

QUELQUES TECHNIQUES DE LA TELEDETECTION APPLIQUEES A MADAGASCAR A L'ETUDE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

RATSIVALAKA RANDRIAMANGA Simone, Enseignant, Département Géographie, Faculté des Lettres
et Sciences Humaines, UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

Résumé

La riziculture demeure la principale occupation et source de revenu en milieu rural. Le moindre écart du calendrier se répercute sur la production rizicole. Face à la baisse de production, le paysan s'adonne à de nouvelles activités souvent accompagnées de dégâts sur le plan environnemental. Considérant les dérèglements du climat comme causes des mutations observées dans les campagnes, la télédétection pourrait être mise à profit pour aider le cultivateur à faire face au changement climatique. Mais quelles images utiliser ? Le traitement analogique des images de GOES IO dans le VIS et IR sur films photosensibles positifs, porte sur une méthode analytique et synoptique d'interprétation des couples d'images, complétée par la néphanalyse des données. Un catalogue de la température de brillance maximum de surface (TbMAX) est réalisé sur la séquence d'images METEOSAT dans le VIS et IR sur bandes magnétiques et films photosensibles. Le traitement statistique des données au sol valide l'interprétation. L'interprétation visuelle et analytique des images dans le VIS et IR de NOAA12 et 17 tire profit des masses nuageuses qu'offre le satellite météorologique. GOES-IO met en évidence les spécificités climatiques de Madagascar. METEOSAT permet de détecter les périodes sèches de l'île. NOAA facilite le suivi des cyclones dans le Sud Ouest de l'océan Indien et Madagascar. Les images des satellites géostationnaires sont les mieux adaptées à l'étude des changements climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Elles permettent le suivi des saisons pluviométriques donc d'agir en conséquence pour aider le cultivateur à faire face aux dérèglements du climat.

Mots clefs :

Changements Climatiques, Environnement, Télédétection, Satellite météorologique, Madagascar

Abstract

Some remote sensing technics used in Madagascar for studying Global Change and its effects on the environment

This study considers the effect of Global Change on the farmer practice and the state of Environment when rice product falls down. In response of this statement, farmers used to practice another activity than rice production, which usually, damaged Environment state. Remote sensing may be used to aid the farmer face to the global destruction. But, what data may be used? Analogical treatment was applied with IR and VIS GOES IO data; IR and VIS NOAA12 and 17 data. Numerical treatment was applied with TbMax from METEOSAT data. GOES IO data permits studying Madagascar climate. METEOSAT data detects dryness and NOAA data, the tracts of typhoon in the South West of Indian Ocean and Madagascar. Meteorological satellite data are the most recommended study in global change and its effects on Environment for helping Malagasy farmers in agricultural practices.

Keys words: Global Change, Environment, Remote sensing, Meteorological satellite, Madagascar

1. INTRODUCTION

1.1. Le contexte du changement climatique à Madagascar

1.1.1 Le changement climatique, une réalité malgache

Le constat de la réalité du changement climatique est aujourd'hui un fait avéré. Les observations partout dans le monde le confirment et ses effets sur l'environnement sont incontestables. L'élévation globale de la température est observée à Madagascar depuis la décennie 1970 [1]. Elle se manifeste par une augmentation de la température moyenne de l'ordre de 0°5C et celle des extrêmes minimaux [2]. C'est surtout au niveau de la distribution des pluies, la quantité précipitée et l'arrivée précoce ou tardive de la saison pluvieuse que ses effets sont ressentis [3]. La variabilité climatique malgache se manifeste alors par le retard du début de la saison des pluies et la présence de périodes sèches estivales [4]. Celle-ci est fragmentée par des séquences de sécheresse et dure moins longtemps. La pluie est violente et intense, d'où les inondations répétées dans les basses terres. Les pluies intenses sont en réalité dues aux passages des cyclones. Il est constaté que les cyclones se sont intensifiés avec le changement climatique. Aussi les cyclones de très forte intensité avec des rafales de vent >200Km/h sont-ils devenus fréquents à Madagascar et dans l'océan Indien surtout depuis 2000 tel le cas de Kamisy en 1984 ou Indlala en 2006. D'où l'intérêt que porte la Nation malgache sur le Changement Climatique.

1.1.2. L'État malgache et le changement climatique

L'État malgache, a réagi au changement climatique par la création d'un comité national Changement Climatique et l'institution de la Direction du Changement Climatique chargée de la mise en application de la Convention Cadre des Nations Unies sur la lutte contre le Changement Climatique (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto, au sein du Ministère de l'Environnement [5]. Il s'engage à élaborer la politique nationale de lutte contre le changement climatique (PNCC) et le document de la Communication Nationale (CN) sur le changement climatique. L'adaptation et l'atténuation sont les deux grands volets malgaches du Programme National d'Adaptation au changement climatique (PANA), en réponse à ce problème environnemental. L'agriculture et l'élevage considérés comme vulnérables, constituent l'un des cinq secteurs prioritaires. La Stratégie Nationale du mécanisme de développement propre à Madagascar (MDP) vise le développement durable en adhérant à l'un des mécanismes de flexibilité du protocole de Kyoto et de la CCNUCC pour limiter les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et en accroître les capacités de séquestrations [6].

L'impact du changement climatique dans la campagne malgache mérite d'être souligné car les activités du paysan sont encore fortement tributaires du climat et plus particulièrement de la pluie. Les effets sur l'économie sont notoires : le manque d'eau se traduit par la sécheresse donc baisse de la production. Le surplus d'eau entraîne des inondations, en conséquence : chute de la production !

1.1.3. Perception paysanne du changement climatique

Le changement climatique est ressenti par les paysans des Hautes Terres malgaches, notre zone d'étude, par l'augmentation de la température depuis la décennie 1990. La période 2000 à 2007 fut particulièrement chaude, avec des journées très chaudes et des épisodes de temps chauds de plus en plus fréquents. Cependant la température ne présente pas trop de risques pour les diverses spéculations agricoles. Le paysan est plus focalisé sur le comportement de la pluie. Le moindre retard dans l'arrivée des pluies pèse sur le calendrier agricole et se répercute sur la production de riz. Quand la pluie tarde à venir tout le calendrier agricole est bouleversé : le semis qui devait commencer avec les premières pluies est décalé, entraînant le report du repiquage et celui de la récolte. Le paysan, en conséquence va se détourner de plus en plus de ses préoccupations primaires.

La réponse paysanne face à la baisse de production se traduit par la création de nouvelles activités : artisanat, jusqu'alors ignoré ou réservé à la femme pour la confection de menus objets du ménage ; retour vers l'exploitation de la forêt, là où elle persiste encore ; regain d'intérêt pour la pêche là où un lac ou une rivière poissonneux jouxte le village. Le paysan va jusqu'à aménager les versants jusqu'ici peu exploités, en parcelles de céréales, légumineux ou tubercules... Il remplace le riz des casiers rizicoles en manque d'eau par des cultures maraîchères ou en extraie l'argile pour la fabrication de briques cuites destinées à la construction, une activité qui s'avère être beaucoup plus lucrative que la riziculture. Ces nouvelles occupations s'accompagnent souvent de dégâts sur le plan environnemental car les ruraux se préoccupent peu de l'état de l'environnement. Leurs pratiques souvent irrationnelles accentuent la surexploitation de la forêt, des terres et des plans d'eau. Très vite les sols s'épuisent et se dégradent. L'érosion s'accroît, la multiplication des poissons est entravée. Devenu sans ressource, le paysan finit par quitter la campagne. Il sera confronté en ville à d'autres problèmes. L'analyse des

phénomènes climatiques et leurs impacts devient ainsi une priorité dans la gestion de l'environnement.

1.2. La télédétection au service du climat et de l'agriculture

L'hypothèse considère que les dérèglements actuels du climat sont causes des mutations aujourd'hui observées dans les campagnes malgaches. Une meilleure connaissance des phénomènes climatiques permettrait de les appréhender, d'en connaître les mécanismes et de mieux en expliquer les variabilités. Il serait alors possible d'en faire le suivi afin d'aider le cultivateur à faire face au changement climatique. La télédétection pourrait être mise à profit dans ce sens. Mais quelles images satellites utiliser et quel capteur est le mieux adapté ?

1.3. Télédétection, climatologie et changement climatique

La connaissance du climat et celle du changement climatique de Madagascar à partir de l'outil télédétection ont fourni de nombreux sujets de recherche fondamentale ou appliquée au département de Géographie de l'Université d'Antananarivo, depuis plus d'une vingtaine d'années ! Les thèmes des variabilités et du changement climatique y ont été traités et constituent encore des thèmes de recherche majeurs, aujourd'hui. La plupart des travaux analysent la situation paysanne à cause de l'importance que revêt la riziculture comme principale occupation et source de revenu en milieu rural. Cet article a pour objectif de présenter quelques techniques de télédétection pratiquées au sein du Département pour appréhender le climat et ses variabilités à Madagascar.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1. Matériels utilisés

Images VISible (VIS) et Infra Rouge (IR) de GOES-IO de 1978 à 1979 sur films photosensibles positifs et séquence d'image METEOSAT dans le VIS et IR de 1990 à 1992 sur bandes magnétiques et sur films photosensibles, recueillies auprès du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion,

Images VIS et IR de METEOSAT de 2000 à 2009 tirées du catalogue d'images EUMETSAT-SATMOS,

Images VIS et IR des capteurs AVHRR de NOAA12 et 17 recueillies dans le site du Centre d'Observation de l'île de la Réunion,

Données climatologiques des stations synoptiques de Madagascar, obtenues auprès de la Direction Générale de la Météorologie, Antananarivo,

Données terrain : analyses, observations et résultats d'enquêtes effectuées sur les sites de référence, ainsi que différents logiciels de traitement d'image.

2.2. Deux types de satellites météorologiques

2.2.1 Les satellites géostationnaires

Les capteurs des satellites météorologiques ont en général une résolution spatiale grossière de l'ordre de 2,5 ou 5 Km dans le VIS et 5 Km en IR. La surface couverte est grande et la résolution temporelle est élevée permettant d'obtenir des images fréquentes toutes les 30 minutes pour METEOSAT et 15 minutes pour METEOSAT Seconde Génération (MSG), rendant ainsi possible le suivi d'un événement météorologique. Les satellites géostationnaires tel METEOSAT sont situés à 36 000 km d'altitude, à la verticale de l'Afrique à 0°. Ils tournent dans le même sens et avec la même vitesse de rotation que la terre dont ils voient toujours la même face.

Les satellites GOES sont alignés autour de la terre à partir de 75°O de façon à couvrir presque la totalité de sa surface. GOES-IO fait partie de la première génération des satellites GOES. De caractère expérimental, il n'a fonctionné qu'une année du 1^{er} novembre 1978 au 1^{er} décembre 1979. Placé à 75°E, GOES-IO a couvert tout le bassin océanique de l'océan Indien, Madagascar, Afrique de l'Est, Moyen Orient, Asie du Sud-Est, Insulinde et Australie. La deuxième génération des satellites GOES fut nettement améliorée du point de vue résolutions temporelle, spatiale et radiométrique des capteurs.

2.2.2 Les satellites à défilement

Les satellites à défilement de type NOAA sont placés sur orbite quasi polaire à 850 km d'altitude. Ils tournent autour de la terre dans le sens méridien et délivrent des informations sur une même zone 2 fois par jour : la nuit, dans une bande continue en infrarouge et le jour, dans deux bandes continues dans le domaine du spectre visible et infrarouge. La largeur de cette bande est d'environ 3 000 kilomètres.

Le satellite NOAA fait partie de la série Advanced TIROS. Il complète l'information fournie par les satellites géostationnaires. Le capteur AVHRR capte le rayonnement électromagnétique du visible, proche et moyen IR et de l'IR thermique.

2.3. Trois types de traitement d'image

2.3.1. Le traitement analogique des images

La technique d'analyse des images de GOES IO porte sur une méthode analytique et synoptique d'interprétation des couples d'images. L'analyse visuelle tient compte des règles de la photo-interprétation et des propriétés des nuages d'une image satellitaire. Le recours aux méthodes statistiques permet d'établir des situations moyennes, saisonnières ou exceptionnelles.

L'exploitation des néphanalyses de la zone sud ouest de l'océan Indien est faite à partir des couples d'images VIS et IR

thermique du disque de METEOSAT, à 12.00TU car les pluies caractéristiques de la saison chaude et pluvieuse des Hautes Terres tombent en général en fin d'après midi, aux heures chaudes de la journée. La technique consiste à interpréter les différentes teintes de gris de l'image qui varient de 64 à 16 niveaux suivant les documents, les caractéristiques des satellites, la qualité de la transmission, la réception et les possibilités des décodeurs. Les teintes observées sur les images dépendent quant à elles de l'éclairement solaire incident, de la géométrie de visée et de la réflectance du corps visé.

La technique de traitement analogique des images VIS et IR de NOAA 12 et 17 tire profit de la vision globale des masses nuageuses qu'offre le satellite météorologique. Les cyclones caractérisés par la spécificité de leur système nuageux s'enroulant en bandes spiralées autour de l'œil, sont analysés suivant les caractéristiques physiques des nuages et leur trajectoire à l'aide d'une grille quadrillée dans le système de projection Laborde Lat-Long pour une meilleure localisation des météores. L'intensité du cyclone est évaluée par la force des vents. Des tableaux synoptiques sont dressés renseignant sur chaque phase du cyclone et les caractéristiques physiques y afférant.

2.3.2. Le traitement numérique des données METEOSAT

L'image IR thermique de METEOSAT rend compte de la température radiative de la terre et du sommet des nuages. La technique consiste à s'intéresser au départ à la surface du sol puis à effectuer le traitement des données sur les séquences d'images IR du disque de METEOSAT. Un catalogue d'image est généré à partir du traitement numérique des données de température radiative de brillance maximum de surface du sol (TbMAX) des différentes saisons chaudes et pluvieuses considérées. Des « synthèses thermiques » sur cinq jours successifs sont calculées à partir de la moyenne des TMAX de chaque pixel METEOSAT. Le fichier résultat est documenté image après image, en tenant compte de la température la plus chaude de

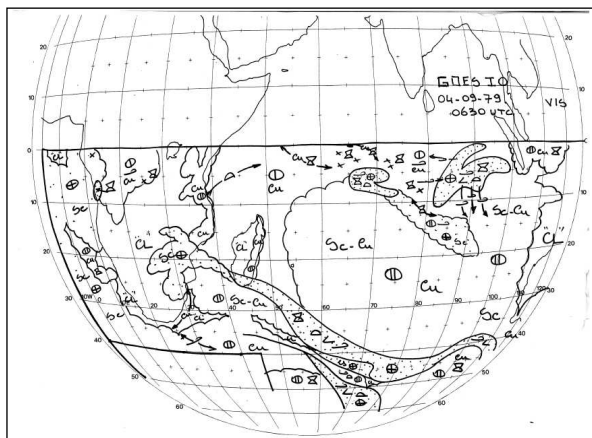
la période étudiée. Des cartes polychromes pentadaires sont ainsi produites : tableaux saisonniers des valeurs moyennes saisonnières des TMAX des saisons de pluie successive, tableaux mensuels des saisons pluviométriques étudiées, moyennes mensuelles inter annuelles, écarts aux moyennes mensuelles interannuelles, écart des valeurs de chaque saison par rapport à la moyenne, écart à la moyenne des TMAX mensuels des saisons des pluies.

2.3.3 La validation des résultats du constat satellitaire

La corrélation avec les données exogènes : réalités terrain et études antérieures va permettre de valider les résultats obtenus par la démarche analytique d'interprétation des images. Le traitement statistique des données climatologiques valide les observations effectuées sur les variabilités climatiques par le calcul des moyennes mensuelles, saisonnières et interannuelles, celui de la fréquence des événements météorologiques et les écarts-types par rapport aux données de référence.... L'analyse aérologique détermine le comportement au sol et en altitude des phénomènes météorologiques. La validation des constats satellitaires issus du traitement numérique des données METEOSAT est faite à partir des données conventionnelles et des travaux antérieurs : cartes des pluies et de températures, données climatologiques et cartes topographiques en plus des traitements statistiques appliqués aux données issues du traitement des pixels des images VIS et IR de METEOSAT. Dans tous les cas, quel que soit le mode de validation des traitements d'image, les résultats sont restitués dans des tableaux saisonniers, mensuels et annuels.

3. RÉSULTATS

3.1 Des centres d'action d'origine variée influencent le temps à Madagascar



L'interprétation des données de GOES-IO (figure 1) met en évidence les spécificités climatiques de Madagascar. Il est possible d'analyser le comportement des différents centres d'action et des cyclones influençant le temps de l'Île ainsi que celui des perturbations frontales méridionales (Pfm) qui affectent le Sud du pays. Les centres d'action qui déterminent le temps de Madagascar (figure 2) sont en effet : la Convergence Intertropicale (Cit) au nord, l'Anticyclone de l'océan Indien (AOI), à l'est, les pfm au sud et la dépression d'été dans la partie nord du canal de Mozambique. Le climat de Madagascar relève ainsi de la météorologie tropicale tout en étant influencé périodiquement dans sa partie méridionale par les passages répétés des derniers fronts froids (Pfm) des familles de perturbations de la zone tempérée qui atteignent, alors fortement dégénérées, les latitudes sud de Madagascar. [7].

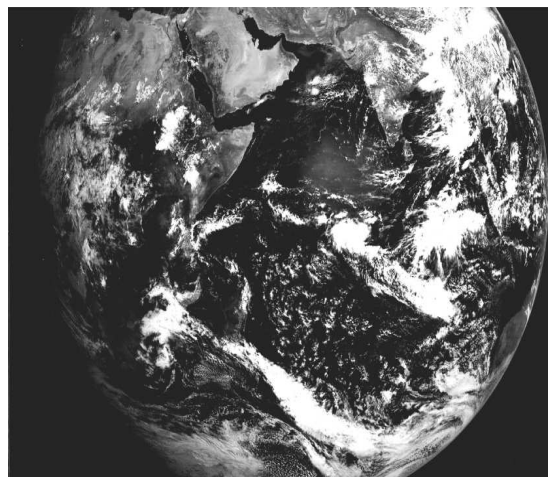
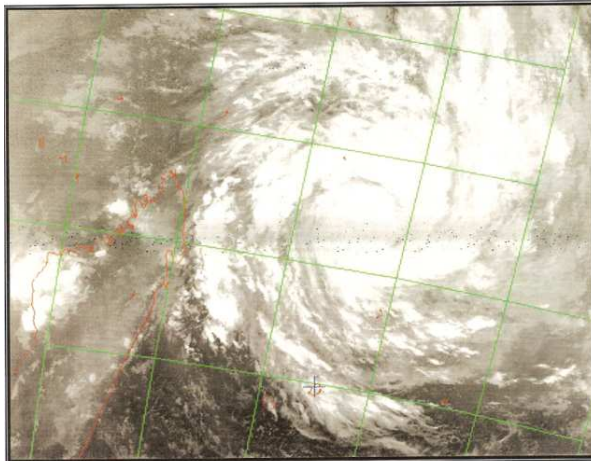


Figure 2 :
Les centres d'action du Sud-Ouest océan Indien et Madagascar
Meteorologic elements in the South-West Indian Ocean and Madagascar
Tiré du canal VISible de GOES IO 04/09/1979 à 06 30TU, METEO France, Centre de Météorologie Spatiale, Lannion

3.2 De la possibilité à suivre l'évolution d'un cyclone

Les travaux effectués sur les images IR et VIS de NOAA12 et 17 montrent qu'il est possible de suivre l'évolution d'un cyclone par satellite, d'en mesurer son intensité (figure 3). Le recours au SIG permet d'évaluer les sinistres et de les spatialiser.

Date et heure en UTC (soit H+3 à Mcar)	Long. (°Est)	Lat. (°Sud)	Intensité Dvorak analysée (1.0/8.0)	Type de système utilisé	Pression minimale estimée (en hpa)	Vent moyen sur 10 maxi estimé (nœud, km/h)	Rafales maximales associées (nœud, km/h)
04mars2004 22 :42	58.00	12.90	4.5	Cyclone tropical	970	65kt, 120km/h	91kt, 169km/h



Cyclone tropical GAFILO

NOAA 17 IR 04 Mars2004 à 22 :42 TU. Source : site web « www.maufox.org »

ANALYSE

Phase	Type de l'image	Forme type	Description	Interprétation	Sens du déplacement	Vitesse du déplacement
X1	Infra rouge		Début de la formation des bandes spiralées mais encore faibles. Augmentation de la taille.	L'augmentation de la taille est fort possible car il est encore sur mer, alimenté par l'évaporation de l'eau de surface de la mer. Début de phase de maturité	Vers l'Ouest Sud-ouest, se positionnant à 900km au Nord-est de Vohémar	19km/h Vitesse maintenue

Figure 3 :

Exemple de tableau synoptique à l'étude d'un cyclone

Typhoon Synoptisys description

Tiré de M.H. Rakotomanana, 2009 [8]

3.3 Constat des variabilités climatiques malgaches

3.3.1 L'apport du traitement statistique des données au sol

Le traitement analogique des données météorologiques confirme le déficit pluviométrique de la saison chaude et pluvieuse, l'arrivée tardive des pluies, la durée sur trois à quatre mois de la saison et la présence de périodes sèches au sein de la saison pluvieuse, des constats satellitaires. Les variations interannuelles des pluies sont importantes (figure 4). La tendance sèche se renverse dès qu'il y a apport de pluies exceptionnelles, notamment lors des gros abats pluviométriques dus au passage plus ou moins proche d'un cyclone. Cela est conforme aux constats mensuels, saisonniers et annuels des images satellites. L'analyse temporelle du comportement de la température entre 1955 et 2005 des stations météorologiques de Madagascar infirme la tendance croissante de la température pour toutes les stations (figure 5).

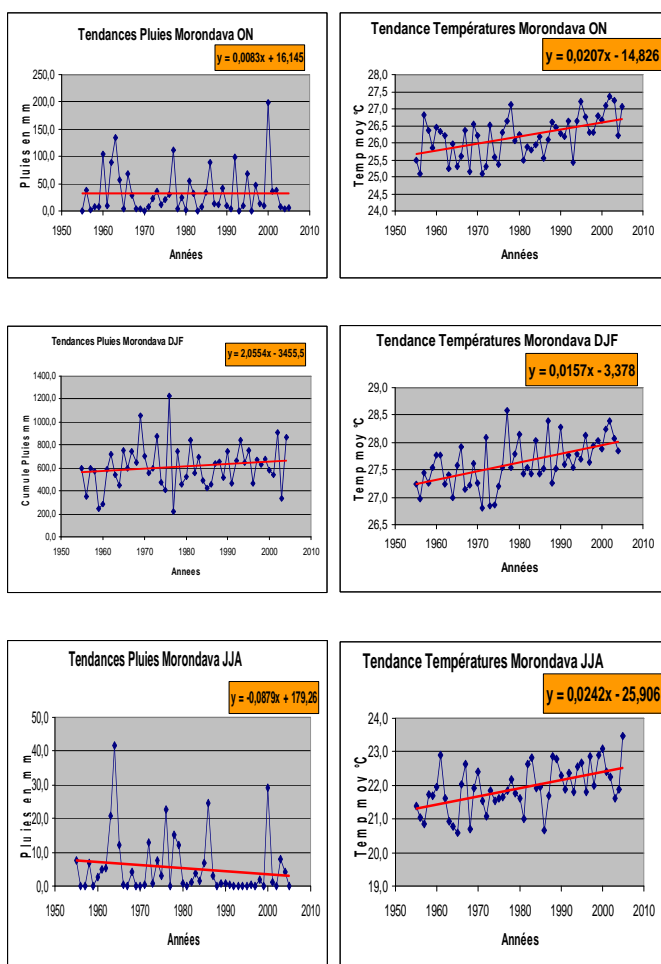


Figure 4 et 5 :

Pluie et température à Morondava 1955-2005

1955-2005 Morondava rainfall and temperature

Modifié de Direction de la Météorologie, Service de la Recherche Appliquée

3.3.2 Les variabilités climatiques de la période 2005-2009

Les résultats du traitement numérique des données MSG, à l'exemple de la période 2005-2009 montrent des comportements pluviométriques différents entre les régions Ouest, Est et Sud. De même entre les premiers mois de la saison : octobre, novembre et décembre avec le mois de janvier et ceux de la fin de la saison pluvieuse : février, mars et avril. Comparées au traitement statistique des données, on observe une variabilité dans le début des saisons pluviométriques par rapport à la normale ainsi qu'une variabilité dans la durée de la saison pluvieuse. La pluie n'arrive qu'en novembre en 2006-2007 et au mois de décembre en 2007-2008, accusant un net retard par rapport à la venue normale de la pluie supposée se faire en octobre. Cette venue de la pluie ne se fait pas au même moment sur l'ensemble de l'île. Dans le cas de l'Ouest de Madagascar par exemple : plus on s'avance vers le sud plus l'arrivée des pluies tarde et plus la saison pluvieuse est courte. Dans le cas précis de Morondava (figure 6) l'arrivée tardive des pluies s'effectue en décembre. Il y a baisse des totaux pluviométriques dès février. La saison des pluies raccourcit et ne dure que 2 à 3 mois.

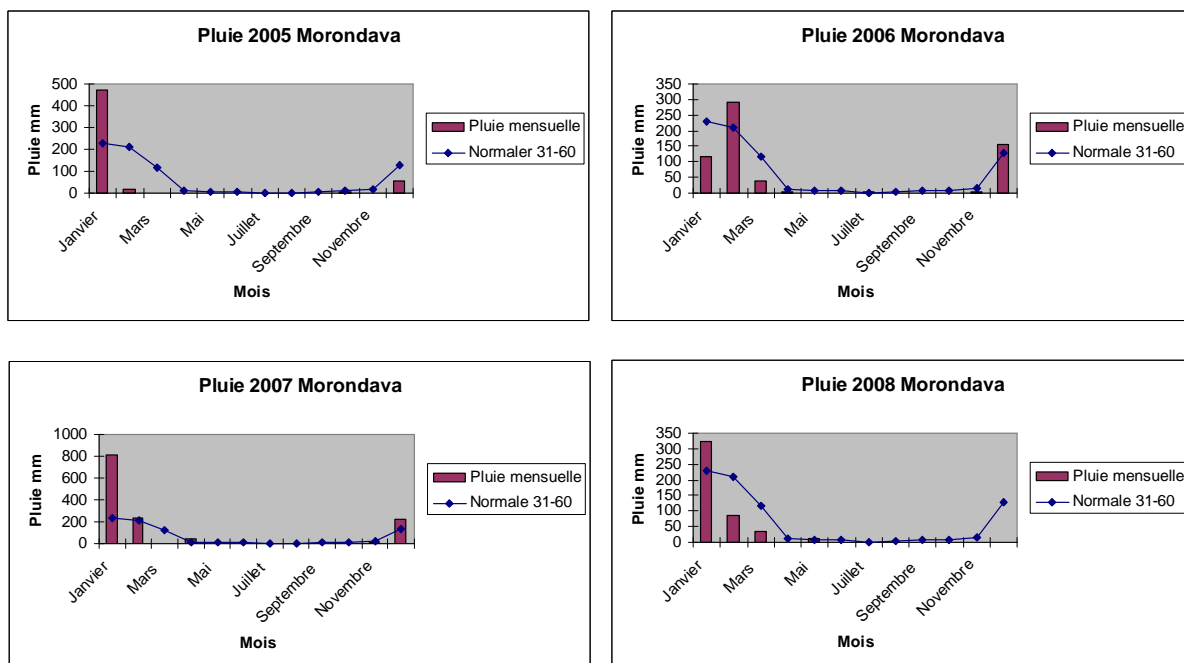


Figure 6 :
 Morondava : évolution de la pluie 2005-2008
 2005-2008 rainfall at Morondava
 Modifié de Direction de la Météorologie

D'après l'analyse synoptique des images, les centres d'action d'été telle la Zone de convergence intertropicale (Zcit), n'influencent Madagascar qu'en décembre pendant la saison 2006-2007 et janvier en 2007-2008. Cela explique en partie la faiblesse de la lame d'eau recueillie par rapport à la normale et la persistance d'une situation anticyclonique sur Madagascar, synonyme de sécheresse, notamment en octobre, novembre et décembre 2007. De même des séquences particulièrement pluvieuses et des phases sèches persistent en pleine saison de pluie. On observe ainsi l'existence d'une rupture de pluie au cœur de la saison pluvieuse en particulier pendant le mois de janvier 2008. Les cyclones qui ont côtoyé Madagascar ou traversé l'île qu'ils viennent de l'océan Indien ou du canal de Mozambique, expliquent le comportement pluviométrique des mois de janvier, février et mars 2007.

3.3.3 Les observations sur les périodes sèches estivales des saisons pluviométriques 1989-1992

Le traitement numérique des données METEOSAT, moyennes saisonnières pluviométriques pour la période 1989-1992 (figure 7) distingue la partie nord de celle du sud de Madagascar suivant une ligne Besalampy-Antananarivo-Farafangana. Les températures négatives enregistrées au nord de cette ligne, sont synonymes de pluviométrie supérieure à la normale ; celles plus chaudes de la partie sud, indiquent un état plus sec. Les températures très fraîches : inférieures à 20°C, enregistrées à l'est caractérisent une pluviométrie supérieure à 2000mm. Dans la partie ouest de l'île le gradient est très marqué alors qu'il est faible dans le Sud. Le sud de Madagascar apparaît partout plus chaud que le nord et l'est de l'île. On y observe une zone plus sensible aux aléas climatiques entre Betioky-Isoanala au nord et Ampanihy-Bekily au sud. Les écarts de température négatifs (-1°C et -2°C) synonymes de pluviométrie supérieure à la normale se situent au nord de l'axe Besalampy-Antananarivo-Farafangana

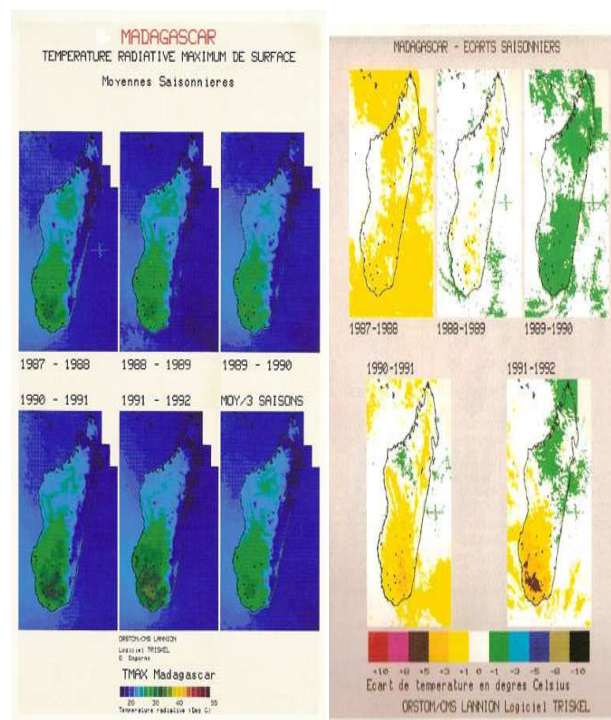


Figure 7 et 8 :

Température radiative maximum de surface : moyennes et écarts saisonniers

Surface maximum brightness temperature: seasonal means and deviation from the mean

Tiré de S. Randriamanga et al..., 1995

Le traitement statistique des écarts à la moyenne saisonnière interannuelle des données climatologiques (tableau 1) confirme ces constats en affichant un déficit pluviométrique de toutes les stations par rapport à la moyenne pour les saisons 1990-1991 et 1991-1992. Ainsi, il est démontré que le Sud est la zone la plus concernée par la sécheresse pendant la période 1989-1992 en particulier lors des périodes sèches des saisons pluviométriques 1990-1991 et 1991-1992.

Tableau 1 :
Écarts à la moyenne saisonnière interannuelle
Deviation from the interannual seasonal mean

Stations	Saison 1990- 1991	Saison 1991- 1992	Moyenne des saisons 1987- 1990	Ecart 1990- 1991 en mm	Ecart 1991- 1992 en mm	Ecart 1990 - 1991 % de moyenne	Ecart 1991- 1992 % de moyenne
Antsiranana	1149,2 0	1340,1 0	1168,30	-19,10	171,80	-2	15
Antalaha	1884,4 0	2157,6 0	1706,50	177,50	450,70	10	26
Mahajanga	1522,0 0	1661,0 0	1337,40	184,60	323,60	14	24
Besalampy	1244,1 0	1065,0 0	1183,20	60,90	- 118,20	5	-10
Toamasina	2608,9 0	2615,6 0	2214,57	394,33	401,03	18	18
Antananarivo	801,70	1197,3 0	919,27	- 117,57	278,03	-13	30
Morondava	900,10	Inc*	741,40	158,70	X**	21	x
Mananjary	1751,7 0	2119,8 0	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	inc	909,90	- 284,90	x	-31	x
Farafangana	inc	inc	1852,47	x	x	x	x
Toliary	223,50	41,80	x	x	x	x	x
Betioky	317,10	207,80	485,17	- 168,07	- 277,37	-35	-57
Isoanala	809,00	inc	x	x	x	x	x
Bekily	541,90	276,70	676,20	- 134,30	- 399,50	-20	-59
Ejeda	416,20	inc	533,27	- 117,07	- 533,27	-22	x
Ampanihy	inc	inc	413,77	x	x	x	x
Behara	151,50	211,70	x	x	x	x	x
Toalagnaro	609,50	715,30	1119,60	- 510,10	- 404,30	-46	-36
Beloha	343,70	inc	476,80	- 133,10	x	-28	x

Tiré de S. Randriamanga et *al.*..., 1995

Inc* : incorrect

X : donnée manquante

4. DISCUSSION

Les satellites météorologiques rendent bien compte du climat et des variabilités climatiques d'une région. Ces satellites sont de plus en plus performants de nos jours et offrent des moyens vraiment efficaces à l'étude des changements climatiques. Leur avantage est lié à leur fréquence, permettant la possibilité de suivi dans le temps et l'espace d'un évènement climatique presque en temps réel, en cas de catastrophe naturelle ou de changement climatique. Cet avantage est surtout tiré des capteurs IR des satellites géostationnaires de type METEOSAT. Leur limite réside surtout dans leur résolution au sol qui demeure trop petite. Les satellites météorologiques à défilement sont moins performants à cause de leur fréquence trop faible, limitant le suivi en temps réel d'un phénomène climatique. Depuis quelques années cependant, les satellites météorologiques de 2nde génération, voire de 3^{ème} MSG tendent à révolutionner le système car outre la possibilité qu'ils offrent dans l'étude du climat, leur résolution au sol qui s'est beaucoup affiné permet l'étude des effets du climat sur l'environnement. Beaucoup de travaux s'orientent actuellement sur la fusion des données des satellites MSG avec celles de satellites à très haute résolution spectrale telle SPOT végétation pour étudier la végétation à temps réel.

Toutes ces analyses concordent pour dire que le changement climatique est bien ressenti à Madagascar et plus particulièrement au niveau des ressources en eau et la température. Le secteur agricole est particulièrement affecté d'où les mutations observées au niveau des activités paysannes.

5. CONCLUSION

Cette étude montre que les images des satellites géostationnaires notamment les capteurs IR de METEOSAT, sont encore les mieux adaptées à l'étude des changements climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Les données au sol sont des compléments indispensables à l'étude. Il est alors permis de croire qu'on peut procéder au suivi des saisons pluviométriques malgaches et agir en conséquence afin d'aider le cultivateur qui doit faire face aux dérèglements du climat. La télédétection se présente ainsi comme un des moyens d'investigation à l'étude du changement climatique.

6. REMARQUE

Cet article est tiré de la communication orale faite lors des XII^{èmes} Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'A.U.F., JS_AUF-Tunisie_2010, Monastir, du 23 au 25 novembre 2010 (<http://www.reseautd.cict.fr/tunisie/JS/JS2010.pdf>)

REFERENCES

- [1] RANDRIAMANGA S., PENNARUN J., LAHUEC J.P., DAGORNE D., GUILLOT B., 1995 : Étude de la sécheresse de 1990-1991 et de 1991-1992 à Madagascar vue à partir des images infrarouges METEOSAT et les données conventionnelles. In JM Dubois, M. R. Boussema, F. Boivin, P. Lafrance (éditeurs) Télédétection des ressources en eau. Collection Universités Francophones Actualités scientifiques. Presses de l'Université du Québec. Éditions AUPELF Sainte Foy pp. 291-304
- [2] Direction Générale de la Météorologie, 2008 : Le changement climatique à Madagascar, 31 p.
- [3] RANDRIAMANGA S., 2006. Les périodes sèches estivales de Madagascar vues par METEOSAT. In climat, couverture végétale et érosion des sols à Madagascar, Apport de la télédétection et des SIG, document de synthèse des travaux, HDR, Université Jean Moulin, Lyon3, Vol 2, pp. 50-60.
- [4] RATSIVALAKA RANDRIAMANGA S., 1982. Exemples de périodes sèches estivales dans la décennie 1970 à Madagascar. Madagascar Revue de géographie, n° 1982-40, pp. 95-97.
- [5] République de Madagascar, 2010 : Deuxième Communication Nationale au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le changement climatique, Ministère de l'Environnement et des Forêts, 131 p.
- [6] Ministère de l'Environnement, 2011 : Madagascar face au changement climatique, Poster, Ministère de l'Environnement et des Forêts /Secrétariat Général/Direction Générale de l'Environnement/Direction Changement Climatique/Service de l'Adaptation et Efficience au Changement Climatique
- [7] RANDRIAMANGA S., 2008 : Les variabilités climatiques malgaches vues à travers l'imagerie satellitaire, Société Française de Photogrammétrie et Télédétection n°190 (2008-2) « Météosat seconde génération » sous la direction de Catherine Méring
- [8] RAKOTOMANANA M. H., 2009 : Interprétation des photos satellitaires et analyse des dégâts des cyclones tropicaux de l'océan Indien : cas de Gafilo du 01 au 18 mars 2004, mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université Antananarivo, 94p.
- <http://www.eumetsat>, catalogue d'images METEOSAT 2000 à 2009
- <http://www.meteo.fr>, Trajectoires des cyclones du bassin sud-ouest de l'océan Indien
- <http://www.reseautd.cict.fr/tunisie/JS/JS2010.pdf>, RANDRIAMANGA S. : Quelques techniques de la télédétection appliquées à Madagascar à l'étude des changements climatiques et leurs impacts sur l'environnement, communication orale