

**LE PROGRAMME D'EVALUATION PRELIMINAIRE  
SPOT N° 149-SPOT OURSI  
OBSERVATIONS AU SOL, PHOTO-INTERPRETATION  
ET TRAITEMENTS NUMERIQUES D'IMAGES SATELLITAIRES  
SUR LE BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSI**

**J. L. DEVINEAU, A. FOURNIER, J.M. LAMACHERE, G. MALEK  
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT  
EN COOPERATION - ORSTOM 01 BP 182 - OUAGADOUGOU 01 -**

## **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,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 du couvert végétal sur les champs (C1 à C4) ont été faites au cours de la troisième période.

Un réseau de 5 pluviographes et 11 pluviomètres fut installé dès le 11 Juin 1986. La mesure des hauteurs pluviométriques et des intensités s'y poursuivirent jusqu'à la fin du mois de Septembre 1986. Les pluviométries annuelles observées entre le 11 Juin et le 30 Septembre 1986 sont reportées sur la figure n° 2. On remarquera l'extrême variabilité spatiale des précipitations qui caractérise les régions sahéliennes : le total pluviométrique de l'année 1986 est inférieur à 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 à la réussite du programme était l'obtention d'images SPOT au cours de la saison des pluies 1986. L'examen des enregistrements héliographiques de la station météorologique de jalafanka, située à 4 kilomètres au sud de la mare d'Oursi, laissait espérer l'absence de couvert nuageux un jour sur trois au cours des périodes les plus pluvieuses. Nous avons donc demandé à la société SPOT IMAGE une programmation répétitive entre le 20 Juillet et le 15 Août puis entre le 20 Août et le 15 Septembre 1986, à chaque passage du satellite SPOT 1. Cette exigence a été pleinement satisfaite puisque nous avons finalement obtenu les scènes suivantes :

- la scène 1, prise le 9 Août 1986 sans nuages mais non corrigée des effets barrettes ;
- la scène 2, prise le 4 Septembre 1986 sans nuages, d'excellente qualité ;
- la scène 3, prise le 17 Décembre 1986 et la scène 4, prise le 27 Mai 1987, toutes deux de bonne qualité.

### 3. INTERPRETATION VISUELLE DES IMAGES SATELLITAIRES SPOT

Le paysage de la région d'Oursi se subdivise en quatre grandes unités : le système dunaire, qui comprend l'erg ancien, l'erg récent et les jupes sableuses ; les massifs rocheux, buttes cuirassées et inselbergs granitiques ; les glacis, qui se distinguent les uns des autres par leur recouvrement minéral et végétal ; les bas-fonds, les thalwegs et les mares formant le réseau hydrographique.

L'examen visuel des images SPOT, prises dans la région d'Oursi au cours de l'hivernage 1986, montre que les grandes unités de paysage peuvent être décomposées en zones visuellement homogènes, à la fois par leur composition colorée, leur texture et leur structure. La clef de l'interprétation des couleurs de l'image SPOT prise le 4 Septembre 1986 est la suivante : la couleur rouge est associée à l'existence d'une végétation chlorophyllienne herbacée, arborée ou aquatique ; la couleur vert clair à gris très clair est associée aux sables grossiers d'origine granitique ; la couleur jaune est associée aux sables fins d'origine éolienne, dunes et jupes sableuses.

La morphologie des tâches colorées peut être limitée dans la région d'Oursi à cinq grands ensembles. Les formes ramifiées caractérisent le réseau hydrographique qui converge vers les bas-fonds et les mares, donnant un aperçu sommaire de la topographie. Les formes massives aux bords festonnés caractérisent les massifs rocheux : Kodel, Warga, Gouba, Tin Edjar d'où divergent les ramifications du réseau hydrographique. Les formes en flots caractérisent les buttes cuirassées et les inselbergs granitiques : Kouni-Kouni, jalafanka, Gountouré. Les formes en îles allongées, très découpées, caractérisent l'affleurement de cuirasses latéritiques ennoyées sous un sol peu épais. Les larges bandes claires, orientées d'Ouest en Est, caractérisent le système dunaire qui se fragmente en tâches claires aux formes ambiennes 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 NUMERIQUES 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 1 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 256. A 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 néocanaux, 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 :

$$IB = XS3 - XS2 - 100 \text{ ou } IB = \frac{XS2}{2} + \frac{XS3}{3}$$

- l'indice de végétation

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

- 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 de 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. Deniveau 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 nombre de classes fixées à l'avance. Une signification thématique à 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. LAMACHERE et B. LORTIC en utilisant la classification réalisée par J. L.

DEVINEAU sur le couvert végétal de l'image SPOT du 4 Septembre 1986 et le classification réalisée par C. Malek sur l'image SPOT du 17 Décembre 1986 pour cartographier numériquement l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des sols de la région d'Oursi (carte n° 9).

## 5. CARTES THEMATIQUES, RESULTATS

### La carte des groupements végétaux (carte n° 4)

La méthode cartographique utilisée par A. FOURNIER consiste, d'une part, à faire une partition de l'ensemble des relevés fondé sur leur similitude floristique et, d'autre part, à réaliser une partition similaire sur les valeurs radiométriques données par l'image SPOT. La confrontation de ces deux classifications permet de définir des classes radiométriques, statistiquement différentes les unes des autres et ayant une signification floristique.

### Les cartes du couvert végétal (cartes n° 5 et 6)

Une relation présentée sur la figure n° 4, a été établie entre les valeurs moyennes de l'indice de végétation et les valeurs moyennes du couvert végétal (recouvrement, phytovolume) estimées au sol sur des sites repérés avec précision sur les images SPOT.

L'indice utilisé est l'indice de végétation verte :

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

Cet indice est lié au recouvrement total de la végétation par la relation :

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

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les droites de régression des mois d'Août et Septembre. La carte n°5 présente le couvert végétal de la région d'Oursi du 9 Août 1986.

### LES CARTES DE LA PHYTOMASSE HERBACEE (Carte n°8)

L'estimation des phytomasses herbacées sur l'ensemble du bassin versant de la mare d'Oursi à partir des images spatiales est fondée sur l'établissement d'une relation

entre l'indice de végétation obtenu sur les images SPOT et la phytomasse herbacée estimée par la méthode de la coupe. Au total, les corrélations entre indice de végétation et phytomasse ont été établies à partir de 16 couples de mesures correspondant à des formations de glacis et de dunes auxquels s'ajoutent les mesures réalisées sur deux sites du bord de la mare à phytomasse forte. Sur les scènes d'Août et Septembre, l'indice de végétation (IV) est relié à la phytomasse herbacée (P) par la relation :

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

Cette relation est utilisée pour établir la carte des phytomasses en Août et Septembre 1986. La phytomasse moyenne, calculée à partir de la scène du 4 Septembre 1986, est de 0,708 tonne par hectare pour une pluviométrie annuelle de 405 mm à la station de Jalafanka.

#### LA CARTE DES APTITUDES AU RUISSELLEMENT ET A L'INFILTRATION (Carte n°9)

Chaque ligne d'observation sur le terrain est constituée de surfaces élémentaires aux caractéristiques 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 où 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 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 Didactiques - 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 - 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.

W 0°30'

W 0°25'

N 14°40'

LEGENDE

- A
- B
- C
- E
- D
- F
- G
- H

LEGENDE

- I
- J
- K
- L
- M
- N
- O
- P
- Q



N 14°35'

N 14°35'

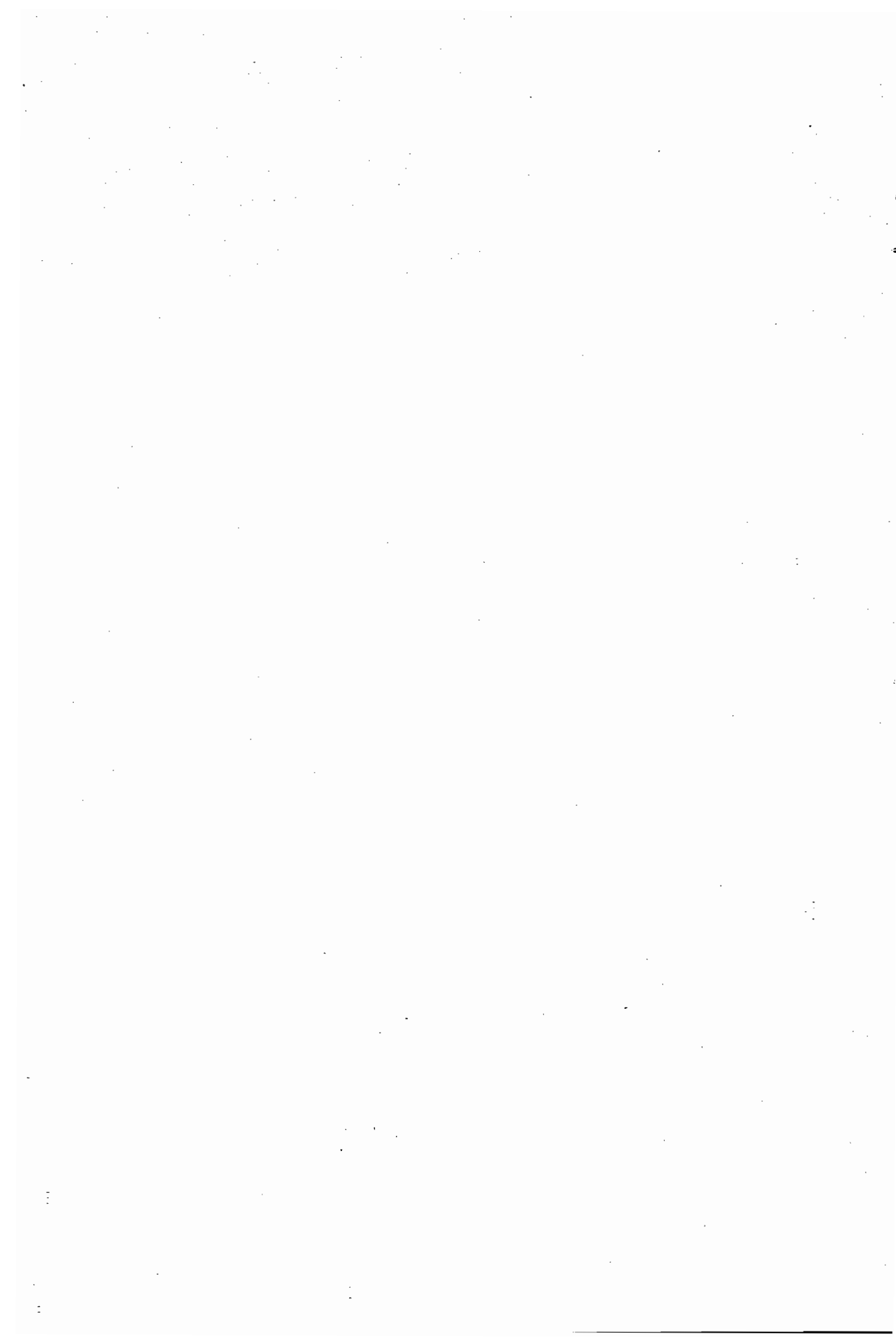
W 0°30'

W 0°25'

CARTE N°3 UNITES RELATIVES DU PAYSAGE (URP)-SEPTEMBRE/DECEMBRE

0 1 2 3 km

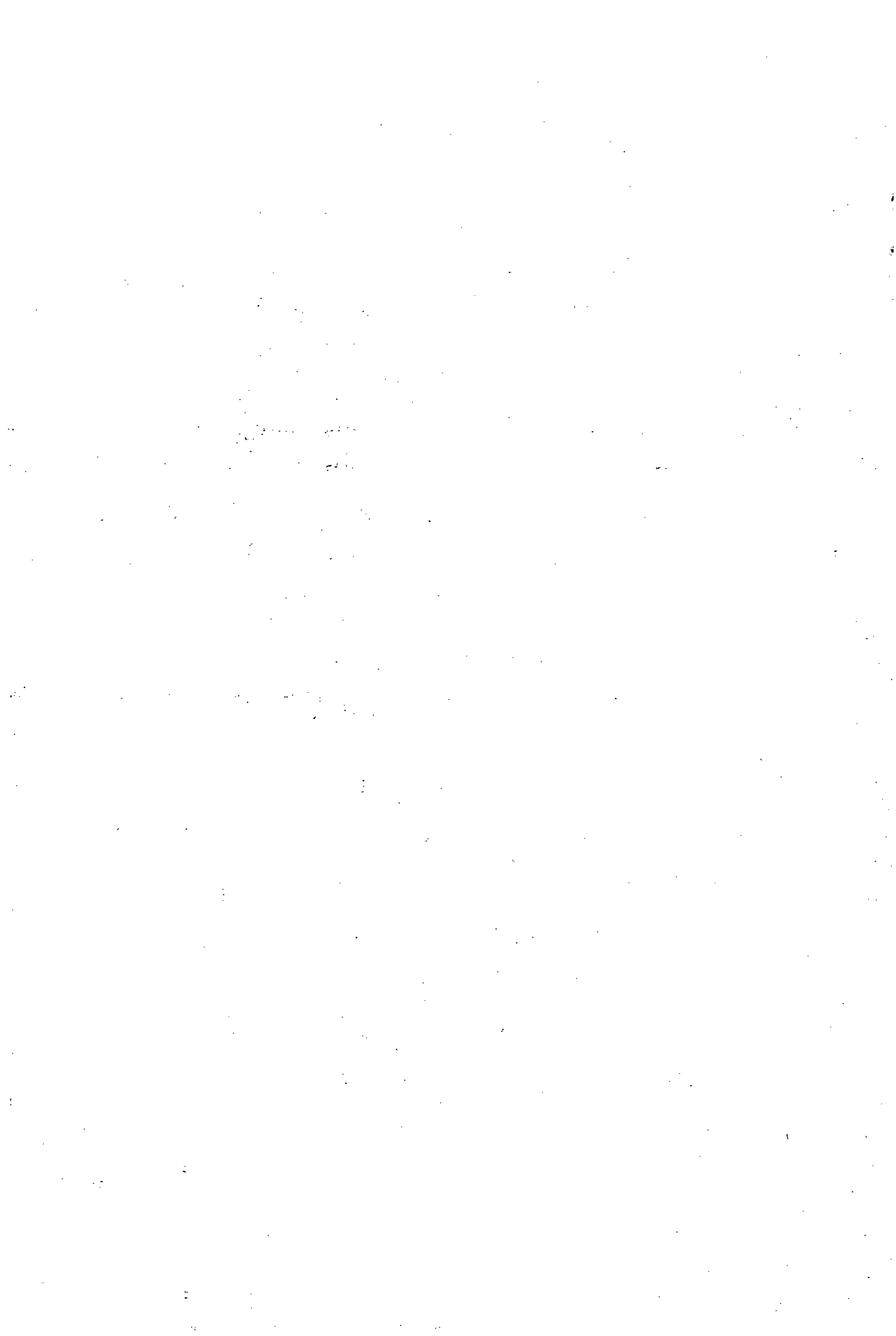




## LEGENDES CARTE N° 3

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

- A : Glacis sur sols bruns autour du massif de Kodel, bas-fonds avec végétation
- B : Arènes 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 de la mare d'Oursi en Septembre
- H : Eau libre peu profonde de la mare d'Oursi en Septembre
- I : Placages éoliens de piémonts sableux et bas glacis à végétation abondante
- J : Champs sur sables éoliens
- K : Glacis sur sols bruns
- L : Glacis arénacés
- 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.

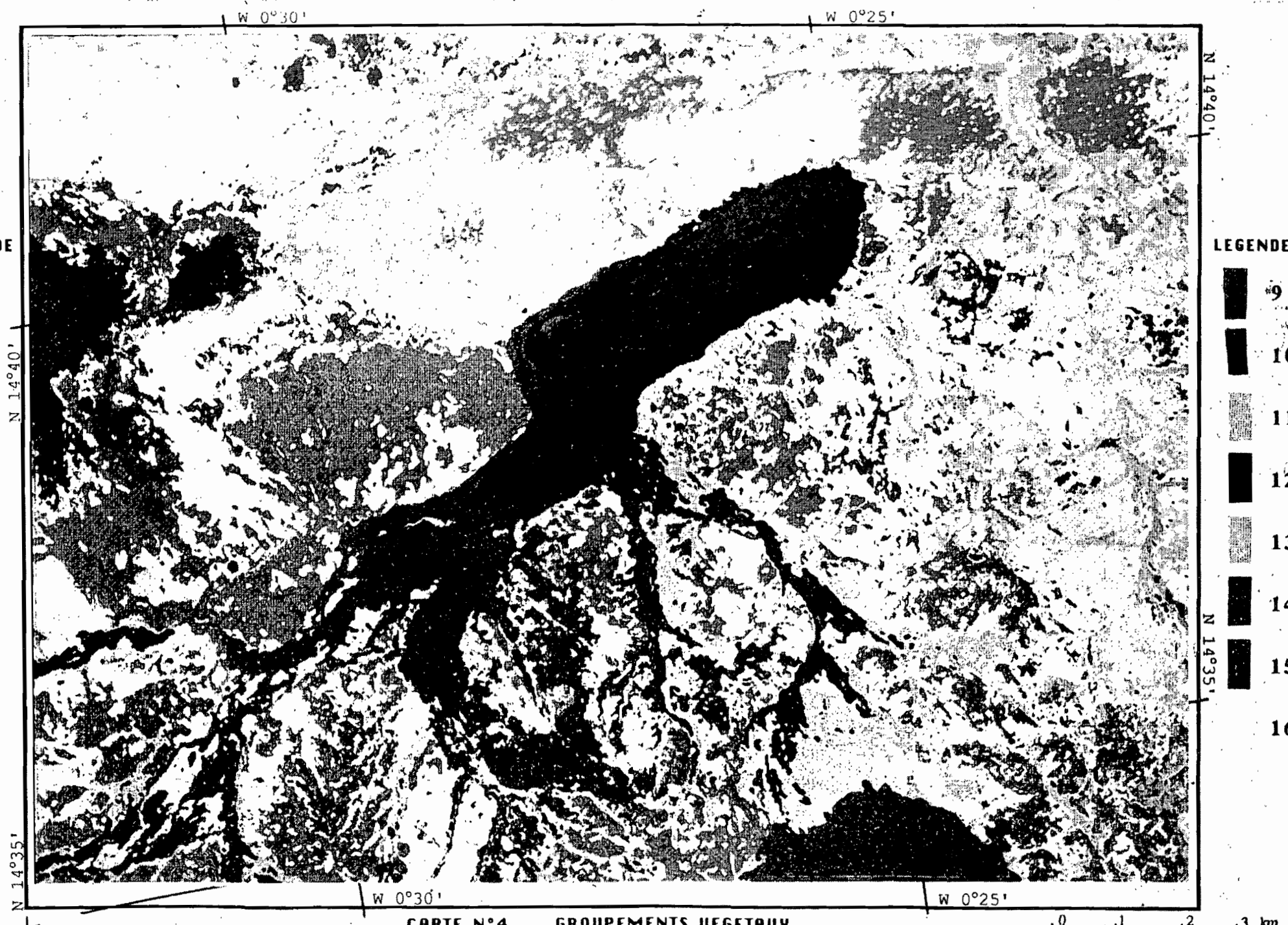


LEGENDE

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

LEGENDE

- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16



CARTE N°4 GROUPEMENTS VEGETAUX

0 1 2 3 km

## LEGENDES DE LA CARTE DES GROUPEMENTS VEGETAUX

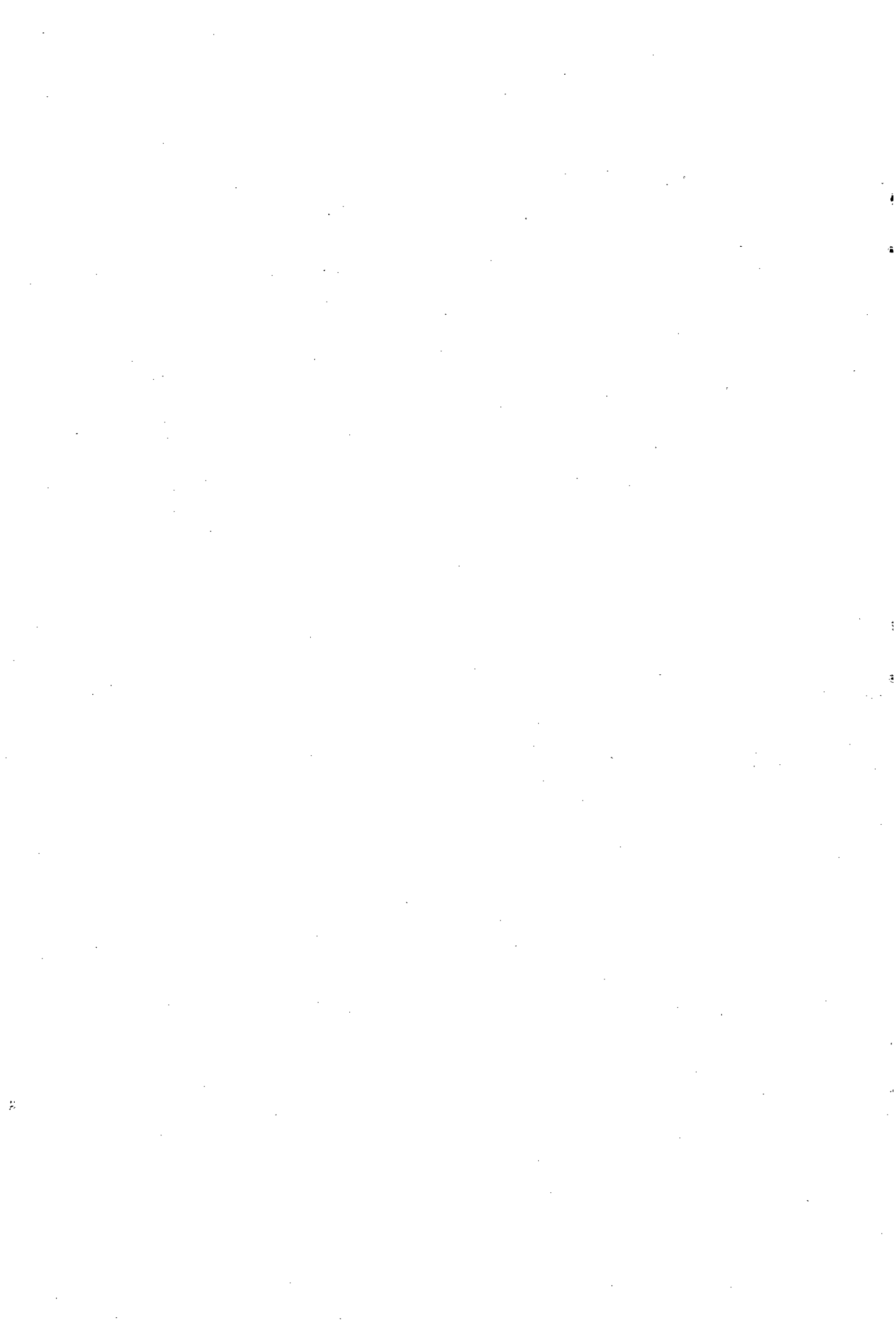
Ensemble floristique à Combretum glutinosum, Gisekia pharnacioides etc... sur dunes et ensablements.

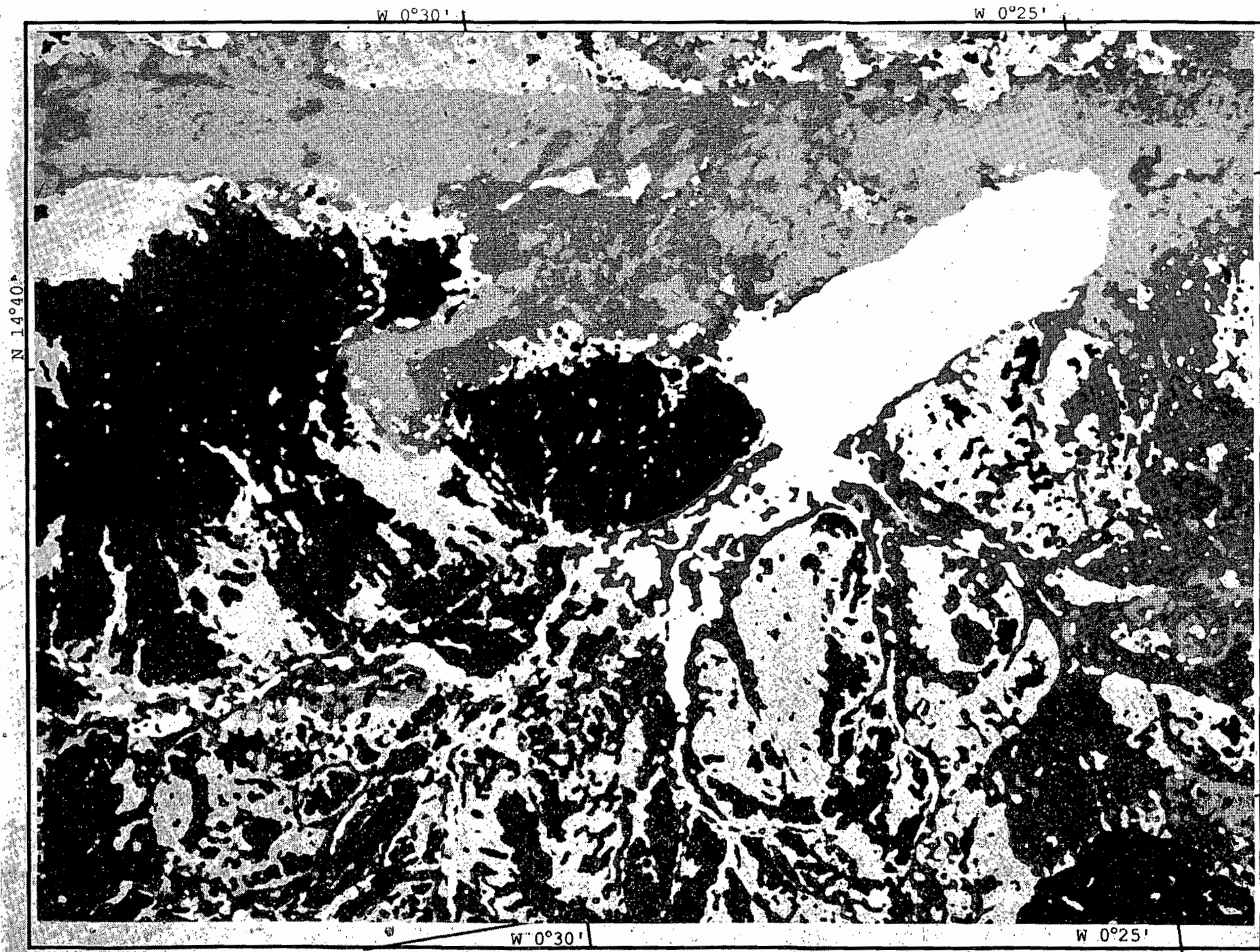
1. faciès arbustif à Combretum glutinosum, Commeline korskaei, Tephrosia lupinifolia, etc. sur sables épais, erg récent;
2. groupement à Eragrostis tremula, Ceratotheca sesamoides, etc. sur sables épais, erg récent ;
3. faciès dégradé à Eragrostis tremula sur sables épais, erg récent ;
4. groupement à Achyranthes argentea, Combretum aculeatum sur sables épais compactés, partiellement à pellicules plasmiques ;
5. groupement à Piliostigma reticulatum, Bauhinia rufescens et groupement à Maerua crassifolia sur sables compactés à pellicules plasmiques, 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 piemonts et bas de pente ;
  7. sur glaciés arénacés ;
- b) Groupement à Cucumis ficifolius, Acacia laeta, etc. groupe des espèces psammophiles moins largement représentés (Eragrostis tremula, Limeum pterocarpum)
  8. sur jupes sableuses ;
  9. sur glaciés 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 glaciés arénacés ;
12. sur vertisols ou glaciés à gravillons ferrugineux ;
13. groupement à psammo-hygrophiles (Digitaria Horizontalis,  
Archyranthes argenta), sur sols bruns ;
14. bas-fonds et dépressions, mare ;
15. massifs rocheux ;
16. erg vif.





911

LEGENDE

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

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

0 2 3 km



## CARTES DES APTITUDES AU RUISSELLEMENT ET A L'INFILTRATION DE LA REGION D'OURSI

### LEGENDE

H1 Erg vif et champs fraîchement sarclés sur sables fins épais

- 3

LR = 0,27 p + 4,10    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 + 3,5.10    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, D1, G1, 01, 02, 010 et 014.

H3 H4 Sables fins couverts à plus de 10% et moins de 25% par des pellicules plasmiques sans végétation.

- 3

LR = 0,5 p + 3,2.10    P. IK - 0,008 IK - 4,0

Fréquence décennale LNI = 44 mm

Lignes 05, 07, 011

H5-H6 Sables fins couverts à plus de 25% et moins de 50% par pellicules plasmiques sans végétation.

Glacis recouverts à plus de 30% de sables fins peu épais bien enherbés.

- 3

LR = 0,60 P + 2,5.10    P. IK - 0,006 IK - 3,6

Fréquence décennale LNI = 52 mm

Lignes 06, B1, B5, B5 champs C1

H7 Glacis et jupes sableuses couverts à plus de 15% et moins de 3 herbacée ou par des sables fins bien enherbés.

- 3

LR = 0,91 P + 0,7.10    P. IK + 0,14 IK - 8,7

Fréquence décennale LNI = 73 mm

Lignes D5, D10, D3, D7, K1, K2, G2

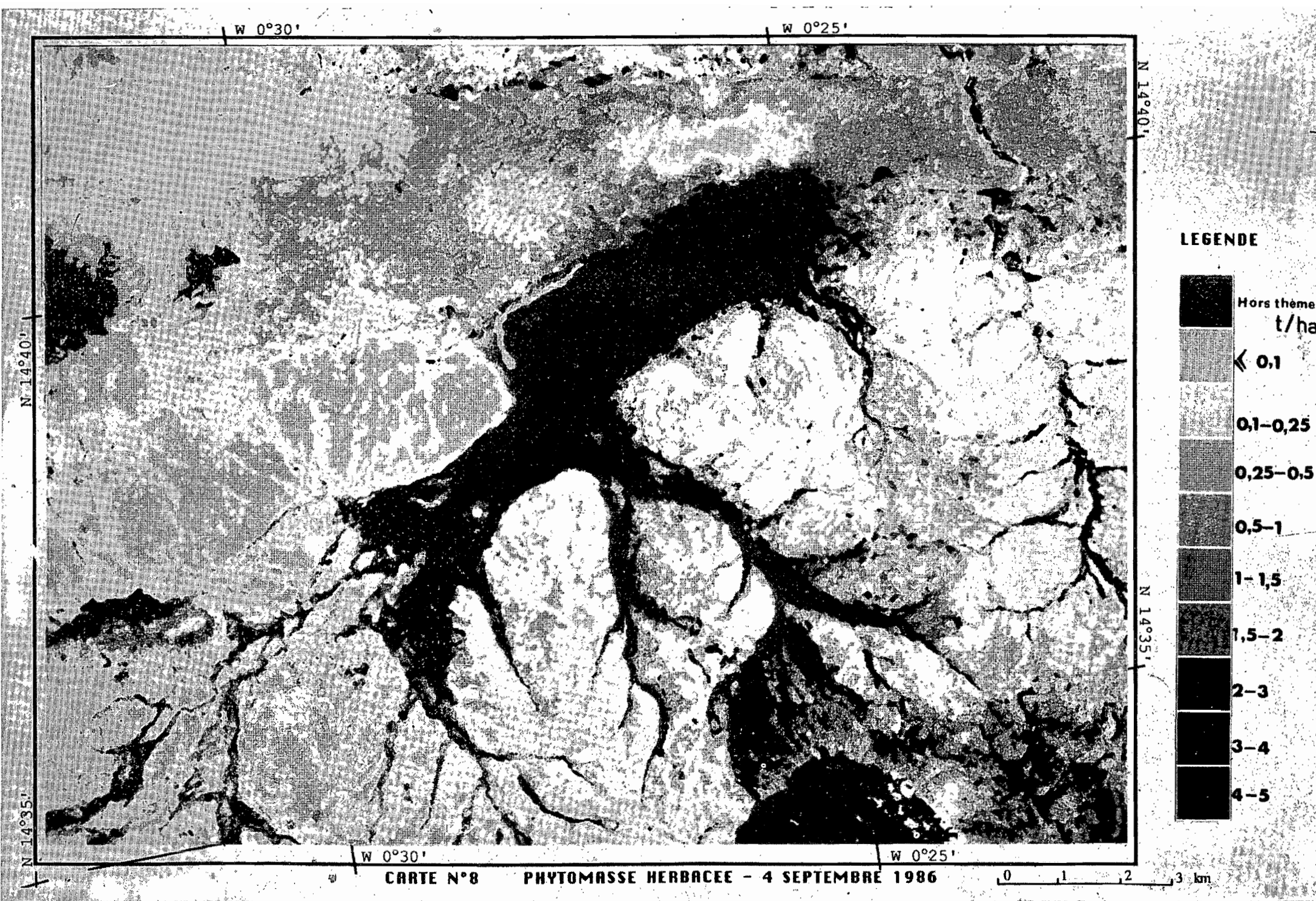
H9 Bas-fonds humides en saison des pluies

Somme des pluies depuis le début de la saison supérieure à 150 mm

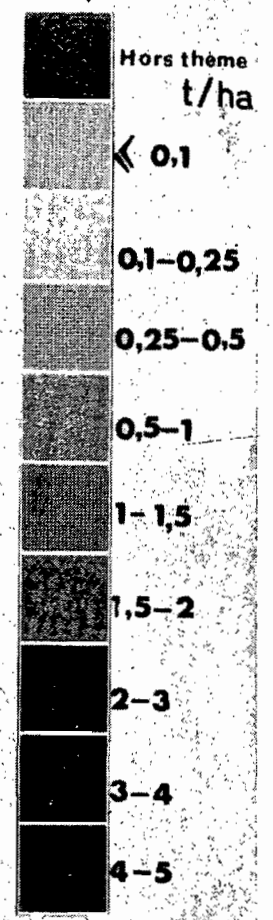
LR = 0,9 P

H10 Massifs rocheux

LR = 0,24 P.



**LEGENDE**



W 0°30' W 0°25' N 14°40' N 14°35'

**CARTE N°8 PHYTOMASSE HERBACEE - 4 SEPTEMBRE 1986**

