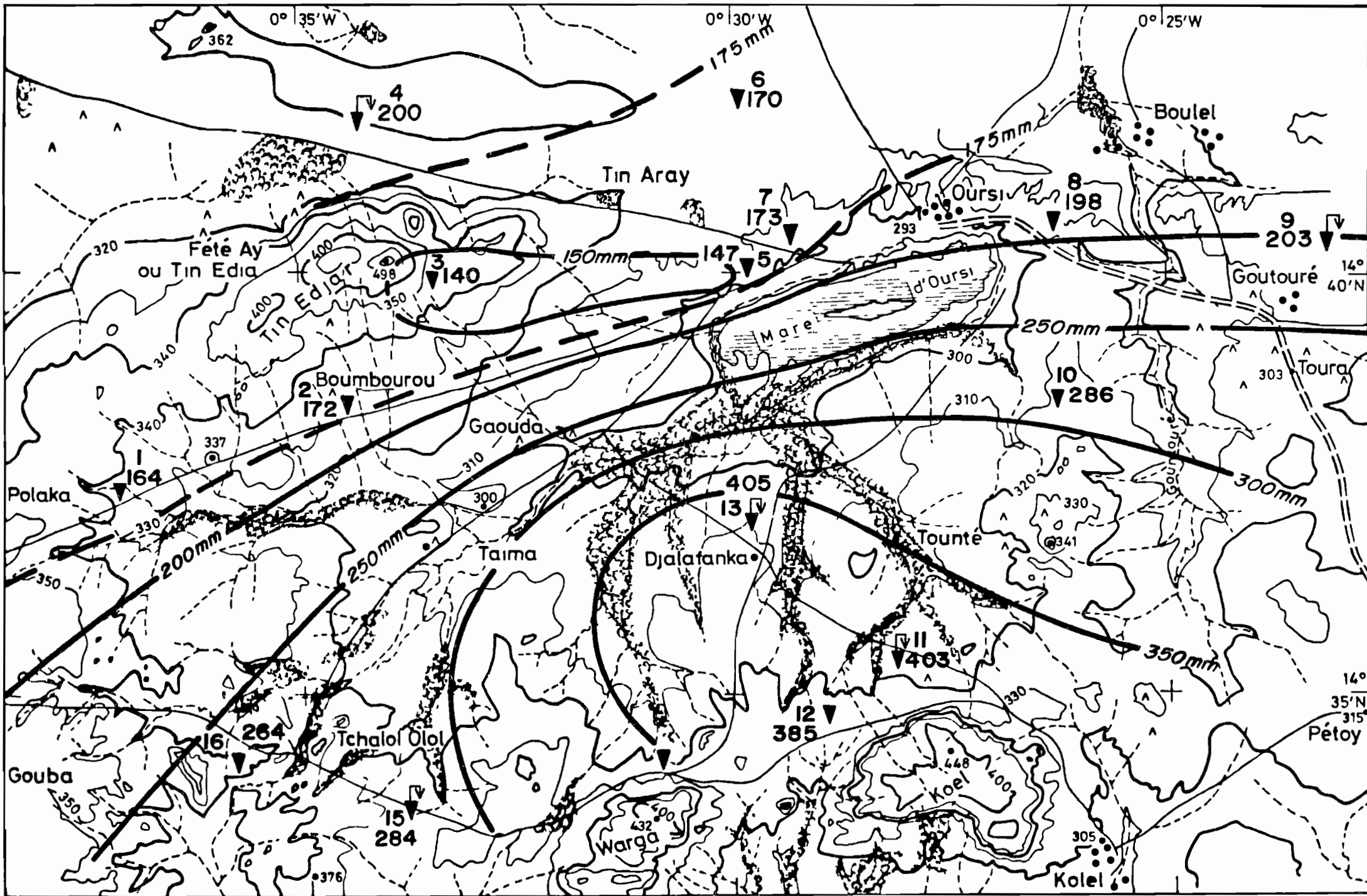
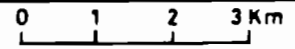
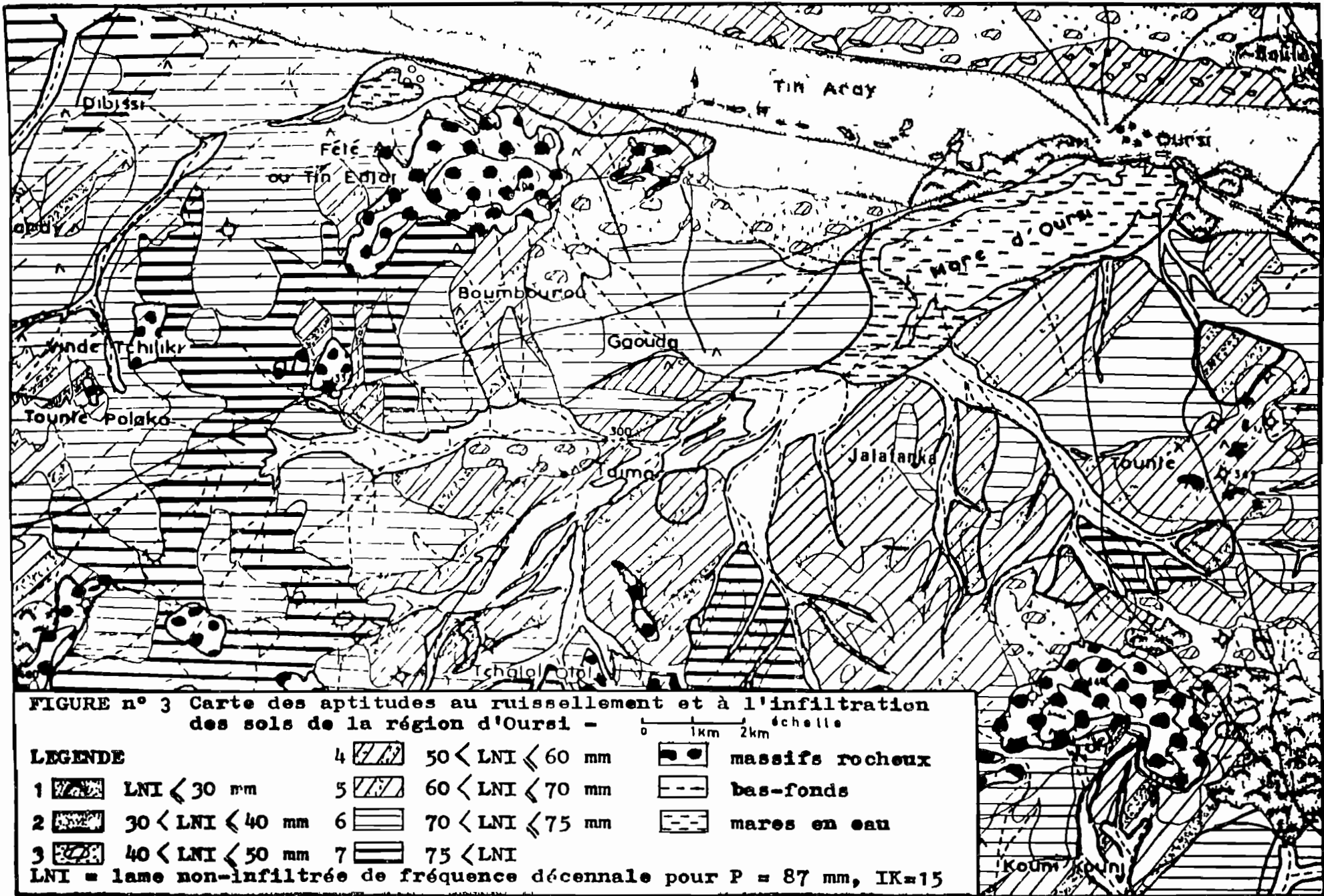


FIGURE 2 Pluviométrie annuelle en 1986 sur le bassin versant de la mare d'Oursi.





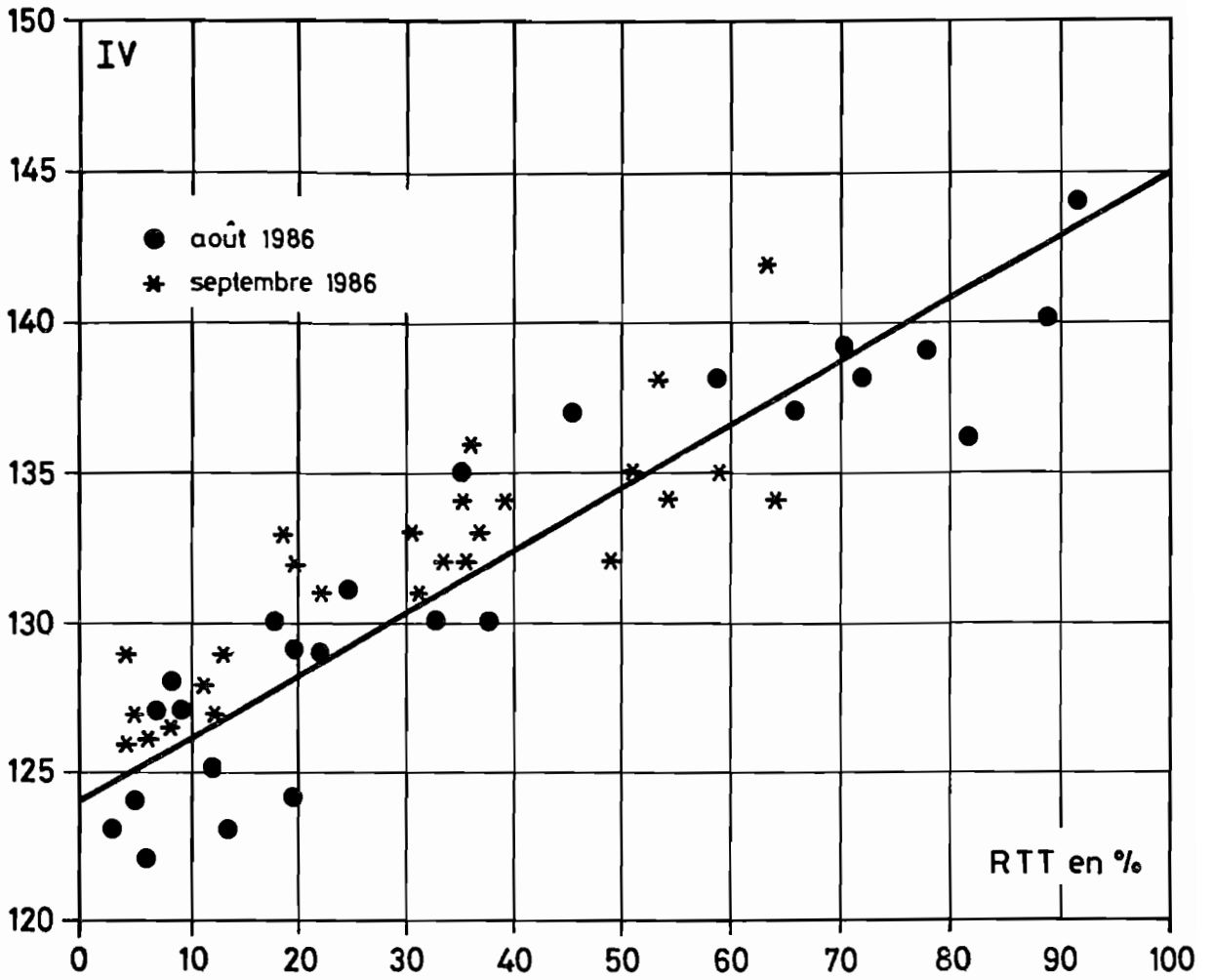


Figure 4 Régression entre l'indice de végétation (IV) et le recouvrement total de la végétation (RTT)

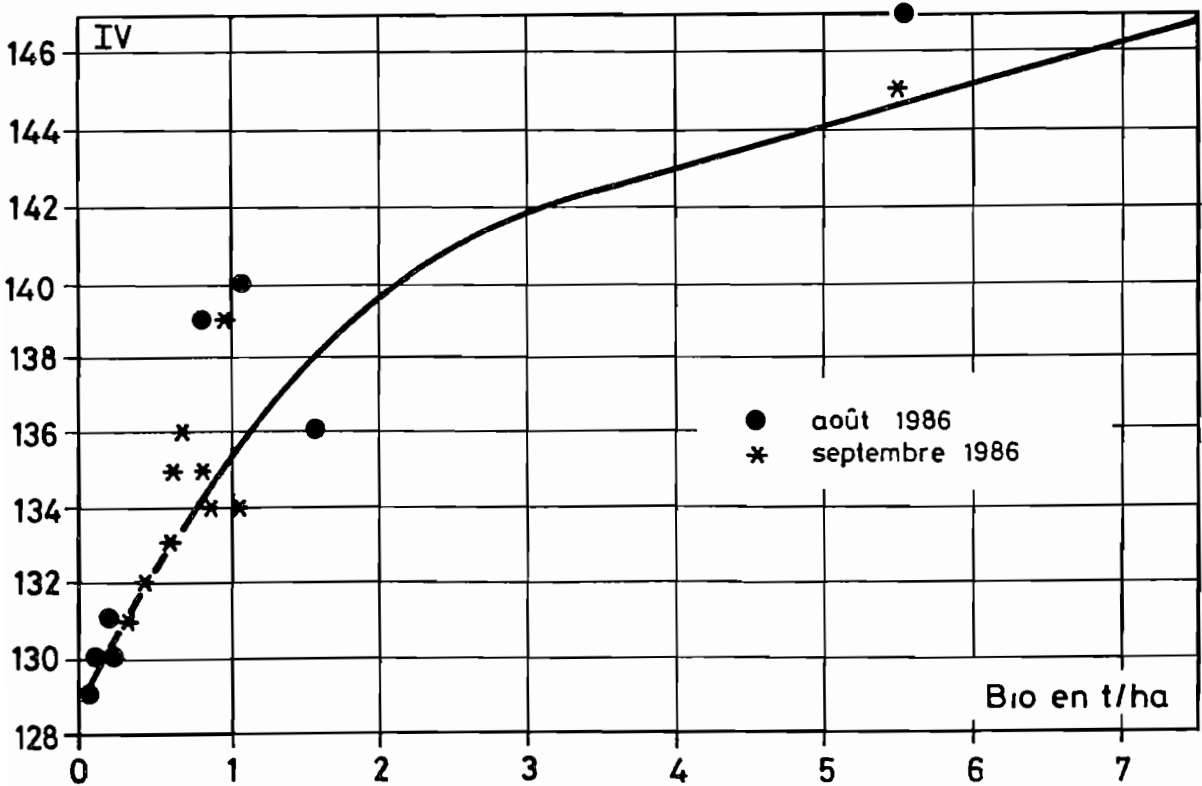


Figure 5 Régression entre la phytomasse herbacée (Bio) et l'indice de végétation (IV)

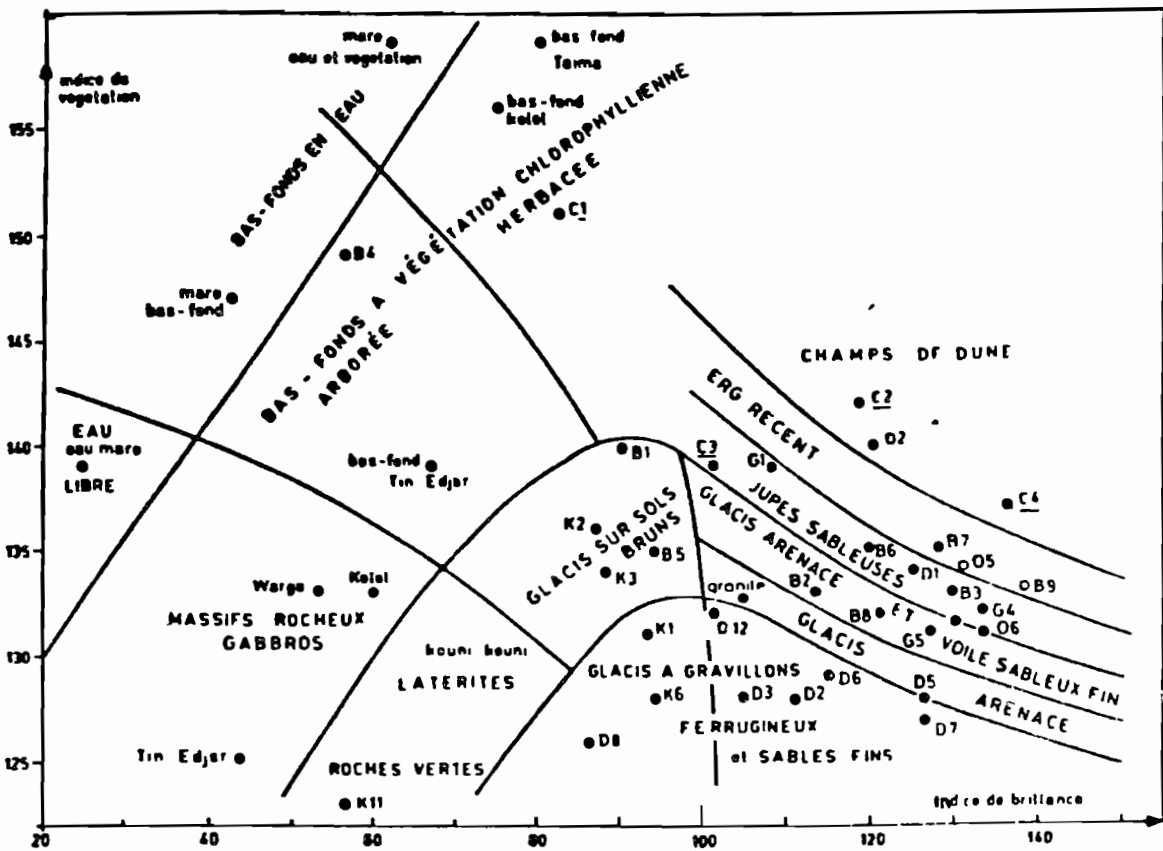


Figure n° 6 : Représentation numérique des transects dans le plan des indices brillance et végétation

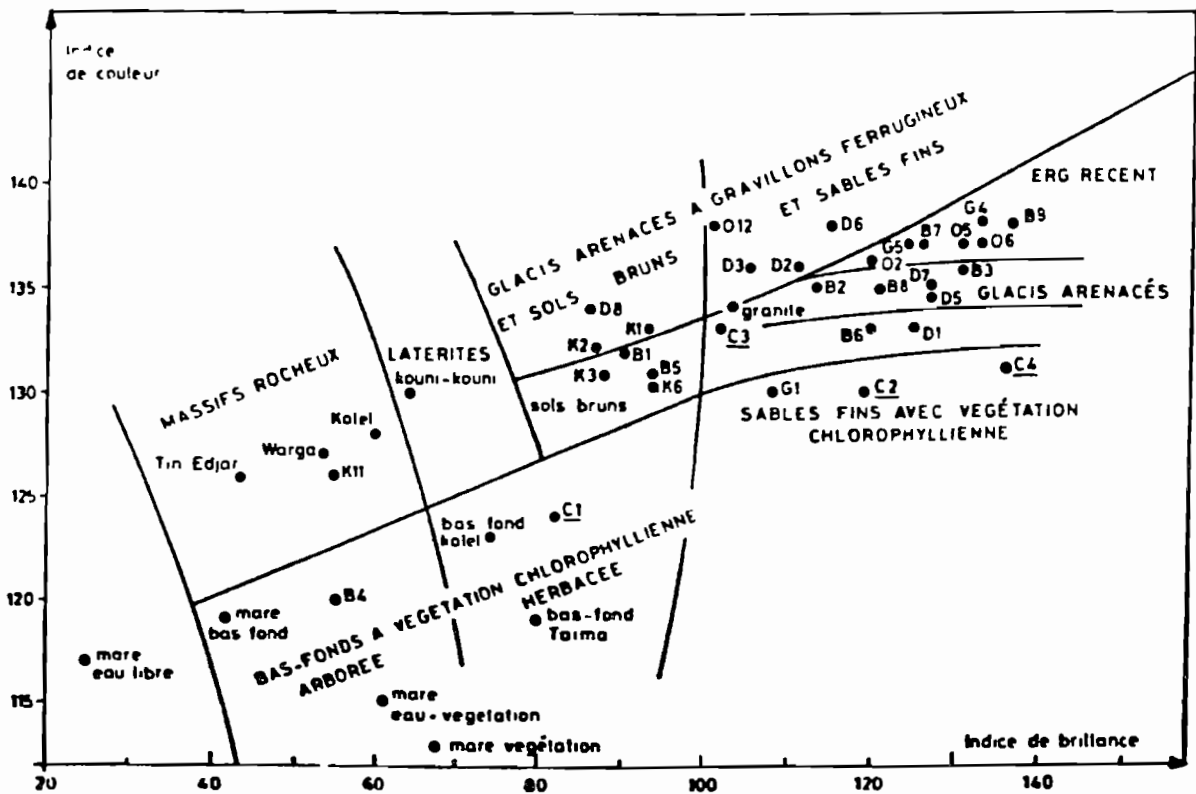
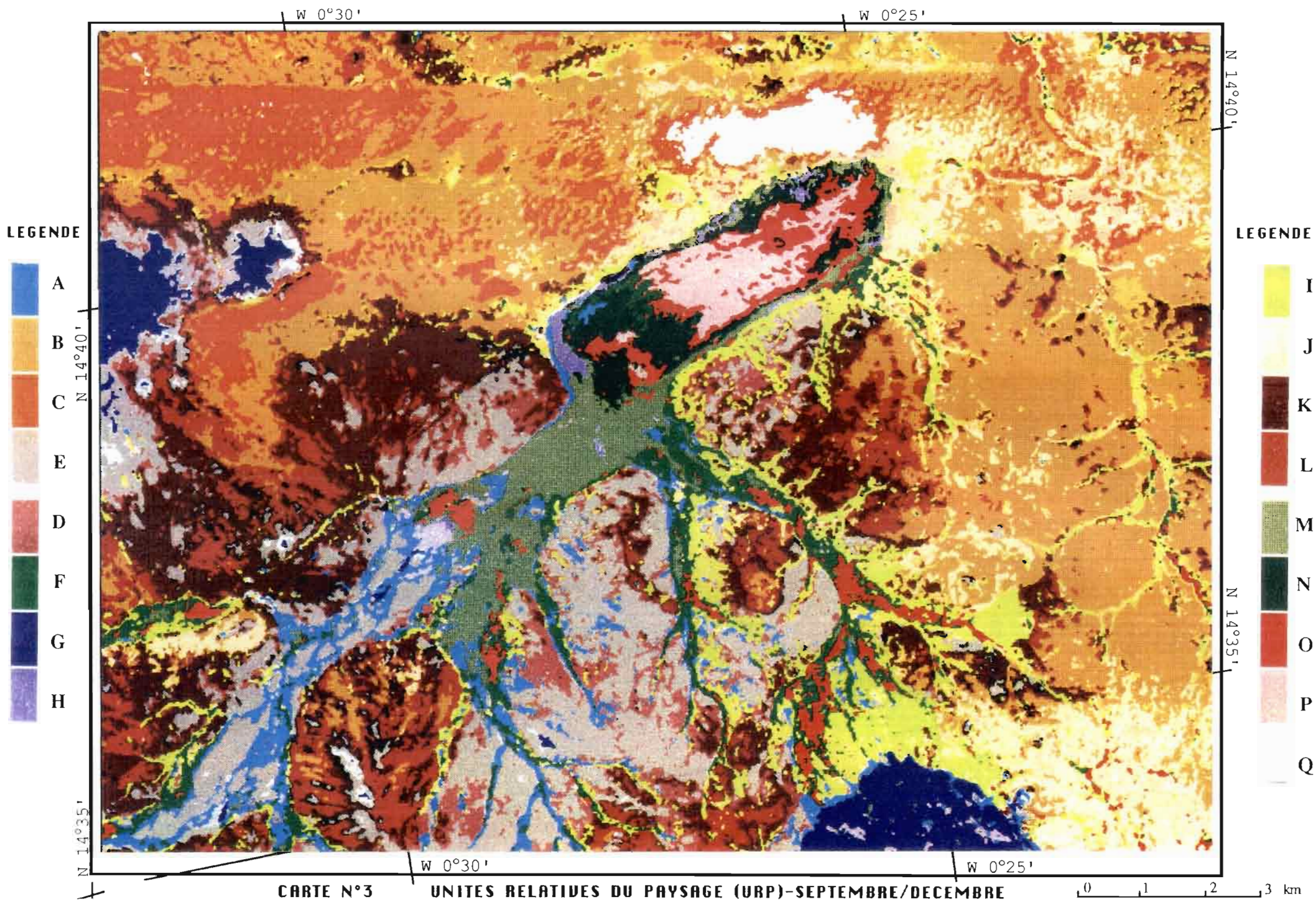


Figure n° 7 : Représentation numérique des transects dans le plan des indices brillance et couleur



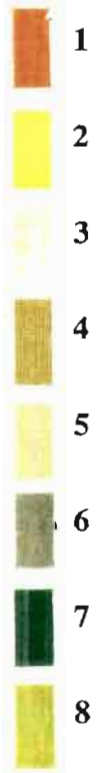
LEGENDE

CARTE n° 3

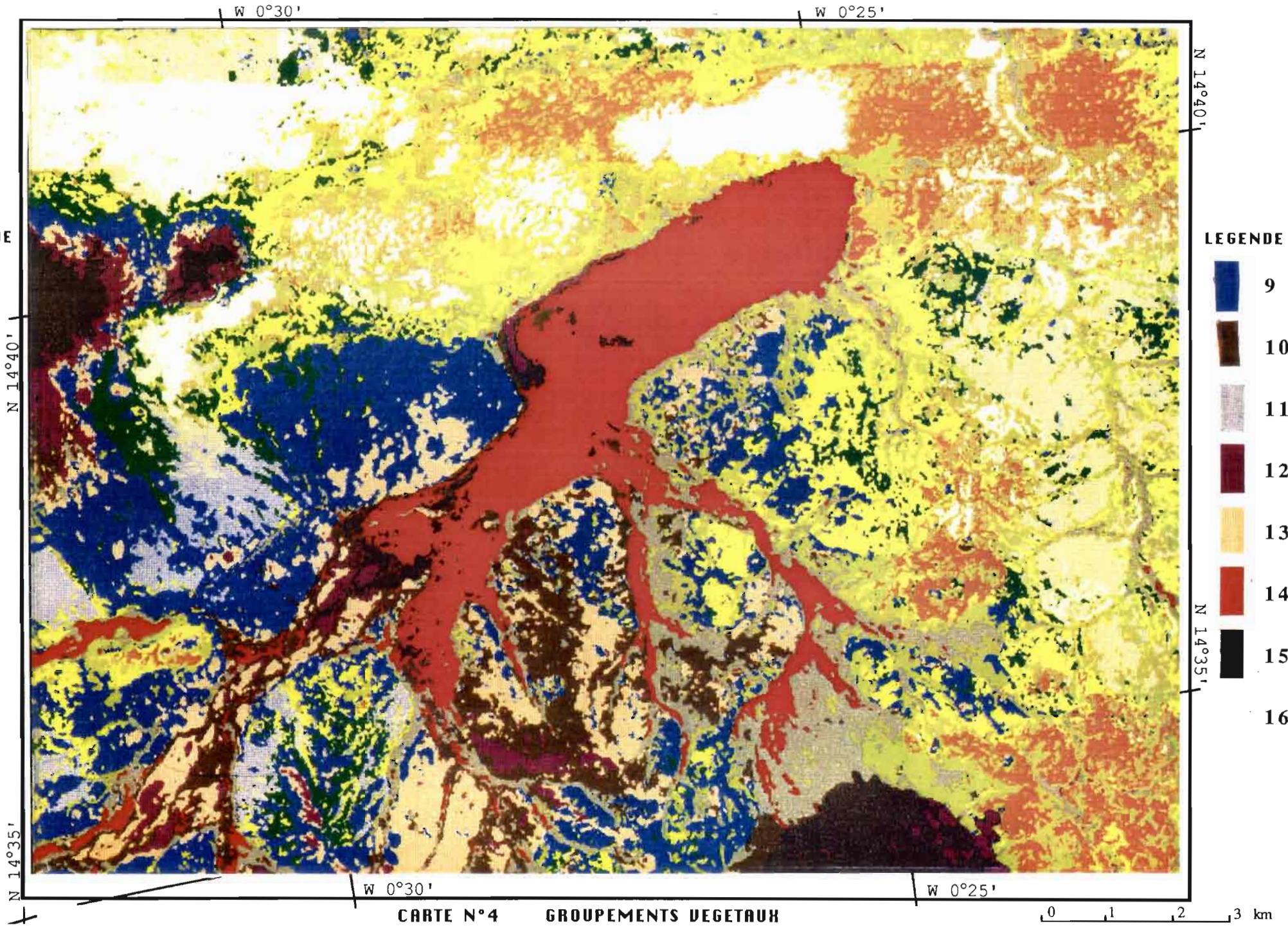
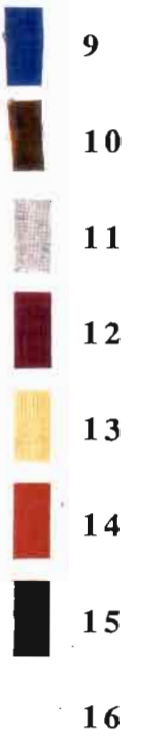
UNITES RELATIVES DU PAYSAGE,
CLASSIFICATION MULTIDATE : 4 SEPTEMBRE-17 DECEMBRE 1986

- A : glacis sur sols bruns autour du massif de Kolel, bas-fonds avec végétation
- B : arennes granitiques et cordons dunaires.
- C : sables éoliens peu couverts par la végétation herbacée, sables en voie de remobilisation
- D : glacis sur sols bruns avec un léger voile sableux éolien
- E : glacis sur sols bruns pierreux ou gravillonnaires
- F : vertisols des dépressions humides en décembre
- G : massifs de roches vertes, cuirasses ferrugineuses
- H : eau libre peu profonde de la mare d'Oursi en septembre.
- I : placages éoliens de pentes sableux et bas glacis à végétation abondante.
- J : champs sur sables éoliens
- K : glacis sur sols bruns
- L : glacis arenaces
- M : végétation ligneuse et herbacée dense en septembre
- N : eau libre profonde de la mare d'Oursi
- O : végétation dense de la mare d'Oursi submergée en septembre
- P : végétation de la mare d'Oursi active aux deux dates.
- Q : erg vif, sables éoliens sans couverture végétale

LEGENDE



LEGENDE



LEGENDE DE LA CARTE DES GROUPEMENTS VEGETAUX

Ensemble floristique à Combretum glutinosum, Gisekia pharnacioides etc sur dunes et ensablements

- 1 faciès arbustif à Combretum glutinosum, Commelina forskalei, Tephrosia lupinifolia, etc sur sables épais, erg récent ,
- 2 groupement à Eragrostis tremula, Ceratotheca sesamoides, etc sur sables épais, erg récent ,
- 3 faciès dégradé à Eragrostis tremula sur sables épais, erg récent ,
- 4 groupement à Achyranthes argentea, Combretum aculeatum sur sables épais compactés, partiellement à pellicule plasmique ,
- 5 groupement à Piliostigma reticulatum, Bauhinia rufescens et groupement à Maerua crassifolia sur sables compactés à pellicule plasmique, jupes sableuses ,

Ensemble floristique à Boerhavia repens, Schoenefeldia gracilis, Indigofera senegalensis sur substrat argileux ou argilo limoneux à recouvrement sableux plus ou moins important

a) groupement à Sida ovata, groupe des espèces psammophiles bien représenté (Limeum viscosum, Eragrostis pilosa, etc)

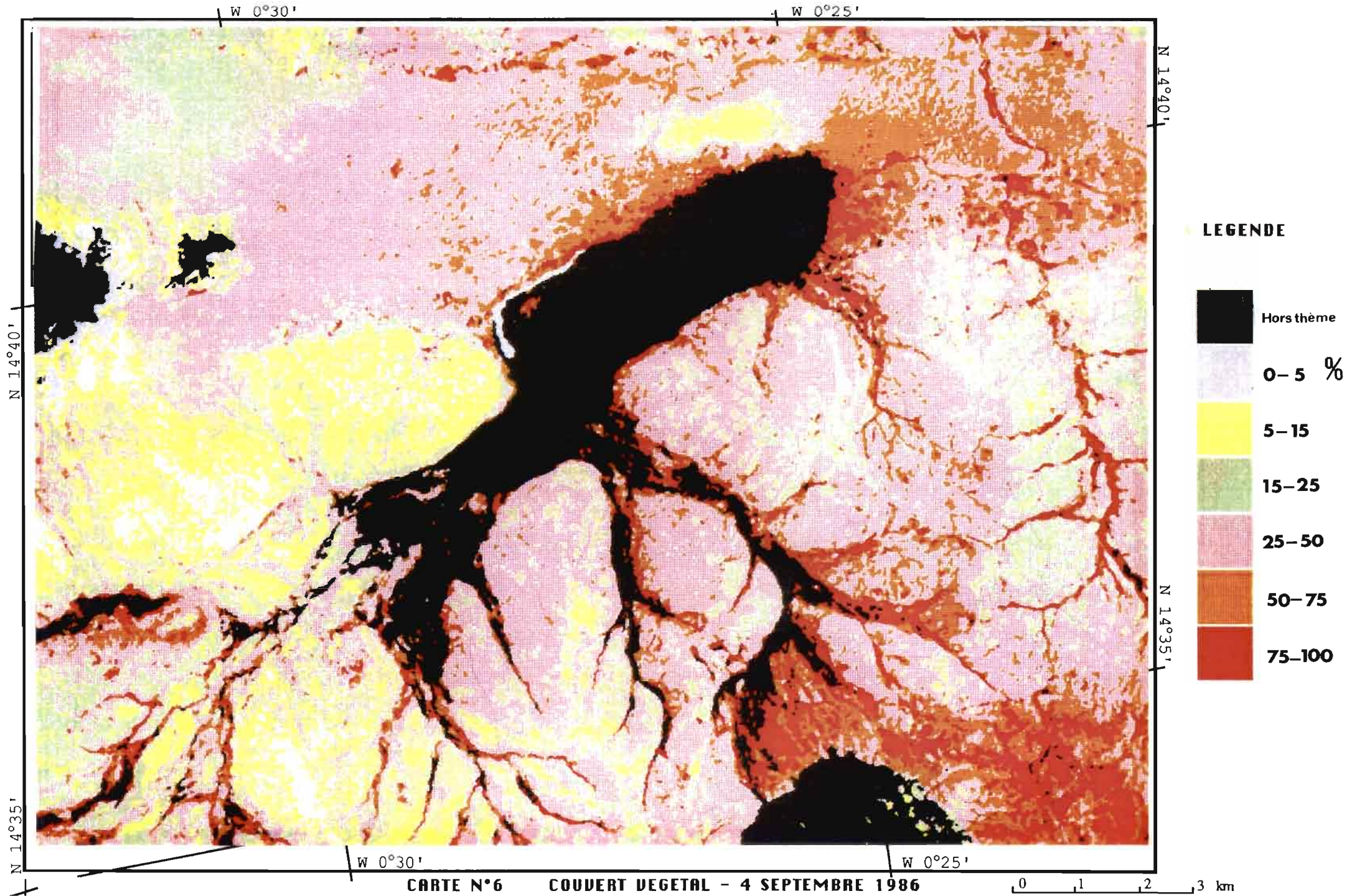
- 6 sur piedmonts et bas de pente ,
- 7 sur glacis arénacés ,

b) groupement à Cucumis ficifolius, Acacia laeta, etc groupe des espèces psammophiles moins largement représenté (Eragrostis tremula, Limeum pterocarpum)

- 8 sur jupes sableuses ,
- 9 sur glacis arénacés et à gravillons ferrugineux ,

c) groupement à Pterocarpus lucens, Cienfuegosia digitata, Acacia laeta, Panicum laetum, etc Espèces psammophiles rares

- 10 sur sols bruns ,
- 11 sur glacis arénacés ,
- 12 sur vertisols ou glacis à gravillons ferrugineux ,
- 13 groupement à psammo-hygrophiles (Digitaria horizontalis, Achyranthes argentea), sur sols bruns ,
- 14 bas-fonds et dépressions, mare ,
- 15 massifs rocheux ,
- 16 erg vif



W 0°30'

W 0°25'

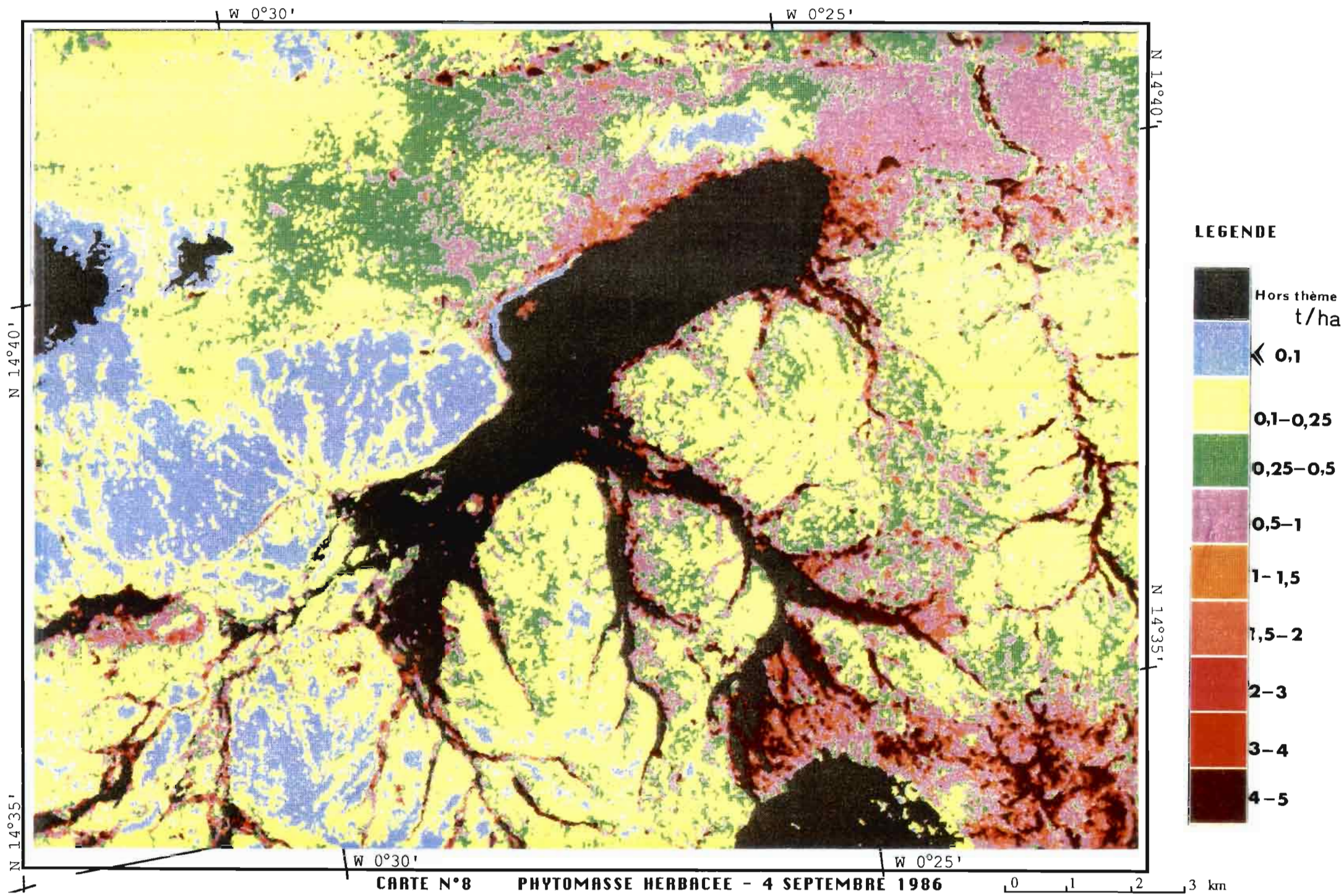
N 14°35'

N 14°35'

N 14°40'

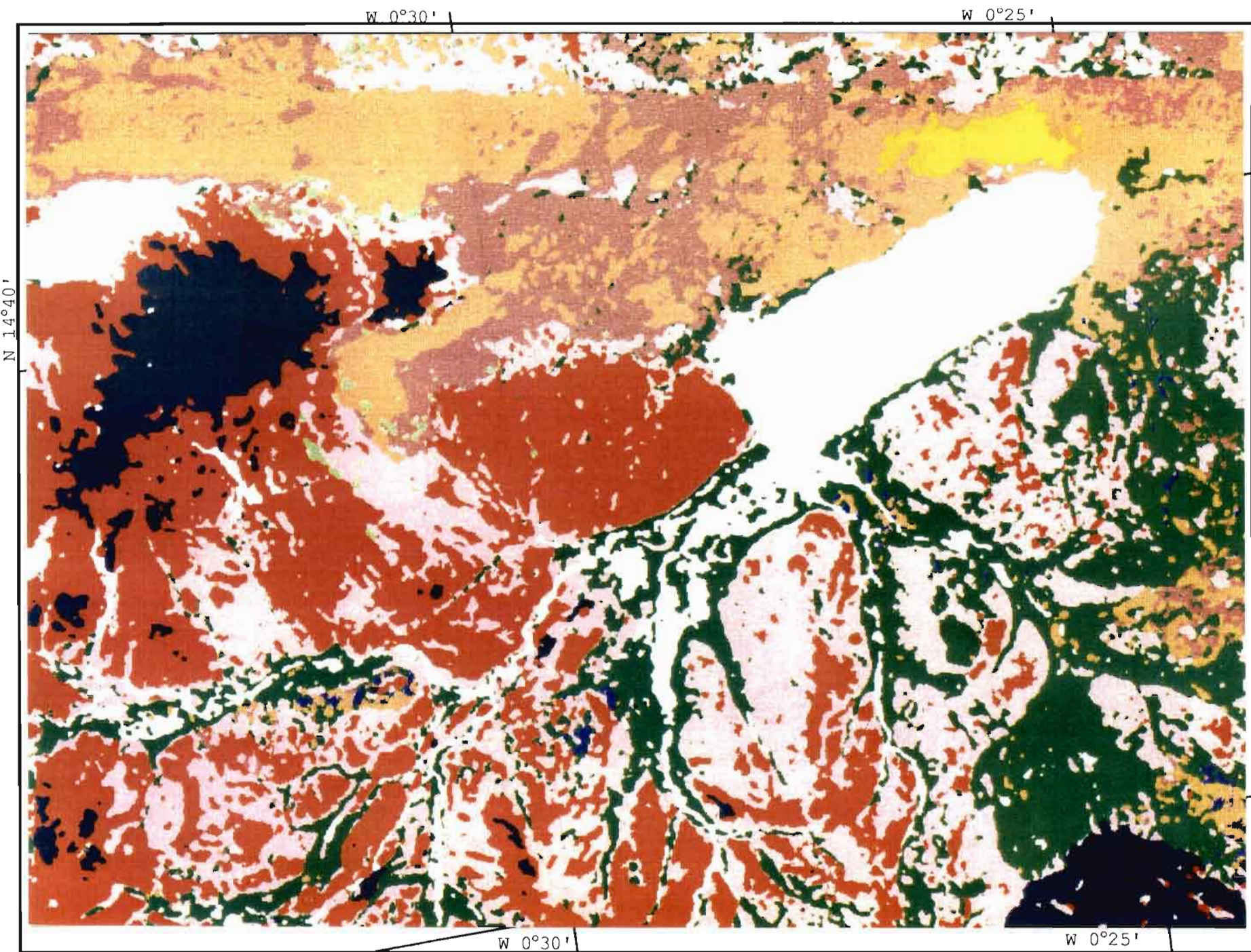
CARTE N°6 COUVERT VEGETAL - 4 SEPTEMBRE 1986

0 1 2 3 km



CARTE N°8 PHYTOMASSE HERBACEE - 4 SEPTEMBRE 1986

0 1 2 3 km



LEGENDE

- H1
- H2
- H3
- H4
- H5
- H6
- H7
- H8
- H9
- H10

CARTE N° 9 APTITUDES AU RUISSELLEMENT ET A L'INFILTRATION

0 1 2 3 km

Cartes des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration de la
région d'Oursi

Légende

- H1 Erg vif et champs fraîchement sarclés sur sables fins épais
-3
LR = $0,27P + 4,8 \cdot 10^{-3} P IK - 0,037 IK - 2,8$
Fréquence décennale LNI = 26 mm
Champs C2 et C4
- H2 Sables fins couverts à moins de 10 % par des pellicules plasmiques
sans végétation
-3
LR = $0,40 P + 3,5 \cdot 10^{-3} P IK + 0,009 IK - 5,1$
Fréquence décennale LNI = 34 mm
Champs C2, C3, C4 après 100 mm de pluies sur les sarclages
Lignes B6, B7, B9, B10, D1, G1, O1, O2, O10 et O14.
- H3 H4 Sables fins couverts à plus de 10 % et moins de 25 % par des
pellicules plasmiques sans végétation.
-3
LR = $0,5 P + 3,2 \cdot 10^{-3} P IK - 0,008 IK - 4,0$
Fréquence décennale LNI = 44 mm
Lignes O5, O7, O11
- H5 - H6 Sables fins couverts à plus de 25 % et moins de 50 % par des
pellicules plasmiques sans végétation
Glacis recouverts à plus de 30 % de sables fins peu épais bien
enherbes.
-3
LR = $0,60 P + 2,5 \cdot 10^{-3} P IK - 0,006 IK - 3,6$
Fréquence décennale LNI = 52 mm
Lignes O6, B1, B5, B5 champs C1
- H7 Glacis et jupes sableuses couverts à plus de 15 % et moins de 30%
par la végétation herbacée ou par des sables fins bien enherbés.
-3
LR = $0,84 P + 0,9 \cdot 10^{-3} P IK + 0,16 IK - 9,1$
Fréquence décennale LNI = 67 mm
Lignes G3, G4, G5, K11, D2, B2
- H8 Glacis couverts à moins de 15 % par la végétation herbacée.
-3
LR = $0,91 P + 0,7 \cdot 10^{-3} P IK + 0,14 IK - 8,7$
Fréquence décennale LNI = 73 mm
Lignes D5, D10, D3, D7, K1, K2, G2
- H9 Bas-fonds humides en saison des pluies
Somme des pluies depuis le début de la saison supérieure à 150 mm
LR = $0,9 P$
- H10 Massifs rocheux
LR = $0,25 P$

Carte des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration de la région d'Oursi

Les mesures de ruissellement, réalisées en zone sahélienne avec le simulateur de pluie (A. Casenave, C. Valentin, 1989), jointes aux descriptions des parcelles de mesure, ont permis d'attribuer à chaque surface élémentaire de la région d'Oursi une relation de la forme :

$$LR = a P IK + b IK + CP - d$$

où LR est la lame ruisselée,
P est la pluie exprimée en millimètres,
IK est l'indice d'humectation des sols, fonction des précipitations antérieures (P_{n-1}) et des intervalles de temps entre ces précipitations

$$IK_n = \left(IK_{n-1} + \frac{P_{n-1}}{e} \right) - 0,5 \frac{t}{n-1}$$

a, b, c, d sont des constantes liées au type de surface

Sur le bassin versant de la mare d'Oursi, 17 relations hydrodynamiques élémentaires ont été établies. Ces relations sont notées R1 à R17.

Les lignes d'observation, situées sur les zones visuellement homogènes de l'image SPOT, ont été décrites de telle sorte que l'on puisse déterminer les pourcentages des surfaces élémentaires rencontrées au cours du cheminement sur chaque ligne

Sans tenir compte des effets dus au transfert des eaux de ruissellement sur les versants, nous avons formulé pour chaque transect une relation hydrodynamique de la forme :

$$RT_j = \sum_{i=1}^{i=n} a_{i,j} R_{i,j} \quad \text{avec } a_{i,j} = \frac{l_{i,j}}{L_j}$$

où RT_j est la relation hydrodynamique du transect j,

$l_{i,j}$ est la longueur occupée sur le transect j par la surface élémentaire i,

$R_{i,j}$ est la relation hydrodynamique de la surface élémentaire i,

L_j est la longueur du transect j

Une utilisation intéressante de ces relations consiste à calculer pour chaque ligne la hauteur d'eau que nous appellerons lame non-infiltrée de fréquence décennale. La pluie ponctuelle journalière de fréquence décennale, mesurée au pluviomètre standard placé 1 mètre au-dessus du sol, a été estimée à 67 millimètres.

Au niveau du sol, la pluie ponctuelle journalière de fréquence décennale peut être estimée à 87 millimètres. En supposant que la pluie de fréquence décennale survient dans des conditions moyennes d'humectation des sols, c'est-à-dire pour un indice de Kohler égal à 15 millimètres, nous avons calculé cas par cas les lames non-infiltrées correspondantes.