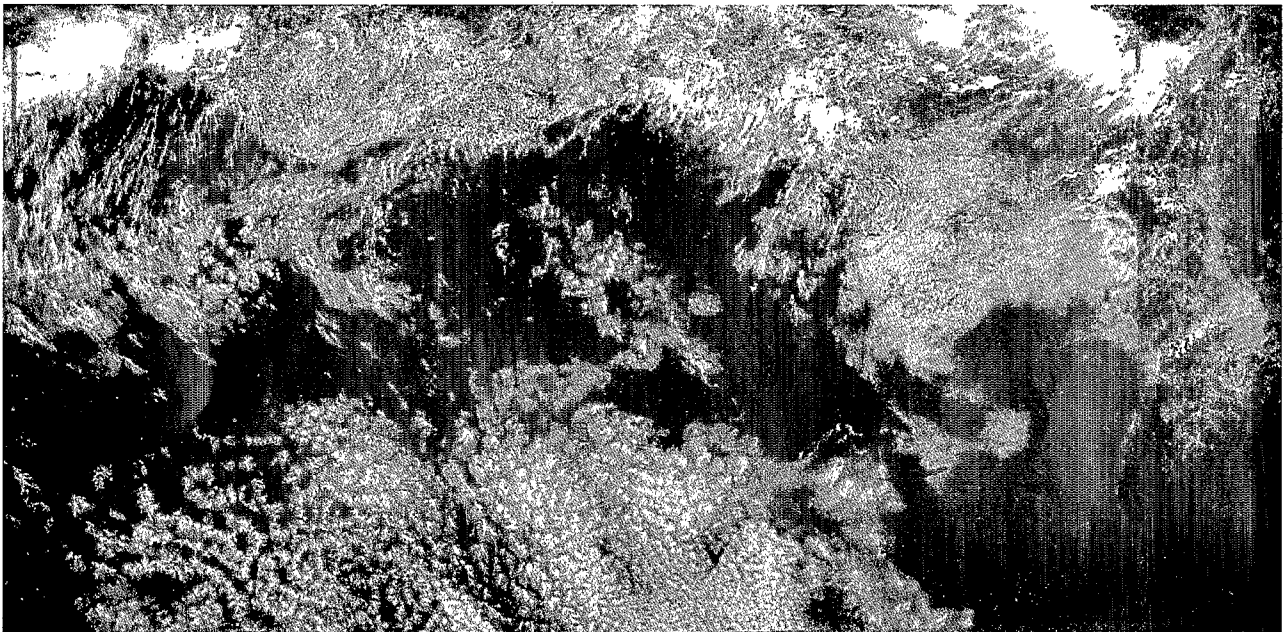
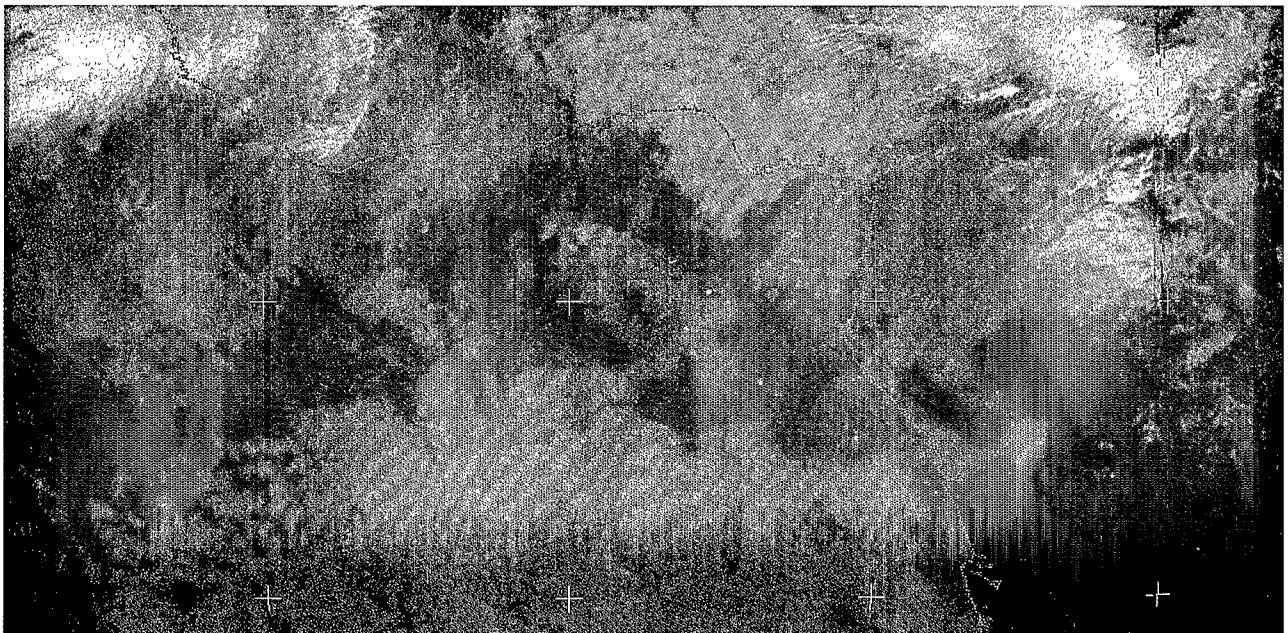


Ministère de la Coopération

# VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE



METEOFRANCE CMS LANNION - METEOSAT 4 - 01/08/92 - 12 H 00 UTC - CANAL VISIBLE



METEOFRANCE CMS LANNION - METEOSAT 4 - 01/08/92 - 12 H 00 UTC - CANAL INFRAROUGE

*B\* 14441; 43; 45, 47; 49; 51*

# CLASSIFICATION DES NUAGES SUR L'AFRIQUE A L'AIDE DE METEOSAT 4

## CLASSIFICATION OF CLOUDS OVER AFRICA WITH METEOSAT 4

par B.FARKI \*, D. DAGORNE \*, B. GUILLOT \*, P. LE BORGNE \*\*, A. MARSOUIN \*\*

### RESUME

Une méthode de classification automatique des nuages a été expérimentée sur les données Météosat 4 pendant les mois d'avril et mai 1992 en utilisant quatre paramètres, deux spectraux (visible et infrarouge) et deux spatiaux (variance locale visible et variance locale infrarouge). Elle a été appliquée sur de grandes régions en Afrique de l'ouest à 12 h TU, en cumulant les données sur 30 jours. La fenêtre Météosat couvrant l'Afrique de l'ouest a été divisée en six zones relativement homogènes pour tenir compte des différents types de surface. La méthode est appliquée, sur chaque zone, avec une initialisation par des noyaux retenus par sélection préalable.

15 types de nuages, regroupés de la surface (ciel clair) au nuage haut épais, ont été identifiés. Les résultats de cette classification ont été "validés" par des néphanalystes expérimentés du CMS (Centre de Météorologie Spatiale) de Lannion. Ils sont globalement satisfaisants. Un problème principal demeure : la confusion entre les nuages de poussières, en particulier le sable, et les surfaces qui présentent la même signature spectrale.

### INTRODUCTION

La recherche sur les caractéristiques des nuages à partir de l'imagerie satellitaire a beaucoup progressé ces dernières années, en particulier dans le cadre du programme ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) [12]. Il est en effet nécessaire de bien identifier les nuages qui sont les grands perturbateurs de la mesure par télédétection de paramètres de surface comme la température et l'albédo. Il est de même indispensable de distinguer les jours clairs des jours nuageux, ainsi que d'obtenir une meilleure description des différents types de nuages et d'en extraire des paramètres tels que la température du sommet, la nébulosité, l'albédo, etc.

La cartographie des nuages est par ailleurs l'une des applications directes de la télédétection à la climatologie des nuages, car celle-ci en permet une bonne représentation dans les modèles de simulation

### ABSTRACT

An automatic cloud classification method has been applied to April-May 1992 Meteosat 4 data. This method uses four parameters, two spectral ones (visible and infrared radiances) and two spatial ones. It is applied over large areas of West Africa on daily 12:00h GMT slots, cumulated over 30 days. The Meteosat window covering West Africa has been divided into six relatively homogeneous zones in order to take into account different types of surfaces. The method has been applied, in each zone, with an initialization by pre-selected chosen kernels.

15 classes of cloud, ranging from the ground surface (clear sky) to the high dense clouds, have been identified. The results from this automatic cloud classification have been "validated" by experienced nephanalysts from the Lannion CMS (Centre de Météorologie Spatiale). Overall, they were found to be satisfactory. However, one major problem remains : the algorithm does not discriminate, as well as expected between high level dust clouds, blown sand and other surfaces which give the same spectral response.

### INTRODUCTION

The research on cloud characteristics using satellite imagery has progressed a lot during the last few years, especially within the ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) programme [12]. In fact, it is necessary to correctly identify the clouds which greatly upset remote sensing measurements of surface parameters, such as the temperature or the albedo. Likewise, it is indispensable to be able to distinguish cloudy from cloudless days, as well as being able to achieve a better description of different types of clouds and to extract parameters from these, such as cloud top temperature, cloud cover, albedo, etc...

Moreover, mapping of clouds is one of the direct applications of remote sensing to cloud climatology, because this gives a good representation in climate simulation models as well as in numerical forecasting

\* ORSTOM/CMS Lannion, B.P. 147, F 22302 Lannion Cedex

\*\* METEO-FRANCE/CMS Lannion, B.P. 147, F 22302 Lannion Cedex



du climat ainsi que dans les modèles de prévision numérique, ainsi que pour un suivi des champs de précipitations. Cette cartographie est faite depuis un bon nombre d'années, par des moyens conventionnels, par des mesures au sol, qui restent qualitatives et de représentation spatio-temporelle insuffisante.

Les satellites géostationnaires ou défilants permettent une analyse de la couverture nuageuse globale à des échelles plus importantes et diverses méthodes de classification des nuages ont été développées à partir des données satellitaires.

Ces méthodes peuvent être regroupées en trois types :

1. Les méthodes visuelles comme la néphanalyse, utilisent simultanément, à partir des photographies, les caractéristiques spectrales des radiances visible (VIS) et infrarouge (IR), quelques critères de reconnaissance de forme et des situations météorologiques. Les résultats restent qualitatifs et ne sont pas utilisables sous forme numérique, ils seront néanmoins utilisés comme référence pour la validation des résultats de notre étude.

Comme une mesure numérique précise de la couverture nuageuse est indispensable à la fois aux études du bilan radiatif, aux modèles de circulation générale et à la climatologie, d'autres techniques de nuages ont été développées [12] ;

2. les méthodes à seuil où la détection des nuages et leur analyse sont basées sur un examen pixel par pixel, en utilisant la différence des radiances (VIS et IR) entre un pixel pris un instant quelconque et le même pixel vu par ciel clair, en utilisant un seuillage physique, dépendant de la saison, du lieu... [23] et [12] ;

3. les méthodes statistiques, qui sont basées sur l'examen d'un segment d'image, en utilisant en plus des propriétés statistiques des radiances VIS et IR [2], [8] et [22]. Cependant des études ont montré que l'utilisation des seuls canaux VIS et IR (cas de jour) et d'un seul canal IR (cas de nuit) ne permet pas de détecter tous les nuages, à cause de la variation spatiale et temporelle des propriétés de surface et à l'impossibilité de séparer quelques genres de nuage dans les histogrammes bidimensionnels Visible et Infrarouge de jour et dans l'histogramme unidimensionnel infrarouge de nuit [14] et [15].

Les méthodes à seuil sont vraisemblablement les plus simples à mettre en œuvre et les plus fiables. Elles ne permettent cependant de classer les nuages que si l'on connaît a priori les seuils correspondant aux caractéristiques spectrales des différents types de nuages, alors que les méthodes statistiques sont plus appropriées pour la classification des types de nuages car elles ne nécessitent, dans un premier temps. Aucune connaissance des caractéristiques des nuages.

models, and for a monitoring of rainfall fields. This mapping has been carried out for a good many years, by classical means, by measurements at the ground, which remain qualitative and give an insufficient spatial-temporal representation.

Geostationary or polar satellites enable the global cloud cover to be analysed on larger scales and different cloud cover to be analysed on larger scales and different cloud classification methods have been developed from satellite data.

These methods can be divided into three categories :

1. known visual methods, the nephanalysis, using simultaneously, the spectral characteristics of visible (VIS) and infrared (IR) radiances, some criteria for recognising forms and meteorological situations from photographs. The results remain qualitative and cannot be used in a numerical form, they will nevertheless be used as a reference for validating the results in our study.

Since a precise numerical measurement of the cloud cover is indispensable for the radiative evaluation, for general circulation models and climatology, other cloud classification techniques have been developed [12] ;

2. threshold methods, where cloud detection and their analysis are based on an examination, pixel by pixel, using the difference in radiance (VIS and IR) between a pixel chosen at a given instant and the same pixel when the sky is clear, using a physical thresholding, depending upon the season, place,... [23] and [12] ;

3. the statistical methods, which are based on the examination of a segment of an image, use in addition VIS and IR radiance statistical properties [2], [8] and [22]. However, studies have shown that the use of only VIS and IR channels (case in the day-time) and only IR (case at night time) does not enable all clouds to be detected because of the spatial and temporal variation of surface properties and the impossibility of separating some types of clouds in VIS and IR day-time two dimensional histograms and IR night-time one dimensional histogram [14] and [15].

Threshold methods are reasonably more simple to implement and are more reliable. However, they only enable clouds to be classified if one knows beforehand the thresholds corresponding to the spectral characteristics of different classes of clouds, whereas statistical methods are more appropriate for the classification of cloud types since they do not initially require any knowledge of cloud characteristics.

Dans le but d'une meilleure représentation des différentes populations de nuages pour la classification, des études antérieures [14] ont montré que des régions assez larges ou des cumuls sur une série temporelle sont nécessaires, ainsi qu'une utilisation de l'information spatiale de l'image pour séparer les types des nuages homogènes par rapport aux types intermédiaires [14].

L'algorithme de classification que nous adoptons dans cette étude est une technique des nuées dynamiques, suivi d'une classification supervisée (minimum de distance). Cette méthode a été développée par Desbois et Sèze [2] et [15] au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) et a été largement utilisée dans les régions tempérées [8]. Elle est appliquée aux histogrammes cumulés (Vis, IR, VarVis, VarIR) durant une certaine période. Cette méthode utilise un segment d'image, une distribution statistique des radiances et leurs variances spatiales locales (VarVis et VarIR), pour avoir une bonne représentation des différents types de nuage ou de surface dans le segment d'image pour la classification. Elle remplace ensuite chaque pixel élémentaire dans une des classes [7], [8] et [14].

Cette méthode a été largement validée [6] ; elle a été appliquée dans le contexte de la recherche [9] et utilisée sur un mode opérationnel en pays de climat tempéré comme première étape de calcul des flux de surface incidents : flux ondes courtes (flux solaire) et flux ondes longues (flux infrarouge) [11].

Le but de cette étude est d'adapter cette méthode sur de grandes zones en Afrique du nord et de l'ouest, où les contrastes entre océan, désert et zones humides doivent être pris en compte, pour des analyses régulières et automatiques de la couverture des nuages au-dessus du continent africain et pour répondre aux besoins de l'estimation des précipitations par satellite (EPSAT) [16] et [18], ainsi qu'à ceux du calcul des flux radiatifs incidents à la surface [11]. Il s'agit en l'occurrence d'un premier essai pour automatiser la classification nuageuse sur l'Afrique de l'ouest.

La première partie de cette étude rappelle quelques généralités sur la télédétection des nuages en Afrique de l'ouest et précise les objectifs que nous nous sommes fixés. Nous décrivons ensuite les principes de la méthode utilisée, puis son application à l'Afrique de l'ouest. Enfin, en quatrième partie, les résultats obtenus sont interprétés et les perspectives de prolongement de travail dégagées.

## **I. GENERALITES**

### **I.1. Le satellite Météosat**

Météosat est un satellite météorologique géosynchrone géré par l'ESA (European Space Agency). Ce satellite fournit des observations sur une surface couvrant l'Europe et l'Afrique, une portion du Brésil et une grande partie de l'Océan atlantique nord et sud.

With the aim of improving the representation of different cloud populations for classification purposes, previous studies [14], have shown that fairly big regions or totals based on a temporal series are required, as well as a use of the spatial information of the image to separate homogeneous types of clouds with regard to the intermediate types [14].

The classification algorithm which we have chosen in this study is a dynamic clustering technique, followed by a supervised classification (minimum of the distances). This method has been developed by Desbois and Sèze [2] and [15] at the Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), and has been widely used in temperate regions [8]. It has been applied to cumulated histograms (Vis, IR, VarVis, VarIR) during a certain period. This method uses a segment of an image, a statistical distribution of radiances and their local spatial variances (VarVis and VarIR), in order to have a good representation of different types of cloud or surface in the segment of the image for the classification. It then replaces each elementary pixel in one of the classes [7], [8] and [14].

This method has been widely validated [6] ; it has been applied in the research context [9] and used in an operational mode in countries with temperate climates, as the first stage in the calculation of incident surface flux : short wave flux (solar flux) and long wave flux (Infrared flux) [11].

The aim of this study is to adapt this method over the large areas of northern and western Africa, where the contrasts between the ocean, desert and wet zones must be taken into account, for systematic and automatic analyses of cloud cover above the African continent and to satisfy the requirements of rainfall EPSAT (Estimation of Precipitation by SATellite) [16] and [18], as well as the calculation of incident radiative flux at the surface [11]. It consists, in this case, of a first test to automatize cloud classification over western Africa.

The first part of this study recalls some generalities about the remote sensing of clouds in western Africa. Then, we describe the method principles used, and its application to western Africa. Lastly, in the forth part, the results obtained are interpreted and the perspectives for continuing this study emerge.

## **I. GENERALITIES**

### **I.1. The Meteosat satellite**

Meteosat is a geosynchronous satellite managed by ESA (European Space Agency). This satellite provides observations over an area covering Europe and Africa, a part of Brazil and a large part of the northern and southern Atlantic Ocean.

Il se trouve à une altitude de 36.000 km dans le plan équatorial et il décrit une orbite circulaire de période 24 h. Il fournit une image toutes les demi-heures et ces images sont superposables. Cette grande répétitivité compense en partie les faibles résolutions spatiales et radiométriques vis-à-vis de celles des satellites à défilement de la NOAA.

Ses observations sont d'un grand intérêt pour la climatologie et pour la recherche dans le domaine de l'environnement. Ceci est particulièrement vrai pour les régions tropicales, puisque la résolution spatiale est maximale au point sub-satellite (5 x 5 km), pour la latitude 0° et la longitude 0°.

Météosat possède trois canaux :

<i>Canal</i>	<i>Intervalle spectral</i>
VIS (visible)	(0.4 - 1.1 $\mu\text{m}$ )
IR (infrarouge)	(10.5 - 12.5 $\mu\text{m}$ ) et
WV (vapeur d'eau)	(5.7 - 7.7 $\mu\text{m}$ ).

## **I.2. Détection des nuages à partir des canaux VIS et IR (la néphanalyse)**

### **I.2.a. Canal visible : Vis (cf. fig. 5-a et 6-a)**

Dans ce canal les mesures de rayonnement restituent l'image telle qu'elle apparaîtrait à un observateur qui serait embarqué à bord du satellite. Elles sont tributaires de l'incidence des rayons solaires et de l'albédo de la surface (continent) et de la surface supérieure des nuages. Ces derniers sont en général présentés en "blanc" et l'intensité de ce "blanc" dépend de l'éclairage solaire, du contenu en eau liquide et de l'épaisseur des nuages. Les nuages réfléchissent en effet davantage la lumière s'ils sont épais, par opposition à des voiles minces de cirrus (nuages de glace) qui laissent passer la lumière et présentent donc un albédo moins fort.

Sur les images, les zones les plus sombres (albédo faible), sont recouvertes d'eau (océan, lacs, forêts tropicales...), (parce qu'elles absorbent une grande quantité de lumière solaire) elles se distinguent de la terre (en plus clair) et des nuages (en blanc).

### **I.2.b. Canal infrarouge : IR (cf. fig. 5-b et 6-b)**

Les mesures en infrarouge restituent le rayonnement émis par la surface terrestre, qui est fonction de la température et de l'émissivité. Dans la dynamique photographique usuelle (froid en blanc, chaud en noir), sur les images une surface apparaît d'autant plus blanche qu'elle est froide. Par exemple le Sahara, quand il est dépourvu de nuages, apparaît relativement noir (chaud) l'été, et les sommets des nuages plus ou moins blancs (froids) selon leur température.

It is situated at an altitude of 36.000 km in the equatorial plane and describes a circular 24 hour period. It provides an image every half-hour and these images are superimposable. This great repetition partly compensates in part for the low spatial and radiometric resolutions compared with those of NOAA polar satellites.

Its observations are very useful for the climatology and for the research in the environmental field. This is especially true for the tropical regions, since its spatial resolution is maximum at the sub-satellite point (5 x 5 km), for 0° latitude and 0° longitude.

Meteosat has three channels :

<i>Channel</i>	<i>Spectral interval</i>
VIS (visible)	(0.4 - 1.1 $\mu\text{m}$ ),
IR (infrared)	(10.5 - 12.5 $\mu\text{m}$ ) and
WV (water vapour)	(5.7 - 7.7 $\mu\text{m}$ ).

## **I.2. Cloud detection from VIS and IR channels (the néphanalysis)**

### **I.2.a. Visible channel : VIS (see fig. 5-a and 6-a)**

In this channel, the radiance measurements exactly reconstitute the image as it would appear to an observer who would be aboard the satellite. They are tributary of the incidence of solar rays and the albedo of the surface (continent) and the upper surface of clouds. These latter are generally shown in "white" and the intensity of this "white" depends on the irradiance, of the liquid water content and of the denseness of clouds. In fact the clouds reflect more light if they are dense, as opposed to the shallow cirrus veils (ice clouds) which let light pass and therefore present a weaker albedo.

On the images, the darkest areas (weak albedo), are covered by water (ocean, lakes, tropical forests...), (since they absorb a large quantity of solar light) they are distinguishable from the earth (which is lighter) and clouds (in white).

### **I.2.b. Infrared Channel : IR (see fig. 5-b and 6-b)**

Infrared measurements exactly reconstitute the radiance emitted by the Earth's surface, which is a function of temperature and the emissivity. In the usual photographic technique (cold in white, hot in black), on the images, a surface appears all the more whiter the more it is cold. For example, the Sahara, when it is free from clouds, appears relatively black (hot) in summer, and the tops of summits of the clouds more or less white (cold) according to their temperature.

### 1.2.c. Différents types de nuages

On peut classer les nuages en trois types : cumuli-forme, cirriforme et stratiforme (cf. figure 1).

Parmi les nuages cumuliformes on trouve les stracomulus, qui présentent un albédo élevé, une température assez élevée et une altitude faible.

### 1.2.c. Different types of clouds

Clouds can be classified into three groups : cumuli-form, cirriform and stratiform (see figure 1).

Among the cumuliform clouds are found the stratumcumulus, which have a high albedo, a fairly high temperature and a low altitude.

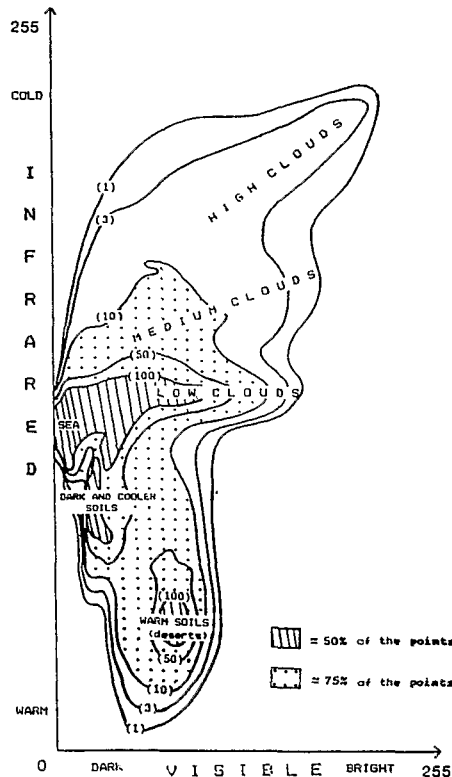


Figure 1. – HISTOGRAMME BIDIMENSIONNEL VISIBLE ET INFRAROUGE D'APRÈS 31 IMAGES PLEIN DISQUE MÉTÉOSAT A 11 h 30 TU POUR LE MOIS DE JUILLET 1983 (DESBOIS ET AL).  
 BIDIMENSIONAL HISTOGRAM VISIBLE VERSUS INFRARED DONE WITH THE 31 DAILY IMAGES OF THE METEOSAT FULL DISC AT 11.30 UTC FOR JULY 1983 (FROM DESBOIS AND AL...).

Les altocumulus ont une altitude plus élevée par rapport aux stratocumulus et apparaissent donc plus froids. Les nuages convectifs présentent un fort développement vertical et une surface irrégulière. Dans cette catégorie se regroupent les cumulus et les cumulonimbus, souvent coiffés de nuages cirriformes prenant une forme d'enclume.

Les nuages cirriformes, parmi lesquels on distingue les cirro-stratus d'aspect stratiforme et les cirrus, sont des nuages de glace, de faible épaisseur, ils sont "quasi-transparents" dans le canal visible.

The altocumulus are higher in relation to the stratocumulus and therefore appear colder. The convective clouds show an important vertical growth and an irregular surface. Cumulus and cumulonimbus are grouped together in this category, often capped with cirriform clouds taking the form of an anvil.

Cirriform clouds, among which one can distinguish the cirrostratus with a stratiform aspect and the cirrus, are the ice clouds, shallow, they are "quasi-transparent" on the visible channel.

### 1.3. Détection des poussières

Sur les images satellitaires apparaissent parfois des phénomènes particuliers qui peuvent se confondre avec des nuages, comme les nuages de poussières, en particulier le sable [19]. En canal VIS, les poussières se repèrent difficilement au-dessus du désert ; en effet la signature spectrale de ces poussières en suspension et celle du sable au sol sont voisines. Par contre, au-dessus de l'océan, qui est un très mauvais réflecteur, elles apparaissent sous la forme d'un voile ou d'une bande aux contours flous.

### 1.3. Dust detection

Sometimes peculiar phenomena appear on satellite images which can be confused with clouds, such as dust clouds, especially the sand [19]. In Vis channel, dusts are not easily identifiable above the desert ; in fact the spectral response of these dusts in suspension and the one of sand are very close. On the other hand, above the ocean, which is a very bad reflector, they appear in the form of a veil or a band with a blurred outline.



Dans le canal infrarouge (cas de jour), la présence des poussières en suspension dans l'air refroidit la température du sol, à cause de la diminution de rayonnement solaire dans la traversée de la couche de poussière qui entraîne un refroidissement apparent de la surface [24] ; ceci est particulièrement vrai pour les sols secs. De nuit c'est un réchauffement apparent de la surface qui pourrait se produire ; ce phénomène s'explique en général par des transferts radiatifs entre la surface et les couches de poussières au-dessus de cette surface [24]. Au chapitre VI on verra comment on peut les séparer des nuages à l'aide de la classification.

## II. OBJECTIFS DE TRAVAIL

### II.1. Programme de calcul du flux radiatif de surface

La détermination des flux radiatifs de surface à partir des données satellitaires permet une cartographie de ces paramètres sur des régions (les océans et les zones arides) [11] où les mesures conventionnelles sont rares ou ne sont pas disponibles.

Le flux atmosphérique incident à la surface (flux ondes longues ou flux infrarouge) (E) et le flux solaire (flux ondes courtes) (Es) dépendent d'un certain nombre de paramètres, parmi lesquels la couverture des nuages, l'émissivité, la hauteur et la température de la base des nuages.

En effet :

$E = \mathcal{E} \times 6 \times T_a^4$  est le flux IR

$\mathcal{E} = \mathcal{E} (N_i, C_i, 6_0)$

6 = constante de Stéphan-Boltzmann

$T_a$  = température de l'air à 2 m

$\mathcal{E}_0$  = émissivité du ciel clair

$N_i$  = la fraction du couverture du type de nuage i

$C_i$  = coefficient du contribution du type de nuage i

$E_s = E_{os} \times T_o \times T_{aer} \times (T_n / (1 - T_2 \times T_{aer}^2 \times A_s \times A_n))$  est le flux Vis

où :

$E_{os}$  = éclaircissement extra-terrestre

$T_o$  = transmittance atmosphérique par ciel clair sur le trajet Soleil-Terre

$T_n, A_n$  = transmittance et albédo de la couche nuageuse

$T_{aer}$  = transmittance de la couche d'aérosol (sous la couche nuageuse)

$T_2$  = transmittance atmosphérique sous la couche nuageuse

$A_s$  = albédo du sol

Les résultats de la classification automatique des nuages (le jour) permettent de déduire les différents paramètres cités ci-dessus pour chaque type de nuage.

In the Infrared channel (case in day-time), the presence of dusts in the air cools the temperature of the ground because of the reduction in sun radiance when going through the layer of dust which leads to a conspicuous cooling of the surface [24] ; this is especially true for dry grounds. At night, a conspicuous reheating of the surface could occur ; this phenomenon is normally explained by radiative transfers between the surface and the layers of dusts above this surface [24]. In chapter VI one will see how one can separate them from clouds with the help of the classification.

## II. THE STUDY AIMS

### II.1. Calculation Programme of surface radiative flux

The determination of surface radiative flux from satellite data enables these parameters to be mapped over regions (oceans and arid zones) [11] where classical measurements are rare or unavailable.

The incident atmospheric flux at the surface (long-wave flux or IR flux) (E) and solar flux (short wave flux) depends on a certain number of parameters, among which cloud cover, emissivity, the height and the temperature of the base of the clouds.

In fact :

$E = \mathcal{E} \times 6 \times T_a^4$

$\mathcal{E} = \mathcal{E} (N_i, C_i, 6_0)$

6 = Stephan-Boltzmann constant

$T_a$  = temperature of the air at a height of 2m

$\mathcal{E}_0$  = emissivity on clear sky

$N_i$  = the fraction of cloud type i cover

$C_i$  = contribution coefficient of cloud type i

$E_s = E_{os} \times T_o \times T_{aer} \times (T_n / (1 - T_2 \times T_{aer}^2 \times A_s \times A_n))$  is the Vis flux

where :

$E_{os}$  = extra-terrestrial illumination

$T_o$  = atmospheric transmittance by a clear sky on the Sun-Earth path

$T_n, A_n$  = transmittance and albedo of the cloudy layer

$T_{aer}$  = transmittance of the aerosol layer (below the cloudy layer)

$T_2$  = atmospheric transmittance under the cloudy layer

$A_s$  = ground albedo.

The results of the automatic classification of clouds (day-time) enables the different parameters quoted above to be deducted for each cloud type.

## II.2. Programme EPSAT (Estimation des Pluies par SATellite)

L'estimation des pluies par satellite a fait l'objet d'un certain nombre d'études depuis quelques années.

Depuis 1984, différents organismes, de différents pays, se sont intéressés à cette recherche et se sont regroupés au sein du programme EPSAT. Leur but est d'explorer les possibilités d'estimation des précipitations dans la bande soudano-sahélienne.

Avec l'aide des spécialistes du CMS (néphanalystes), le laboratoire de l'ORSTOM à Lannion a en particulier développé une méthode d'estimation des pluies. Celle-ci repose sur la statistique des nuages précipitants (source) et leur fréquence d'apparition, sur la température de surface du sol (cible) [16] et [10] et sur une méthode à seuil de discrimination des nuages précipitants (cumulonimbus) ; sont considérés comme précipitants les nuages dont la température de sommet est inférieure ou égale à  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Il semble possible, à l'aide des résultats de classifications automatiques des nuages, d'améliorer l'analyse des nuages en isolant les différents nuages précipitants, (en particulier les cumulonimbus), qui sont les premiers responsables de la pluie au Sahel, (mais non les seuls), de connaître leur couverture spatiale et leur fréquence d'apparition. D'autre part, la détection des sables atmosphériques éviterait certaines causes d'erreur sur la mesure de la température de surface de sol.

## III. DESCRIPTION DE LA METHODE

La donnée de base est une série temporelle des radiances visible et infrarouge de Météosat acquises chaque jour à la même heure.

On utilise une combinaison d'informations spectrales, spatiales et temporelles. Chaque pixel d'un segment d'image de jour est représenté par quatre paramètres : deux spectraux (Vis, IR) et deux spatiaux (VarVis, VarIR) où VarVis, VarIR sont respectivement les variances locales des canaux visible et infrarouge. Ces variances sont calculées sur un pavé de  $3 \times 3$  pixels (que l'on déplace sur toute l'image), centré sur le pixel considéré. Pour chaque segment d'image et pour un slot donné, un histogramme à quatre dimensions est construit et ces histogrammes sont ensuite cumulés sur toute la période, ceci pour avoir une bonne représentation des nuages pendant la période considérée (cf. figure 2).

Le principe de base de la méthode est que chaque surface ou type de nuage dans le segment d'image est représenté dans les histogrammes cumulés par un sous-ensemble compact. La technique des nuées dynamiques permet de partitionner l'histogramme cumulé dans des classes représentatives des surfaces ou types de nuages, définies par leur centre de gravité (Vis, IR, VarVis, VarIR).

## II.2. EPSAT programme (Estimation of Precipitation by SATellite)

The estimation of rainfall by satellite has been the object of a certain number of studies for several years now.

Since 1984, different organisms, from different countries, have been taken an interest in this research and have come together within the framework of the EPSAT programme. Their aim is to explore rainfall estimation possibilities on a small scale in the Sudanese-Sahelian region.

With the help of specialists from the CMS (nephanalysts), the ORSTOM laboratory at Lannion has in particular developed a method for rainfall estimation. This is based on the statistics of rainbearing clouds (source) and their frequency, on the ground surface temperature (target) [16] and [10] and on a discriminator threshold value method for rain-bearing clouds (cumulonimbus) ; the clouds are considered to be rain bearing when their upper surface temperature is below or equal to  $-40^{\circ}\text{C}$ .

It seems to be possible, with the help of automatic cloud classification results, to improve cloud analysis by isolating different rain-bearing clouds, (especially the cumulonimbus), which are the primary responsible (but not the only source) of rainfall in the Sahel, to know their spatial cover and their occurrence frequency. Moreover, the detection of blown sand would avoid certain causes of error in the measurement of ground surface temperature.

## III. DESCRIPTION OF METHODOLOGY

The basic datum is a temporal series of Meteosat VIS and IR radiances acquired each day at the same time.

A combination of spectral data, spatial and temporal is used. Each pixel of a segment of the day's image is represented by four parameters : two spectral (Vis, IR) and two spatial (VarVis, VarIR) where VarVis, VarIR are the local variances are calculated on a  $3 \times 3$  pixel box (which is moved over the whole image), centred on the pixel under consideration. For each image segment and for a given slot, a four-dimensional histogram is built up and these histograms are then cumulated over the whole period, to obtain a clear representation of clouds during the period under consideration (see figure 2).

The basic principle of the method is that each surface or type of cloud in the image segment is represented in the cumulated histograms by a compact sub-set. The clustering technique permits the cumulated histograms to be partitioned into classes representing surface or cloud types, defined by their centre of gravity (Vis, IR, VarVis, VarIR).



La méthode ne nécessite a priori aucune connaissance des classes. Pour partitionner l'histogramme cumulé, la méthode utilise un processus itératif (nuée dynamique) qui démarre par des noyaux choisis aléatoirement. Après chaque itération, le critère décroît et une nouvelle partition est définie. La partition finale est obtenue quand les itérations donnent presque la même partition. Finalement, chaque pixel de chaque image de jour est projeté sur les histogrammes à quatre dimensions et il est attribué à la classe dont il est le plus proche.

The method does not need any prior knowledge of classes. To partition the cumulated histogram, the method uses an iterative process (clustering technique) which is initialized by the randomly selected kernels. After each iteration, the criteria decreases and a new partition is defined. The final partition is obtained when the iterations give almost the same partition. Finally, each pixel or each image of the slot is projected onto four-dimensional histograms and it is attributed to the class to which it is the nearest.

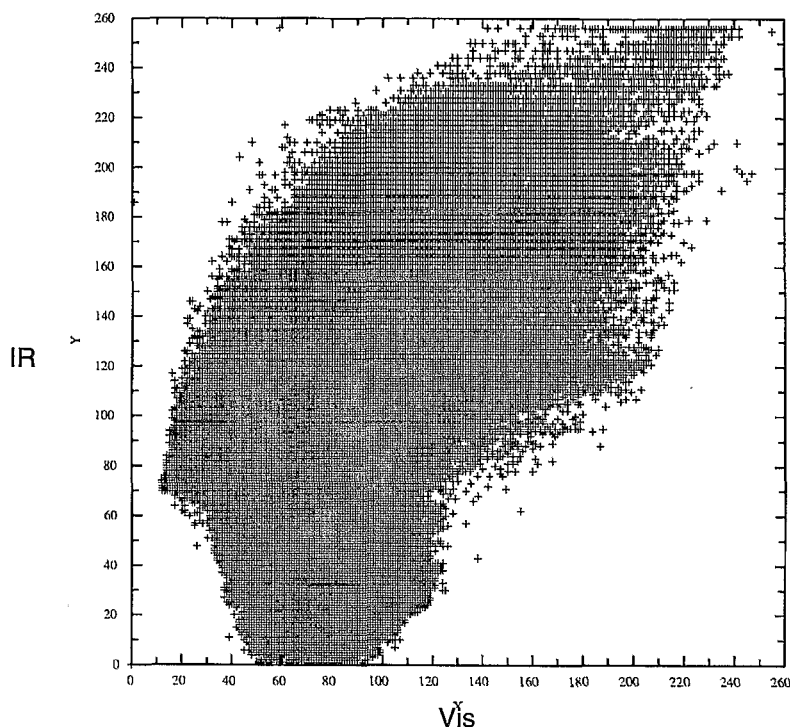


Figure 2. – EXEMPLE D'HISTOGRAMME CUMULÉ SUR 20 JOURS (VIS ET IR), POUR LE MOIS D'AVRIL, SUR TOUTE LA FENÊTRE MÉTÉOSAT CORRESPONDANT A L'AFRIQUE DE L'OUEST.  
 EXAMPLE OF A CUMULATED HISTOGRAM ON 20 DAYS (VIS AND IR) FOR AVRIL ON THE WHOLE METEOSAT WINDOW CORRESPONDING TO WESTERN AFRICA.

Le processus itératif peut être résumé comme suit :

**a) Méthode des nuées dynamiques (2) : classification non "supervisée"**

1. un nombre N de classes est choisi ;
2. un ensemble F de points est choisi aléatoirement pour chaque classe ; cet ensemble est appelé noyau de la classe ;
3. pour chaque noyau le centre de gravité et la variance sont calculés ;
4. les classes sont construites ; chaque point est affecté à la classe dont le centre de gravité est le plus proche (au sens de la distance euclidienne). Durant ce processus, si le nombre d'éléments d'une classe devient très petit, la classe est supprimée ;
5. le centre de gravité et la variance sont calculés une nouvelle fois ;
6. de nouveaux noyaux F de points sont à nouveau définis ;

The iterative process can be summarized as follows :

**a) The clustering technique method (2) : "non-supervised" classification.**

1. N number of classes is chosen ;
2. a set F of points randomly chosen for each class ; this set is called class kernel ;
3. the centre of gravity and the variance is calculated for each kernel ;
4. the classes are built up ; each point is allocated to the class whose centre of gravity is the nearest (in the sense of Euclidian distance). During this process, if the number of elements of a class becomes very small, the class is suppressed ;
5. the centre of gravity and the variance are again calculated ;
6. new F kernels of points are again defined ;

7. une nouvelle itération est commencée à partir de 3.

Une des principales limitations de cette technique est que la partition finale n'est pas unique, car le critère converge vers un optimum local. Le choix des noyaux initiaux a une influence sur la partition finale.

**b) Classification au minimum des distances : classification "supervisée"**

Elle est appliquée comme suit :

1. pour un nombre  $k$  de zones références ;
2. cinq images en entrée :
  - VIS, IR,
  - VarVIS, VarIR d'un slot, et
  - image zone ;
3. un nombre  $M$  de noyaux de  $k$  classes ; ces noyaux servent à initialiser la méthode ;
4. pour chaque pixel on calcule la distance (euclidienne) minimale aux  $k$  classes, pour la zone correspondante ;
5. on affecte le pixel à la classe de distance minimale.

#### IV. APPLICATION A L'AFRIQUE DE L'OUEST

##### IV.1. Fenêtre d'étude et données disponibles

Nous avons disposé d'une série de données (30 jours) reçues au Centre de Météorologie Spatiale (CMS) de Lannion, (avril-mai 1992) des canaux visible et infrarouge de Météosat 4 (tous les slots 24 et 48), couvrant une région de 768 x 1024 pixels (25°W, 30°E) (40°N, 5°N) (cf. fig. 3).

Au point de vue météorologique, cette période est caractérisée par un nuage de poussière (du sable) au nord de l'Atlantique (cas du 20/04/92), et dans les régions désertiques, par des nuages stratiformes et cirriformes, par des perturbations dans la partie nord de la fenêtre et enfin des nuages cumuliformes dans les régions tropicales. Ceci représente un bon échantillonnage des différents types de nuages que l'on peut rencontrer dans la région à cette époque de l'année.

Ces données ont subi un certain nombre de traitements avant d'être exploitées. Les données visibles ont été "normalisées" suivant la méthode du CMS [11]. Ces comptes normalisés sont définis comme représentatifs des conditions moyennes pour Météosat 2 en 1987. Dans le cas du canal infrarouge, les données sont calibrées en température radiative. La dynamique adoptée est définie de telle façon que CN (compte numérique) = 0 corresponde au pixel chaud et CN = 255 corresponde au pixel froid.

7. a new iteration is started from 3.

One of the principle limitations of this technique is that the final partition is not unique, since the criteria converges towards a local optimum. The choice of initial kernels has an influence on the final partition.

**b) Classification at the minimum of the distances : "supervised" classification**

It is applied as following :

1. for a number  $k$  of reference zones ;
2. five images as inputs :
  - VIS, IR,
  - VarVIS, VarIR of one slot and
  - image zone ;
3. a number  $M$  of kernels of  $K$  classes ; these kernels are used to initialize the method ;
4. for each pixel one calculates the minimum of the distance (Euclidian) for  $k$  classes, for the corresponding zone ;
5. one assigns the pixel to the class of minimum distance.

#### IV. APPLICATION IN WESTERN AFRICA

##### IV.1. Study window and available data

We had a series of data (30 days) at our disposition which had been received at the Lannion Centre de Météorologie Spatiale (CMS), (April to May 1992) from the VIS and IR Meteosat 4 channels (all the slots 24 and 48), covering a region of 768 x 1024 pixels (25°W, 30°E) (40°N, 5°N) (see fig.3).

From a meteorological angle, this period is characterized by a dust cloud (sand) in the northern Atlantic (case of the 20/4/92), and in the desert regions, by stratiform and cirriform clouds, by perturbations in the northern part of the window and lastly cumuliform clouds in the tropical regions. This represents a good sampling of different cloud types that one can encounter at this time of year.

These data have undergone a certain number of processes before being exploited. The VIS data have been "standardized" according to the CMS method [11]. These standardized counts are defined as being representative under average conditions for Meteosat 2 in 1987. In the case of the IR channel, the data is calibrated as radiative temperature. The technique adopted is defined in such a manner that CN (numerical count) = 0 corresponds to the hot pixel, and CN = 255 corresponds to the cold pixel.

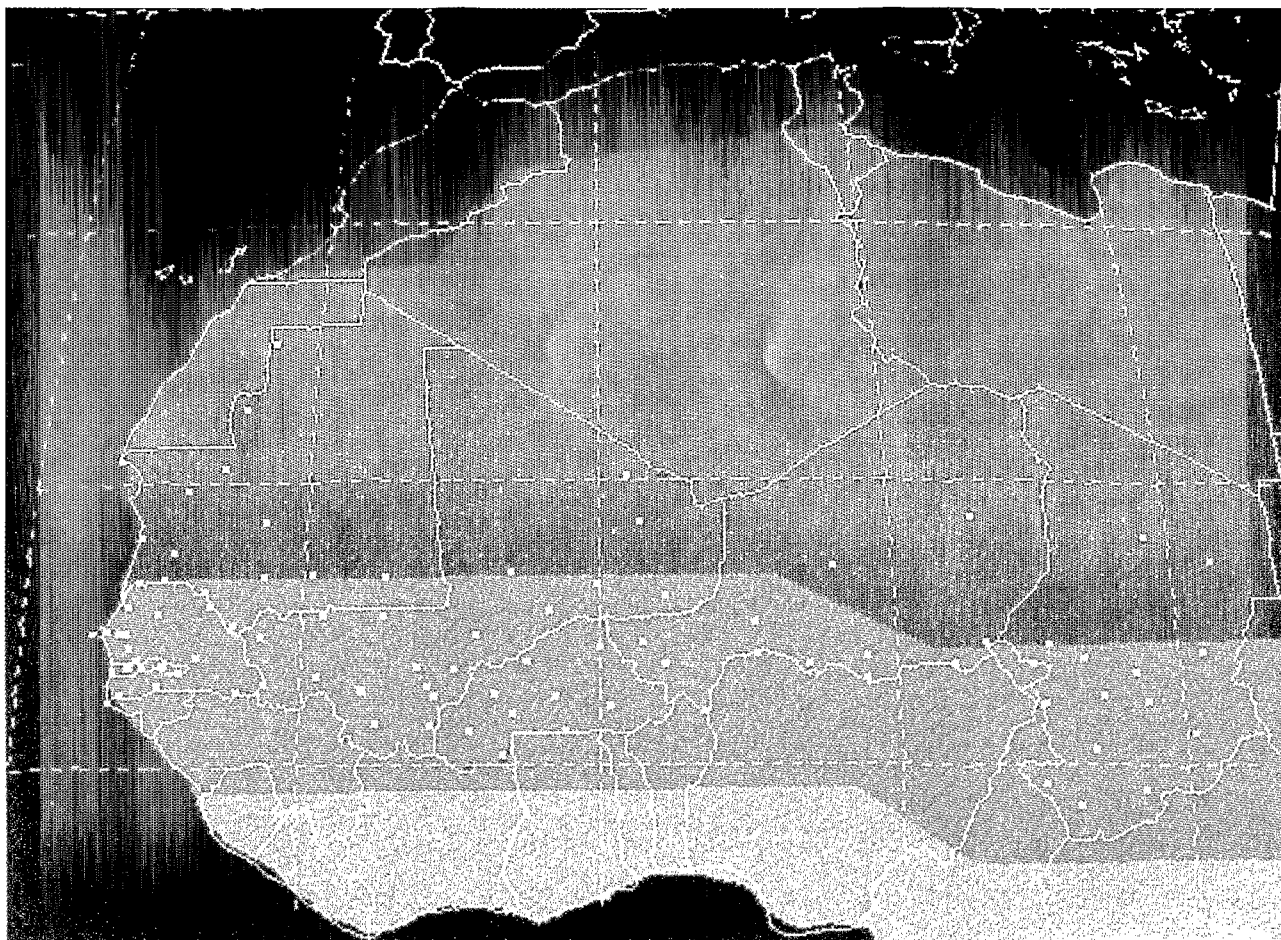


Figure 3. – **PARTITION DE LA FENÊTRE MÉTÉOSAT CORRESPONDANT A L'AFRIQUE DE L'OUEST.**  
**PARTITION OF THE METEOSAT WINDOW CORRESPONDING TO WESTERN AFRICA.**

#### **IV.2. Les étapes suivies et les problèmes pratiques**

Pour chaque image de jour (en pleine résolution) et pour chaque canal, on calcule la variance locale ; cette variance a été multipliée par un facteur pour avoir des comptes numériques compatibles avec la dynamique de l'image sur 256 niveaux ; plus précisément,  $VAR = LOG(1 + (Var. loc)^{1/2}) \times 30$ , est la variance retenue et Var.loc est la variance locale calculée.

##### **IV.2.a. Zonage de la fenêtre Afrique de l'ouest et échantillonnage**

Pour améliorer l'identification des types de nuages et les cas de ciel clair, la fenêtre Météosat correspondant à l'Afrique de l'ouest a été divisée en six zones relativement homogènes (*cf fig. 3*). Ces zones, dans un premier temps, ont été déterminées manuellement à partir des scènes claires. Elles correspondent à l'Atlantique nord et à la Méditerranée, à l'Atlantique sud jusqu'au Golfe de Guinée, à l'Afrique du nord plus le sud de l'Espagne, aux régions désertiques, aux régions sahéliennes et enfin aux régions tropicales humides (forêts).

#### **IV.2. The stages which have been followed and the practical problems**

For every day-time image (at full resolution) and for each channel, local variance is calculated ; this variance has been multiplied by a factor to obtain the numerical counts compatible with the image technique based on 256 levels ; more precisely,  $VAR = LOG(1 + (Var. loc)^{1/2}) \times 30$ , is the kept variance and VAR. loc is the calculated local variance.

##### **IV.2.a. Zoning of the western African window and sampling**

To improve the identification of cloud types and the cases of clear sky, the Meteosat window corresponding to western Africa has been divided into six relatively homogeneous zones (*see fig.3*). These zones, at first, were determined manually from cloudless slots. They correspond to the northern Atlantic and the Mediterranean, to the southern Atlantic up to the Gulf of Guinea, to northern Africa in addition to the south of Spain, to desert regions, to the Sahelian regions and lastly to the wet tropical regions (forest).

Ce zonage subjectif devrait être amélioré en le rendant automatique à partir des minima visible et infrarouge sur toute la période. En effet ces minima (visible et infrarouge) permettent d'obtenir des images dépourvues de nuage et donc d'avoir des classes plus représentatives des types de surface et une sélection parmi des zones plus homogènes et bien définies suivant la saison étudiée.

Vu la taille de la fenêtre (768 x 1024 pixels), les données sont ensuite échantillonnées (une ligne sur deux, un point sur deux), afin de minimiser le temps de calcul.

#### **IV.2.b. Identification des noyaux**

Le but est d'obtenir une définition précise de tous les types de nuage sur des histogrammes représentatifs (cf. fig. 4a et 4b). Cela est possible en utilisant des régions assez larges et/ou des échantillons cumulés dans le temps [4], et en tenant compte des propriétés spatiales de l'image, pour séparer les régions homogènes des zones intermédiaires [1].

Dans cette étude nous avons cumulé les données sur des sous-ensembles représentatifs de chaque zone ; ces sous-ensembles représentatifs de dimension minimale 128 x 128 pixels, ne couvrent pas toute la zone choisie, mais une grande partie de la zone. Il aurait été préférable de cumuler les données pour chaque zone entière.

#### **IV.3. Développement de la méthode**

Pour chaque ensemble de données cumulées sur des ensembles représentatifs, on applique la méthode des nuées dynamiques, après une initialisation aléatoire des noyaux sur des histogrammes cumulés à quatre dimensions (Vis, IR, VarVis, VarIR). Après plusieurs opérations similaires, on a procédé comme suit :

10 à 15 (suivant la zone) partitions sont obtenues à partir des choix aléatoires des noyaux. Seules les partitions contenant 8 à 15 classes sont retenues. Ces classes sont soigneusement examinées sur des systèmes de traitement d'image par des spécialistes de la néphanalyse (C. Bourdet), afin de choisir la meilleure partition et d'identifier les classes de la partition en termes de types de nuage. Ensuite une correspondance entre les genres de nuage et leur centre de gravité a été établie (cf. tableau 1 et tableau 2). Finalement, un ensemble de noyaux a été retenu pour chaque zone.

This subjective zoning should be improved by automatizing it from VIS and IR minima over the whole period. In fact, these minima (VIS and IR) enable images to be obtained which are cloudness and therefore to have classes which are more representative of surface types and to have a selection among the most homogeneous and well defined zones according to the season studied.

Due to the size of the window (768 x 1024 pixels), the data is then sampled (one line out of two, one point out of two), in order to minimize the computation time.

#### **IV.2.b. Kernel identification**

The aim is to obtain a precise definition of cloud types on representative histograms (see fig. 4a and 4b). Studies have shown that this is possible using regions which are fairly large and/or samples cumulated in the time [4], and taking into consideration spatial properties of the image, to separate homogeneous regions in the intermediate zones [1].

In this study we have cumulated the data on the subsets representative of each selected zone ; these representative subsets for a minimum dimension 128 x 128 pixels, do not cover the whole of the selected zone, but a large part of the zone. It would have been preferable to cumulate the data for each whole zone.

#### **IV.3. Method development**

For each set of data cumulated on representative subsets, the clustering technique has been applied, after a random initialization of kernels on histograms cumulated at 4 dimensions (VIS, IR, VarVIS, VarIR). After several similar operations, we have proceeded as follows :

10 to 15 (according to the zone) partitions were obtained from the random selection of kernels. Only the partitions containing 8 to 15 classes were kept. These classes were carefully examined on image processing systems by nephanalysis specialists (C. Bourdet), in order to choose the best partition and to identify the partition classes in terms of cloud types. Then a correspondance between the classes of cloud and their centre of gravity was established (see table 1 and 2). Lastly, a set of kernels was kept for each zone.

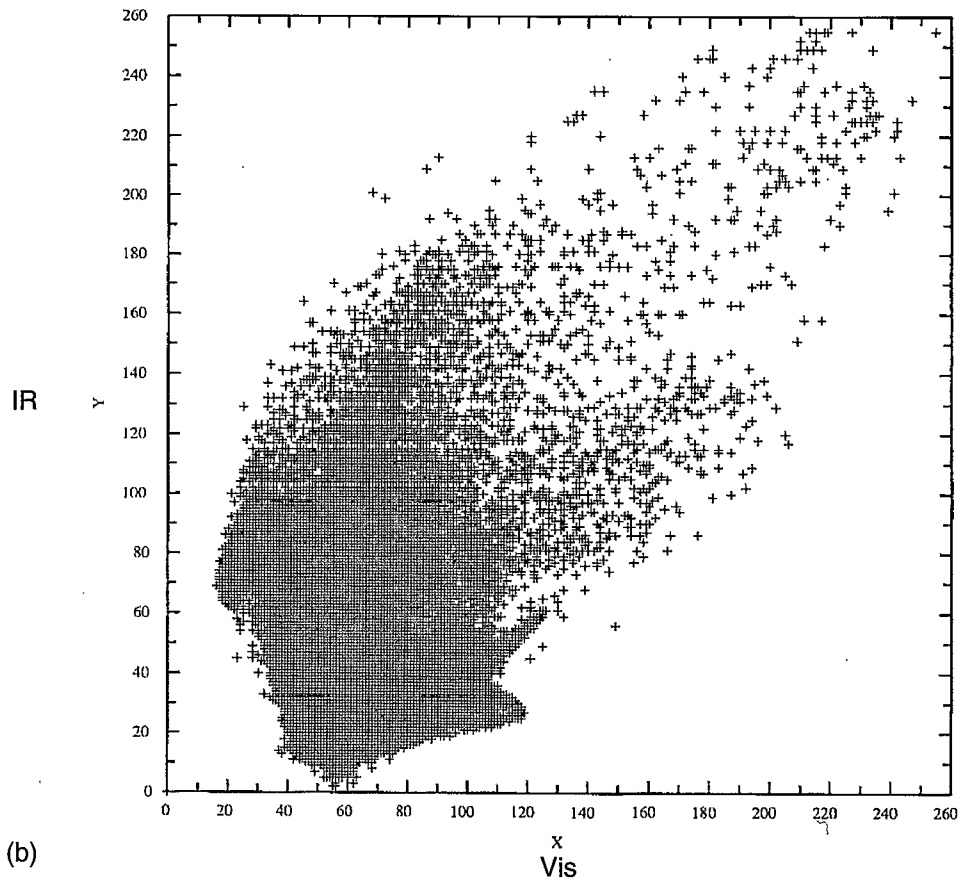
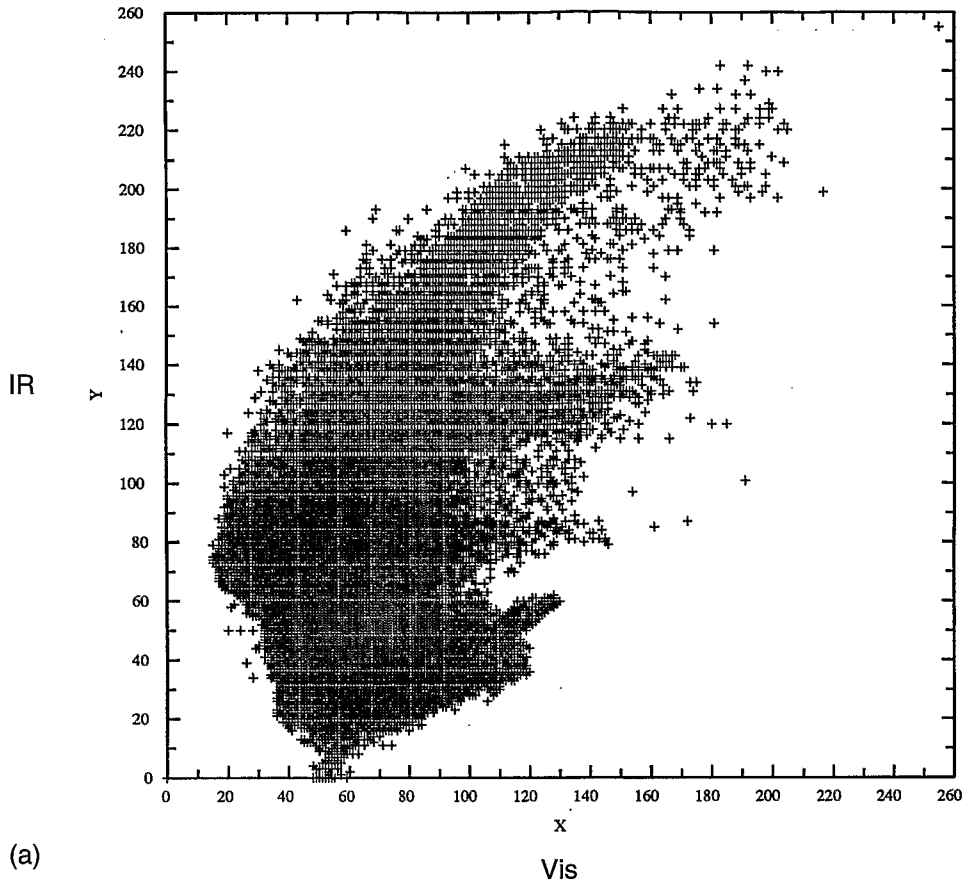


Figure 4 (a-b). - HISTOGRAMME BIDIMENSIONNEL VISIBLE ET INFRAROUGE SUR TOUTE LA FENÊTRE MÉTÉOSAT DE L'AFRIQUE DE L'OUEST A 12.00 HTU POUR LES MOIS D'AVRIL (a) ET MAI (b) 1992.  
 BIDIMENSIONAL HISTOGRAM VISIBLE VERSUS INFRA-RED ON THE WHOLE METEOSAT WINDOW OF WESTERN AFRICA AT 12.00 H GMT. FOR APRIL (a) AND MAY (b) 1992.

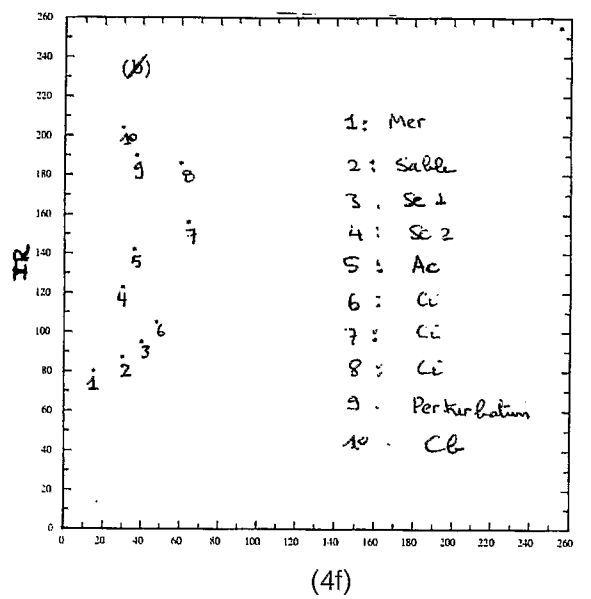
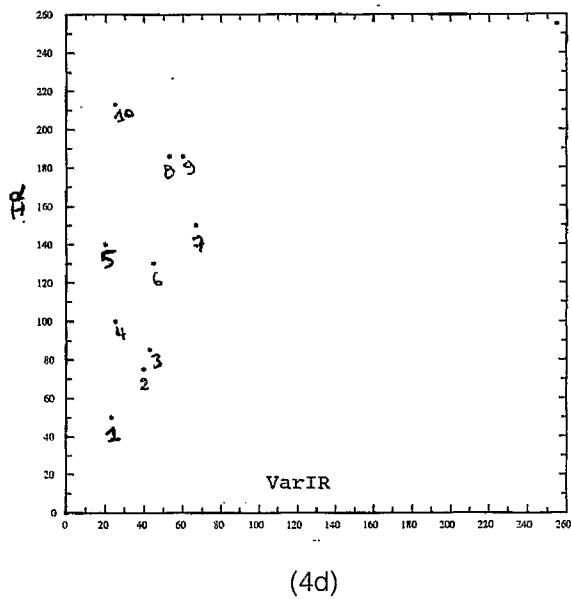
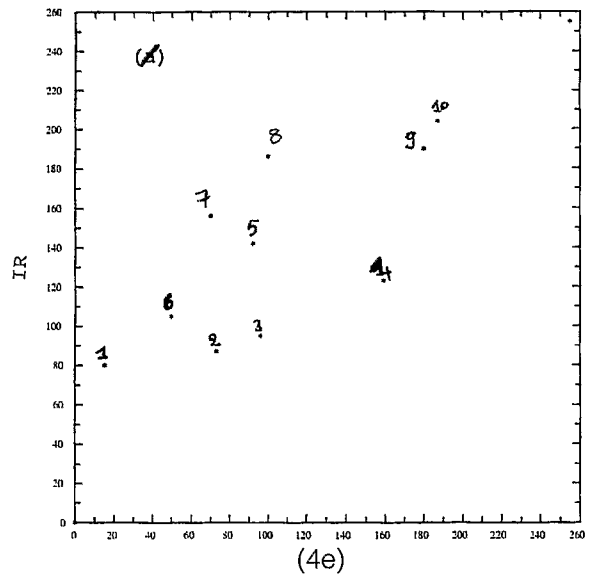
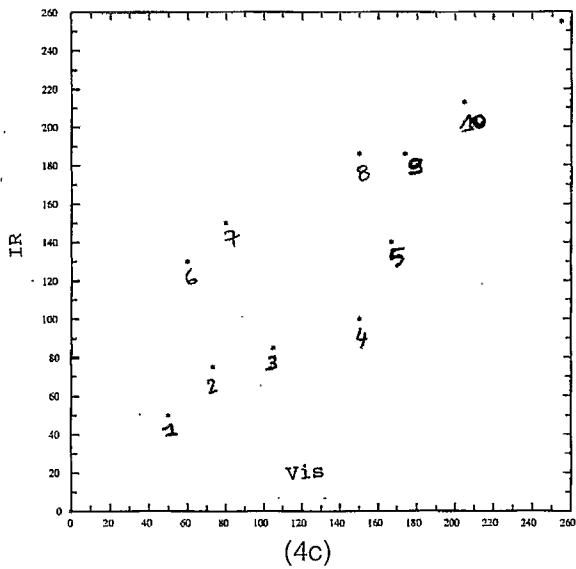


Figure 4. – CENTRES DE GRAVITÉ RETENUS DES DIFFÉRENTS TYPES DE NUAGES POUR LA ZONE SAHÉLIENNE : (c) DANS LE PLAN VIS ET IR (CF TABLEAU 3) ; (d) DANS LE PLAN IR ET VarIR. CENTRES DE GRAVITÉ RETENUS DES DIFFÉRENTS TYPES DE NUAGES POUR LA ZONE MER : (e) DANS LE PLAN VIS ET IR ; (f) DANS LE PLAN IR ET VarIR.  
 GRAVITY CENTRE KEPT FOR DIFFERENT CLOUD TYPES FOR THE SAHELIAN ZONE : (c) VIS VERSUS IR ; (d) IR VERSUS VIS (see table 3).  
 GRAVITY CENTER KEPT FOR DIFFERENT CLOUD TYPES FOR THE SEA ZONE : (e) VIS VERSUS IR ; (f) IR VERSUS VarIR.



N°	Vis	IR	VarVis	VarIR	Type	
1	50	50	27	23	Su	Surface
2	73	75	50	40	Cu 1	Cu faible
3	105	85	51	43	Cu 2	Cu
4	150	100	42	25	Stm	Nuage strati
5	167	140	50	20	Ac	Ac
6	60	130	60	45	Ci 1	Cirrus
7	80	150	62	67	Ci 2	Cirrus
8	150	186	35	60	Ci 3	Cirrus
9	174	186	65	53	Pe	Perturbation
10	205	213	37	25	Cb	Cb

Tableau 1 : VALEURS, EN COMPTE NUMÉRIQUE, DES CENTRES DE GRAVITÉ DES DIX CLASSES DE NUAGE POUR LA ZONE SAHEL (cf. fig. 4c-d).

VALUES IN NUMERICAL COUNT OF GRAVITY CENTRE FOR 10 CLOUD TYPES FOR THE SAHELIAN ZONE.

N°	Vis	IR	VarVis	VarIR	Type
1	15	80	15	15	Me
2	73	87	20	30	Sa
3	96	95	55	40	Sc 1
4	159	123	62	30	Sc 2
5	92	142	39	36	Ac
6	50	105	28	48	Ci 1
7	70	156	64	64	Ci 2
8	100	186	35	60	Ci 3
9	180	190	78	37	Pe
10	187	204	47	30	Cb

Tableau 2 : VALEURS, EN COMPTE NUMÉRIQUE, DES CENTRES DE GRAVITÉ DES DIX CLASSES DE NUAGE POUR LA ZONE MER (cf. fig. 4e-f).

VALUES IN NUMERICAL COUNT OF GRAVITY CENTRE FOR 10 CLOUD TYPES FOR THE SEA ZONE.

### **Classification en pleine résolution**

Le choix des noyaux initiaux pour la classification tient un rôle prépondérant dans la méthode. En effet, ces noyaux permettent d'initialiser la méthode des nuées dynamiques et d'identifier les classes de types de nuages. Une erreur dans le choix de ces noyaux peut donc induire des erreurs de calcul et des imprécisions quant aux résultats de la classification.

A cet effet, on applique la méthode du minimum de distance (en pleine résolution sur chaque image quotidienne), initialisée à l'aide des noyaux obtenus (pour chaque zone) dans la première étape (résultats retenus en IV-3-a). Ces noyaux sont ajustés manuellement en visualisant les images.

**Les étapes suivies peuvent se résumer comme suit :**

- acquisition des images format A (à 12 H TU),
- extraction de la fenêtre Afrique de l'ouest,
- normalisation Vis (Brisson et al), calibration IR (EUMETSAT),
- calcul des VarVis et VarIR et échantillonnage,
- partitionnement de la fenêtre en zones,
- constitution des échantillons (sur 30 jours) pour des sous-ensembles, représentatifs,
- classification à l'aide de l'algorithme des nuées dynamiques avec initialisation aléatoire des noyaux, pour des sous-ensembles représentatifs de chaque zone,
- identification des résultats des classes dans le plan (Vis, IR, VarVis, VarIR),
- classification à l'aide du minimum de distance en pleine résolution, avec des noyaux retenus, de chaque image quotidienne de la période,
- identification des classes sur les images.

#### **IV.4. Définition des types de nuages**

Les différents types de nuages identifiés ainsi que leur centre de gravité sont interprétés comme suit :

- surfaces, mer ou terre, (ciel clair) : comptes numériques les plus faibles en Vis et IR, respectivement les plus sombres et les plus chauds et de variance Vis et IR faibles i-e des surfaces plus homogènes ;
- cirrus très faibles, faibles cumulus et bord des nuages : leurs comptes numériques Vis et IR sont assez proches de ceux du ciel clair, ils s'en distinguent par leur variance qui est relativement forte ;
- cirrus épais : compte numérique IR relativement fort, celui du canal visible relativement faible et variances fortes ;
- nuages hauts épais souvent associés aux perturbations ou à des cumulonimbus : comptes numériques IR et Vis très forts (les plus froids et les plus brillants) et variances faibles comparables à celle de la surface ;

### **Classification at full resolution**

The choice of initial kernels for the classification plays an important role in the method. In fact, these kernels permit the clustering technique to be initialized and to identify the classes of cloud types. One error in the choice of these kernels may therefore induce calculation errors and imprecisions as regards the results of the classification.

To this end, applied the method of the minimum of the distances (at full resolution on each daily image), initialized with the help of acquired kernels (for each zone) in the first stage (results retained in IV.3.a). These kernels are adjusted manually by visualising the images.

**The following stages can be summarized as follows :**

- format A image acquisition (at 12:00h GMT),
- extraction of the western Africa window,
- VIS standardization (Brisson and Al.), IR calibration (EUMETSAT),
- calculation of VarVIS and VarIR and sampling,
- partitioning of the window into zones,
- constitution of samples (over 30 days) for the representative sub-sets,
- classification with the help of the clustering technique algorithm with random initialization of kernels, for the sub-sets representative of each zone,
- identification of the results of classes in the plan (VIS, IR, VarVIS, VarIR),
- classification with the help of the minimum of the distances at full resolution, with retained kernels, of each daily image from the period,
- identification of classes on the images.

#### **IV.4. Definition of cloud types**

The different types of clouds which were identified as well as their centre of gravity are interpreted as follows :

- surfaces, sea or ground, (clear sky) : numerical counts the lowest in VIS and IR, respectively the darkest and the hottest and weak VIS and IR variances i-e the most homogeneous surfaces ;
- very weak cirrus, weak cumulus and cloud edges ; their VIS and IR numerical counts are fairly close to those of clear sky. They are distinguished from it by their variance which is relatively important ;
- dense cirrus : IR numerical count relatively high, the one of the VIS channel relatively low and important variances ;
- thick high clouds often associated with perturbations or cumulonimbus : IR and VIS numerical counts very high (the coldest and the brightest) and low variances comparable to that of the surface ;

– nuages bas cumuliformes : compte numérique IR faible (chaud), compte numérique visible relativement fort (brillant) et variances Vis et IR relativement faibles ;

– nuages bas stratiformes : compte numérique IR faible, compte numérique Vis relativement fort et variances Vis et IR faibles ;

– nuages moyens : les comptes numériques Vis et IR sont moyens et on a toutes les valeurs possibles des variances.

## V. MOYENS INFORMATIQUES

Tous les traitements effectués durant cette étude relèvent de l'utilisation d'un ensemble de modules regroupés dans le logiciel Triskel, mis au point par D. Dagonne [17] : traitement d'image, restitution graphique et image, traitement géométrique...

Les principaux outils employés dans le cadre de cette étude ont été :

– décodage Météosat acquisition format A : calibration IR et "normalisation" Vis (angle solaire),

– calcul de la variance avec la dynamique log,

– classification "non supervisée", méthode des nuées dynamiques sur M images multitemporelles,

– classification "supervisée", méthode de minimum de distance, par zone de référence.

Ces programmes sont disponibles sous l'environnement UNIX (sur station de travail SUN).

## VI. RESULTATS ET PERSPECTIVES

Nous avons retenu 8 à 15 classes de types de nuages (suivant la zone considérée) avec leurs centres de gravité. Ces classes ont été validées par des néphanalystes en examinant les images (*cf. tableaux 1 et 2*).

Les résultats obtenus sont satisfaisants aussi bien en zone mer qu'en zone terre avec une continuité parfaite des différents types de nuages entre les zones, à l'exception du type "sable" où la classification ne distingue pas, sur le continent, entre le sable en altitude et les régions où la température du sol avoisine la température sable. L'image du 20/04/92 (*cf. figure 5*) met en évidence cette situation.

### VI.1. Exemple du 20/04/92 à 12 h TU

La *figure 5* montre trois images visible, infrarouge et les résultats de la classification. Une néphanalyse a été faite sur ces images (*cf. figure 5d*).

– cumuliform low clouds : IR numerical count low (hot), VIS numerical count relatively high (bright) and VIS and IR variances relatively low ;

– stratiform low clouds : IR numerical count low, VIS numerical count relatively high and low VIS and IR variances ;

– average clouds : VIS and and IR numerical counts are average and one has all the possible variance values.

## V. DATA PROCESSING TECHNIQUES

All the processing carried out during this study are derived from the application of a set of modules grouped together in the Triskel software, perfected by D. Dagonne [17] : image processing, graphical and image recomposition, geometrical processing,...

The principal tools used within the framework of this study were :

– format A acquisition Météosat decoding : IR calibration and VIS (solar angle) "standardization",

– calculation of variance with the log technique,

– "non-supervised" classification, Dynamic cloud method on M multi-temporal images,

– "supervised" classification, minimum of the distance method, for each reference zone.

These programmes are available on the UNIX environment (on a SUN work station).

## VI. RESULTS AND PERSPECTIVES

We have retained 8 to 15 classes of cloud types (according to the zone under consideration) with their centres of gravity (*see tables 1 and 2*).

The obtained results are satisfactory both in the maritime zone as well for land with a perfect continuity of different types of clouds between the zones, with the exception of the "sand" type where the classification does not distinguish, on the continent, between high level sand and regions where ground temperature is near that of the sand at a high level. The image on the 20/4/92 (*see figure 5*) clearly shows this situation.

### VI.1. Example of the 20/04/92 at 12:00 GMT

*Figure 5* displays three images, one VIS, one IR and the third one displaying the results of the classification. These images have undergone a one a nephanalysis (*see fig. 5d*).

Au point de vue météorologique, elles sont caractérisées par un enroulement de sable sur l'Atlantique (nord-ouest de la fenêtre) bien repéré, dans le canal visible, par des stratocumulus au sud des îles Canaries et sur le Maroc, par une remontée des cirrus, altocumulus et des cumulonimbus isolés, ensuite par des cumulonimbus avec une échappée des nuages cirriformes et quelques altocumulus au sud-ouest de la fenêtre, par une descente d'air froid sur l'Italie et la Libye, qui se caractérise par des cumulonimbus, des stratocumulus et des poussières (sable). Enfin, au sud de la fenêtre, on distingue des cumulonimbus isolés, des cumulus et beaucoup de cirrus.

From a meteorological angle, they are characterized by a vortex of sand over the Atlantic (north-west of the window) clearly located, on the VIS channel, by stratocumulus to the south of the Canaries and over Morocco, by a rise of cirrus, altocumulus and isolated cumulonimbus, then by cumulonimbus with a patch of cirriform and several altocumulus clouds to the southwest of the window, by a downward movement of cold air over Italy and Libia, which is characterized by the cumulonimbus, the stratocumulus and dusts characterized by the cumulonimbus, the stratocumulus and dusts (sand). Lastly to the south of the window, one can distinguish isolated cumulonimbus, cumulus and many cirrus.

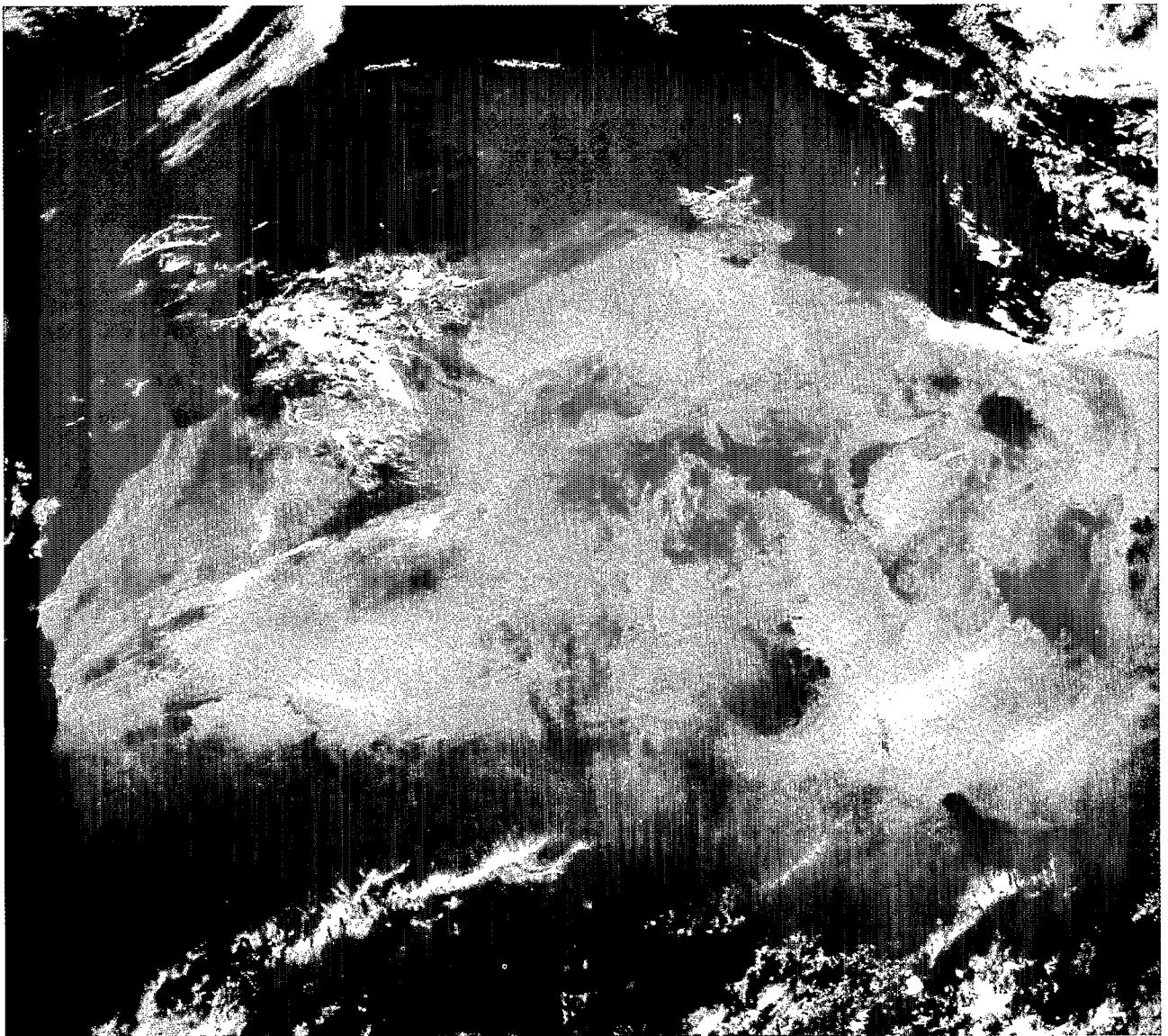


Figure 5a. – **IMAGE VISIBLE DU 20/04/92 A 12.00 H TU.**  
**VISIBLE IMAGE ON 20/04/92 AT 12.00 GMT.**

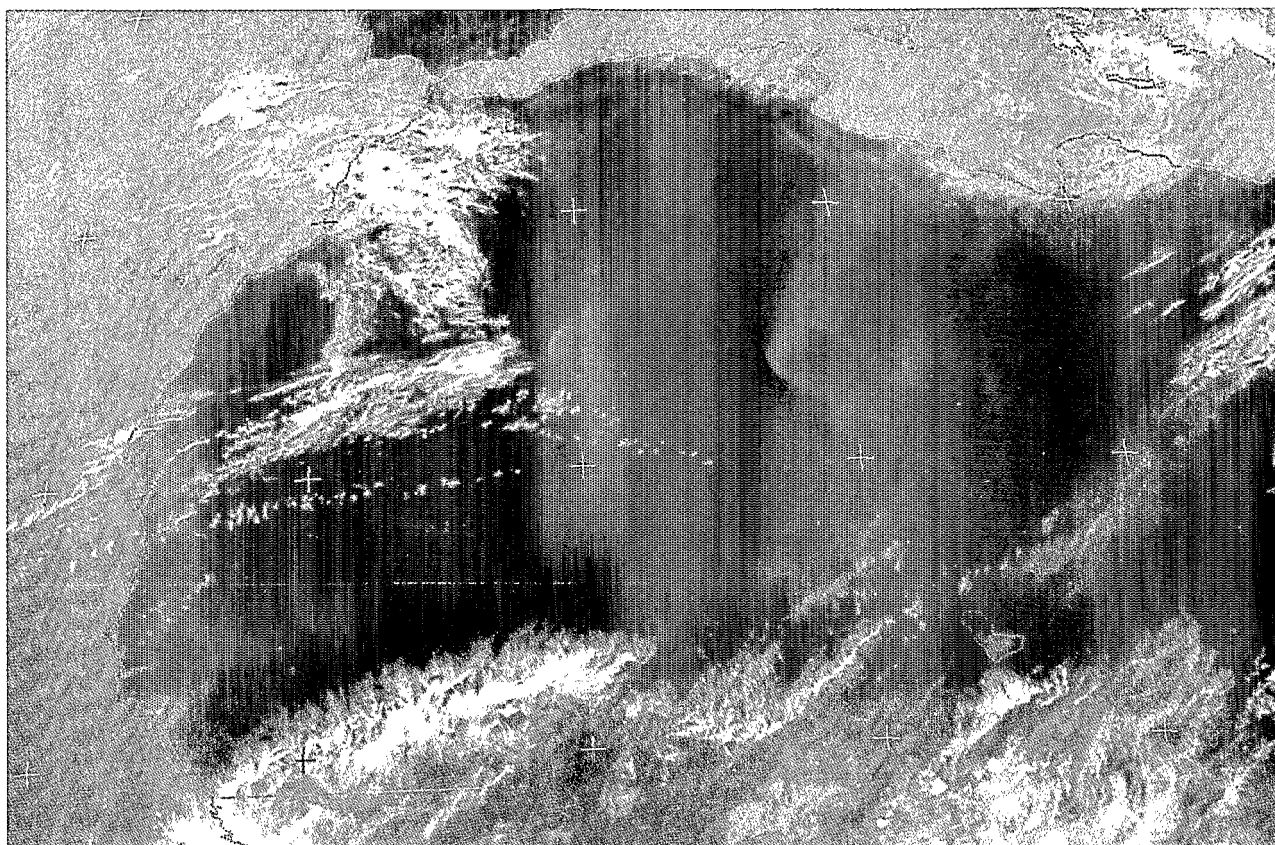


Figure 5b. – **IMAGE INFRAROUGE DU 20/04/92 A 12.00 H TU.**  
**INFRARED IMAGE ON 20/04/92 AT 12.00 GMT.**

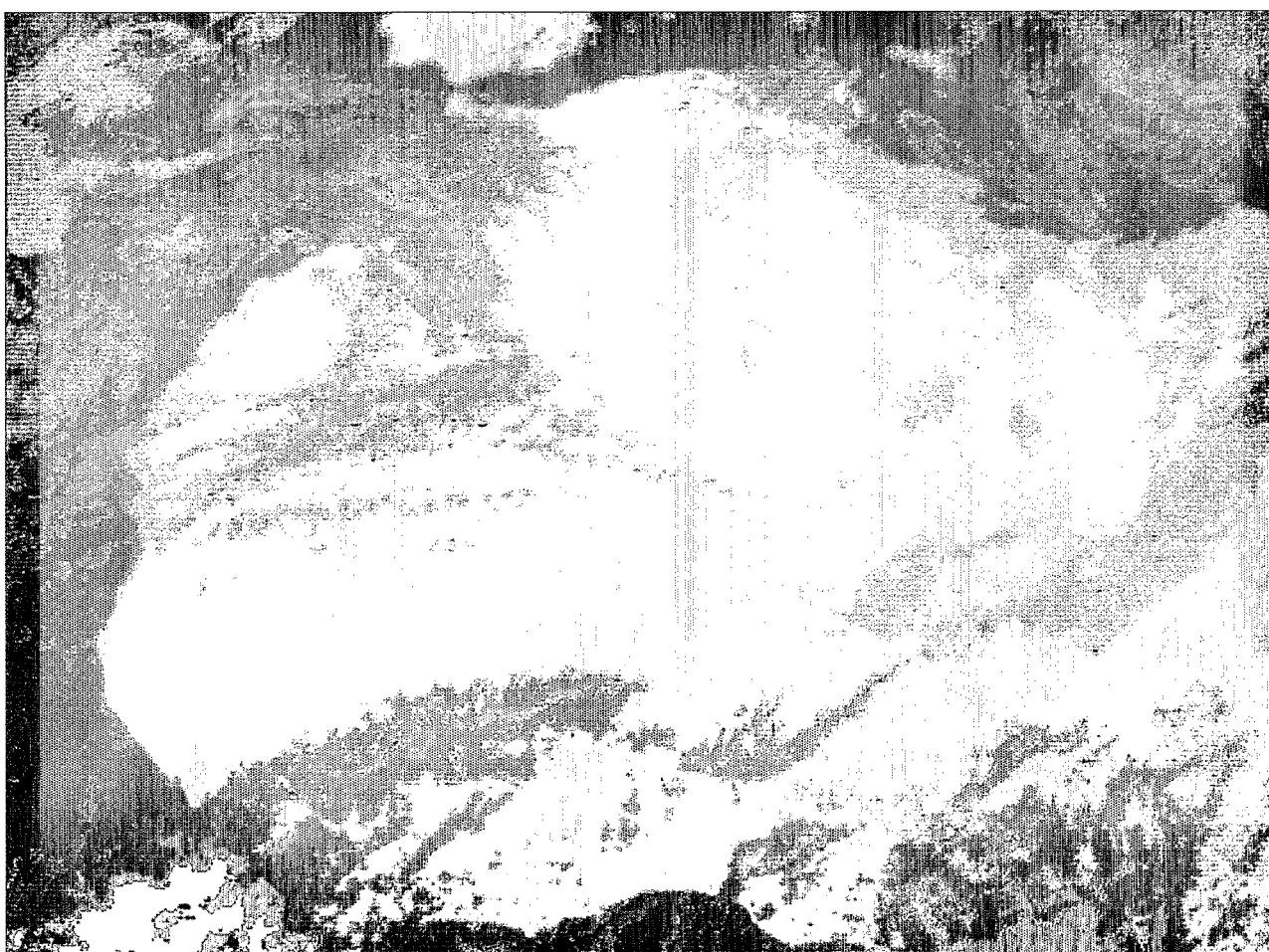


Figure 5c. – **CLASSIFICATION MÉTÉOSAT.**  
**METEOSAT CLASSIFICATION.**

Date : 20 Avril 1992 - Slot : 24 (12H)



Les classes résultantes correspondent bien aux différents types de nuages (cf. figure 5d). On peut considérer que la classification est globalement satisfaisante pour les surfaces (mer, terre), pour les nuages cirriformes (cirrus, cirrostratus), pour des nuages stratiformes (stratocumulus, stratus) et pour des nuages cumuliformes (cumulus, cumulonimbus, stratocumulus). Cependant la méthode de classification ne sépare pas le "sable" des régions qui ont la même signature spectrale que ces nuages de poussières ; ceci apparaît évident puisque l'étude a été faite sur des zones assez grandes pratiquement homogènes. Dans ces conditions, il faut traiter d'autres slots, de jour comme de nuit, pour étudier la stabilité de la classification durant toute la journée et faire la même étude sur des zones de petite taille plus homogènes, comme cela a été fait dans les régions tempérées [8]. Dans ces conditions on peut procéder par un zonage automatique ou sur un atlas de référence sur les minima visible et infrarouge calculés sur toute la période, ceci pour tenir compte des signatures spectrales des genres de surfaces, et faire ensuite la même étude pour d'autres saisons, pour étudier la stabilité saisonnière de la classification des genres de nuages.

The resulting classes clearly correspond to the different types of clouds (see fig. 5d). One can affirm that the classification is globally satisfactory for surfaces (sea, land), for cirriform clouds (cirrus, cumulonimbus), for stratiform clouds (stratocumulus, stratus) and for cumuliform clouds (cumulus, cumulonimbus, stratocumulus). However, the classification method does not separate the "sand" from regions which have the same spectral response as dust clouds ; this was obvious since the study was carried out over fairly large zones which were almost homogeneous. Under these conditions, other slots must be processed, both during the day-time and at night-time, to study the stability of the classification during the whole day and to carry out the same study over smaller, more homogeneous zones, like the one which has been carried out in the temperate regions [8]. Under these conditions one can proceed by automatic zoning or using a reference atlas based on the VIS and IR minima calculated over the whole period, in order to take into account spectral responses of surface types, and then to carry out the same study for other seasons, to study the seasonal stability of the classification of cloud types.

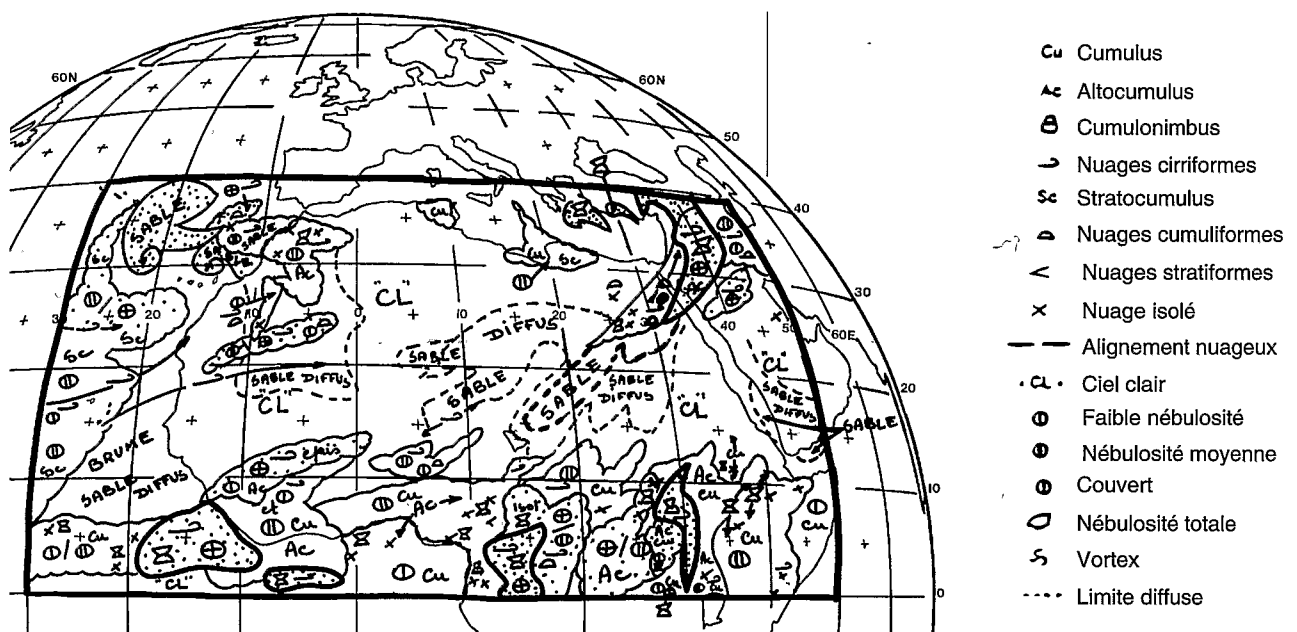


Figure 5d. – SATELLITE MÉTÉOSAT II LE 20/04/92 A 12.00 HTU., METEOFRANCE, LANNION.  
METEOSAT II SATELLITE ON 20/04/92 AT 12.00 GMT.



## VI.2. Exemple du 04/05/92 à 12 H TU

La *figure 6* est la même que la *figure 5* pour le cas du 4 mai 1992, ces images sont caractérisées par une perturbation active sur l'Algérie et la Tunisie, des échappées de cirrus partant du sud de Dakar au Sénégal, couvrant pratiquement la bande sahélienne jusqu'au nord du Burkina Faso, par une perturbation orageuse touchant la côte mauritanienne, sur l'Atlantique (22°N et 29°W) des points de cumulonimbus caractérisant une dépression en altitude, par des stratocumulus au nord surmontés par des cirrus sur les îles Canaries et enfin par des cumulonimbus et des cumulus au sud de la zone.

## VI.2 . Example of the 04/05/92 at 12:00 GMT

*Figure 6* is the same as *figure 5*, for the case of the 4th of May 1992, these images are characterized by an active perturbation over Algeria and Tunisia, patches of cirrus extending from the south of Dakar to Senegal, covering almost the Sahelian zone up to the north of the Burkina Faso, by a stormy perturbation touching the Mauritanian coast, over the Atlantic (22°N and 29°W) cumulonimbus points characterize a depression in altitude, by the stratocumulus to the north capped by cirrus over the Canaries and lastly by cumulonimbus and cumulus to the south of the zone.

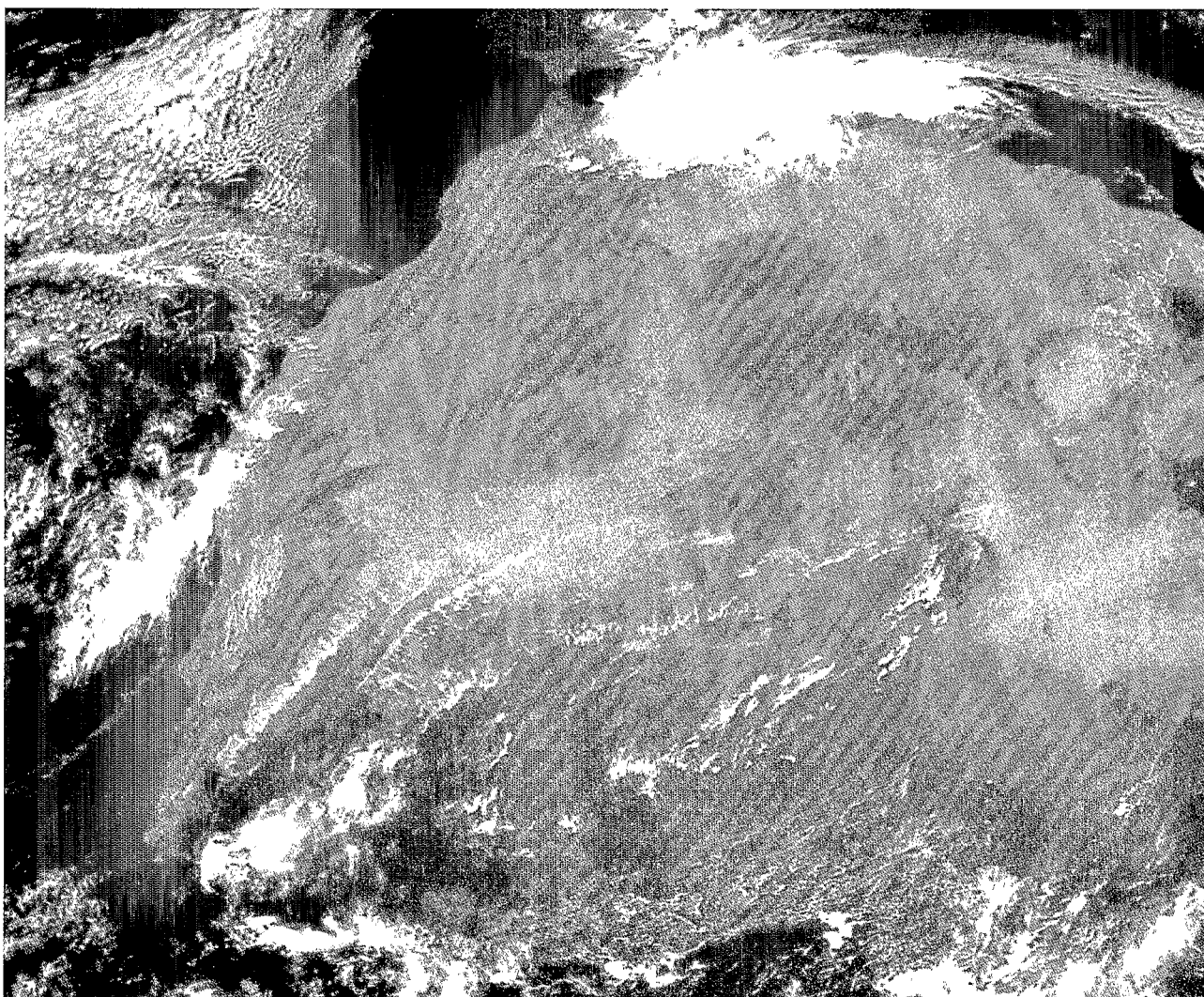


Figure 6a. – IMAGE VISIBLE DU 04/05/92 A 12.00 HTU.  
VISIBLE IMAGE ON 04/05/92 AT 12.00 H.

Le résultat de la classification correspond bien à ces différents types de nuages (*cf. figure 6-c*), cependant les mêmes problèmes subsistent que dans le cas précédent du 20/04/92, notamment le problème des poussières en suspension, avec une sous-estimation des nuages bas cumuliformes dans la zone sahélienne.

The result of the classification corresponds well to these different types of clouds (*see figure 6-c*), however the same problem subsists as in the previous case of the 20/04/92, notably the problem of dusts in suspension, with an underestimation of cumuliform low clouds in the Sahelian zone.

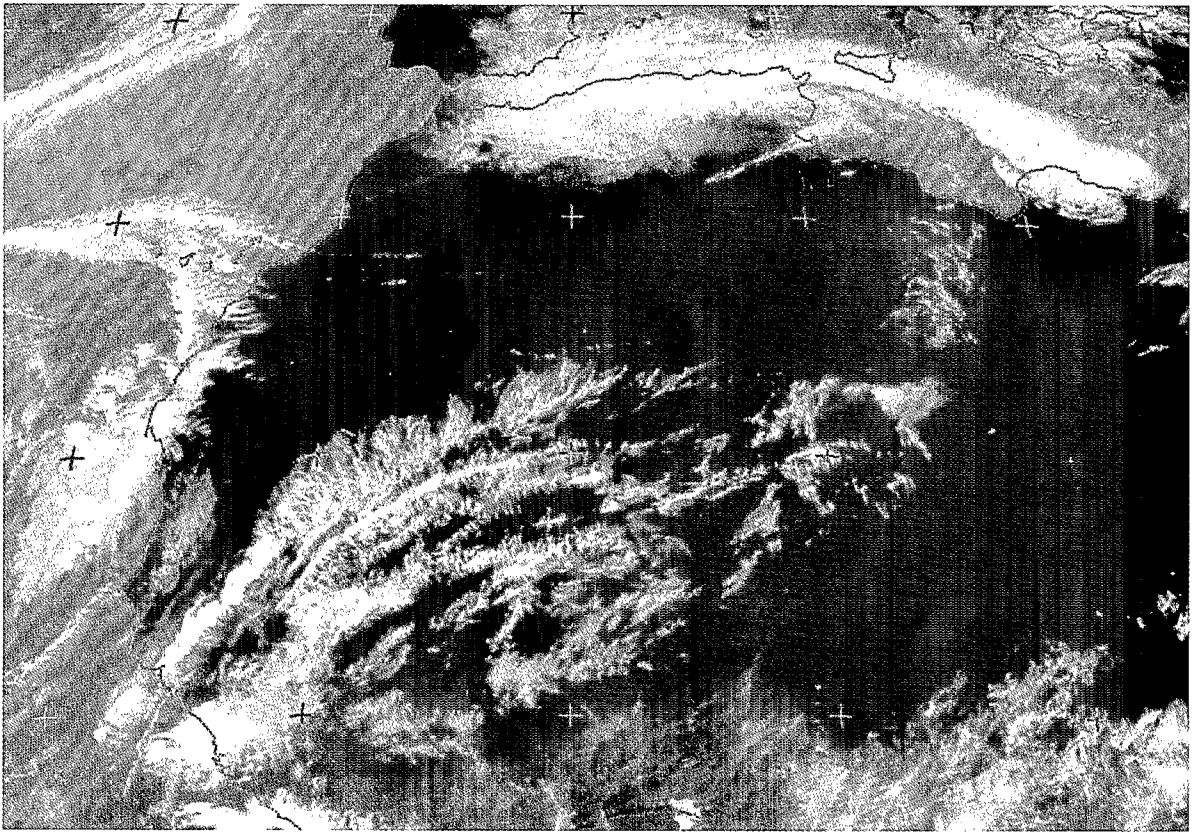


Figure 6b. – IMAGE INFRAROUGE DU 04/05/92 A 12.00 HTU.  
 INFRARED IMAGE ON 04/05/92 AT 12.00 GMT.

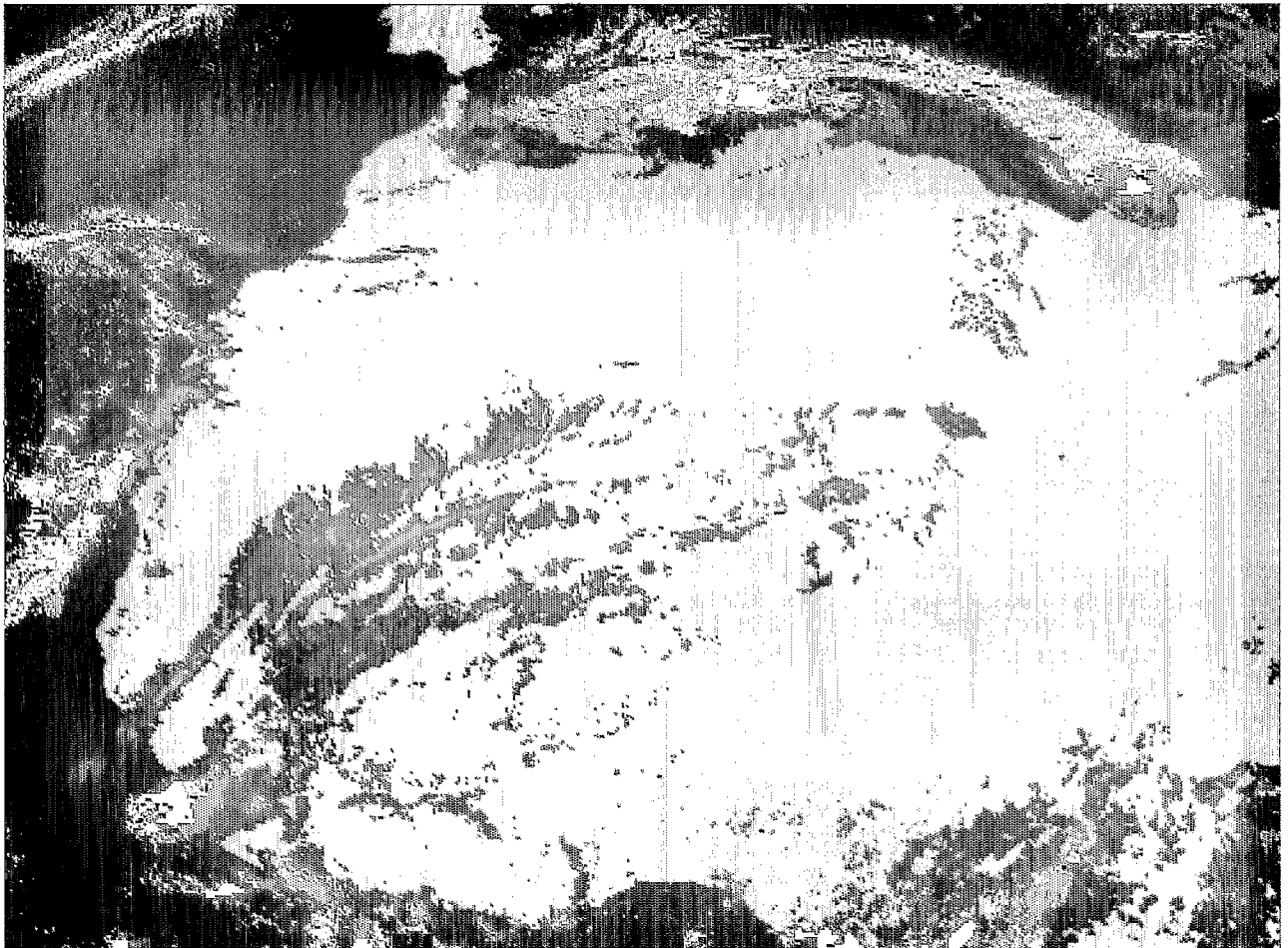
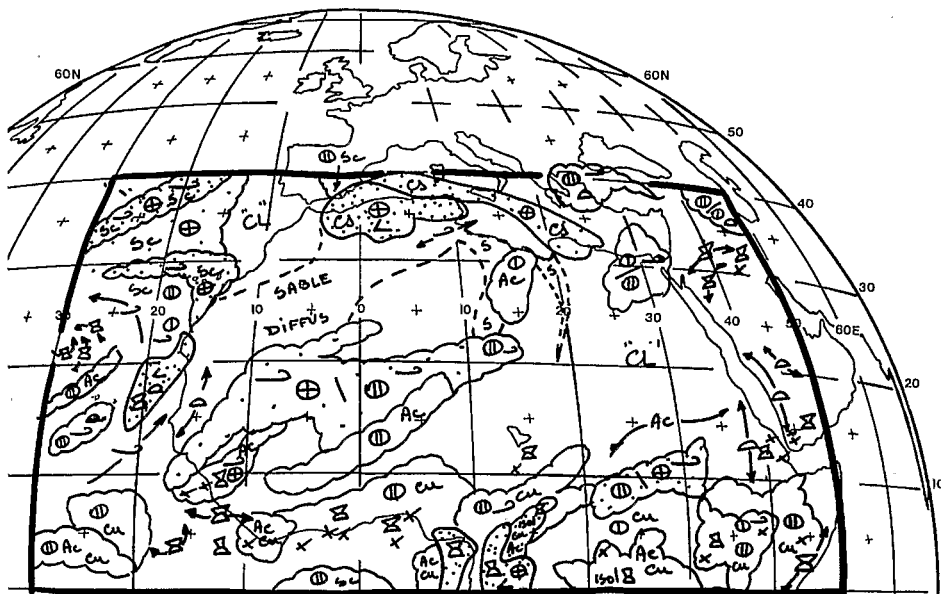


Figure 6c. – CLASSIFICATION MÉTÉOSAT.  
 METEOSAT CLASSIFICATION.  
 Date : 04 Mai 1992 - Slot : 24 (12H)





- Cu Cumulus
- Ac Altocumulus
- ☉ Cumulonimbus
- ↪ Nuages cirrifformes
- Sc Stratocumulus
- ▲ Nuages cumuliformes
- < Nuages stratiformes
- x Nuage isolé
- Alignement nuageux
- Cl • Ciel clair
- Faible nébulosité
- ⊙ Nébulosité moyenne
- ⦿ Couvert
- ⊖ Nébulosité totale
- S Vortex
- Limite diffuse

Figure 6d. – METEOROLOGIE NATIONALE FRANCE/CMS LANNION SATELLITE MÉTÉOSAT II LE 04/05/92 A 12.00 HTU. METEOFANCE LANNION. METEOSAT SATELLITE ON 04/05/92 AT 12.00 GMT.

**CONCLUSION**

Une méthode de classification automatique des nuages a été appliquée, sur une fenêtre en Afrique de l'ouest (768 x 1024 pixels), sur les données Météosat 4 des mois d'avril et mai 1992 à 12 h TU. Inspirée de la méthode développée par Desbois et Sèze et adaptée en opérationnel sur l'Europe, elle utilise quatre paramètres, deux spectraux (Vis et IR) et deux spatiaux (VarVis et VarIR). La fenêtre Afrique de l'ouest a été partitionnée en six zones relativement homogènes, ceci pour tenir compte des différents types de surface. Pour chaque type de nuage, dans chaque zone, nous avons déterminé les valeurs des quatre paramètres Vis, IR, VarVis et VarIR et le pourcentage de chaque genre de nuage sur toute la fenêtre.

Les résultats obtenus sont encourageants. Cependant, la classification ne distingue pas le sable en altitude des régions qui présentent la même signature spectrale, ce qui semble dû à la taille des zones qui sont globalement larges et/ou au choix des noyaux pour l'initialisation de la classification. Ces noyaux jouent un rôle clé pour la méthode et en constituent un point faible. Dans ces conditions, et pour avoir une représentation des poussières en altitude dans les histogrammes représentatifs, une étude doit être faite pendant la saison d'hiver (mois de février en particulier), où les nuages de poussière sont abondants en Afrique de l'ouest [19].

Dans la suite du travail nous allons étudier le cas de nuit à 24 h TU, où on ne dispose que de deux paramètres à savoir IR et VarIR, tâche qui est moins facile que le cas de jour où l'on a disposé de quatre variables.

**CONCLUSION**

An automatic classification method for clouds has been applied, over a window (768 x 1024 pixels) in western Africa, using Meteosat 4 data from April to May 1992 at 12:00h GMT. Inspired by the method developed by Desbois and Sèze, adapted is operational over Europe, it uses four parameters, two spectral (VIS and IR) and two spatial (VarVIS and VarIR). The western Africa window has been partitioned into six relatively homogeneous zones, in order to take different surface types into account. For each cloud type, in each zone, we have determined the values of four parameters VIS, IR, VarVIS and VarIR and the percentage of each cloud type over the whole window.

The results which were obtained are very promising. However, the classification does not distinguish high level sand from the region which present the same spectral response, which seems to be due to the size of the zones which are on the whole large and/or to the choice of kernels for the initialization of the classification. These kernels play a key role in the method and constitute a weak point. In these conditions, and to have a representation of high level dusts in the representative histograms, a study must be undertaken during winter season (especially February), where the dust clouds are abundant over western Africa [19].

Following on from this work, we are going to study the case at night at 24:00h GMT, where one only has two parameters at ones's disposal, that is IR and VarIR, a task which is less easy than in the day-time where four variables are available.

Pour l'application au calcul du flux radiatif à la surface, sur l'Afrique, ou aux méthodes d'estimation des précipitations par satellite, nous avons besoin respectivement d'une classification des nuages à chaque heure de jour seulement et d'une classification à chaque heure de jour et de nuit, comme cela a été fait, et d'une façon opérationnelle, dans les régions tempérées au CMS (Brisson et al., 11). Cette perspective sera réalisée suivant la disponibilité des données Météosat et suivant l'implantation des mesures pyranométriques et photométriques au sol qui sont actuellement à l'étude pour l'Afrique et qui sont indispensables pour une validation.

For the application to the calculation of radiative flux at the surface, over Africa, or to rainfall estimation methods by satellite (EPSAT), we need a classification of clouds at each hour only during the day-time and a classification at each hour only of the day and night respectively, as has been carried out, and in an operational manner, in the temperate regions by (Brisson et al., 11) at the CMS. This project will be carried out according to the availability of Meteosat data and according to the implantation of pyranometric and photometric measurements at the ground which are currently being studied in Africa and which are indispensable for a validation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] COAKLEY, J.A. et F.P. BRETHERTON, 1982. – Cloud cover from high resolution scanner data : Detecting and allowing for partially filled fields of view. *J. Geophys. Res*, 87, 4917-4932.
- [2] DESBOIS M., SÈZE G. et SZEWACH, 1982. – Automatic classification of clouds on Meteosat imagery : Application to high level clouds. *J. Climate Appl. Meteor*, 21, 401-402.
- [3] SIMMER C., RASCHKE E., RUPRECHT E., 1982. – A method for determination of cloud properties from two histograms, *Ann. Meteor*, 18, 130-132.
- [4] DESBOIS M. et SÈZE G., 1984a. – Use of space and time sampling to produce representative cloud classification. *Ann. Geophys*, 2, 599-606.
- [5] DESBOIS M. et SÈZE G., 1984b. – Application of a clustering method for cloud cover analysis over tropical regions. ECMWF workshop on cloud cover parametrization in numerical models, Novembre 1984. *ECMWF report*, August 1985, 263-282.
- [6] HENDERSON-SELLER A., SÈZE G., DRAKE F., DESBOIS M. – Surface-observed and satellite-retrieved cloudiness compared for the 1983 ISCCP special study area in Europe. *J. Geophys. Res*, 92, 4019-4033.
- [7] ARKIN A. and J.D. CHILDS, 1985. – Retrieval of cloud cover parameters from multispectral satellite measurements, *J. Climate Appl. Meteor*, 24, 322-333.
- [8] BELLEC B., MARSOUIN A., BRISSON B., LE BORGNE P., SÈZE G., DESBOIS M., 1992. – Operational cloud classification over Europe with Meteosat data, *Proceedings of the Central Symposium of the "International Space Year" Conference, Held in Munich, Germany, 30 March-4 April 1992 (ESA SP-314, July 1992)*.
- [9] JOBARD I., DESBOIS M., 1992. – A method combining infrared and microwave satellite radiances for the estimation of the tropical rain. 6th conference on Satellite radiances for the estimation of the tropical rain. 6th conference on Satellite Meteorology and Oceanography, January 5-10, 1992, Atlanta Georgia.
- [10] JOBARD I., DESBOIS M., 1992. – Remote sensing of rainfall over tropical Africa using Meteosat infrared imagery : sensitivity to time and space averaging. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 13, n° 2683-2700.
- [11] BRISSON A., MARSOUIN A., LE BORGNE P., 1990. – Application of a satellite cloud classification scheme to downward longwave flux calculations, 8th Meteosat Sc. user's meeting, Norrkopong August 1990, *Eumetsat Eum Po*, 163-168.
- [12] ROSSOW W.B., MOSHER F., KINSELLA E., ARKIN A., DESBOIS M., HARRISON E., MINNIS P., RUPRECHT E., SÈZE G., SIMMER C. and SMITH E., 1985. – ISCCP cloud algorithm intercomparison. *J. Climate Appl. Meteor*, 24, 877-903.
- [13] ROSSOW W.B., GARDER L.C., LACIS A.A., 1989. – Global, seasonal cloud variations from satellite radiance measurements. Part 1 : Sensitivity of analysis. *J. Climate*, 2, 214-247.
- [14] SÈZE G., ROSSOW W.B., 1991. – Time cumulated visible and infrared radiance histograms used as descriptor of surface and cloud variations. *Int. J. Remote Sensing*, 12, 877-920.
- [15] SÈZE G., DESBOIS M., 1987. – Cloud cover analysis from satellite imagery using spatial and temporal characteristics of the data. *J. Climate Appl. Meteor*, 26, 287-303.

- [16] GUILLOT B., CARN M., DAGORNE D., LAHUEC J.P., 1987. – Rainfall estimation over the sahel from infrared satellite imagery, during the rainy season 1986-1987. *Proceeding of the seventh Meteosat Scientific Users, Madrid*, pp..
- [17] DAGORNE D., 1988. – Traitement des données satellitaires à l'antenne Orstom de Lannion. Le logiciel Triskel. *Veille Climatique Satellitaire Lannion*, n° 23, pp. 17-22 et n° 24, pp. 38-42.
- [18] CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P., 1990. – Estimation des pluies et suivi de l'hivernage 1990 en Afrique de l'ouest soudano-sahélienne à travers un catalogue d'images mensuelles. *Veille Climatique Satellitaire Lannion*, n° 34, pp. 24-31.
- [19] DONGUY P. et BOURDET C., 1992. – Nuages de poussières au-dessus du Sahara oriental. *Veille Climatique Satellitaire Lannion*, n° 41, pp. 63-75.
- [20] DESBOIS M., KAYIRANGA T., GNAMIEN B., GUESSOUS S. and PICON L., 1988. – Characterization of some elements of the Sahelian climate and their interannual variations for July 1983, 1984 and 1985 from the analysis of Meteosat ISCPP data *J. Climate*, 1, 841-897.
- [21] DESBOIS M., KAYIRANGA T., GNAMIEN B., 1989. – Diurnal cycle of convective cloudiness over Tropical Africa observed from Meteosat : Geographic characterization and interannual variations. *Annales Geophysicae*, 7, 395-404.
- [22] PORCU F. and LEVIZZANI V., 1992. – Cloud classification using Meteosat VIS-IR imagery. *INT. J. Remote Sensing*, vol. 13, n° 5, 893-909.
- [23] MINNIS P. and HARRISON E.F., 1984. – Diurnal variability of regional cloud and clear sky radiative parameters derived from GOES data. Part I : analysis method. *Journal of climate an Applied Meteorology*, 23, 993-1011.
- [24] LEGRAND M., BERTRAND J.J. and DESBOIS M., 1985. – Dust Clouds over West Africa : A characterization by satellite data. *Annales Geophysicae*, n° 3, 6, 7707-784.

