

Utilisation de la télédétection pour la classification théorique de zones à profils de transmission du paludisme au Niger.

Amadou SEIDOU MOSSI^{1,2,3,4}; Job ANDIGUE²; Isabelle JEANNE³; Mustafa EL HAMLY⁴; Ado DAN KARAMI²; Bonaventure SOME² et Soumana MOUSSA⁵

¹ Direction de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Technologique (Ministère des Enseignements Secondaire et Supérieur (MESS), de la Recherche et de la Technologie (RT), Direction de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Technologique (IT); BP: 628, Niamey, NIGER. Email: seidou.mossi@gmail.com

² Centre Régional AGRHYMET du Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS); BP:11011, Niamey, NIGER.

³ Centre de Recherche Médicale et Sanitaire (CERMES), affilié au Réseau International des Instituts Pasteur; BP: 10887, Niamey, NIGER.

⁴ Centre Régional Africain des Sciences et Technologies Spatiales en Langue Française (CRASTE-LF), affilié à l'ONU; BP: 765, Agdal-Rabat, MAROC. Email: craste@emi.ac.ma

⁵ Direction des Examens, des concours et de l'Orientation (MESS/RT/DEXCO); BP:628, Niamey, NIGER.

Amadou SEIDOU MOSSI : Né en 1958 à Niamey, NIGER, Mr. SEIDOU MOSSI Amadou a fait ses études primaires, Secondaires et Universitaires à Niamey (NIGER) à Abidjan (COTE d'IVOIRE) et à Fontainebleau (France). Il est titulaire des Diplômes suivants :

- Maîtrise II en Sciences de la Terre obtenue en 1994 à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abidjan-Cocody en CÔTE d'IVOIRE
- Diplôme d'Aptitude Pédagogique au Professorat des Collèges d'Enseignement Général, Option Physique Chimie et Sciences Naturelles obtenu en 1984 à l'Université Abdou Moumouni de Niamey
- Certificat d'Etudes Supérieures d'Ancien Stagiaire du CESMAT obtenu en 2002 au Centre d'Etudes Supérieures des Matières Premières de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, FRANCE).
- Diplôme de Baccalauréat Série D (Mathématiques et Sciences Naturelles) obtenu à l'école Normale Askia Mohamed de Zinder (NIGER) en 1981.

SEIDOU MOSSI a enseigné ces disciplines au Collège, au Lycée et à l'Institut de Développement Rural de Kolo de 1984-1989 et de 1994-2001. De 2002-2005, il fut nommé Chef de Division à la Direction de la Recherche Scientifique et de l'Innovation technologique au Ministère des Enseignement Secondaire et Supérieur de la Recherche et de la Technologie (MESS/RT) du NIGER.

Depuis Avril 2006 : Chercheur stagiaire au Centre de Recherche Médicale et Sanitaire de Niamey (CERMES) et au Centre Régional AGRHYMET de Niamey, dans le cadre de la réalisation de sa Thèse de Master II en Sciences et Technologies Spatiales, Option : Météorologie par Satellites et Climat Mondial du Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace en Langue Française (CRASTE-LF), Agdal, Rabat, MAROC. Son thème de recherche actuel : « Utilisation de la Télédétection pour la Classification théorique de Zones à Profils de Transmission du Paludisme au Niger ».

Résumé :

La menace des maladies vectorielles est aujourd'hui un fait reconnu qui mobilise les acteurs de la recherche. Qualifiées d'émergentes ou de ré-émergentes, la plupart de ces maladies sont liées aux changements des écosystèmes, des variations climatiques ou de la pression anthropique [1]. Parmi celles-ci, le paludisme constitue un véritable problème de santé publique en Afrique en général, et au Niger en

particulier, où il occupe la première place des dix principales causes de mortalité et de morbidité chez les jeunes enfants et les femmes enceintes. Les travaux réalisés visent à déterminer les liens entre caractéristiques climatiques, états de surface continentale et morbidité palustre au NIGER, selon le principe du downscaling: approche nationale (Niger) et locale (Dantiadou, Gaya, In'Gall et Tessaoua). L'étude a été réalisée à partir des séries chronologiques de données climatiques, épidémiologiques et satellitaires basse résolution (NDVI), moyennées sur une période de cinq ans (2003 à 2007). L'objectif principal est d'identifier les périodes et les zones écologiques préférentielles de reproduction et de développement des vecteurs, en appui à la surveillance épidémiologique, à la planification et à la modélisation des stratégies de lutte contre ce fléau.

Les diagrammes pluviothermopalustres de *Roukeya** montrent trois grandes périodes de transmission palustre, en rapport avec la variation saisonnière, le régime pluviométrique et la dynamique de la couverture végétale, elles-mêmes dépendantes de l'évolution des barrières thermiques extrêmes: 1- transmission très faible à stationnaire, caractérisée par une amplitude thermique de 15°C, pendant la saison très froide aux températures extrêmes de 30/15°C, et très chaude à partir des seuils thermiques maximal et minimal de 40/25°C. Ces deux saisons sont précédées chacune d'une courte période de transition à transmission modérée; 2- transmission croissante à forte, sous amplitude thermique maintenue constante à 10°C aux seuils de températures extrêmes atteignant 35/25°C, durant toute la saison humide. Cette transmission se décline en trois phases évolutives: réadaptation, reproduction et développement des moustiques; 3- décroissante à faible, au cours de la petite saison chaude d'octobre à novembre sous amplitude thermique variant entre 15 et 18°C, marquant le retrait du front intertropical (FIT) vers le sud du pays, l'arrêt des pluies et la chute de l'indice de végétation. L'endémicité palustre sévit dans tous les sites, mais à des degrés variables. L'activité biologique des moustiques est tributaire des conditions climatiques. La cartographie du risque de transmission aidera à mieux cerner les aires d'extension pour une possible éradication efficace.

Mots clés : Niger, Téléépidémiologie du paludisme, amplitude thermique, températures maximales et minimales, pluviométrie, front de végétation.

Introduction

Le Niger, comme la plupart des pays d'Afrique, est situé dans une zone impaludée où le poids du paludisme est fortement ressenti dans les couches de populations vulnérables : les enfants âgés de moins de cinq ans et les femmes enceintes. Cette maladie n'est pas seulement un fardeau pour la santé humaine; elle est aussi une taxe sur la productivité et un frein au potentiel de développement d'une nation. Au CRASTE-LF (Maroc), au CERMES et au Centre Régional AGRHYMET (Niger), les acteurs de la recherche se mobilisent pour une solution durable et moins onéreuse intégrant l'information satellitaire archivée. Les pathogènes, genre *plasmodiums*, sont transmis à l'homme à la suite d'une piqûre par le moustique femelle appelé *Anophèle*, lors de son repas sanguin. Ce dernier a besoin de deux repas de sang avant chaque ponte pour assurer le développement de ses œufs. Ainsi, un siècle après la découverte de l'hématozoaire responsable du paludisme, par Laveran, plus de 90 pays restent soumis à cette endémie. L'Organisation Mondiale de la Santé estime qu'il y a environ 300 à 500 millions d'épisodes cliniques de paludisme, avec plus d'un million de décès chaque année. Les 90% de ces décès surviennent en Afrique, et sont pour la plupart, des enfants âgés de moins de cinq ans [2]. Près de 30% de cas palustres mortels sont affectés aux pays africains qui sont aux prises avec des situations graves et dramatiques (pauvreté, malnutrition, insécurité alimentaire, instabilité politique, insalubrité, etc.), présentant un caractère critique, chronique ou post conflictuel. Des études paludométriques récentes montrent que le taux de morbidité attribué au paludisme (fièvre chez les enfants de moins de 5 ans) se situe entre 11,5% et 17,4%

* *Roukeya A. SEIDOU MOSSI était une fillette de 5 ans qui trépassa, le 25 juin 1989, à Niamey, sous les affres d'un accès pernicieux palustre: le neuropaludisme! La nuit, elle pensait que les étoiles sont des moustiques qui se détachaient du ciel pour venir nous piquer.*

par an. Quant à l'association paludisme et grossesse, elle engendre fréquemment une anémie chez la femme enceinte (62%), et un faible poids de naissance chez le nouveau-né (17%), constituant *a priori*, un facteur d'augmentation du risque de mortalité infantile [2]. En terme d'épidémiologie, la maladie, sensible à une chimioprophylaxie individuelle, est actuellement caractérisée par l'extension inquiétante des zones de chimiorésistance, notamment en Afrique. Le remède envisagé contre un tel fléau reste encore l'épandage d'insecticides pendant la saison des pluies et l'utilisation des moustiquaires imprégnés ou non d'insecticides. Cependant, quoique très diversifié, l'arsenal chimique n'a pas pu endiguer la transmission de la maladie, car les périodes et les zones d'intervention sont mal choisies, par absence d'étude pertinente intégrant l'information satellitaire.

Alors, une redéfinition des périodes de lutte et des zones bioclimatiques du Niger s'impose à travers une étude des relations entre la transmission du paludisme et les variables climatiques et environnementales, afin de mieux appuyer la surveillance épidémiologique, la planification et les stratégies de lutte contre ce fléau. Le suivi par télédétection de la dynamique végétale, du front de végétation, des périodes de stress thermique et hydrique, en corrélation avec les profils de transmission palustre devrait permettre, en temps utile, d'identifier les périodes précises d'intervention et les zones écologiques préférentielles de reproduction et de développement des vecteurs.

Objectifs spécifiques

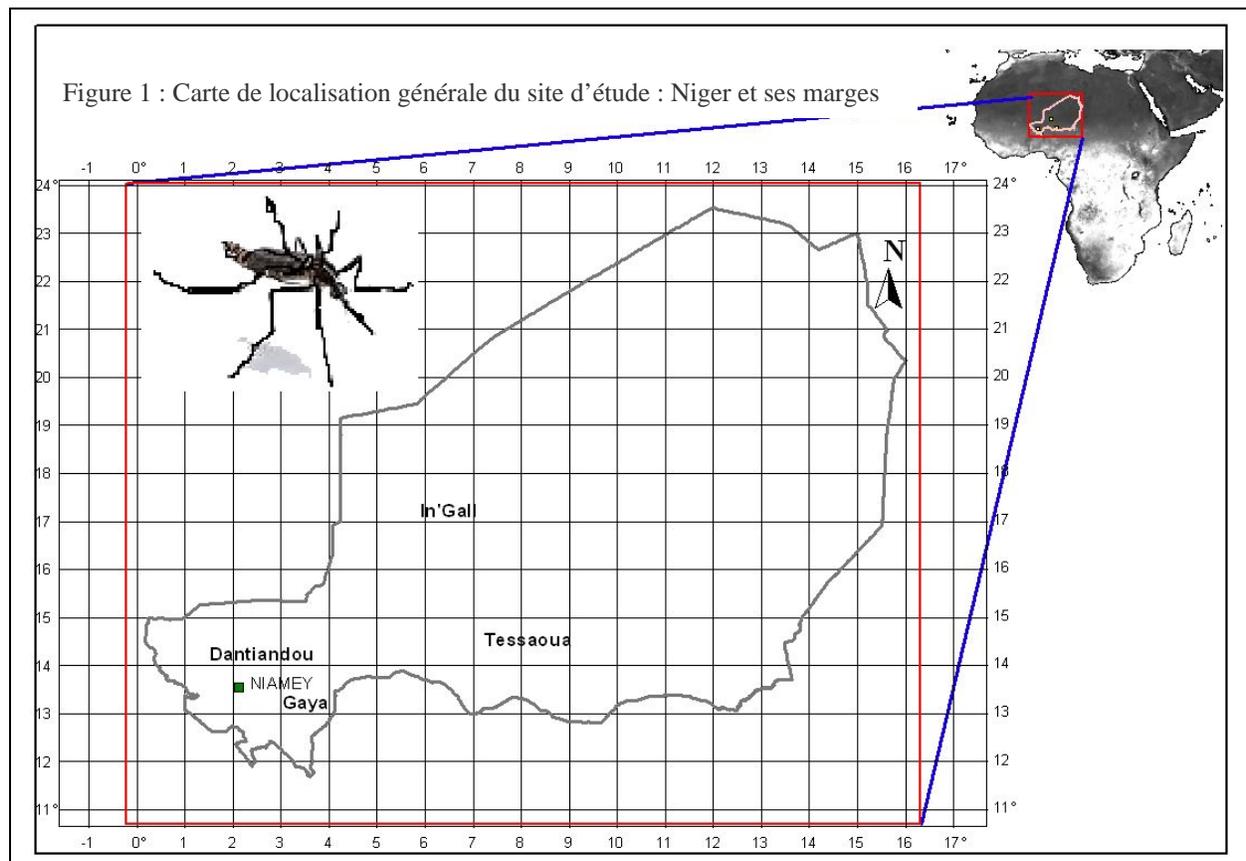
1- Déterminer les profils moyens des enveloppes de flux thermiques extrêmes, des précipitations, des classes de couverture végétale et des cas palustres, puis identifier les périodes de lutte et les seuils de risques probables de transmission de la maladie, selon les zones bioclimatiques redéfinies à partir des paramètres ci-dessus indiqués. 2- Mettre en évidence les tendances, les corrélations, et les interrelations existant entre les différents facteurs qui concourent au développement des moustiques et à la transmission du paludisme. 3- Proposer aux décideurs politiques nationaux, internationaux et, aux partenaires techniques, socio-économiques et financiers de la santé et de l'environnement un outil pertinent de surveillance épidémiologique et environnementale, de prévision du temps et d'alerte précoce qui permet de moduler et d'harmoniser les stratégies et les actions de lutte antimalariale au niveau local et national.

Base de données

1- Séries décennales quinquennales moyennées des températures maximales et minimales, de la pluviométrie et des images numériques brutes de NDVI, basse résolution, (NOAA/AVHRR et SPOT/VEGETATION), de 2003 à 2007, fournies par le Centre Régional AGRHYMET/CILSS à Niamey. 2- Séries hebdomadaires quadriennales moyennées des données épidémiologiques de cas palustres de 2004 à 2007, fournies par le Système National d'Information Sanitaire (SNIS) et le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) à Niamey. 3- Les données du Front InterTropicale (FIT) aux longitudes, 15°W, 10°W, 5°W, 0°, 5°E, 10°E, 15°E, 20°E, 25°E, 30°E, 35°E, sont téléchargées à partir du site: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/fews/ITCZ/itcz.shtml>

Localisation géographique des sites

Sites représentatifs des zones bioclimatiques du Niger, en degré carré, et où la pluviométrie décroît du sud au nord, 900mm à 0mm/an: Gaya: long. 3 à 4°E, lat. 12 à 13°N; Tessaoua: long. 7°36' à 8°36'E, lat. 13°18' à 14°18'N; Dantiandou: long. 2 à 3°E, lat. 13 à 14°N; In'Gall: long. 6 à 7°E, lat. 16 à 17°N.



Méthodologie

À partir des séries chronologiques de données climatiques, épidémiologiques et satellitaires basse résolution (NDVI), moyennées sur une période de cinq ans (2003 à 2007), nous visons à déterminer les liens entre caractéristiques climatiques, états de surface continentale et morbidité palustre dans quatre sites du Niger : Dantiandou, Gaya, In'Gall et Tessaoua (*figure.1*). Cette étude aide à comprendre l'évolution du paludisme et la biologie de son vecteur *Anophèle* dans la bande sahéenne de l'Afrique, en rapport avec les facteurs climatiques, la biomasse végétale et leurs variations spatio-temporelles. Dans l'optique d'explorer l'impact de ces fluctuations climatiques et environnementales, intra annuelles, sur la présence d'épidémies de paludisme au Niger, et de déterminer les périodes, les seuils et la durée théorique de risques probables de transmission, nous avons juxtaposé les profils d'évolution du front moyen de végétation au diagramme pluviothermopalustre de '*Roukeya*' (*tableaux 1 à 6*). Ce front ou signature spectrale du rythme biologique de la végétation est obtenu après une classification non supervisée en 7 classes de la couverture végétale. La courbe de morbidité palustre de chaque site, quant à elle, a été superposée aux courbes de tendance de l'évolution inter-annuelle des classes de couverture végétale en vue de comprendre leurs interrelations et d'identifier le ou les gîte(s) écologique(s) préférentiel(s) des moustiques, par l'analyse des coefficients de détermination au carré. Certains de ces travaux ont été réalisés dans l'environnement Excel, d'autres dans celui d'ERDAS IMAGINE 9.1, et quelques-uns sous Arc View 3.3 et Photoshop 6. L'interpolation polynomiale à 6 points a été choisie pour le lissage des enveloppes de flux thermiques extrêmes, du cumul moyen décadaire et hebdomadaire respectivement des pluies et de l'incidence du paludisme. La moyenne mobile à 2 points a été utilisée pour la détermination de seuils pluviométriques. Son intersection d'avec l'histogramme des précipitations à 20 millimètres de pluie en moyenne, et à moins de deux décades successives sèches, par la suite, a été retenue comme pluie suffisante et période favorable aux semis en culture pluviale. Les dates probables de semis ont été

déterminées pour les analyses de corrélation entre l'émergence de la végétation et celle du paludisme. D1 et d2 étant le début et la fin de la croissance végétative, f1 et f2 représentant le début et la fin de la saison froide, la juxtaposition des profils d'évolution végétale aux différents diagrammes donne une information phénologique importante sur la couverture végétative. Elle nous a permis en outre de déterminer et de comparer l'impact de différents stress, thermiques, hydriques et d'identifier les périodes favorables de lutte. Cette approche a été adoptée pour toutes les séries chronologiques des paramètres utilisés et, corrélation a été faite avec les courbes d'évolution de transmission de la maladie.

Résultats et discussions

L'observation et l'analyse des diagrammes révèlent trois grandes périodes de transmission palustre qui se distinguent, en rapport avec la variation saisonnière et la dynamique de la couverture végétale, elles-mêmes dépendantes de l'évolution des barrières thermiques extrêmes (*tableaux 1 à 6*):

1- une transmission très faible à stationnaire de décembre à fin mai, caractérisée par de grands écarts des températures extrêmes oscillant entre 15 et 18°C, pendant la saison très froide (hibernation) et très chaude (mort thermique des moustiques), précédée chacune d'une courte période de transition (froid-chaleur ou inversement), à transmission modérée. La mort thermique des moustiques survint pendant la forte chaleur de mi-mars à fin mai à partir des seuils des températures maximale et minimale atteignant respectivement 40/25°C. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de MARA [3].

Tableau 1 : Profils d'évolution du front moyen de végétation et de l'incidence du paludisme au niveau national (Niger)

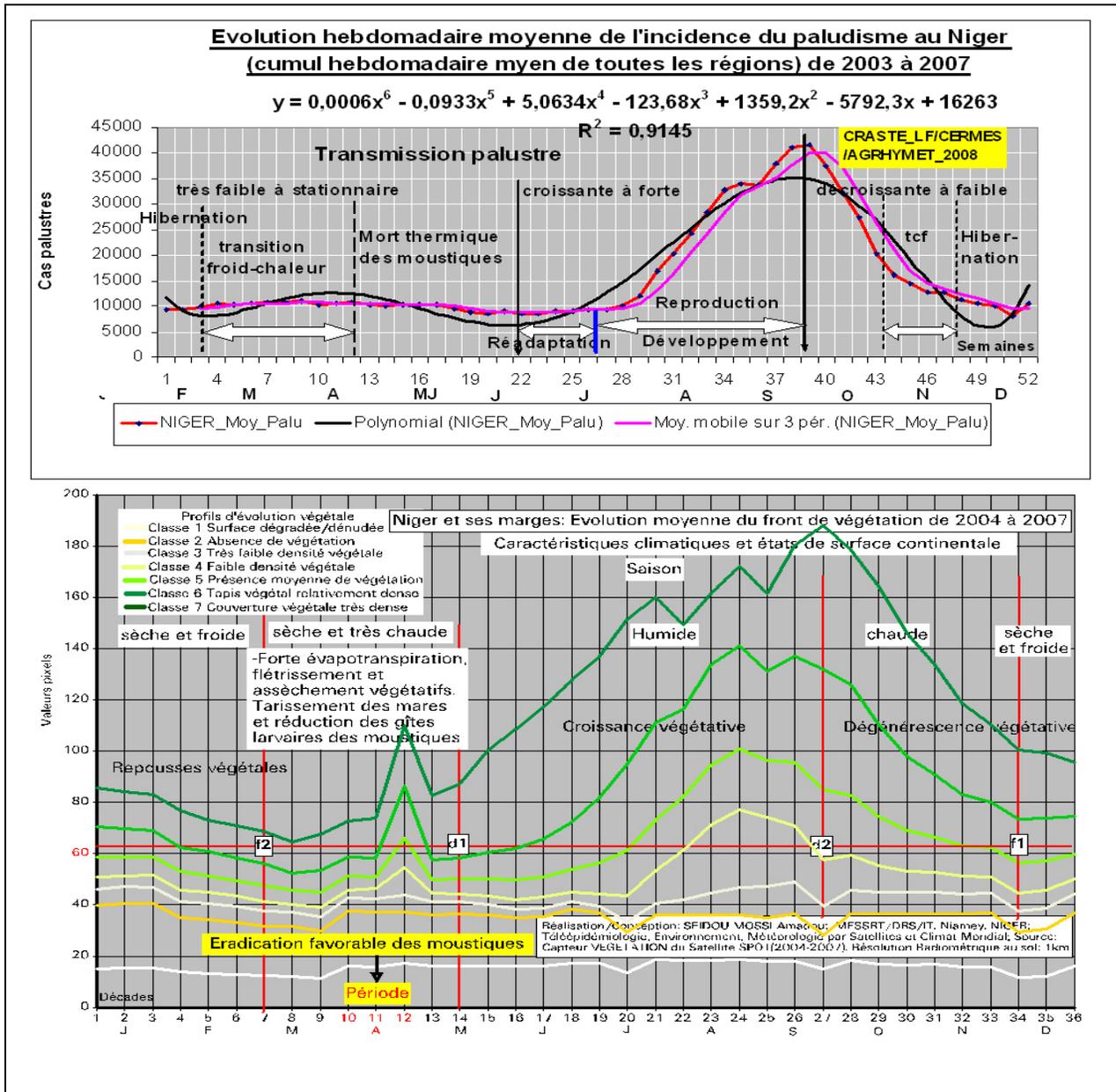


Tableau 2 : Diagramme pluvio-thermo-palustre de *Roukeya* et front moyen de végétation à Dantiandou

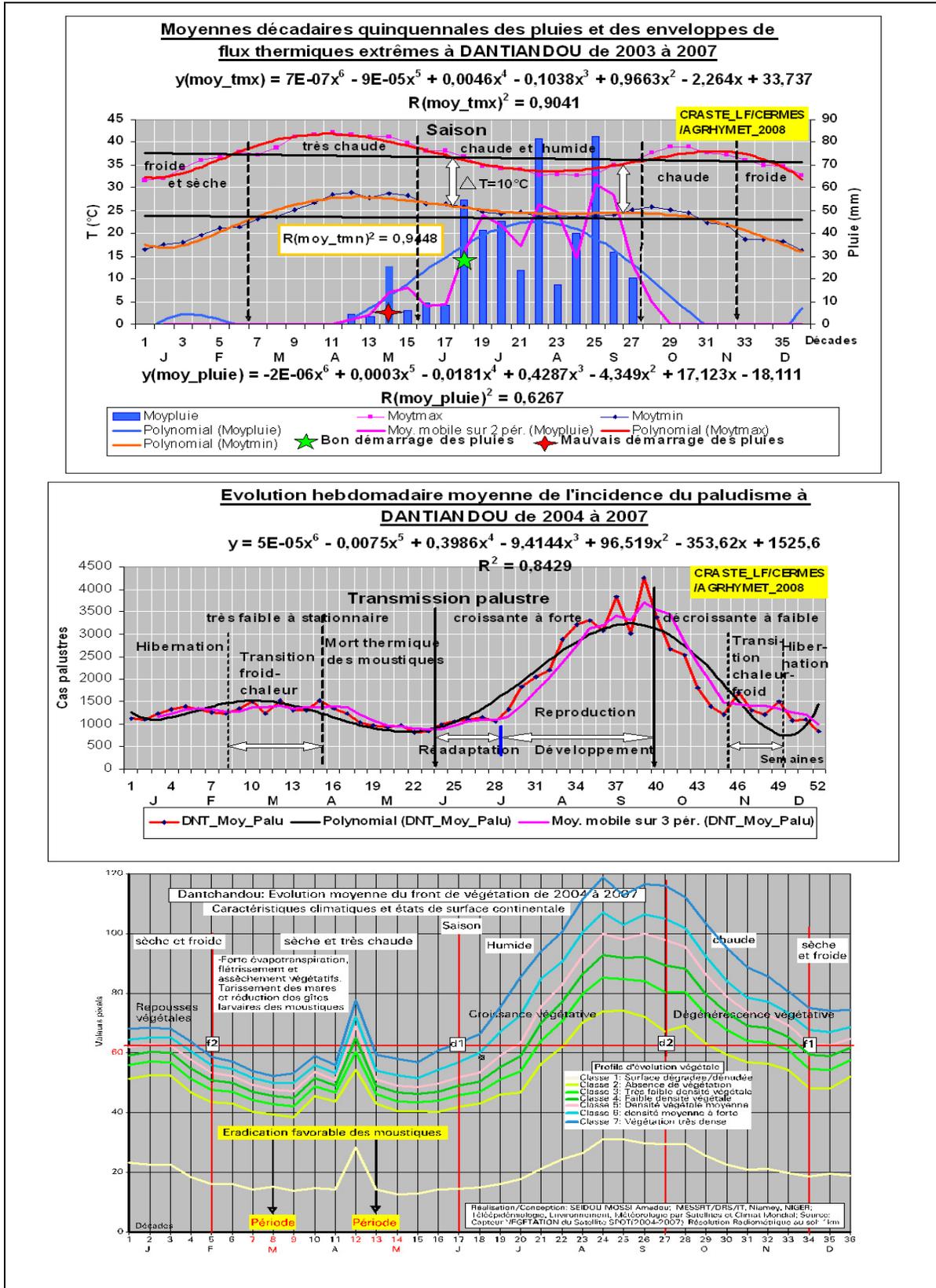


Tableau 3 : Diagramme pluvio-thermo-palustre de *Roukeya* et front moyen de végétation à Gaya

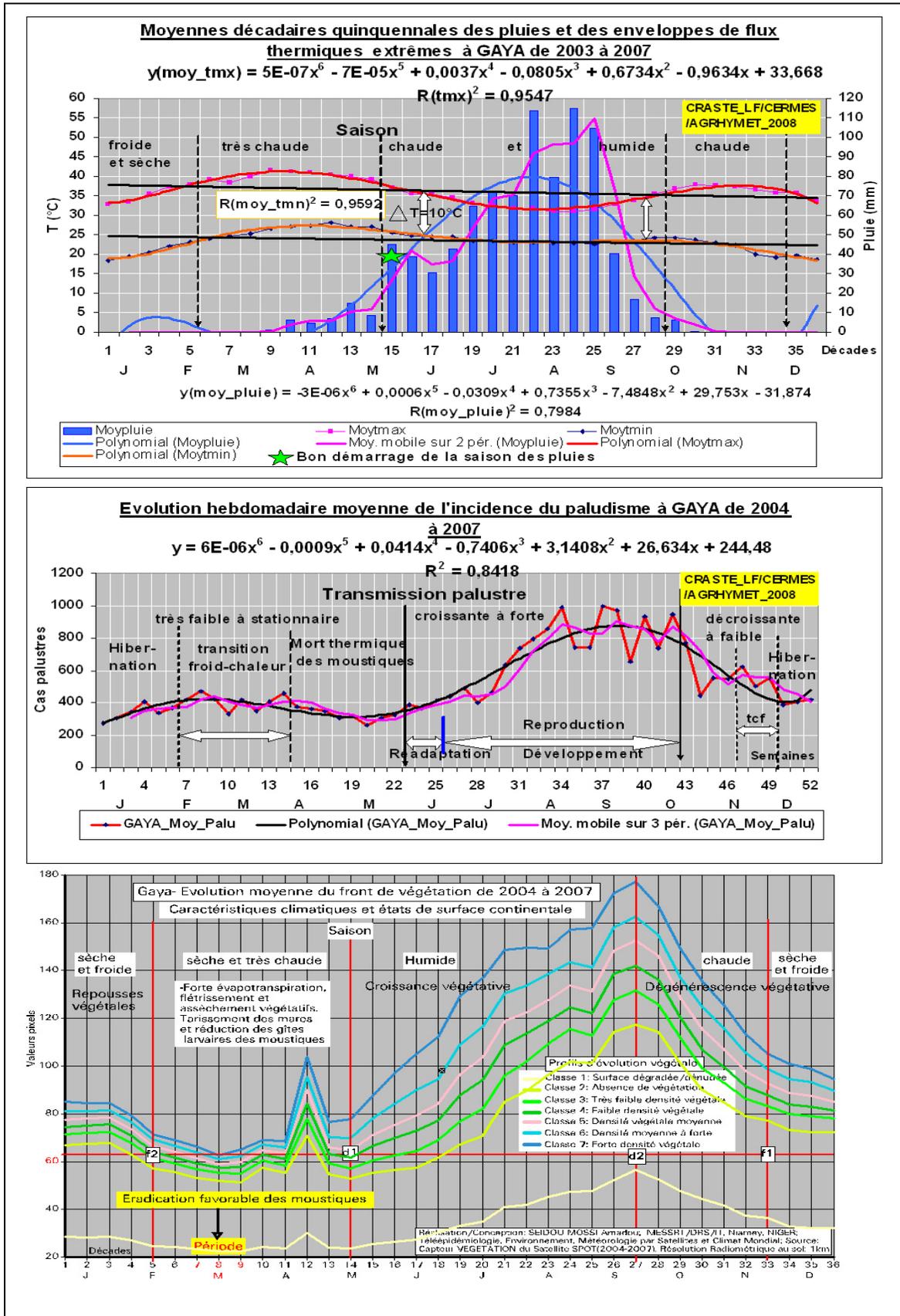


Tableau 4 : Diagramme pluvio-thermo-palustre de *Roukeya* et front moyen de végétation à In'Gall

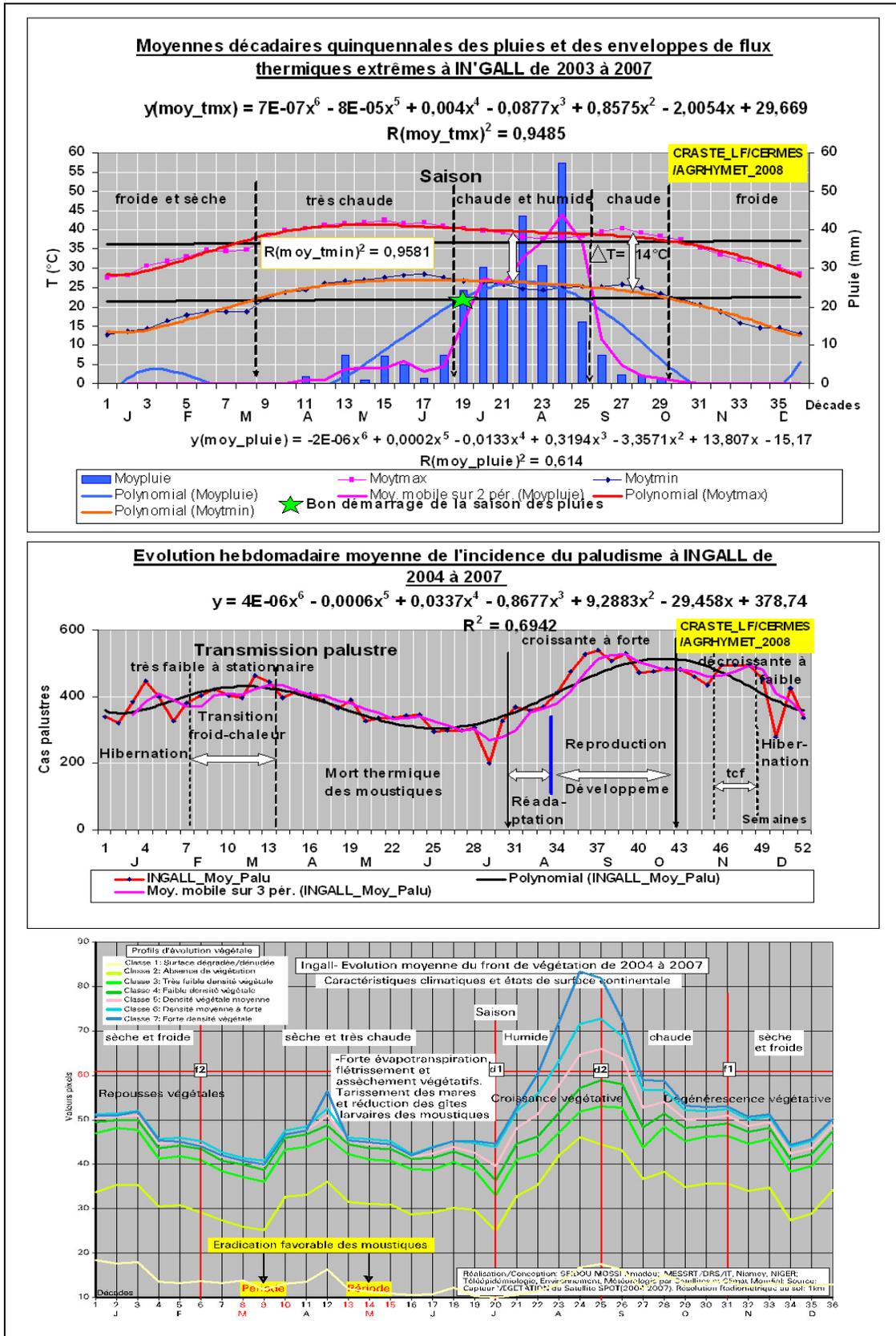
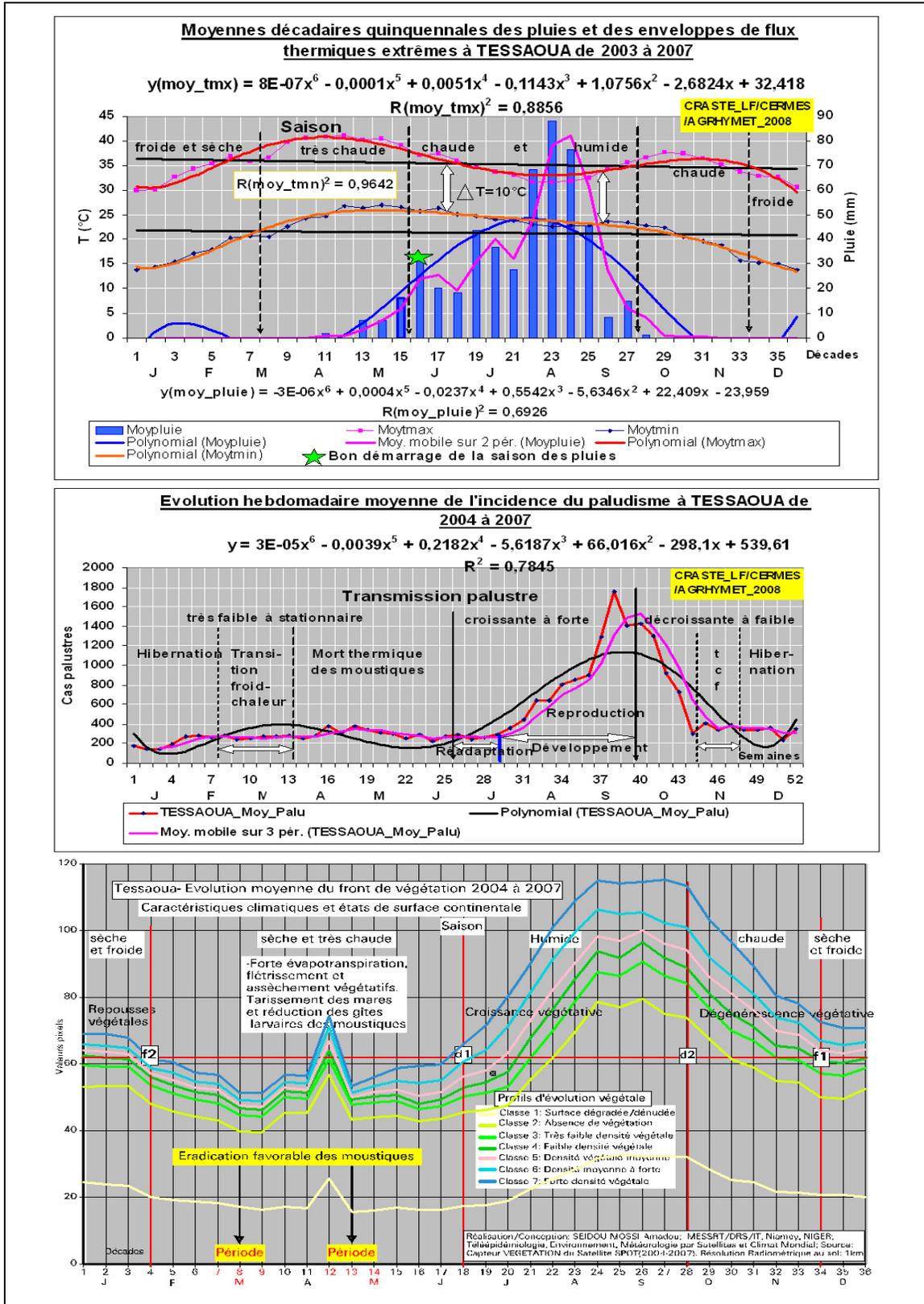
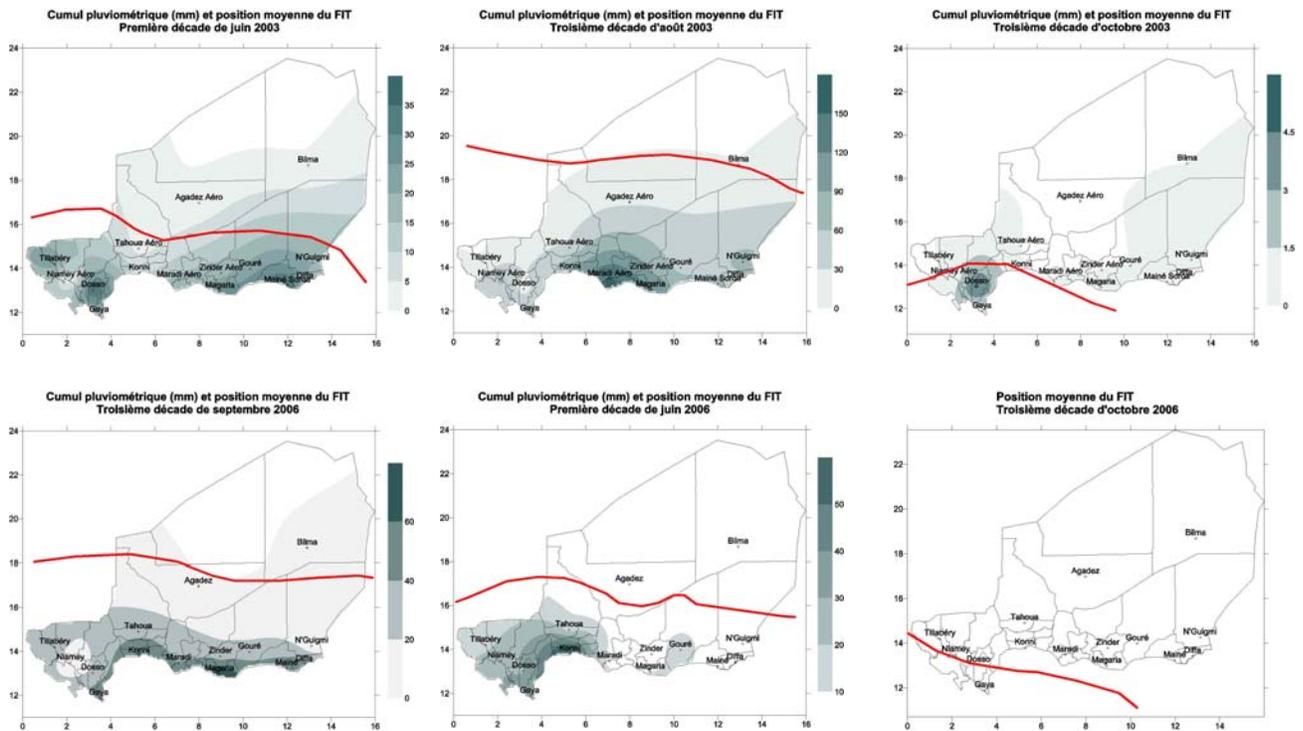


Tableau 5 : Diagramme pluvio-thermo-palustre de *Roukeya* et front moyen de végétation à Tessaoua



Des actions chimiques de lutte antimalariale pourraient s'avérer efficaces au cours de cette période chaude, accélérant ainsi la mort thermique des moustiques. En saison froide et sèche où les températures extrêmes descendent à 30/15°C, pour une amplitude thermique de 15°C, le taux de transmission devient très faible, dû à l'état d'hibernation des vecteurs. En revanche, pendant la saison humide ce taux devient très élevé dans une fourchette de seuils thermiques de 35/25°C; 2- une transmission croissante à forte, sous amplitude thermique maintenue constante à 10°C, durant toute la saison humide de juin à fin septembre, représentée par trois phases évolutives: réadaptation, reproduction et développement des moustiques. Des cas de neuroludisme y sont fréquemment signalés entre août et septembre où la densité parasitaire est très élevée, liée à un nombre important de piqûres de moustiques infectés; 3- une transmission décroissante à faible, aux seuils de températures maximale et minimale de 38/20°C, au cours de la petite saison chaude d'octobre à novembre sous amplitude thermique variant entre 15 et 17°C, marquant le retrait du front intertropical (FIT) vers le sud du pays (*Tableau 6*), l'arrêt des pluies et la chute de l'indice de végétation.

Tableau 6 : Profils d'évolution du Front Inter Tropical au Niger



L'analyse des résultats montre que le paludisme se présente sous forme endémique dans les quatre sites, mais a des degrés variables, selon les saisons, les spécificités des zones et le degré d'exposition des populations résidentes aux piqûres du vecteur infecté. L'existence de chambres climatisées en période de forte chaleur ou réchauffées en saison froide constitue un autre facteur de maintien de la transmission chez les personnes aisées. Des cas palustres sont observés et notifiés tout au long de l'année sur l'ensemble du territoire national. Le taux de morbidité le plus élevé est enregistré dans le nord du pays à In'Gall, zone désertique à vocation pastorale, et à population non prémunie, ou à prémunition passagère (*figure 2*); suivi de la zone agricole Gaya, au sud-ouest (*figure 3*), à prémunition permanente. Dans la majorité des cas, l'analyse des coefficients de corrélation montre que les pâturages semblent servis de niche écologique préférentielle pour les populations de moustiques, à l'exception de Tessaoua et au plan national, où les courbes de tendance indiquent le couvert végétal temporaire comme biotope à risque sanitaire. Néanmoins, entre 2006 et 2007, à la suite d'une réduction des superficies des pâturages à

In'Gall, liée à un très faible régime pluviométrique, la morbidité croît avec l'augmentation des surfaces de la végétation permanente. Quoique la transmission palustre paraisse n'être pas sensiblement influencée par des extrêmes de températures élevées dans cette zone, grâce à une thermotolérance acquise, probablement par mutation génique des moustiques, nous soulignons tout de même une corrélation entre l'évolution de la maladie et celle des pluies. Par ailleurs, même si nous admettons qu'une large distribution de moustiquaires imprégnées aurait contribué à la baisse du taux de morbidité en 2003, 2004 et 2006, il n'en fut pas pour autant en 2005 et 2007 où ce taux était élevé à l'échelle nationale (Figure4).

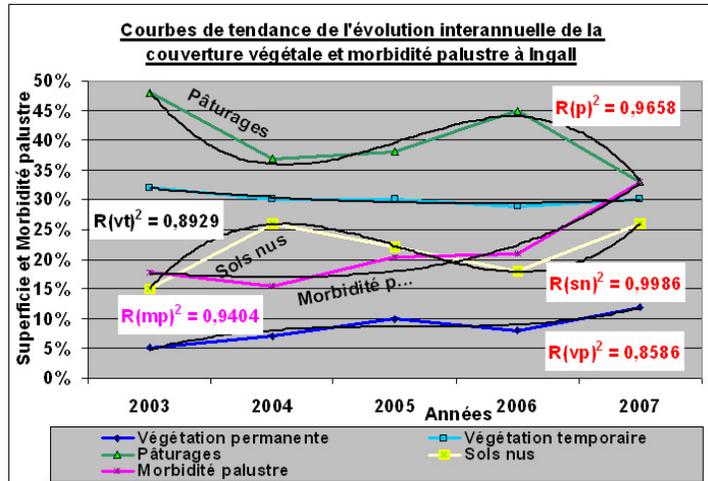


Figure 2 : Couverture végétale et morbidité palustre à In'Gall

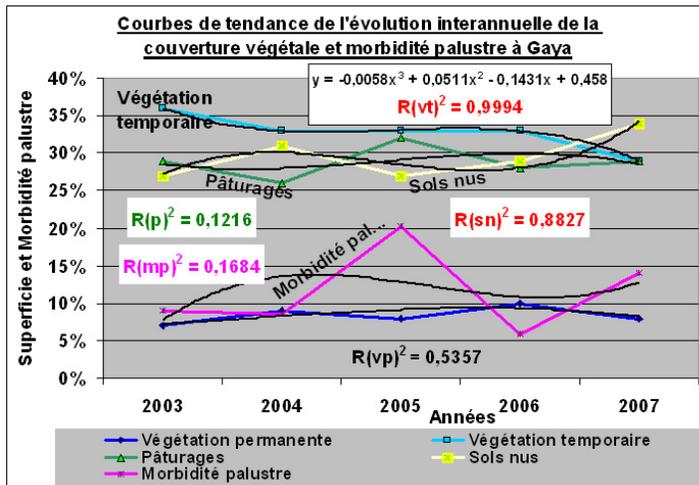


Figure 3 : Couverture végétale et morbidité palustre à Gaya

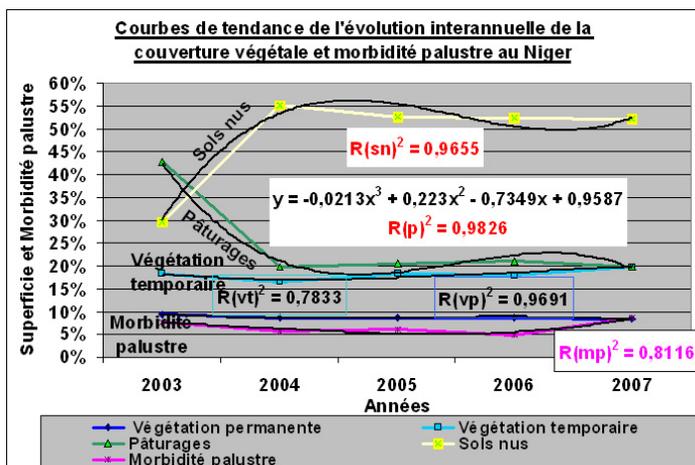


Figure4 : Couverture végétale et morbidité palustre au Niger

De profondes modifications sont cependant observées sur les couvertures végétales temporaire et permanente des autres sites, avec pour conséquence l'accroissement ou la réduction des surfaces des sols nus. À partir de la date des semis qui marque le début de l'hivernage, jusqu'à la fin de la période de croissance végétative, la recrudescence du paludisme semble être contrôlée par une amplitude thermique constante de 10°C à Dantiandou, Gaya et Tessaoua et de 13 à 14°C à In'Gall. Les variations de ce paramètre climatique ont un impact important sur l'activité biologique des vecteurs et leur distribution, et par conséquent sur la sévérité et le taux de transmission de la maladie.

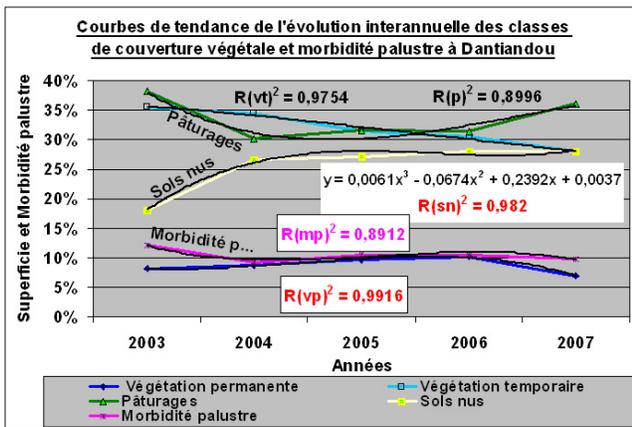


Figure 5 : Couverture végétale et morbidité palustre à Dantiadou

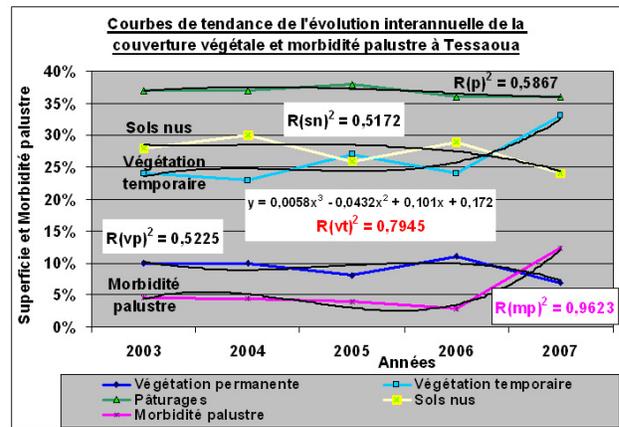


Figure 6 : Couverture végétale et morbidité palustre à Tessaoua

Conclusion

L'activité biologique des moustiques est donc tributaire des conditions climatiques. L'endémicité du paludisme au Niger pourrait être expliquée par la permanence de gîtes larvaires potentiels d'*Anophèles* vecteurs dans les zones humides. En effet, si le nombre de cas morbides est connu par tranche d'âge et par sexe, il reste cependant à identifier et à dénombrer dans la population, les cas de paludisme de fortune, c'est-à-dire liés aux patients nantis. En régions chaudes et désertiques comme In'Gall et Agadez, la présence des moustiques serait liée à leur capacité d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques, probablement due à un polymorphisme génique. L'analyse des différents profils d'évolution a permis de déterminer pour chaque site, les seuils thermiques de transmission palustre, d'identifier les périodes favorables de lutte et de définir les classes de couverture végétale pouvant servir de gîtes écologiques à risque sanitaire. La cartographie du risque de transmission aidera en perspective, à mieux cerner les aires d'extension pour une possible éradication efficace.