

IV.4 – L'EXEMPLE DE MADAGASCAR : LA DETECTION DES SECHERESSES DE 1990-1991 ET 1991-1992

IV.4 – THE EXAMPLE OF MADAGASCAR : DETECTION OF 1990-1991 AND 1991-1992 DROUGHTS

Par JEAN-PAUL LAHUEC, SIMONE RANDRIAMANGA

RÉSUMÉ

Les deux saisons des pluies 1990-1991 et 1991-1992, très déficitaires à Madagascar sont présentées à travers un catalogue d'images, réalisé à l'antenne ORSTOM de Lannion. Ces images sont issues d'un traitement de l'imagerie infrarouge Météosat dédié à la variation de la température de brillance maximum de surface. Leur interprétation montre que l'évolution des températures maximum de surface est étroitement corrélée aux variations de la pluviométrie et qu'il est possible de mettre en évidence les zones touchées par la sécheresse dans un contexte géographique et climatique bien plus diversifié que celui du Sahel.

INTRODUCTION

Localisé dans la zone chaude de l'hémisphère sud, Madagascar est soumis à un régime climatique tropical, caractérisé par deux saisons contrastées, l'une chaude et pluvieuse, l'autre sèche et fraîche, nuancées par des différences régionales. L'ouest plus sec et plus chaud contraste avec le centre, tempéré par l'altitude, et l'est de tendance subéquatoriale. Le nord, situé dans l'aire d'oscillation de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT), est nettement plus arrosé que le sud situé dans une région balayée aussi bien en été qu'en hiver par les Perturbations Frontales Méridionales d'origine polaire et évoluant dans les latitudes tempérées (PFM). Le sud du pays est fréquemment affecté par la sécheresse. Les conséquences en sont parfois catastrophiques et durement ressenties par la population. Elles se traduisent par des disettes ou des famines qui occasionnent de nombreuses pertes en vies humaines et en cheptel. Elles provoquent également une émigration temporaire à plus ou moins longue distance, ce qui désorganise la structure socio-économique régionale. Tel a été le cas de la dernière phase sèche qui a provoqué une très sévère famine dans le sud de Madagascar en 1992 et à un degré moindre en 1991.

SUMMARY

In Madagascar, the 1990-1991 and 1991-1992 rainy seasons both showed an important pluviometric deficit. Both these seasons are illustrated in a catalogue of images, drawn up by the Lannion ORSTOM team. These images stem from the processing of Météosat infra-red imagery dedicated to the variation of surface maximum brightness temperature. Their interpretation shows that the evolution of surface maximum temperature is tightly correlated to pluviometric variations and that it is possible to highlight the zones affected by drought in a geographical and climatic context which is far more diversified than the one found in the Sahel.

INTRODUCTION

Localized in the warm zone in the southern hemisphere, Madagascar is subjected to a tropical climatic regime, characterized by two contrasted seasons, one warm and rainy, the other dry and cool, shaded by regional differences. The drier and hotter west contrasts with the centre, tempered by altitude, and the east with its sub-equatorial trend. The north is situated in the area where the InterTropical Convergence Zone oscillates. It is clearly wetter than the south situated in a zone swept both in summer and winter by meridional frontal disturbances of polar origin, evolving in the temperate latitudes. The south of the country is frequently affected by drought. The consequences are sometimes catastrophic and sharply felt by the population. Drought results in scarcities or famines which cause losses in cattle and human life. It also causes a temporary migration over a more or less long distance, which disorganizes the regional socio-economic structure. Such was the case of the last dry period which caused severe famine in southern Madagascar in 1992 and, to a lesser degree, in 1991.

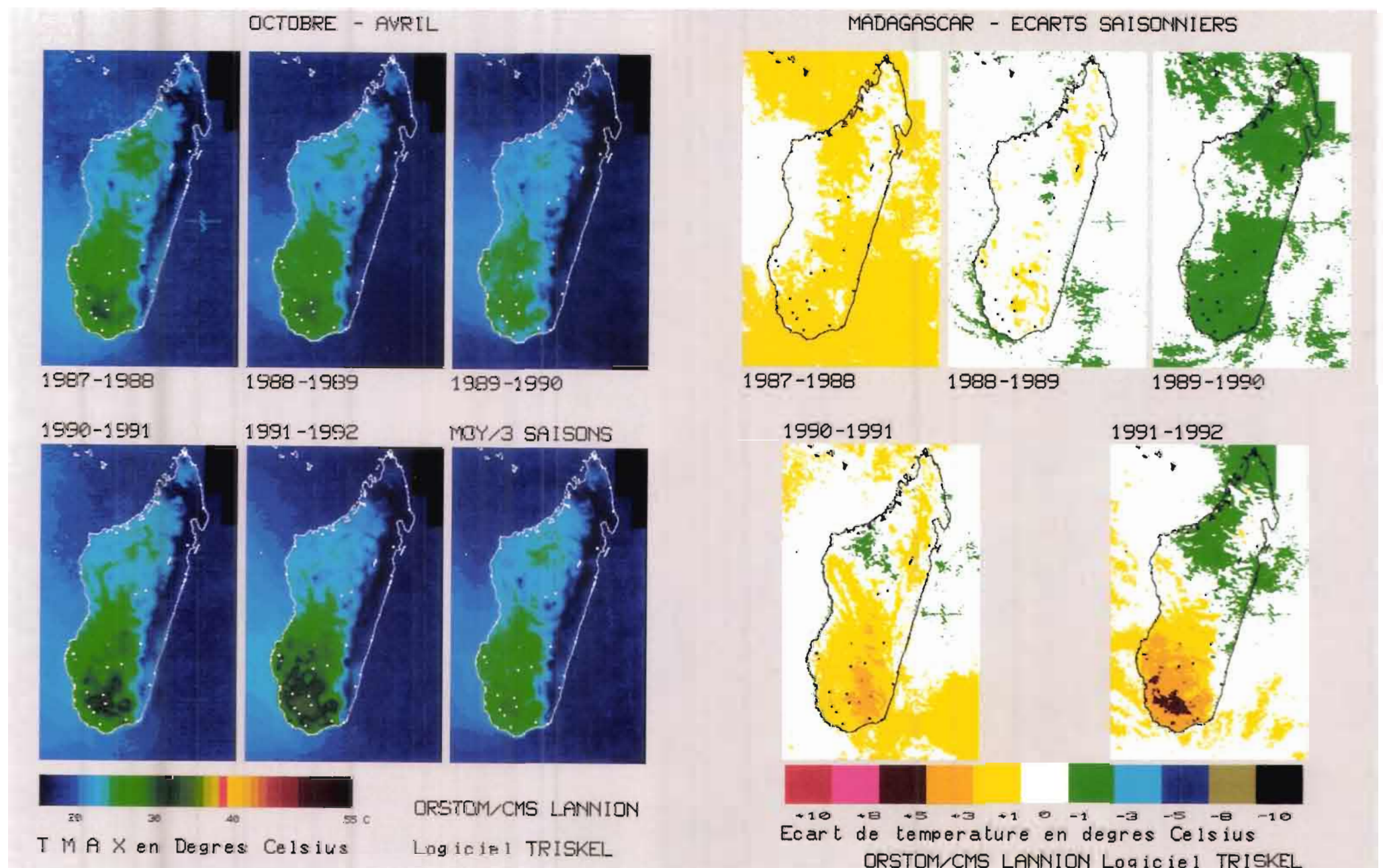


Figure 1a. – TEMPERATURE DE BRILLANCE MAXIMUM DE SURFACE. MADAGASCAR. MOYENNES SAISONNIÈRES. OCTOBRE-AVRIL.
SURFACE MAXIMUM BRIGHTNESS TEMPERATURE. MADAGASCAR. SEASONAL MEANS. OCTOBER-APRIL.

Figure 1b. – ÉCART A LA MOYENNE DES TEMPÉRATURES DE BRILLANCE MAXIMUM DE SURFACE. ÉCARTS SAISONNIERS.
DEVIATION FROM THE MEAN OF SURFACE MAXIMUM BRIGHTNESS TEMPERATURE. SEASONAL DEVIATIONS.

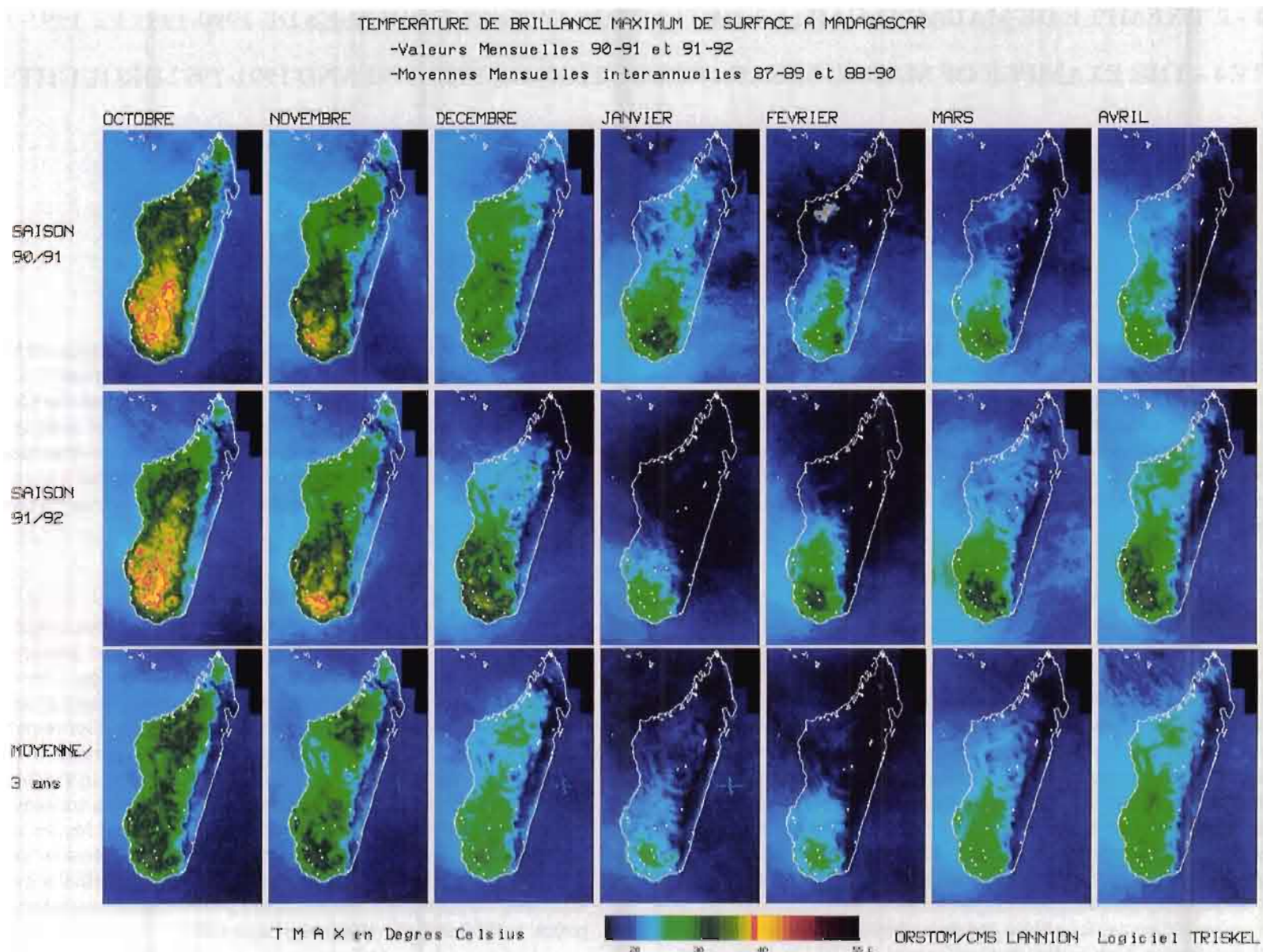


Figure 2a. – TEMPÉRATURE DE BRILLANCE MAXIMUM DE SURFACE. VALEURS MENSUELLES 1990-1991, 1991-1992 ET MOYENNES MENSUELLES INTERANNUELLES. SURFACE MAXIMUM BRIGHTNESS TEMPERATURE. 1990-1991, 1991-1992 MONTHLY VALUES AND INTERANNUAL MONTHLY MEANS.

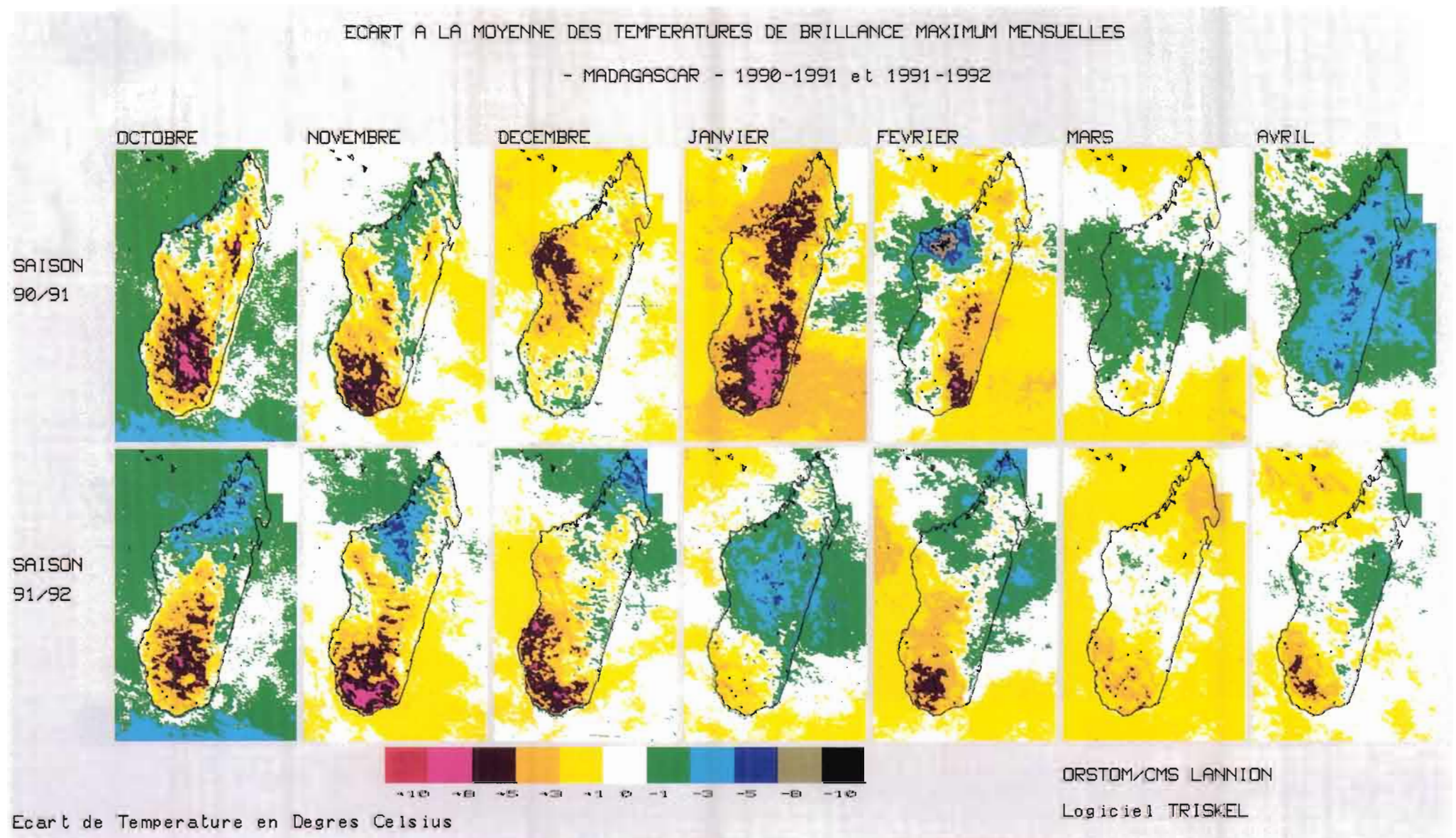


Figure 2b. – ÉCART A LA MOYENNE DES TEMPERATURES DE BRILLANCE MAXIMUM MENSUELLES. 1990-1991 ET 1991-1992. DEVIATION FROM THE MEAN OF MONTHLY MAXIMUM BRIGHTNESS TEMPERATURES. 1990-1991 AND 1991-1992.

L'objectif de ce texte est de tester la pertinence d'une méthodologie, couramment utilisée à l'antenne ORSTOM en matière de suivi des anomalies climatiques au Sahel (Lahuec, 1992), à rendre compte des faits de sécheresse à Madagascar, dans un contexte géographique très différent.

Malheureusement, il était impossible d'appliquer à Madagascar l'ensemble des techniques mises en œuvre pour le suivi de l'hivernage en Afrique soudano-sahélienne. En effet, la limite sud de la zone traitée pour l'élaboration des fichiers d'occurrences de nuages à sommet froid passe aux environs de 18° sud et laisse à l'écart la moitié sud du pays. Force était donc de se priver de l'utilisation combinée des images et de confier aux seules images de température de surface du sol le talent de révéler les aires touchées par la sécheresse.

LES DONNÉES UTILISÉES

Les données pluviométriques ont été obtenues auprès de la direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar et le concours du Centre ORSTOM d'Antananarivo. Les relevés pluviométriques des années 1986 à 1992, les normales mensuelles 1900-1970, 1900-1930, 1931-1960 de 25 stations météorologiques, réparties sur l'ensemble du pays, ont ainsi été mis à notre disposition. Ces séries ne sont pas toujours complètes, notamment pour les stations du Sud.

A partir des tableaux saisonniers et mensuels, les écarts aux moyennes mensuelles interannuelles établies sur les trois saisons précédant les deux années sèches étudiées (1987-1988, 1988-1989 et 1989-1990), ont été calculés, ceci pour permettre une confrontation directe avec les écarts de température correspondants, dérivés de l'exploitation des images satellitaires. Il est entendu que la saison des pluies commence le 1^{er} octobre et se termine le 30 avril.

LES IMAGES SATELLITAIRES

Les données satellitaires utilisées sont extraites des synthèses mensuelles « température de brillance maximum de surface » (TMAX) réalisées en routine par l'antenne ORSTOM de Lannion à partir des données pentadaires élaborées par le CMS de Météo-France. Celles-ci ont servi à l'élaboration de différents fichiers dont la représentation-image apparaît sur les figures :

1a : Température de brillance maximum de surface. Madagascar. Moyennes saisonnières. Avril-octobre.

1b : Écart à la moyenne des températures de brillance maximum de surface. Madagascar. Écarts saisonniers.

2a : Température de brillance maximum de surface à Madagascar. Valeurs mensuelles 90-91 et 91-92. Valeurs mensuelles interannuelles 87-89 et 88-90.

2b : Écart à la moyenne des températures de brillance maximum mensuelles. Madagascar. 1990-1991 et 1991-1992.

Grâce au logiciel Triskel, les images initialement en projection satellitaire Météosat, et donc très déformées en raison de la position de Madagascar en limite de la zone d'observation du satellite, ont été redressées en projection Mercator, puis « habillées » du trait de côte ainsi que de la localisation des principales stations du réseau synoptique.

La démarche est donc claire, il s'agit de mettre en évidence les faits de sécheresse en comparant les écarts à la moyenne interannuelle mensuelle et saisonnière 1987-1990 des températures et des pluies pour les périodes correspondantes de nos deux saisons étudiées.

Il est supposé au départ que les trois saisons précédentes ont été plus humides que les saisons 1990-1991 et 1991-1992 dans le sud de Madagascar. En toute logique, on s'attend donc à des différences importantes entre valeurs de températures mensuelles et valeurs mensuelles interannuelles, les premières devant être plus élevées que les secondes en zones touchées par la sécheresse.

RAPPEL DES LIMITATIONS DE LA MÉTHODE

Les limitations de l'utilisation de la température de brillance maximum de surface ont déjà été exposées dans les textes précédents. Nous ne ferons donc ici qu'un bref rappel en insistant sur les conditions particulières à Madagascar.

A ce propos, il faut souligner que le fichier de stations utilisé comporte une majorité de villes situées en bordure de mer. Compte tenu de l'imprécision de la localisation des stations, inhérente à la « navigation Météosat », et au mode de calcul de la valeur de température obtenue par moyenne sur neuf pixels, il est bien évident que le résultat obtenu pour une station portuaire, intègre non seulement la mesure du signal infrarouge sur des surfaces terrestres, mais aussi très vraisemblablement celle de surfaces océaniques. Les valeurs de températures aux stations maritimes n'ont donc pas la même signification que celles des stations de l'intérieur.

D'autre part, l'absorption atmosphérique du signal infrarouge est importante dans le cas d'une atmosphère humide et induit par conséquent un manque d'homogénéité des mesures dans l'espace. Dans le cas de Madagascar, les effets de brise de mer et les entrées d'air maritime vont atténuer de quelques degrés la mesure de la température maximum réelle de surface du sol du fait de l'apport d'humidité en zones littorales. L'utilisation des images « différences » permet cependant de s'affranchir en partie de cet inconvénient. En revanche, si dans une zone donnée, la couverture nuageuse reste présente pendant toute la pentade aux heures les plus chaudes de la journée, la valeur obtenue sera la température de surface maximum des nuages.

Ces remarques devaient être faites avant d'aborder le commentaire proprement dit du déroulement des deux saisons des pluies 1990-1991 et 1991-1992.

The aim of this paper is to test the relevancy of a methodology, routinely applied at the ORSTOM to monitor climatic anomalies in the Sahel (Lahuec, 1992), to describe drought occurrences in Madagascar, in a very different geographical context.

Unfortunately, it was impossible to apply all the techniques used to monitor the rainy season in Sudanese-Sahelian Africa. In fact, the southern limit of the zone processed to draw up cold top cloud occurrence files passes approximately 18°S and leaves aside the southern half of the country. Therefore we had to do without the combined use of images and to rely on the ground surface temperature images to reveal areas affected by drought.

DATA USED

Pluviometric data were obtained from the Madagascar Meteorology and Hydrology Direction and with the help of the Antananarivo Orstom Centre. We had access to the 1986-1992 pluviometric readings, the 1900-1970, 1900-1930, 1931-1960 monthly averages from 25 weather stations spread over the whole country. These series were not always complete, especially series from stations in the south.

From seasonal and monthly tables, the deviations from the interannual monthly averages were computed for the three seasons preceding the two dry years studied (1987-1988, 1988-1989 and 1989-1990), to permit direct comparison with the corresponding temperature deviations, derived from the utilization of satellite imagery. It is assumed that the rainy season begins on 1 of October and ends on 30 of April.

SATELLITE IMAGERY

The satellite data used was extracted from monthly surface maximum brightness temperature monthly syntheses (TMAX) carried out routinely by the Lannion ORSTOM team from 5-day data drawn up by the Météo-France CMS. These were used to elaborate the different files whose image-representation appear in the following figures :

1a : Surface maximum brightness temperature. Madagascar. Seasonal averages. April-October.

1b : Deviation from the surface maximum brightness temperature average. Madagascar. Seasonal deviations.

2a : Surface maximum brightness temperature in Madagascar. 1990-1991 and 1991-1992 monthly values. 1987-1989 and 1988-1990 interannual monthly values.

2b : Deviation from the surface maximum brightness temperature average. Madagascar. 1990-1991 and 1991-1992.

Thanks to the Triskel software, the images initially in Météosat satellite projection, and therefore very deformed due to the position of Madagascar at the limit of the satellite observation zone, were corrected in Mercator projection, then « dressed », adding the coast line as well as the location of the principal stations of the synoptic network.

The method is therefore clear, highlighting drought occurrences by comparing rainfall and temperature deviations with the monthly and seasonal interannual 1987-1990 average for the periods which correspond to the two seasons we have studied.

Initially, it was assumed that in southern Madagascar the three preceding seasons had been wetter than the 1990-1991 and 1991-1992 seasons. Logically, one can therefore expect important differences between monthly temperature and interannual monthly temperature values, the first values being higher than the second ones in drought affected zones.

REMINDER OF THE LIMITATIONS OF THE METHOD

The limitations of the use of maximum brightness surface temperature have already been described in the preceding texts. Only a brief reminder will be given here, stressing the special climatic conditions which occur in Madagascar.

On this subject, it must be underlined that the station file used has a majority of coastal towns. Taking into account the imprecision inherent in «Météosat navigation» when localizing stations, and the means of computing the temperature value obtained on average from 9 pixels, it is quite clear that the result which is obtained for a harbour station, not only integrates the measurement of the infra-red signal over the ground, but also in all likelihood that over oceanic surfaces. The temperature values of maritime stations do not therefore have the same signification as those of inland stations.

Moreover, the atmospheric absorption of the infra-red signal is great when the atmosphere is humid. Consequently, measurements in space are inhomogeneous. In the case of Madagascar, the sea-breeze effects and the entry of maritime air are going to reduce by a few degrees the measurement of the real maximum temperature of the ground surface due to the humidity content in the littoral zones. However, the use of «difference» images permits this drawback to be partly overcome. On the other hand, if in a given zone, cloud cover is present at the hottest hours of the day for the whole pentad, the value which is obtained is the maximum surface temperature of the clouds.

These remarks must be made before actually going on to the main part of the paper which deals with the evolution of the two 1990-1991 and 1991-1992 rainy seasons.

Les moyennes saisonnières (figures 1a, 1b et tableau 1)

La première remarque qui vient à l'esprit à la lecture des images de la figure 1 concerne la grande similitude entre les structures de répartition géographique des plages de température et la distribution des isohyètes interannuelles telles qu'elles apparaissent sur la carte publiée par P. Chaperon et al (1993). On reconnaît en effet sur toutes les images une bande orientale littorale caractérisée par des températures très fraîches, inférieures à 20°C, limitée à l'ouest par un gradient très marqué, et qui est affectée d'une pluviométrie annuelle très élevée (supérieure à 2.000 mm). Il faut signaler également que cette limite ouest présente de nombreuses indentations qui se retrouvent sur les deux documents et qui correspondent à des massifs montagneux (exemple du Massif de l'Ivakoany au sud, du Massif de Tsaratanana au nord...).

D'autre part, c'est affirmer une évidence que de dire que le Sud apparaît bien plus chaud que le Nord ou que la bande orientale. De même, sur les deux documents, on remarque l'absence de gradient, accusé sur tout le sud-ouest du pays. Cependant, sur chacune des images, une aire plus chaude se détache, délimitée par Betioky et Isoanala au nord, par Ampanihy et Bekily au Sud. Ce constat laisse deviner qu'il s'agit là d'une zone plus sensible que d'autres aux aléas climatiques.

Les images de la figure 1b montrent que dans le sud de Madagascar, les moyennes des températures de la saison 1991-1992 sont plus élevées que celles de la saison 1990-1991, elles-mêmes supérieures à la moyenne générale. En 1991-1992, l'aire précitée est celle qui présente l'écart de température le plus important (5° et 6°C). Cette région qui, selon toute logique, devrait avoir été très affectée par la sécheresse s'insère dans une bande d'écarts légèrement plus faibles (3° et 4°C), limitée au sud et à l'ouest par la côte, au nord par la diagonale Morondava-Ihosy-Toalagnaro. Cette dernière ville présente d'ailleurs l'écart positif le plus faible (1° à 2°C), écart qu'il convient de relativiser en fonction de la remarque concernant les villes côtières. L'aire d'anomalies positives s'étend vers le nord sur la partie centrale du pays, sans toutefois atteindre la capitale. En fait, l'île est coupée en deux. Les écarts de température négatifs (-1 et -2°C), c'est-à-dire synonymes d'une pluviométrie légèrement supérieure à la normale, se situent au nord d'une ligne nord-Besalampy, Antananarivo, nord-Farafangana.

La saison 1990-1991 ne présente qu'une toute petite région à anomalie négative par rapport à la moyenne des trois saisons, entre Mahajanga et Antananarivo. Cette anomalie est essentiellement à mettre au compte des températures de surface anormalement fraîches du mois de février 1991 (cf. ci-dessous). Des écarts positifs moins accusés que ceux de la saison 1991-1992 (3° et 4°C) sont notés sur une région délimitée par Behara, Bekily, Ranohira et Ihosy. Dans le reste du pays, l'image des écarts à la moyenne saisonniers indique des différences faiblement positives dans le sud (au sud d'une ligne Sud-Besalampy/Sud Antananarivo/Fianarantsoa) et une situation normale à faiblement positive au nord.

Comparaison des images mensuelles

Dans ce chapitre nous nous référons d'une part aux figures 2a et 2b, d'autre part aux tableaux de données pluviométriques et températures de brillance dont nous montrons un exemple pour les mois de janvier 1991 et 1992 (tableau 2).

La figure 2a est intéressante en ce sens qu'elle permet aisément de suivre l'évolution des températures maximales de surface de mois en mois et de les comparer aux moyennes interannuelles correspondantes. Elle permet donc de retracer sans difficulté les différentes péripéties des deux saisons des pluies. La figure 2b complète la lecture de la figure 2a dans la mesure où les écarts de température sont quantifiés, ce qui autorise une régionalisation, voire une cartographie aisée de l'extension des phénomènes de sécheresse ou, au contraire de pluviosité surabondante. Pour la commodité de l'exposé, nous utiliserons volontiers les termes d'anomalie négative ou positive, avec cependant les « réserves d'usage », puisqu'une série de données moyennées sur seulement trois ans est loin d'être assez longue pour nous en conférer le droit. Le terme d'anomalie est donc à considérer comme synonyme d'écart ou de différence à la moyenne.

The seasonal averages (figures 1a, 1b and table 1)

The first remark that comes to mind when figure 1 is studied, is the great similarity between the geographical distribution of temperature ranges and the distribution of interannual isohyets such as those which appear on the map published by P. CHAPERON and Al. (1993). A littoral oriental belt characterized by very cool temperatures, below 20°C, limited in the west by a very marked gradient, which is affected by very high annual pluviometry (more than 2000 mm) can be recognized on all the images. It must also be pointed out that this western limit presents numerous indentations which can be seen on both documents corresponding to mountainous areas (examples of Ivakoany massif in the south, Tsaratanana massif in the north...).

Moreover, to say that the south appears to be far warmer than the north or the oriental belt is to confirm the obvious. Likewise, on both documents, it can be seen that the absence of a gradient felt over all the south-western part of the country. However, each of the images, a hotter area stands out clearly, delimited to the north by Betioky and Isoanala, and by Ampanihy and Bekily to the south. This seems to indicate that this zone is more prone than others to climatic hazards.

It can be seen from images 1b that the temperature averages of the 1991-1992 season are higher than those of the 1990-1991 season, they themselves being higher than the general average in southern Madagascar. In 1991-1992, the area quoted above is the one which shows the greatest temperature deviation (5°-6°C). This region which, logically, should have been affected by drought, is inscribed in a belt with slightly lower deviations (3°-4°C), limited in the south and the west by the coast line, in the north by the Morondava-Ihosy-Toalagnaro diagonal. Moreover, Toalagnaro shows the smallest positive deviation (1° to 2°C), a deviation which must be considered in the light of the previous remarks made about coastal towns. The area of positive anomalies extends northward over the central part of the country, but does not reach the capital. In fact, the island is cut in two. The negative temperature deviations (-1° and -2°C), that is to say synonymous with a slightly higher than normal pluviometry, are situated to the north of a north Besalampy, Antananarivo, north Farafangana line.

The 1990-1991 season only presents a small negative anomaly between Mahajanga and Antananarivo, compared to the average of the three seasons. This anomaly is mainly due to surface temperatures for the month of February 1991 being abnormally cool (cf. below). Positive deviations less felt than those of the 1991-1992 season (3°-4°C) were noted over a region delimited by Behara, Bekily, Ranohira and Ihosy. Over the rest of the country, the image of deviations from the seasonal average indicated slightly positive differences in the south (south of a southern Besalampy/southern Antananarivo/Fianarantsoa line) and a normal to slightly positive situation in the north.

Comparison of monthly images

In this chapter, we refer to figures 2a and 2b, and to the tables of pluviometric and brightness temperature data, for which we show an example for the months of January 1991 and 1992 (table 2).

Figure 2a is interesting in the sense that it enables the evolution of the maximum surface temperatures to be readily followed from one month to the next and permits the comparison of these temperatures with the corresponding interannual averages. It therefore makes it possible to retrace the different sudden turns of fortune of the two rainy seasons. Figure 2b completes figure 2a to the extent that the temperature deviations are quantified, which permits a regionalization, even ready mapping of the extension of the drought phenomena or, on the contrary too much rainfall. For convenience sake, the terms «positive» or «negative anomaly» are used in this paper; however there are certain reservations as to their interpretation. The series of data used have only been averaged over three years, which is a far too shorter period to give us the right to use these terms. The anomaly term is therefore to be considered as being synonymous with deviation or difference from the average.

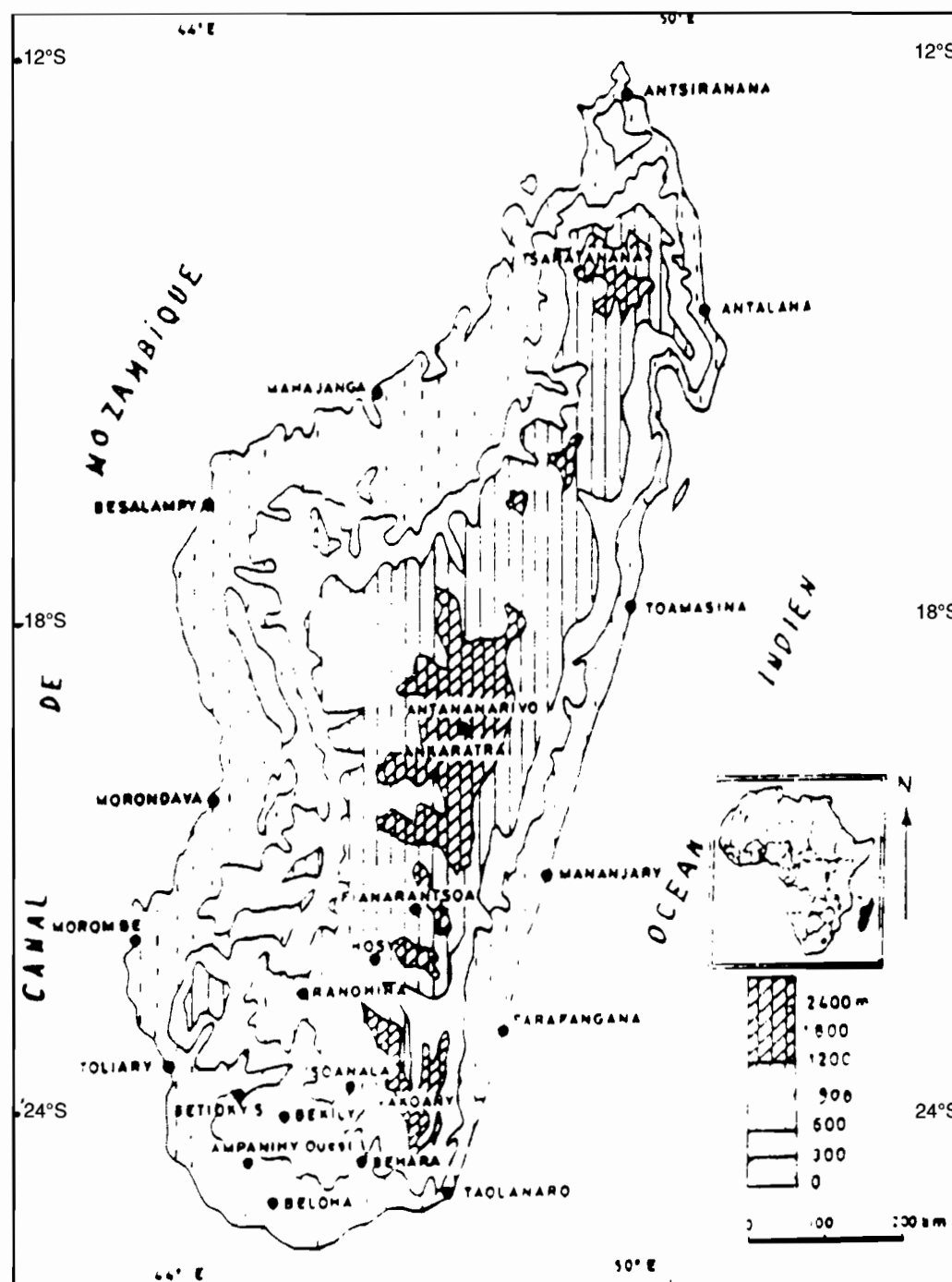


Figure 3. - LOCALISATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES. RELIEF. (D'après S. Randriamanga et al., 1993). LOCATION OF RAINGAGE STATIONS. RELIEF.

Stations	Pluviométrie saisonnière Seasonal rainfall (mm)			Ecart à la moyenne 1987-1990 Deviation from the 1987-1990 mean			
	1990-91	1991-92	Moyenne 1987-90	1990-91 en mm	1991-92 en mm	1990-91 en %	1991-92 en %
Antsiranana	1149.20	1340.10	1168.30	-19.10	171.80	-2	15
Antalaha	1884.40	2157.60	1706.90	177.50	450.70	10	26
Mahajanga	1522.00	1661.00	1337.40	184.60	323.60	14	24
Besalampi	1244.10	1065.00	1183.20	60.90	-118.20	5	-10
Toamasina	2608.90	2615.60	2214.57	394.33	401.03	18	18
Antananarivo	801.70	1197.30	919.27	-117.57	278.03	-13	30
Morondava	900.10	*	741.40	158.70	*	21	*
Mananjary	1751.70	2119.80	2106.27	-354.57	13.53	-17	1
Fianarantsoa	909.40	904.70	1034.60	-125.20	-129.90	-12	-13
Morombe	353.20	67.70	292.83	60.37	-225.13	21	-77
Ranohira	625.00	*	909.90	-284.90	*	-31	*
Toliary	223.50	41.80	*	*	*	*	*
Betioky	317.10	207.80	485.17	-168.07	-277.37	-35	-57
Bekily	541.90	276.70	676.20	-134.30	-399.50	-20	-59
Ejeda	416.20	*	533.27	-117.07	-533.27	-22	*
Behara	151.50	211.70	*	*	*	*	*
Toalagnaro	609.50	715.30	1119.60	-510.10	-404.30	-46	-36
Beloha	343.70	*	476.80	-133.10	*	-28	*

*Donnée manquante /no data (d'après S. Randriamanga et al..., 1993).

Tableau 1 :

PLUVIOMÉTRIE SAISONNIÈRE { 1990-1991
1991-1992
MOYENNE 1987-1990
(octobre-avril).
ECARTS À LA MOYENNE SAISONNIÈRE INTERANNUELLE.

Table 1 :

SEASONAL RAINFALL { 1990-1991
1991-1992
MOYENNE 1987-1990
(October-April).
DEVIATION FROM THE INTERANNUAL SEASONAL MEAN

A quelques variantes près, les scénarii des saisons des pluies 1990-1991 débutent de la même manière en octobre et en novembre. Les pôles de températures les plus élevées apparaissent au sud ; les aires d'anomalies les plus fortes (7°-8°C) se trouvent décalées vers la côte sud, que ce soit en novembre 1990 ou 1991 ; le mois d'octobre 1990 est plus chaud que la moyenne sur la quasi-totalité du territoire ; des anomalies négatives d'intensité et d'étendue variables apparaissent sur la partie nord. La vérité terrain confirme que l'anomalie positive de température est liée à un très fort déficit en pluies. En octobre 1991, par exemple, toutes les stations situées au sud de Mananjary sont très déficitaires par rapport à la moyenne sur trois ans ; huit stations sur 10 situées au sud de Fianarantsoa n'ont bénéficié d'aucune pluie. Inversement, les températures nettement plus basses que la moyenne observées en octobre 1991 au nord de l'île sont à mettre au compte d'une pluviométrie anormalement élevée pour l'époque de l'année (177,88 mm contre une moyenne de 11 mm pour la période 1987-1989 à Antsiranana par exemple).

Les images des mois de décembre (fig. 2b) montrent à nouveau une très nette prédominance des tons jaunes et bruns, c'est-à-dire des valeurs de température plus élevées que la moyenne. Cependant, la situation s'est quelque peu améliorée au sud de l'île qui présente une mosaïque d'aires faiblement positives ou faiblement négatives en température. Les anomalies les plus fortes apparaissent dans la région de Besalampy dont la pluviométrie est très révélatrice : 10,6 mm au cours de ce mois contre une moyenne de 206,2 mm. En décembre 1992, la zone la plus critique (excédent atteignant 8°C en de nombreuses aires) s'étend le long du littoral depuis Morombe jusqu'à Taolagnaro. Seule, la partie nord enregistre des températures plus faibles que la moyenne et synonymes d'excédents pluviométriques (Antsiranana et Antalaha).

Les mois de janvier 1991 et 1992 montrent une situation très contrastée. D'un côté, le mois de janvier 1991 présente les anomalies positives de température les plus élevées et les plus généralisées de toute la séquence étudiée ; des écarts de 10°C, ce qui est considérable, apparaissent dans le sud de l'île. Aucune tache verte ne vient contrarier la suprématie des tons jaunes et rouges sur l'ensemble du territoire. C'est dire que toutes les stations dont nous possédons les données, à l'exception d'Antalaha (37 mm d'excédent) (tableau 2) ont enregistré des pluies très déficitaires par rapport à la moyenne de janvier 1988-1990. À l'inverse, le mois de janvier 1992 présente une large bande centrale de températures inférieures à la normale, ce qui en fait le mois le plus « vert » de la saison 1991-1992. Néanmoins, toute la zone sud, à l'exception d'une mince frange littorale sur la côte est, demeure en anomalie positive pour le quatrième mois consécutif.

With the exception of a few readings, the 1990-1991 rainy season scenarios began in the same manner in October and November. The highest temperature poles appeared in the south ; the areas with the greatest anomalies (7°-8°C) were found shifted towards the south coast, whether it was November 1990 or 1991 ; October 1990 was warmer than average, over almost the whole country ; negative anomalies of variable intensity and surface area appeared over the northern part. Ground truth confirmed that the positive temperature anomaly was linked to an important shortage in rainfall. In October 1991, for example, all the stations situated to the south of Mananjary showed great shortages in relation to the three year average ; eight out of ten stations situated to the south of Fianarantsoa did not benefit from any rainfall whatsoever. Inversely, temperatures far lower than the 1991 October average to the north of the island were due to abnormally high pluviometry for that time of year (for example, at Antsiranana 177.88 mm was recorded against an average of 11 mm for the 1987-1989 period).

The December images (fig. 2b) again show a clear predominance of yellow and brown tones, in other words temperature values higher than the average. However, the situation was somewhat improved in the southern part of the country where a mosaic of slightly positive or negative temperatures was recorded. The greatest anomalies appeared in the Besalampy region whose pluviometry was very telltale : 10.6 mm for this month against a 206.2 mm average. In December 1992, the most critical zone (the excess reaching 8°C in many areas) extended along the littoral, from Morombe up to Taolagnaro. Only the northern part recorded lower than average temperatures, synonymous with excess pluviometry (Antsiranana and Antalaha).

A highly contrasted situation is seen for January 1991 and 1992. On the one hand, January 1991 presented the highest, most generalized temperature anomalies of all the sequences studied ; deviations of 10°C, which is considerable, appeared to the south of the Isle. No green area occurred to contrary the supremacy of the yellow and red tones which covered the whole country. In other words, for all the stations for which we had data, apart from Antalaha (an excess of 37 mm) (table 2) recorded great shortages of rainfall in relation to the 1988-1990 January average. Inversely, January 1992 presented a large central belt of temperatures lower than normal, which made it the «greenest» month of the 1991-1992 season. Nevertheless, all the southern zone, apart from a thin littoral fringe over the eastern coast, remained in a positive anomaly for the fourth month in a row.

Stations	Pluviométrie / rainfall		TMAX		Pluviométrie / rainfall		TMAX		
	Moyenne Mean 1988-1990 mm	Janvier 1991 January 1991		Janv. 1991 Jan. 1991		Janvier 1992 January 1992		Janv. 1992 Jan. 1992	
		Total mm	Ecart/Moy. Deviat./Mean mm	Ecart/Moy. Deviat./Mean Degrés Celsius	Total mm	Ecart/Moy. Deviat./Mean mm	Ecart/Moy. Deviat./Mean Degrés Celsius		
Antsiranana	496.5	202.1	-294.4	3.0	181.5	-315.0	-1.0		
Antalaha	357.4	394.7	37.3	1.0	297.8	-59.8	-0.5		
Mahajanga	517.2	122.0	-395.2	4.5	768.5	251.3	-1.5		
Besalampi	371.5	211.9	-159.6	3.0	310.5	-61.0	-1.5		
Toamasina	408.6	221.1	-187.5	2.0	272.2	-136.4	-2.0		
Antananarivo	215.6	115.1	-100.5	4.5	410.7	195.1	-5.0		
Morondava	311.1	127.4	-183.7	2.5	331.8	20.7	-0.5		
Mananjary	366.1	241.7	-124.4	2.5	413.1	47.0	-1.5		
Fianarantsoa	346.3	89.5	-256.8	6.5	312.1	-34.2	-1.5		
Morombe	107.6	77.0	-30.6	3.0	51.0	-56.6	1.0		
Ranohira	195.8	73.8	-122.0	8.0	232.5	36.7	1.5		
Farafangana	444.2	133.3	-310.9	4.0	438.9	-5.3	-1.0		
Toliary	62.3	31.2	-31.1	3.0	11.0	-50.5	0.0		
Betioky	113.9	118.5	4.6	4.0	45.2	-68.7	2.0		
Isoanala	199.6	120.2	-79.4	7.0	220.2	20.6	2.0		
Bekily	138.7	69.1	-69.6	6.0	92.5	-46.2	3.0		
Ejeda	130.7	83.2	-47.5	5.0	*	*	2.5		
Ampanihy	188.3	*	*	5.0	*	*	1.5		
Behara	*	0.0	*	10.0	112.2	*	1.0		
Toalagnaro	223.8	106.5	-117.3	3.0	372.3	148.5	0.0		
Beloha	186.2	22.8	-163.4	5.0	*	*	2.5		

*Donnée manquante /no data (d'après S. Randriamanga et al..., 1993).

Tableau 2. – COMPARAISON DE JANVIER 1991 ET 1992 A LA MOYENNE DE JANVIER 1988-1990. ECARTS A LA MOYENNE (PLUIES ET TMAX).

COMPARISON BETWEEN 1991 AND 1992 JANUARY AND THE 1988-1990 JANUARY MEAN. RAINFALL AND TMAX DEVIATIONS FROM THE MEAN.

En février 1991, le sud du pays est de nouveau concerné par un déficit pluviométrique. C'est plus particulièrement le cas de Behara, qui enregistre un écart de température positif de 6°C. C'est aussi le cas de Toalagnaro, station maritime. L'écart de température enregistré ici (+ 2°C) traduit mal l'ampleur du déficit en pluies : 120 mm (moyenne sur trois ans : 136 mm). Ceci est dû à sa localisation en bord de mer, tandis que son proche arrière pays affiche des écarts atteignant les 8°C. La plus grande partie du pays présente une mosaïque d'aires normales à faiblement négatives ou faiblement positives en température. Seule, la région de Mahajanga fait exception. Des températures extrêmement basses y sont enregistrées (<18°C). Ceci résulte de l'existence d'une séquence pluvieuse exceptionnelle, puisque 833 mm de pluie ont été mesurés à Mahajanga au cours de ce mois, contre une moyenne 1988-1990 de 300 mm.

En février 1992, l'extrême sud de Madagascar présente à nouveau les écarts positifs de température les plus élevés.

Les mois de mars et d'avril 1991, contrairement aux premiers mois de la saison, connaissent un développement très important des aires de température inférieures à la moyenne 1988-1990. Elles correspondent à une pluviométrie retrouvée. Ce sont ces deux mois qui permettent à cette saison de se différencier de la saison des pluies 1991-1992. En effet, les mois de mars et d'avril 1992 donnent à nouveau une large prédominance aux aires à écarts de température positifs plus particulièrement accusés sur le sud du pays. Le déficit pluviométrique est une fois de plus largement confirmé à la lecture des relevés de pluies mensuels.

CONCLUSION

La technique de suivi des pluies à partir des seules images de température maximum de brillance de surface des sols est à même d'apporter une contribution positive au suivi des sévères anomalies pluviométriques de Madagascar, et cela malgré la diversité des contextes géographiques et climatiques. On rappellera simplement ici que ces images montrent que les sept mois de la saison 1991-1992 apparaissent en anomalie positive de température de surface dans le sud de l'île et que ce constat satellitaire est largement en harmonie avec l'analyse des relevés pluviométriques de terrain.

In February 1991, the south of the country was again affected by a pluviometric deficit. This was especially true in Behara, where a positive temperature deviation of 6°C was recorded. It was also the case in Toalagnaro, a maritime station. The temperature deviation measured here (+2°C) badly expressed the amplitude of the rainfall shortage : 120 mm (three year average : 136 mm). This is due to its coastal localization, whereas the inland area next to it showed deviations reaching 8°C. Most of the country presented a mosaic of normal areas with slightly negative or positive temperatures, apart from the Mahajanga region. Extremely low temperatures were recorded there (<18°C). This was due to the occurrence of an exceptional rainy sequence, 833 mm of rainfall was measured at Mahajanga during this month, against a 1988-1990 average of 300 mm.

In February 1992, the southernmost part of the Madagascar again showed the highest positive temperature deviations.

March and April 1991, inversely experienced a very important development of areas of temperature below the 1988-1990 average in relation to the first months of the season. This corresponded to a resumption of rains. It is the months of March and April which make it possible to distinguish this season from the 1991-1992 rainy season. In fact, March and April 1992 once more mainly presented areas with positive temperatures, especially felt in the southern part of the country. The pluviometric deficit was again confirmed from the reading of monthly rainfall recordings.

CONCLUSION

The technique of monitoring rainfall using only maximum brightness temperatures of ground surface can provide a positive contribution to the monitoring of severe pluviometric anomalies in Madagascar, in spite of the geographical and climatic diversity which occurs there. We will only reiterate here the fact that these images show that the seven months of the 1991-1992 rainy season presented positive temperature anomalies in the south of the island and that overall, these conclusions derived from satellite imagery interpretation concord with the analysis of on the spot pluviometric recordings.

REFERENCES

- CHAPERON P., DANLOUX J., FERRY L., 1993. – Fleuves et rivières de Madagascar. Ony sy renirano eto Madagasikare. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Ministère de la Recherche Scientifique, Ministère des Transports et de la Météorologie. Monographie hydrologique 10, Éditions de l'Orstom, Paris, 874 pages.
- RANDRIAMANGA S., LAHUEC J.P., DAGORNE D., PENNARUN J., 1993. – La sécheresse en 1990-1991 et 1991-1992 vue à partir des images infrarouges Météosat et des données conventionnelles. "Poster" présenté aux Cinquièmes journées scientifiques du réseau télédétection de l'UREF à Tunis. 22 p. (à paraître dans les actes du colloque).
- RANDRIAMANGA S., 1982. – Exemples de périodes sèches estivales dans la décennie 1970 à Madagascar. Madagascar. Revue de Géographie, n° 1982-40, p. 95-97.

Lahuec Jean-Paul, Randriamanga S.

L'exemple de Madagascar : la détection des sécheresses de 1990-1991 et 1991-1992 = The example of Madagascar : detection of 1990-1991 and 1991-1992 droughts.

In : Lahuec Jean-Paul (dir.), Guillot Bernard (dir.).
Satellite et surveillance du climat : atlas de veille climatique, 1986-1994 (Afrique et Atlantique intertropicale) = Satellite monitoring of the climate : climatic monitoring atlas, 1986-1994 (Africa and intertropical Atlantic).

Paris : ORSTOM, 1994, p. 61-66.

ISBN 2-7099-1238-4