

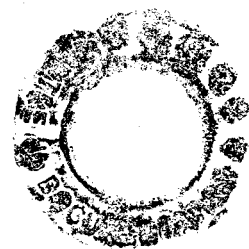
MISSION NASA-LANDSAT 1 MSS 7 MSS 5 Image n° 1213-10580 du 21/2/1973 (10 h 58)

Echelle 1 : 1 000 000  $\lambda$  0,8-1,1  $\mu$ m  $\lambda$  0,6-0,7  $\mu$ m

Carte 1 : 200 000 IGNF-SN Feuilles ZIGUINCHOR et SOKONE ND-28-II et VIII

E.S. DIOP

Laboratoire de Géomorphologie, Département de Géographie,  
Université de Dakar-Fann, Dakar, Sénégal



## L'IMAGERIE LANDSAT ET L'ÉTUDE GÉOMORPHOLOGIQUE DE MILIEUX ESTUARIENS : LE LITTORAL SÉNÉGALAIS, DE L'EMBOUCHURE DU SALOUM A CELLE DE LA CASAMANCE

Ces images des canaux MSS 5 et 7 font partie des premières données enregistrées sur le Sénégal par LANDSAT 1. Elles couvrent tout le littoral atlantique sud du Sénégal de la Pointe de Sangomar (Iles du Saloum) au sud de l'embouchure de la Casamance, soit une surface de plus de 50 000 km<sup>2</sup>. Les deux grands réseaux hydrographiques de la Gambie et de la Casamance se dégagent de l'observation de ces images; s'y ajoute, au nord, une partie du « delta » aval du Saloum et du Diomboss.

Le canal 5 fait particulièrement bien ressortir les phénomènes de turbidité de ces fleuves, tandis que le canal 7 met l'accent sur la nette dissociation entre surfaces immergées et émergées. Ainsi le trait de côte, notamment entre la Gambie et la Casamance, est très bien délimité par le plateau de grès du « Continental-Terminal », et apparaît sous forme de caps et d'encoches (5). A ce niveau (P. Michel, 1973), « le « Continental-Terminal » arrive en plusieurs endroits jusqu'au bord de la mer et se termine par des falaises plus ou moins abruptes s'élevant à une dizaine de mètres au-dessus de l'eau ». L'évolution de ce trait de côte, formé de grès tendres sensibles à l'érosion mécanique, relève plus d'une période ancienne que récente; les falaises de grès, surmontées de cuirasses ferrugineuses, dont les cotes d'altitude avoisinent + 10 m, demeurent les témoins sûrs de hauts niveaux marins.

Le canal 7 permet par ailleurs d'opposer :

- dans le domaine continental, les grès argileux très réfléchissants du « Continental-Terminal » aux bas-fonds humides ou couverts de végétation, plus sombres;
- dans le domaine estuarien : les vasières à mangrove (Rhizophoracées, Avicenniacees) aux faisceaux de cordons littoraux sableux anciens ou récents.

L'orientation de ces systèmes de cordons littoraux d'âges différents est particulièrement évocatrice de l'évolution paléogéographique de ce littoral :

- les cordons littoraux récents (Pointe de Sangomar, Presqu'île aux Oiseaux, (1), sont orientés NS, suivant la direction des houles dominantes (houles du NW) et dans le sens de la dérive littorale (NS); ils semblent avoir atteint là leur extension méridionale maximale;
- les cordons littoraux anciens ont deux directions principales : a) NNW-SSE, et disposés en faisceaux dans les deux estuaires (2), ils indiquent un changement de direction des houles NW prédominantes depuis leur installation à partir de 4 000 B.P. (c'est-à-dire après le maximum de la transgression nouakchottienne); b) NE-SW, notamment au sud de l'embouchure de la Casamance, ils ont été édifiés sous l'effet des houles du SW; on se trouve là dans le domaine des houles australes (dérive SN prédominante).

Le canal 5 permet l'étude, à l'embouchure de la Gambie et à celle de la Casamance, des panaches d'eaux turbides à faible transparence (3), très chargées en suspensions; leur allongement se fait dans le sens des courants de la baissée. En effet, l'image correspond à une période de mi-marée descendante avec des courants de jusant et des apports en provenance de l'amont. L'on comprend mieux le rôle des houles de SW dans les transports latéraux de sédiments, et en particulier, dans la dispersion au nord des éléments fins en suspension déversés par la Gambie sur le plateau continental.

Ressort également sur le canal 5, par différence avec le canal 7, le tracé d'un réseau hydrographique fossile, fonctionnel à une période du Quaternaire récent. Sur le plateau du « Continental-Terminal », entre Gambie et Casamance, un gradient EW de dissection du réseau hydrographique fossile apparaît nettement, drainant les nappes de cette dernière formation (4).

Du fait que la géomorphologie, notamment dans les milieux estuariens, dépend très étroitement de l'hydrologie et reste liée aux sols et à la végétation, la photo-interprétation de ces différentes images constitue un moyen rapide d'inventaire des taxons (grandes unités physiographiques) tout en donnant une vue synoptique des secteurs étudiés (échelle au 1 : 1 000 000 environ). Ces images permettent au total un meilleur examen de l'évolution paléogéographique de deux grands systèmes estuariens (Gambie et Casamance) et du trait de côte, une localisation plus précise des différents réseaux hydrographiques (fossiles et fonctionnels) du bas plateau du « Continental-Terminal » du sud-ouest du Sénégal et une étude plus suivie de l'étendue et de la dynamique des eaux chargées de turbidité des fleuves Gambie et Casamance.

Par ailleurs, une cartographie de la texture des sols, de leur humidité et de leurs grandes physionomies végétales peut être esquissée : c'est le cas des estuaires du Saloum et Casamance où les sols minéraux bruts, organiques, sur vases marines des vasières à mangrove (couleurs plus sombres dans le canal MSS 7) se différencient nettement des sols de tannes (sols salins et sulfatés, plus ou moins acidifiés) et de cordons sableux (sols minéraux bruts sur sables marins récents, teintes plus claires). Une bonne définition des signatures spectrales des taxons de ces géosystèmes littoraux est cependant nécessaire, d'où le recours aux procédés de traitement informatique des données numériques qui doivent permettre de définir des clefs d'interprétation des réponses spectrales des différents taxons.

### Bibliographie

Diop (E.S.). — 1978. L'estuaire du Saloum et ses bordures (Sénégal). Etude géomorphologique. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle U.L.P., Institut de Géographie, 247 p., 54 fig., 14 photos h.-t., Strasbourg.

Sall (M.M.), Diop (E.S.), Verger (F.). — 1979. Cartographie automatique d'un milieu littoral tropical : Iles du Saloum, d'après les données LANDSAT 1. Rev. Photo-Interprétation 78-6, fasc. 5.

Michel (P.). — 1973. Les bassins des Fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mém. ORSTOM n° 63, 3 t., 752 p., 170 fig., Paris.

# LANDSAT IMAGERY AND GEOMORPHOLOGICAL SURVEYING OF ESTUARINE ENVIRONMENTS: THE COAST OF SENEGAL FROM THE MOUTH OF THE SALOUM TO THAT OF THE CASAMANCE

These images from channels MSS 5 and 7 are some of the first data recorded on Senegal by LANDSAT 1. They cover the entire southern Atlantic coast of Senegal from Sangomar Point (Saloum Islands) to the south of the mouth of the Casamance, i.e. an area of more than 50,000 km<sup>2</sup>. The two large hydrographic networks of the Gambia and Casamance are revealed by observing these images. In the north there is also part of the downstream delta of the Saloum and the Diomboss.

Channel 5 clearly reveals the turbidity phenomena in these rivers, while channel 7 emphasizes the clearcut dissociation between submerged and emerged surfaces. The coastline, especially between the Gambia and the Casamance, is clearly delimited by the sandstone plateau called the "Continental-Terminal" and appears in the form of headlands and inlet (5). At this level (P. Michel, 1973) "the 'Continental-Terminal' reaches all the way to the sea in several points and ends in more or less abrupt cliffs rising about ten meters above water level". The evolution of this coastline, made of soft sandstone that is sensitive to the mechanical erosion, depends more on a former period than a recent one. The sandstone cliffs topped off by ferruginous armor plating, with an altitude in the vicinity of +10 m, are solid evidence of the high levels of the sea.

Channel 7 also differentiates between:  
— in the continental realm, highly reflecting clayey sandstone of the "Continental-Terminal" from the wet lowlands with very little vegetation which show up darkly;  
— in the estuarine realm, the mangrove swamp (Rhizophoraceae, Avicenniaceae) from networks of old or recent offshore bars.

The directions of the systems of offshore bars of different ages is particularly revealing concerning the paleogeographic evolution of this coast:

— the recent offshore bars (Sangomar Point, Presqu'île aux Oiseaux, (1)) run NS in the direction of the dominant wave pattern (swell from the NW) and in the direction of coastal drift (NS), and they seem to have reached their maximum southern extension here;

— the ancient offshore bars have two preferential directions: a) NNW-SSE and, situated in bundles in the two estuaries (2), they indicate a change in the direction of the predominant NW wave pattern since their installation beginning in 4,000 B.P. (i.e. after the maximum phase of the Nouakchottian transgression); b) NE-SW, especially to the south of the mouth of the Casamance where they have been erected under the effect of a wave pattern from the SW, where there is an austral wave realm (predominant SN drift).

At the mouths of the Gambia and Casamance, channel 7 can be used to examine the plumes of turbid water with low transparency (3) and highly loaded with particles in suspension. These plumes run with the currents of the falling tide. The image corresponds to a half-tide ebbing period with ebb currents and the carrying of suspended material from upstream. The role of the swells from the SW in the lateral transportation of sediments can be understood better, especially in the northward dispersion of the fine elements in suspension that flow from the Gambia onto the continental shelf.

Channel 5, by its difference from channel 7, also brings out the pattern of the fossil hydrographic network operated in the recent Quaternary. On the "Continental-Terminal" plateau between the Gambia and Casamance, and EW dissection gradient in the fossil hydrographic pattern stands out clearly as a drain for the nappe in this latter formation (4).

Because the geomorphology, in particular in the estuarine environments, depends very closely on the hydrology and remains connected to the ground and vegetation, the photointerpretation of these images is a quick way of making an inventory of the taxons (large physiographic units) while giving a synoptic view of the sectors examined (approximately 1:1,000,000th scale). On the whole these images enable a closer examination to be made of the paleogeographic evolution of two large estuarine systems (Gambia and Casamance) and of the coastline, as well as a more accurate location of different hydrographic patterns (fossil and functional) on the lower plateau of the "Continental-Terminal" in southwestern Senegal, together with a better survey of the extent and dynamics of the turbidity-loaded water in the Gambia and Casamance rivers.

In addition, the mapping of soil texture and humidity and the major vegetal physiognomies can be sketched out. This is the case of the estuaries of the Saloum and the Casamance where crude mineral and organic soils on marine mud in the mangrove swamps (darker colors in MSS 7) are clearly differentiated from the soils in the "tannes" (saline and sulfate-containing soils which are more or less acidified) and in the offshore bars (crude mineral soils on recent marine sands which are lighter in color). A good definition of the spectral signatures of the taxons in these littoral geosystems is nonetheless necessary, which is why recourse was had to data-processing procedures for the numerical data which must be used to define the interpretation keys from the spectral responses for the different taxons.

**Bibliography:** see French Text

# IMAGENES DEL LANDSAT Y EL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE LOS ESTUARIOS: LÍTORAL DEL SENEGAL, DE LA DESEMBOLCADURA DEL SALOUM HASTA LA DEL CASAMANCE

Estas imágenes de las bandas MSS 5 y 7 constituyen una parte de los primeros datos registrados del Senegal por LANDSAT 1, y que cubren todo el litoral atlántico sur del Senegal, de la Punta de Sangomar (Islas de Saloum), hasta el sur de la desembocadura del Casamance, lo que representa una superficie de más de 50 000 km<sup>2</sup>. Los dos grandes sistemas hidrográficos del Gambia y del Casamance se distinguen perfectamente en estas imágenes, así como una parte del «delta» inferior del Saloum y del Diomboss.

Con la banda 5 se distinguen muy bien los fenómenos de turbiedad de estos ríos, mientras que la 7 permite mejor distinguir la disociación entre las superficies sumergidas y emergidas. Así, la planicie de arenisca del «Continental-Terminal» limita perfectamente la línea de la costa, en particular entre el Gambia y el Casamance, que forma una serie de cabos y muelles (5). En esta zona, (P. Michel, 1973), «el «Continental Terminal» alcanza, en varios lugares, la orilla del mar formando acantilados más o menos abruptos que se elevan a unos 10 metros por encima del nivel de las aguas». La evolución y arrastres provenientes de aguas arriba. Se comprende mejor la acción mecánica, depende más bien de una época antigua que reciente; los acantilados de arenisca, coronados con corozas ferruginosas, con alturas vecinas de +10 m, son las pruebas seguras de elevados niveles marinos.

Además la banda 7 permite oponer:  
— en la zona continental, las areniscas arcillosas muy reflectoras del «Continental-Terminal», con las hondonadas húmedas con escasa vegetación, más oscuras;

— en la zona de estuario, los cenegales con manglar (Rizoforáceas Avicenniáceas), con los haces de cordones litorales arenosos antiguos o recientes.

La orientación de estos sistemas de cordones litorales de distintas épocas es particularmente evocadora sobre la evolución paleogeográfica de este litoral:  
— los cordones litorales recientes (Punta de Sangomar, Península «aux Oiseaux», (1), tienen una orientación NS, siguiendo la dirección de los oleajes dominantes (del NW) y según el sentido de la deriva litoral (NS). Parece que aquí han alcanzado su extensión meridional máxima;

— los cordones litorales antiguos tienen dos direcciones principales: a) NNW-SSE, y están dispuestos en haces en los dos estuarios (2); indican un cambio de dirección de los oleajes del NW predominantes desde que se formaron a partir de hace 4 000 B.P. (es decir después del máximo de la transgresión nouakchottiana); b) NE-SW, sobre todo al sur de la desembocadura del Casamance, se formaron bajo la acción de los oleajes del SW; aquí nos encontramos dentro del campo de acción de los oleajes australes (deriva SN predominante).

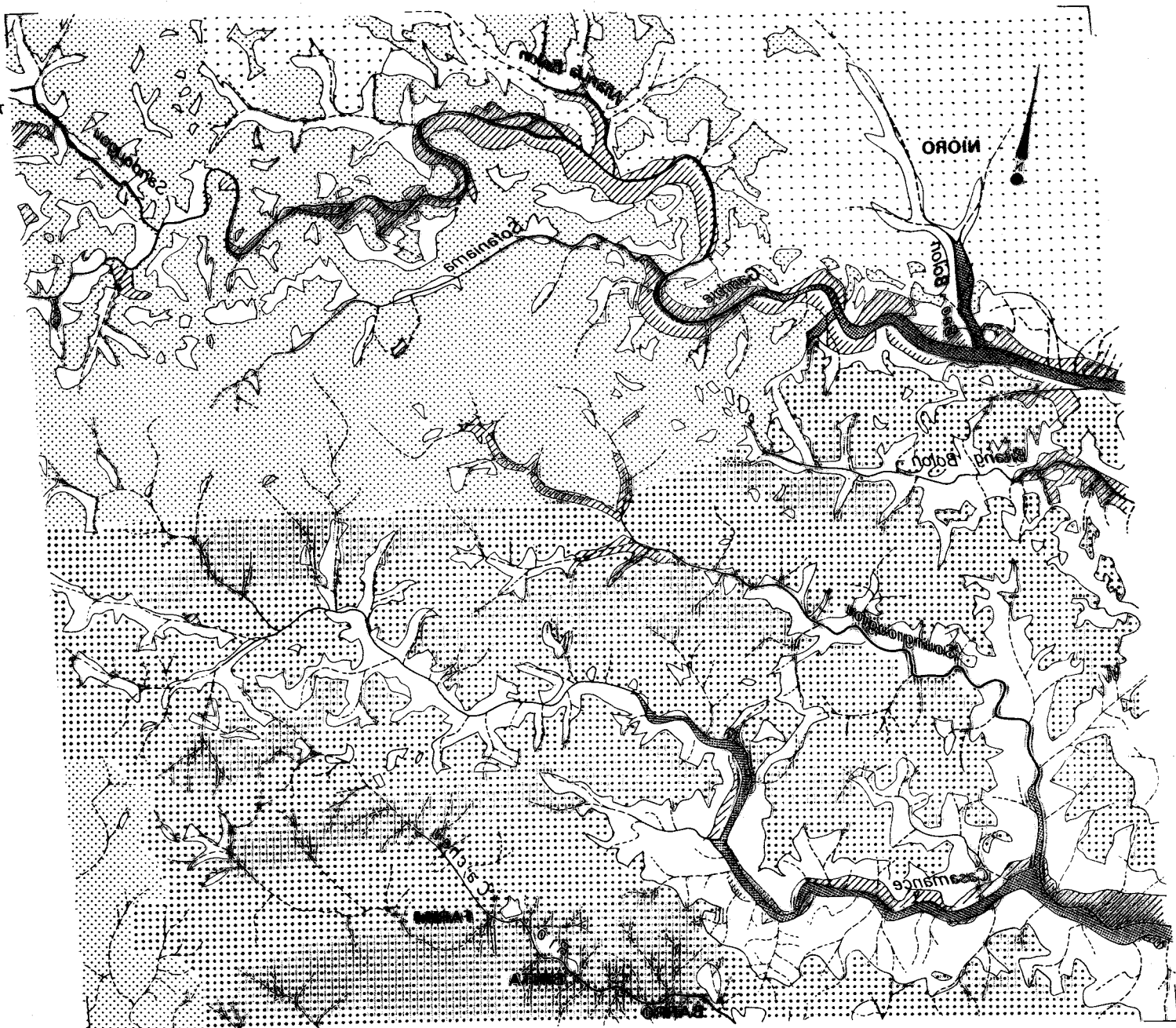
La banda 5 permite estudiar, en la desembocadura del Gambia y en la del Casamance, los penachos de aguas turbias con escasa transparencia, (3), con mucha materia sólida en suspensión. Su alargamiento se hace en el sentido de las corrientes del descenso de marea. En efecto, la imagen corresponde con un período en mitad de la marea descendente, con corrientes de reflujo y arrastres provenientes de aguas arriba. Se comprende mejor la acción de los oleajes del SW en los transportes laterales de sedimentos, y en particular, en la dispersión, al norte, de los elementos finos en suspensión vertidos por el Gambia sobre la plataforma continental.

En esta misma también se ve, haciendo la diferencia con la 7, el dibujo de una red hidrográfica fósil, activa durante un período del Cuaternario reciente. Sobre la meseta del «Continental-Terminal», entre el Gambia y el Casamance, se ve perfectamente un gradiente EW de disección de la red hidrográfica fósil que drena las capas de esta última formación (4).

Debido a que la geomorfología, sobre todo en las zonas de estuario, depende estrechamente de la hidrología y está en relación con los suelos y la vegetación, la foto-interpretación de estas distintas imágenes constituye una manera rápida de hacer el inventario de los taxones (grandes unidades fisiográficas), obteniéndose al mismo tiempo una vista sinóptica de los sectores estudiados (escala 1:1 000 000 aproximadamente). En resumen, estas imágenes permiten un mejor examen de la evolución paleogeográfica de los dos grandes sistemas de los estuarios (Gambia y Casamance) y de la línea de costa, una localización más exacta de los distintos sistemas hidrográficos (fósiles y actuales) de la baja meseta del «Continental-Terminal» de suroeste del Senegal y un estudio más seguido de la extensión y dinámica de las aguas cargadas de turbiedad de los ríos Gambia y Casamance.

Además, se puede esbozar una cartografía de la textura de los suelos, de su humedad y de sus grandes fisionomías vegetales: es el caso de los estuarios del Saloum y del Casamance, en donde los cenegales con manglar (colores más oscuros, banda 7) se diferencian sin ambigüedad de los suelos de «tannes» (suelos salinos y sulfatados, más o menos acidificados) y de los cordones arenosos (suelos minerales brutos sobre arenas marinas recientes, matices más claros). Sin embargo, será necesaria una buena definición de las características espectrales de los taxones de estos geosistemas litorales, es por lo cual que se recurre a los procedimientos de tratamiento informático de los datos numéricos, los deberá permitir de definir las claves de interpretación de las respuestas espectrales de los distintos taxones.

**Bibliografía:** Ver texto Francés.



## ENSEMBLES PHYTOGÉOGRAPHIQUES

Varieties (manure), (evergreen), (manure), (manure), (manure)

Verstärkt zu stärken

Bas-plaqueaux (avec dentelle de la couverture végétale)

RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE Fonctionnel Fossile



14



|            |                                             |                    |                                            |                                                                      |
|------------|---------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| SN SENEGAL | NASA-LANDSAT 1 MSS 5<br>image n° 1230-10522 | 10-3-73<br>10 h 51 | 1 : 1 000 000<br>$\lambda$ 0,6-0,7 $\mu$ m | 1 : 500 000 IGNF-SN<br>f. ZIGUINCHOR et TAMBACOUNDA ND-28 (SO et SE) |
|------------|---------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|

|  | 1                         | 2                                        | 3                           | 4                                                  | 5                           | 6                                | 7                                | 8                           | 9                                          |
|--|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
|  | ANTE-PRIMAIRE<br>PRIMAIRE | SECONDAIRE                               | TERTIAIRE                   | QUATERNAIRE<br>PALEOLITHIQUE                       | NEOLITHIQUE<br>PROTOSTOIRE  | -500                             | 500                              | 1000                        | 1500                                       |
|  |                           | COLONISATION                             | HABITAT RURAL               |                                                    | FORTIFICATIONS<br>GUERRES   | HABITAT<br>URBAIN                |                                  | LOISIRS<br>LIEUX PUBLICS    | RELIGIONS<br>NECROPOLES                    |
|  | EXPLOITATION<br>SOUS SOL  | PRODUCTION<br>D'ENERGIE                  | INDUSTRIE<br>TRANSFORMATION | INDUSTRIE<br>CONSUMMATION                          | DISTRIBUTION                |                                  | COMMUNICATIONS<br>AERIENNES      | COMMUNICATIONS<br>MARITIMES | COMMUNICATIONS<br>TERRESTRES               |
|  | COUVERT VEGETAL           | EXPLOITATION DIRECTE<br>DE LA VEGETATION | ORIENTATION<br>ALIGNEMENTS  | AMENAGEMENT<br>IRRIGATION DRAINAGE<br>CONSERVATION | GENIE RURAL<br>REMEMBREMENT | STRUCTURES AGRAIRES              | EXPLOITATION<br>AGRICOLE         |                             | MONDE ANIMAL<br>ELEVAGE<br>CHASSE PECHE    |
|  | LIGNES                    | POLYGONES<br>CARRES                      | CERCLES<br>RAYONS           | METHODES<br>EMULSIONS                              | REPARTITION<br>CARTOGRAPHIE | SATELLITE                        | ETUDE DYNAMIQUE<br>EVOLUTION     | DEGRADATION                 |                                            |
|  | RESFAU<br>HYDROGRAPHIQUE  | VERSANTS                                 | MICRORELIEF                 |                                                    | DOCUMENTS<br>ANTIENS        | FORMATIONS<br>SUPERFICIELLES     | SOLS BRUTS NON<br>OU PEU EVOLUES | SOLS EVOLUES                |                                            |
|  | RELIEF NUL                | RELIEF FAIBLE                            | RELIEF FORT                 |                                                    |                             |                                  | VENTS                            | Eaux                        | NEIGES ET GLACES                           |
|  | ARCTIQUE<br>SUB ARCTIQUE  | TEMPERE<br>CONTINENTAL                   | TEMPERE<br>OCEANIQUE        | MEDITERRANEEN                                      | PREDESERTIQUE               | DESERTIQUE ARIDE                 | INTERTROPICAL                    | EQUATORIAL<br>TRES HUMIDE   | MICROCLIMATS                               |
|  | CRISTALLIN                | EFFUSIF FILONNIEN                        | METAMORPHIQUE               | SEDIMENTAIRE<br>STRATIGRAPHIQUE                    | MERS<br>EAUX SALEES         | STRUCTURES<br>QUASI MONOCLINALES | STRUCTURES<br>PLISSEES           | STRUCTURES<br>FAILLEES      | STRUCTURES<br>POLYGENIQUES<br>DISCORDANCES |

