



GICC APR 2008 – N° subvention G.2100049724

AdaptFVR

Impacts du changement climatique sur l'émergence des vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal : adaptation et stratégie pour une meilleure gestion du pastoralisme au Sahel



Rapport final

Septembre 2012



Résumé

S'adapter, c'est prévoir !

Si le caractère environnement-climatico dépendant de certaines maladies infectieuses transmissibles par des vecteurs n'est plus à démontrer, mettre au point des cartes de prévision de « où et quand » il y aura un risque d'émergence des vecteurs de ces maladies et du niveau de ce risque, reste un challenge. Or de telles cartes de prévision contribueraient à des stratégies d'adaptation .

Le projet **AdaptFVR** propose d'appliquer l'approche conceptuelle de télé-épidémiologie du CNES, qui est basée sur l'étude des relations environnement-climat-santé en s'appuyant sur des données satellites d'observation des paramètres environnementaux et climatiques favorisant l'émergence des vecteurs de la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) dans la région sahélienne du Ferlo au Sénégal. La proposition est d'étudier l'impact de la variabilité du climat sur le schéma épidémiologique de la FVR et d'en analyser les conséquences sur les prévisions du risque.

Ainsi, l'objectif du projet AdaptFVR est triple :

- produire et valider des cartes dynamiques des risques d'exposition du bétail aux piqûres des moustiques, vecteurs de la FVR,
- étudier l'impact de la variabilité du climat (du saisonnier jusqu'aux basses fréquence, comprenant les tendances et les changements climatiques) sur la prévision des risques,
- étudier les processus d'adaptation dans la gestion du pastoralisme face aux risques prédits

Mettant les besoins de la Direction des Services Vétérinaires du Sénégal au centre de ses réflexions, le consortium rassemble des équipes de spécialités complémentaires : des entomologistes de l'Institut Pasteur de Dakar, des experts en environnement et en pastoralisme du Centre de Suivi Ecologique du Sénégal, des météorologues de Météo France, des experts en diffusion d'information environnementale de l'association Reflets et des experts en « télé-épidémiologie » et en télédétection du Centre National d'Etudes Spatial.

La coordination de ce projet a permis un travail multidisciplinaire et à favoriser de vraies analyses croisées entre les travaux des équipes scientifiques.

Les simulations des modèles météorologiques saisonniers, basses fréquences et des modèles de scénarii climatiques, semblent montrer que dans les années à venir la « situation climatique » de la région du Ferlo devrait rester telle qu'elle est actuellement, sans augmentation ou réduction de la distribution des pluies.

Or ce sont ces pluies, et leur distribution spatio-temporelle au cours de la saison des pluies, qui favorisent le risque d'émergence des moustiques vecteurs de la FVR : *Aedes vexans* en début de saison et *Culex poicillipes* en fin de saison. Ce risque d'émergence a été modélisé et validé grâce à des campagnes de mesures dans le cadre du projet AdaptFVR.

Mais un risque, c'est le croisement d'un aléa et d'une vulnérabilité. Si les moustiques représentent l'aléa, le bétail constitue la vulnérabilité, avec des troupeaux résidents et d'autres transhumants, et il n'y a risque que si aléa et vulnérabilité se rencontrent.

La télédétection spatiale apporte une vision globale sur la zone d'étude de Barkedi de l'évolution de la mise en eau des quelques 1350 mares susceptibles de produire l'aléa, et sur le positionnement des parcs à animaux par rapport à ces mares.

L'intégration du modèle dynamique d'émergence des moustiques avec les parcs dans un système d'information géographique a permis de délivrer tous les 15 jours à la Direction des Services Vétérinaires du Sénégal des bulletins prévisionnels à 10 jours des zones à risque, c'est-à-dire des zones où le bétail risquait d'être piqué et donc potentiellement infecté.

La Direction des services Vétérinaires du Sénégal a intégré ces bulletins dans sa stratégie d'adaptation. Cette stratégie se décline en plusieurs actions :

- éloigner les troupeaux des zones à risque : pour cela des panneaux en langue locale indiquant aux éleveurs qu'il valait mieux s'installer au-delà de 500m des mares ont été installés aux abords des principale mares ;
- organiser la lutte anti-larvaire : en fournissant ces bulletins à l'Institut Pasteur de Dakar qui pourra mener des actions de terrain ciblées, réduire la prolifération des moustiques et donc la transmission de la maladie ;
- organiser des campagnes de vaccination : sur la base de ces bulletins, la Direction des Services Vétérinaires du Sénégal pourrait optimiser les campagnes de vaccination connaissant les zones les plus à risque ;
- organiser une stratégie de communication : en intégrant les bulletins de prévision de risque dans la chaîne d'information du Système National de Surveillance de Epidémies qui va depuis le Ministère de l'Elevage du Sénégal, en passant par la DSV jusqu'à ses représentants locaux et dans les Unités Pastorales. Il est également prévu de diffuser des messages en langues locales sur les radios régionales pour faciliter leur compréhension et leur acceptabilité.
- organiser la vaccination

Pour que ces actions se concrétisent, il conviendrait que les cartes de prévision soient produites régulièrement par un organisme sénégalais.

Le transfert du modèle prévisionnel de carte de risque d'émergence des moustiques vecteurs de la Fièvre de la Vallée du Rift est en cours de formalisation entre le CNES et le CSE. Ce transfert réalisé sur un organisme sénégalais dont les compétences sont reconnues internationalement devrait avoir un impact régional sur la prévision des risques vectoriels de la FVR.

Notons qu'actuellement, d'autres études utilisant la même approche de télé-épidémiologie sont en cours pour le paludisme en milieu urbain et rural dans le cadre du projet PaluClim soutenu par le programme GICC, et pour la dengue.

Executive summary

Adaptation requires anticipation with weather forecasting as a main ingredient !

Linkages between infectious diseases and environment and climate variability do not have to be spelled-out anymore. Nevertheless releasing forecasting data and maps on “where and when” a risk for the emergence of given diseases vectors still remains quite a challenge. Such risk maps will contribute to key adaptation strategies.

The AdaptFVR project is to apply the still new tele-epidemiology conceptual approach, a deterministic approach linking environment-climate- components and integrating remote sensing satellite data, to the Rift Valley Fever (RVF) in the Ferlo region (Senegal).

It is proposed to first evaluate climate variability impact on the RVF possible transmission, and then to quantify consequences on forecasting vectors' risks.

Project objectives are three folds :

- Run and validate dynamic maps of RVF risks for parked animals under the threat RVF vectors;
- Study climate variability on different temporal scales (including climate change tendencies) and impacts on risks;
- Study adaptation processes for animal health management in front of predicted risks.

With the Direction des Services Vétérinaires du Sénégal as the focus point for the above conceptual approach, the AdaptFVR consortium gathers teams of complementary disciplines such as, entomologists from Institut Pasteur of Dakar, experts in environmental and rural sciences from Centre de Suivi Ecologique of Dakar, meteorologists from Météo France, experts on information system on the environment from Association Reflets, and experts in remote sensing and tele-epidemiology from Centre National d'Etudes Spatiales.

Project coordination has encouraged a multidisciplinary work and has favoured deep cross-fertilizing analyses between scientific teams.

From meteorological modelling output at seasonal scale, low-frequencies scales and from CC scenari, it became evident that in the coming years the “climatic component” in the Ferlo region should remain basically the same (within uncertainties), and particularly for the rainfall distribution.

Rainfall distribution and its spatial heterogeneity, is a key parameter for the emergence of the *Aedes vexans* at the beginning of the rainy season and that of the *Culex poicilipes* during the course of the season. Subsequently risks for mosquitoes emergence has been modeled and validated using in-situ entomological measurement campaigns within the project framework.

It should be acknowledge that a risk is a result of hazard and vulnerability. If hazard is represented by the mosquitoes presence, vulnerability is represented by parked animals and migrating livestock.

Satellite remote sensing provides a global view for the dynamics of the ~ 1300 ponds, potential breeding sites for hazards to happens, and for the positioning of livestock parks around these same ponds, in the Barkédji area.

Integration of dynamic modelling on mosquitoes proliferation and the positioning of the livestock parks into a geographic information system, has enabled to provide every other week the Direction des Services Vétérinaires du Sénégal with forecasting bulletins of the zones under risks for the following 10 days,

The Direction des Services Vétérinaires du Sénégal has integrated the bulletins into its adaptation strategy. This strategy includes:

- park livestock away from zones at risks: warnings in local language have been installed near the ponds to inform breeders to park their animals at least 500m away from the ponds;
- organise anti-larval control : with these bulletins, Institut Pasteur of Dakar should be able to organize efficient larval and vector control actions;
- organise RVF vaccination: with these bulletins Direction des Services vétérinaires du Sénégal could optimise vaccination campaigns in the most at risk zones ;
- organize communication strategy : by integrating the forecasted risks bulletins in the Système National de Surveillance de Epidémies information chain that feed the Ministère de l'Elevage du Sénégal, Direction des Services Vétérinaires headquarters and local representatives, and rural districts. It is planned to broadcast advertising messages in local language through local radio stations to facilitate comprehension and acceptance levels

To make these actions a reality, risks maps shall be produced and released by a Senegalese authority.

Transfer of the RVF mosquitoes emergence risks maps model is being discussed between CNES and CSE actors. This transfer towards a Senegalese outfit recognized for its skills at international level should have a definite regional impact on the RVF vector borne risks forecasting.

For the moment please note that other studies using the same tele-epidemiology CA are on-going for urban malaria and rural malaria through the PaluClim project also supported by GICC programme, and for dengue fever as well.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	7
1. CONTEXTE ET DEMARCHE SCIENTIFIQUE.....	7
1.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET ET DES PARTENAIRES	7
1.2. COORDINATION DU PROJET.....	8
1.3. ZONE D'ETUDE ET POSITIONNEMENT DES MESURES	9
1.4. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE MESURES 2010	12
1.5. ANALYSE DES MESURES IN-SITU	16
2. VALIDATION DU MODELE.....	29
2.1. DESCRIPTION DU MODELE	29
2.2. ANALYSE DE SORTIE DU MODELE ZPOM SUR TOUTE LA SAISON DES PLUIES 2010.....	32
3. VALIDATION DU MODELE.....	33
3. CLIMAT ET TENDANCES DU RISQUE	41
3.1. EVOLUTION DU DEBUT ET DE LA SAISON DES PLUIES EN TEMPS REEL	41
3.2. PREVISIONS SAISONNIERES ET STOCHASTIQUES DE LA MOUSSON D'ETE AU SENEGAL.....	42
3.3. EVOLUTION DES SIGNAUX BASSES FREQUENCES DU CLIMAT AU SAHEL	44
3.4. SCENARIOS CLIMATIQUES AU SAHEL JUSQU'EN 2050	47
3.5. CONCLUSION METEOROLOGIQUES SUR LA VARIABILITE DU CLIMAT AU FERLO (SAHEL).....	49
4. LES DIFFERENTES FORMES DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	49
4.1. LES DIFFERENTES FORMES D'ADAPTATION	49
4.2. ADAPTATION A LA VARIABILITE ET AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE SAHEL.....	50
4.3. ADAPTATION ANTICIPATIVE.....	51
4.4. ADAPTATION REACTIONNELLE	57
5. VALORISATION.....	58
5.1. BULLETINS ZPOM DE PREVISION	58
5.2. PUBLICATIONS	58
5.3. COLLOQUES ET PRESENTATIONS.....	59
5.4. MASTERES ET HDR.....	60
5.5. REDGEMS.....	60
CONCLUSION	66
BIBLIOGRAPHIE	67
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DE L'UNITE PASTORALE DE BARKEDJI	71
ANNEXE 2 : LE PROJET CORDEX	82
ANNEXE 3 : EXEMPLE DE BULLETIN ZPOM DE LA SAISON 2010	84
ANNEXE 4 : RAPPORT DE STAGE DE CLEMENT GUILLOTEAU.....	89
ANNEXE 5 : RAPPORT DE MASTERE 2 DE MATIAS ALCOBA.....	89
ANNEXE 6 : RAPPORT DE MASTERE 2 DE LAURENT IMANACHE.....	89

INTRODUCTION

Ce document est le rapport final du projet GICC AdaptFVR : Impacts du changement climatique sur l'émergence des vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal : adaptation et stratégie pour une meilleure gestion du pastoralisme au Sahel.

Après un rappel des objectifs du projet et de la méthodologie suivie, les résultats obtenus sont détaillés. Des analyses croisées de l'intégration de ces résultats ont été menées pour répondre aux problématiques d'évolution du risque dans la saison pour différentes échelles climatiques. Elles fournissent des éléments majeurs d'information aux décideurs en vue de l'élaboration de stratégie d'adaptation et de plans d'action. Certaines actions mises en œuvre pendant la durée du projet sont également présentées et discutées.

Enfin, un point est fait sur la valorisation du projet au travers des publications scientifiques, des présentations faites lors de colloques, et du transfert du modèle fournissant les cartes de prévision du risque vectoriel aux autorités sénégalaises.

1. CONTEXTE ET DEMARCHE SCIENTIFIQUE

1.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET ET DES PARTENAIRES

Le projet **AdaptFVR** propose d'appliquer l'approche conceptuelle de télé-épidémiologie reliant climat, environnement et santé, à la maladie d'intérêt, la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR), dans la région sahélienne du Ferlo au Sénégal. Cette approche utilise des données d'observation satellite pour identifier les conditions environnementales et climatiques favorables au développement des moustiques vecteurs de la Fièvre de la Vallée du Rift ; dans le cas présent, il s'agit d'observer la dynamique des mares, les endroits où hôtes et vecteurs peuvent être en contact et les événements pluvieux.

La proposition est d'étudier l'impact de la variabilité du climat sur le schéma épidémiologique de la FVR et d'en analyser les conséquences sur les prévisions du risque.

L'objectif est triple :

- produire et valider des cartes dynamiques des risques d'exposition du bétail aux piqûres des moustiques, vecteurs de la FVR,
- étudier l'impact de la variabilité du climat (du saisonnier jusqu'aux basses fréquences, comprenant les tendances et les changements climatiques) sur la prévision des risques
- étudier les processus d'adaptation dans la gestion du pastoralisme face aux risques prédits

Pour la réalisation de ce projet, un consortium de disciplines complémentaires est constitué de :

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales, 18 Avenue Edouard Belin, 31401 TOULOUSE Cedex 9
Responsable scientifique du projet, chargé des activités de télé-épidémiologie et de télédétection,

- **CSE : Centre de Suivi Ecologique de Dakar**, chargé de la coordination des activités au Sénégal, responsable des activités liées à l'environnement

- **DSV : Direction des Services Vétérinaires du Ministère de l'Elevage du Sénégal**, responsable des activités liées à l'adaptation, utilisateur des bulletins ZPOM

- **IPD : Institut Pasteur de Dakar**, responsable des activités liées à l'entomologie et à la validation des bulletins ZPOM,

- **Météo France**, responsable des activités liées à la climatologie
- **Association REFLETS**, responsable du site d'information RedGems

1.2. COORDINATION DU PROJET

Comme initialement prévu, la coordination globale du projet a été assurée par le CNES qui a apporté son expertise thématique en environnement-climat-santé, en télédétection et en gestion de projet..

Ainsi, des réunions nécessaires à l'organisation du travail des partenaires ont été organisées :

- du 28 juin au 4 juillet 2009, une réunion préparatoire avec visite de terrain du site d'étude, avant la signature des conventions, au Centre de Suivi Ecologique à Dakar,
- le 29 mars 2010, une réunion préparatoire à l'identification des documents de référence, à la mise au point des protocoles de mesures, en téléconférence,
- du 3 au 5 mai 2010, la réunion de démarrage du projet, avant le démarrage des campagnes de mesures de terrain, à l'Institut Pasteur de Dakar,

Puis, à l'issue des campagnes de mesures de terrain et d'acquisition d'images, disposant d'une masse d'informations dont il fallait exploiter toute la richesse, le CNES, en tant que coordinateur du projet AdaptFVR a demandé au GICC un report de délai pour la remise du rapport final.

Ainsi, des réunions d'analyse croisées des résultats ont été organisées :

- du 9 au 11 mai 2011, une réunion de bilan des campagnes de mesures et une première analyse des résultats des campagnes de mesures de terrain, à l'Institut Français Leopold Sedar Senghor, à Dakar
- le 21 octobre 2011, une première réunion d'analyse croisée entre les disciplines entomologie, météorologie, télédétection, sciences vétérinaires, sciences environnementales, en téléconférence,
- le 17 février 2012, une réunion d'analyses croisées sciences environnementales-télédétection-adaptation, en téléconférence,
- le 27 février 2012, une réunion d'analyses croisées entomologie-sciences environnementales-télédétection, en téléconférence,
- le 30 mars 2012, une réunion d'analyses croisées climat-risque environnemental-adaptation, au CNES Toulouse en téléconférence,
- en avril 2012, un travail approfondi a été mené sur l'adaptation,
- en mai et juin, des séances de travail ont permis de finaliser les modèles de production des cartes de risque Aedes et Culex,
- en juin et juillet, des séances de travail ont permis de valider les sorties des modèles et de mieux connaître leur représentativité par rapport aux mesures in-situ,
- jusqu'en septembre, un travail de relecture et d'optimisation du rapport final a été mené par échanges d'emails.

Outre les résultats scientifiques obtenus (et détaillés dans les paragraphes suivants), le projet AdaptFVR a eu des conséquences sur les organisations internes de certains organismes partenaires.

En 2009, le CNES a recruté Mme Cécile VIGNOLLES, spécialiste en télédétection et en télé-épidémiologie. A l'occasion du projet AdaptFVR, Mme VIGNOLLES a acquis des compétences de management de projet aux côtés de Mme LAFAYE. Le CNES a renforcé son expertise en créant un

poste dédié au domaine, et Mme VIGNOLLES s'est vu confié le poste de « Responsable en télé-épidémiologie et en développement d'applications en observation de la terre ». Mme LAFAYE a rejoint une nouvelle équipe en charge de la Stratégie, de la Prospective et des relations avec les Ministères.

Au Sénégal, Jacques-André NDIONE du Centre de suivi Ecologique de Dakar a assuré la coordination des partenaires scientifiques du projet AdaptFVR. Il s'est vu confié le poste de « Responsable du Programme Recherche-Développement » au CSE. Il a brillamment soutenu une HDR (Habilitation à Diriger la Recherche) à l'Université de Bourgogne en juin 2012.

La Direction des Services Vétérinaires de la Direction de l'Elevage envisage de recruter un agent supplémentaire pour intégrer les produits d'information produits par AdaptFVR dans son système de surveillance et de prévention vétérinaire. Le Dr Baba SALL fait partie d'un groupe parlementaire de l'Assemblée Nationale du Sénégal en charge des réflexions sur les évolutions du système de surveillance et d'alerte des épizooties. Il contribue aux réflexions d'adaptation de ce groupe parlementaire, et se fait le relai des résultats obtenus dans le cadre du projet AdaptFVR.

1.3. ZONE D'ETUDE ET POSITIONNEMENT DES MESURES

La zone d'étude du projet AdaptFVR s'étend sur environ 3600 km² autour du village de Barkédji, dans le Ferlo sénégalais (Cf. Figure 1).

Barkédji est situé dans les vallées fossiles du Ferlo et reste entouré par des bas-fonds (ramifications du Ferlo) qui collectent l'eau sous forme de mares temporaires dès le début de la saison des pluies. Mis à part les forages, ces mares demeurent les seules sources d'approvisionnement en eau entre juillet et février. Elles permettent ainsi aux populations de disposer de l'eau de boisson mais également d'abreuver le bétail (zébus de race Gobra ainsi que de petits ruminants, des ânes et des chevaux et de quelques dromadaires). Le système d'élevage est de type extensif caractérisé par la mobilité, forme appropriée d'exploitation des ressources pastorales (pâturages, eau).

Du point de vue éco-géographique, nous sommes dans la zone sylvo-pastorale, plus exactement dans la sous zone du Ferlo sud sablo-argileux. Le relief y est monotone : il est formé de dunes en partie aplanies ou stabilisées par la végétation. Avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 300 et 500 mm, son climat est de type sahélien avec deux saisons, avec une mousson d'été (saison des pluies) allant de juillet à octobre (Lacaux et al, 2007 ; Ndione et al, 2008 ; Ndione et al, 2009 ; Sagna, 2000).

Les sols y sont de type isohumique bruns et bruns rouges subarides peu évolués, d'apport éoliens, ferrugineux tropicaux non lessivés, minéraux bruts des dunes rouges où par endroits va affleurer la cuirasse (Cf. Figure 4). Sur les sols sableux, se développe un tapis de graminées annuelles (*Andropogon*, *Zornia*, *Cenchrus plicatus*, *Corchorus* sp. et *Cenchrus biflorus*). Le couvert végétal est fait de steppes arbustives (au nord) et arborées (au sud), reste dominée par *Acacia radiana*, *Acacia senegal* et *Balanites aegyptiaca*, *Myrtila inermis*, *Piliostigma reticulatum*, *Adansonia digitata*, *Diospyros mespiliformis*. A l'intérieur des mares, on note par endroits une forte présence de *Cenatheca* sesamoïdes et de *Nymphaea lotus* durant la saison des pluies.

Dans le cadre de la campagne de terrain réalisée au cours de la saison des pluies 2010, la zone retenue pour réaliser les mesures in situ représente un carré de 15km x 15km centré autour de Barkédji (Cf. Figure 2).

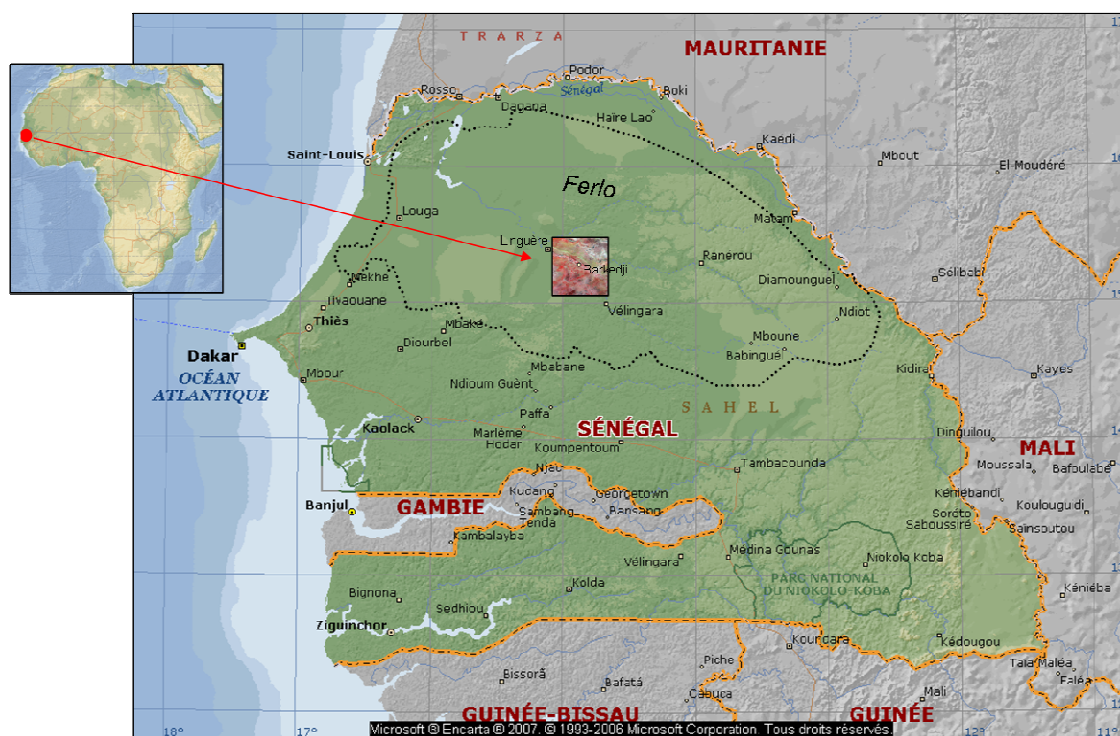


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (carré rouge)

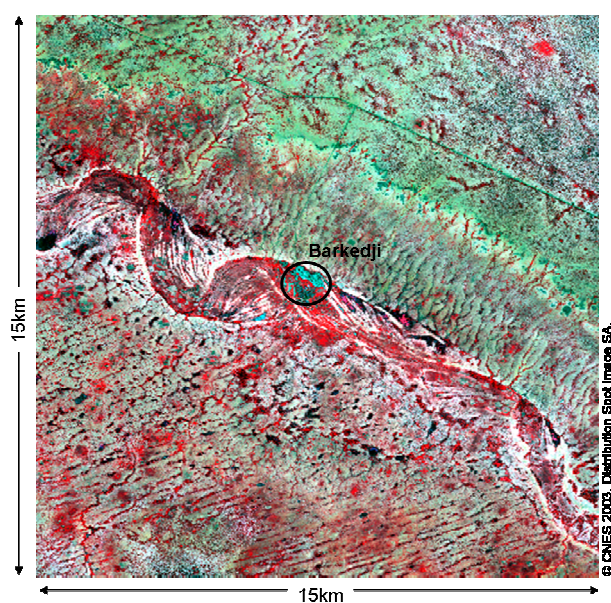


Figure 2 : Composition colorée (image Spot 5 à 10m du 26/08/2003) représentant la zone de 15km x 15km retenue pour la campagne de terrain 2010

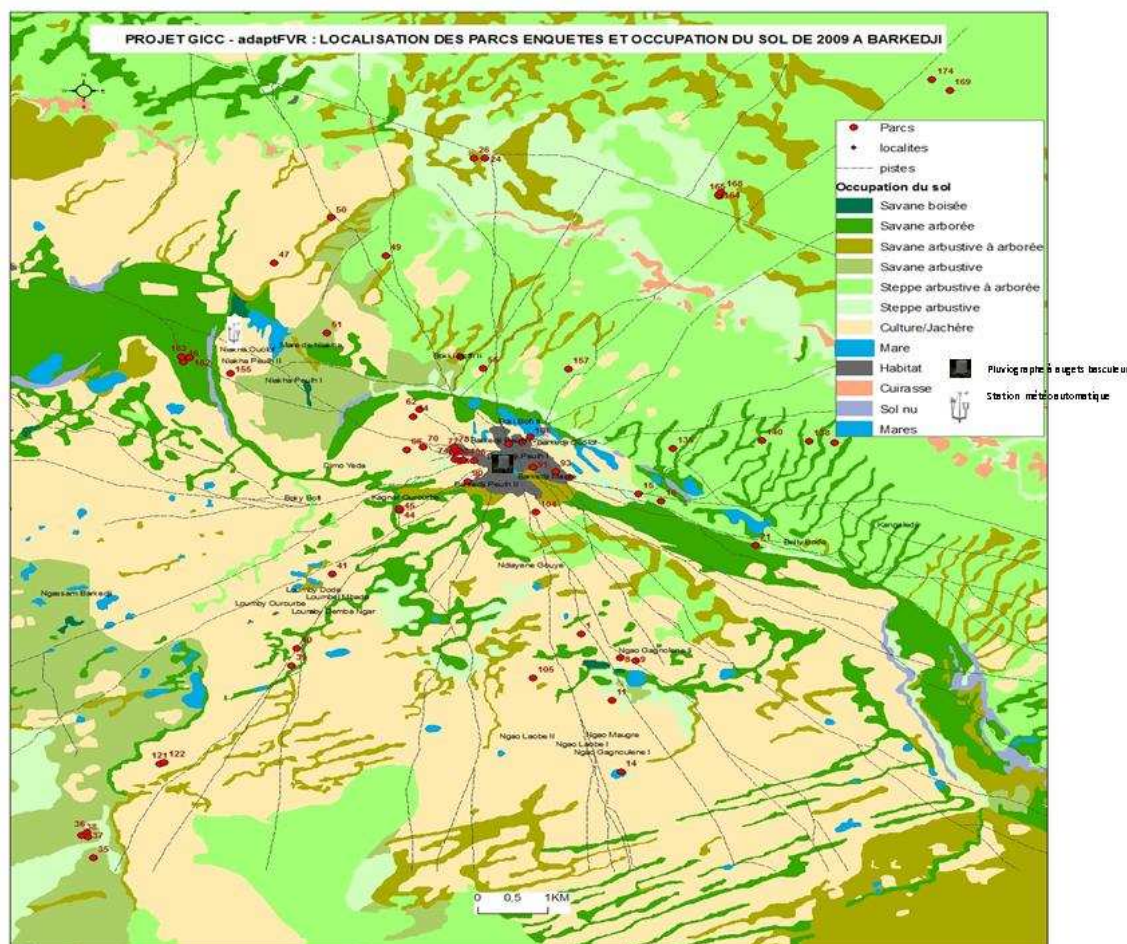


Figure 3: carte d'occupation du sol et de localisation des parcs à bestiaux enquêtés au cours de la saison des pluies 2010

La carte d'occupation du sol de Barkédji a utilisé des données satellitaires et a été réalisée grâce à la classification de *Yangambi* (Ba, 2011). Par ailleurs, Ba (2011) montre à partir d'une analyse multi-date (1973, 1987 et 2009 ; tableau CC) est parvenu à montrer comment l'occupation du sol a évolué. En effet, en comparant ces trois dates (Tableau 1), on se rend compte que la CR de Barkédji a enregistré une dégradation assez prononcée par endroits et pour certaines classes. Cette dégradation de la végétation naturelle est opérée principalement au profit des zones de culture pluviale et de quelques parcelles horticoles et maraîchères dont l'échelle de cette cartographie ne permet pas de matérialiser. Cet état de fait indique une reprise agricole alors que nous sommes dans la zone sylvo-pastorale. Les surfaces en eau constituées essentiellement par les mares ont un bilan négatif symbolisant une perte de superficie. En revanche, les classes (cuirasse, sol nu et habitat) ont dans l'ensemble un bilan positif signifiant une augmentation de superficie ; ceci témoigne d'une part de la dégradation citée ci-dessus et d'autre part de l'impact anthropique grandissant (aménagements de nouvelles zones de cultures, expansion des établissements humains, etc.) ; s'y ajoutent bien évidemment les facteurs liés à la forte variabilité climatique (persistance des années de sécheresse). Les sols nus quant à eux, ont connu entre ces trois dates une évolution en dent de scie.

Classes	Superficie (ha)			Evolution des superficies			%
	1973	1987	2009	1987-1973	2009-1987	2009-1973	
Savane boisée	6275,02	4162,57	397,36	-2112,45	-3765,21	-5877,66	-2,90
Savane arborée	44300,65	11606,49	13092,73	-32694,17	1486,24	-31207,92	-15,42
Savane arbustive à arborée	95550,42	85888,83	28762,20	-9661,58	-57126,63	-66788,22	-33,00
Savane arbustive	8686,51	11061,41	24227,33	2374,90	13165,92	15540,82	7,68
Steppe arbustive à arborée	19781,01	28296,15	63991,98	8515,15	35695,83	44210,98	21,84
Steppe arbustive	10293,18	14583,71	19184,04	4290,53	4600,33	8890,87	4,39
Culture/Jachère	15380,78	44676,35	50466,79	29295,57	5790,44	35086,01	17,34
Mare	613,18	579,81	541,37	-33,37	-38,44	-71,80	-0,04
Cuirasse	242,55	554,33	561,92	311,78	7,59	319,37	0,16
Sol nu	1146,63	834,25	1006,77	-312,38	172,52	-139,86	-0,07
Habitat	127,13	153,15	164,56	26,01	11,41	37,42	0,02

Tableau 1: Evolution des superficies de l'occupation des sols de la CR de Barkédji entre 1973, 1987 et 2009

A l'exception des dernières années une légère hausse des précipitations est à retenir certes, au Ferlo différents faits ont pu être observés au fil des ans, à savoir l'augmentation des tailles de cheptel (grâce à une meilleure maîtrise du suivi sanitaire des troupeaux), augmentation du nombre des forages pour un meilleur accès à l'eau (amélioration des performances des forages pour plusieurs raisons (amélioration de la gestion (mise en place de Comités de gestion), etc. Finalement, tous ces éléments mis les uns dans les autres ont renforcé voire accentué la pression anthropique sur le milieu sur le milieu. Aujourd'hui, la présence forte des dromadaires est très mal appréciée par les populations. S'y ajoute l'avancée du front agricole (augmentation des parcelles de cultures) : de 1973 à 2009, Ba (2011) observe que les superficies agricoles 15380,78 à 50466,79 ha ; en 1987, elles étaient à 44676,35 ha. L'augmentation des superficies agricoles témoigne aussi de l'augmentation des populations (ANSD, 2011 ; ANSD, 2010).

1.4. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE MESURES 2010

- Campagne de mesures entomologiques :

Les campagnes de mesures entomologiques ont été réalisées par l'Institut Pasteur de Dakar, conformément au protocole décrit dans le rapport intermédiaire.

Choix des campements-parcs

À partir d'une image satellite, les différents points d'eau et campements-parcs dans un rayon de 15 km centrée autour du village de Barkedji ont été recensés. Les différents campements-parcs ont été divisés en classes situées entre 0m à 300m, 300m à 500m, et à plus de 500m du point d'eau le plus proche. Après une première mission de prospection et de validation des campements et parcs recensés dans la zone d'étude, 80 sites dont 7 mares ont été retenus pour les campagnes de mesures entomologiques (cf.figure 3). Ce choix a été fait en prenant en compte :

- i) la distance par rapport aux points d'eau,
- ii) la nature des parcs (bovins ou petits ruminants),
- iii) le type (permanent ou transhumant) et
- iiii) l'accessibilité par véhicule durant l'hivernage.

Compte tenu du nombre de parcs retenus et des moyens budgétaires, il a été estimé que l'échantillonnage complet nécessitait 4 jours à chaque session d'échantillonnage. L'échantillonnage entomologique avait lieu du 15 au 18 pour le mois de juillet 2010 et durant la dernière semaine de chaque mois d'août à décembre 2010 soit un total de 6 sessions de mesures.

Échantillonnage des moustiques

Des pièges lumineux de type CDC avec CO₂ ont été utilisés pour la récolte des moustiques. Les moustiques ont été récoltés au niveau des points sélectionnés de juillet à décembre à raison d'une nuit de capture par mois. Pour chaque nuit de capture, les pièges étaient fixés, à environ 50 cm du sol au crépuscule et récupérés le lendemain matin.

Traitement des moustiques

Après la récolte, les moustiques ont été identifiés morphologiquement. Les moustiques de chaque piège sont répartis en lots mono-spécifiques et conservés dans de l'azote liquide sur le terrain. Au laboratoire, ces moustiques sont conservés à – 80 °C jusqu'à leur traitement. Les femelles gorgées sont mises dans des tubes individuels. L'origine du sang a été déterminée par la méthode ELISA au laboratoire.

- Campagne de mesures environnementales :

Les mesures environnementales concernent la collecte des données climatiques, hydrologiques, physico-chimiques et agrostologiques. Différentes missions pour la collecte des données physico-chimiques ont été organisées de juillet à décembre 2010. Quelques dates de missions sont à retenir : 11 au 14 juillet 2010 ; du 28 juillet au 02 août 2010 ; du 25 août au 05 sept 2010 ; 19 au 26 octobre 2010, etc. Les données agrostologiques ont été collectées en fin de période de croissance de la végétation (fin septembre) durant la campagne de mesure annuelle de biomasse organisée par le CSE (photo 1).



Photo 1 : Campagne de mesure de la biomasse sur le site de Ndioumane (CR de Barkédji)

Les données climatiques sont collectées grâce à un pluviographe à augets basculeurs installé à Barkédji et une station météorologique automatique installée à Niakha (photos 2 à 5).



Photo 2 : Initialisation du logger du pluviographe à augets basculeurs à Barkédji



Photo 3 : Maintenance des capteurs à la station météorologique automatique à Niakha



Photo 4 : Finalisation de l'installation du Pluviographe à augets basculeurs à Barkédji



Photo 5 : Téléchargement de données et vérification de la bonne marche de la station Météorologique automatique de Niakha

Les données hydrologiques collectées sur lecture directe des échelles limnimétriques placées à l'intérieur des mares (photos 6 et 7). A cet effet, un observateur est contacté par le CSE en début de saison des pluies. Il peut arriver qu'il y ait des données manquantes car l'observateur a été empêché par moment dans la mesure où en même temps, il est aussi Agent de Santé Communautaire au Dispensaire de Barkédji. Enfin, pour les données liées à la qualité de l'eau, elles sont collectées grâce à un multi-paramètres Consort C561 (photos 8 et 9).

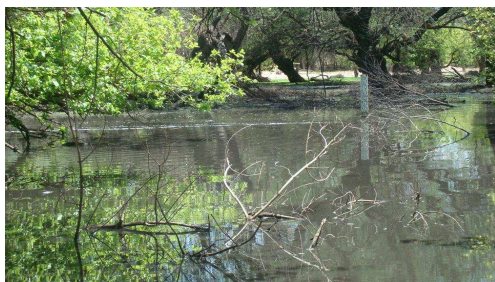


Photo 6 : Echelle 0-1 dans l'eau à la mare de Ngao en juillet 2010



Photo 7 : Echelle 1-2 pas encore touchée par les eaux en juillet 2010



Photo 8 : Capteur Multi-paramètres Consort C561 utilisé pour la collecte des données physico-chimiques au niveau des mares de l'Observatoire Environnement-Santé de Barkédji



Photo 9 : Recueil des données physico-chimiques par le capteur Multi-paramètres Consort C561

- Campagne de mesures de virologie :

Une première mission de prospection et de validation des sites de surveillance de la fièvre de la vallée du Rift a eu lieu à Barkédji du 19 au 23 mai 2010. Cette mission a permis :

- la vérification et la validation des points (parcs et campements) géoréférencés par le Chef du poste vétérinaire de Barkédji ;
- la vérification de certains points du fichier du CNES datant du 26 août 2003 ;
- le géoréférencement de nouveaux parcs, de campements et de points d'eau.

Une deuxième mission de suivi des troupeaux sentinelles a eu lieu du 21 au 26 juillet 2010. Lors de cette mission, 16 troupeaux sentinelles dont 11 troupeaux de petits ruminants et 5 troupeaux de bovins ont été visités et prélevés, soit 400 animaux dont 329 petits ruminants et 71 bovins. Le Tableau N°1 montre la répartition et les effectifs d'animaux par éleveur et par village.

Au cours de la mission du mois d'août 2010 (du 26 au 31 août), 14 troupeaux dont 12 troupeaux de petits ruminants et 02 troupeaux de bovins ont fait l'objet de prélèvements, soit 369 animaux dont 344 petits ruminants et 25 bovins.

En décembre 2010, la dernière mission Cette mission de la Direction des Services vétérinaires, avait pour but de procéder à la troisième série de prélèvements au niveau de la zone d'étude de Barkédji. Ainsi entre le 28 décembre 2010 et le 2 janvier 2011, huit villages, onze éleveurs, treize troupeaux dont 11 troupeaux de petits ruminants et 2 troupeaux de bovins ont été visités, soit 360 animaux dont 329 petits ruminants et 31 bovins.

Lors des différentes missions de suivi, des lots de médicaments (antiparasitaires, vaccins et antibiotiques) ont été mis à la disposition des éleveurs et du chef de Postes vétérinaire pour le suivi des troupeaux choisis.

Une moto neuve, un GPS, du matériel de prélèvements et des fiches de collecte (« foyer » et « commémoratifs ») ont été mis à la disposition du CPV de Barkédji.

- Campagne d'enquêtes pastorales :

Des questionnaires ont été conçus et proposés aux éleveurs transhumants avec une identification précise du transhumant (localité, période de transhumance, itinéraires des transhumants, , la destination, les contraintes liées à la transhumance, etc.). Les difficultés ont surtout concerné les enquêtes sur le pastoralisme qui ont connu un décalage dans le calendrier prévisionnel initial. De même, des séances de travail avec M. Thomas Manga, chef du Poste vétérinaire a permis d'apporter des informations supplémentaires.



Photo 10 : Traces d'un campement de transhumants abandonné autour de la mare de Kangalédji



Photo 11 : Campement typique de transhumants dans le nord de la CR de Barkédji

- Campagne de mesures de télédétection :

L'acquisition d'une série d'images SPOT 5 a été programmée toute au long de la campagne de terrain soit entre juin et décembre 2010 à raison d'une acquisition par mois.

Les données acquises correspondent à des images multi-spectrales avec une haute résolution spatiale (HR) à 10m comportant 4 bandes spectrales centrées sur les longueurs d'ondes du vert (XS1), du rouge (XS2), du proche infrarouge (XS3) et de moyen infrarouge (XS4).

Chaque image couvre une superficie de ~3600km² (~60km x 60km) et est centrée sur le village de Barkédji. Les dates d'acquisition sont les suivantes :

- 16 juin (fin de saison sèche),
- 7 juillet (début de la saison des pluies),
- 27 août (pic de la saison des pluies),
- 29 septembre (pic de la saison des pluies),
- 3 octobre (fin de la saison des pluies),
- 8 novembre (début de la saison sèche),
- 10 décembre (saison sèche).

Ces images viennent compléter la série d'images acquises depuis 2003 lors d'études précédentes sur le même site d'étude et qui avaient permis de mettre au point des indices innovants et spécifiques pour la détection des mares (NDPI : Normalized Difference Pond Index), pour la quantification de leur couvert végétal et pour la turbidité des mares (NDTI : Normalized Difference Turbidity Index). Ces index avaient été utilisés pour déterminer la probabilité que certaines mares soient plutôt des « mares à *Aedes* » (index de turbidité faible), ou plutôt des « mares à *Culex* » (indice de couvert végétal élevé). Dans un souci de cohérence, les images ont subi le même niveau de corrections radiométriques et géométriques (niveau de prétraitement 2B) et ont été livrées dans la même projection à savoir plate carrée (pour plus d'infos sur les niveaux de prétraitement consulter <http://www.spotimage.com/web/153-niveaux-de-pretraitement-et-precision-de-localisation.php>

Il est à noter que l'image du 27 août étant nuageuse et brumeuse, elle n'a pas pu être exploitée.

1.5. ANALYSE DES MESURES IN-SITU

1.5.1. ENTOMOLOGIE

Pour chaque type de parc et chaque classe de distance, la densité des moustiques a été exprimée par le rapport entre le nombre de moustiques capturés sur le nombre de pièges ayant permis leur collecte.

Les résultats font état :

- ***Des difficultés rencontrées***

Des refus secondaires de certains éleveurs et des mouvements de certains troupeaux ont entraîné une variation mensuelle du nombre de parcs échantillonnés et par suite une diminution du nombre total de pièges initialement envisagés ainsi que le nombre de pièges prévus pour chaque intervalle de distance.

- ***De la distribution des parcs en fonction des hôtes et de la distance***

Un total de 72 parcs a été échantillonné. Au total, 369 pièges (dont 9 pièges témoin) ont été posés de juillet à décembre sur un total initial prévu de 480 pièges. Il a été posé 125 pièges dans les parcs situés

entre 0-300 m, 122 dans les parcs situés entre 300-500 m et 122 dans des parcs situés à plus de 500 m. Parmi ces pièges, 87, 78, 106, 50 et 39 ont été posés respectivement dans des parcs à bovins, à caprins, à ovins, mixtes (ovins et caprins) et à proximité des mares. La distribution des parcs en fonction des hôtes et de la distance est présentée dans le Tableau 2.

Hôtes animaux	Intervalles de distances			Total
	(0m à 300m)	(300m à 500m)	(plus de 500m)	
Bovins	2	4	15	21
Caprins	4	9	2	15
Ovins	10	9	7	26
Ovins-caprins	6	2	2	10
Total	22	24	26	72

Tableau 2 : Distribution des parcs en fonction des hôtes et de la distance

- **De la richesse spécifique des espèces recensées**

Un total de 34 espèces a été recensé au niveau des mares et des parcs. Il a été respectivement recensé 28, 28, 25, 24 et 21 espèces de moustiques au niveau des mares et des parcs à ovin, à caprin, à ovin-caprin et à bovin. De même, 30, 28 et 25 espèces de moustiques ont été recensées respectivement dans les intervalles de distance (0m à 300m), (300m à 500m) et (à plus de 500m).

- **De l'abondance des vecteurs**

Un total de 12 514 moustiques femelles a été récolté. Les vecteurs déjà impliqués dans la transmission du virus de la FVR dans la zone représentent (82%) du total collecté avec une prédominance d' *Aedes vexans* (58%) et de *Culex poicilipes* (13%) respectivement.

Plus on s'éloigne des mares, moins la densité moyenne des moustiques est importante.

Des densités moyennes de 71, 18 et 10 ont été obtenues au niveau des classes de distance (0m à 300m), (300m à 500m) et (plus de 500m). Les densités des deux principaux vecteurs diminuent également avec la distance. Elle est de 353, 65 et 35 pour *Aedes vexans* respectivement pour les intervalles de distance (0m à 300m), (300m à 500m) et (plus de 500m) et de 71,7 et 7 pour *Culex poicilipes* respectivement pour les intervalles de distance (0m à 300m), (300m à 500m) et (plus de 500).

- **De la diversité**

L'indice de diversité de Shannon montre que la diversité au niveau des parcs est plus élevée dans les premiers cinq cent mètres

- **De la distribution des vecteurs autour des mares**

L'espèce *Aedes vexans* est bien représentée dans tous les intervalles de distance tandis que l'espèce *Culex poicilipes* semble confinée aux abords immédiats des mares.

À moins de 300 m, nous avons une bonne association entre *Aedes vexans* et *Culex poicilipes*.

Au-delà de 300m nous avons principalement une association entre *Aedes vexans* et les autres vecteurs.

- De la dynamique de production des vecteurs

Après l'émergence massive qui a suivi la mise en eau des mares en juillet, les densités de la population totale de moustiques ont chuté en août, ont augmenté en septembre pour atteindre un second pic avant de décliner progressivement. *Aedes vexans* a présenté le même profil dynamique que la population totale sauf dans l'intervalle (0m à 300m). Les densités de *Culex poicilipes* ont augmenté régulièrement de juillet à août, ont atteint un pic en septembre (octobre dans (300m-500m)) avant de diminuer progressivement.

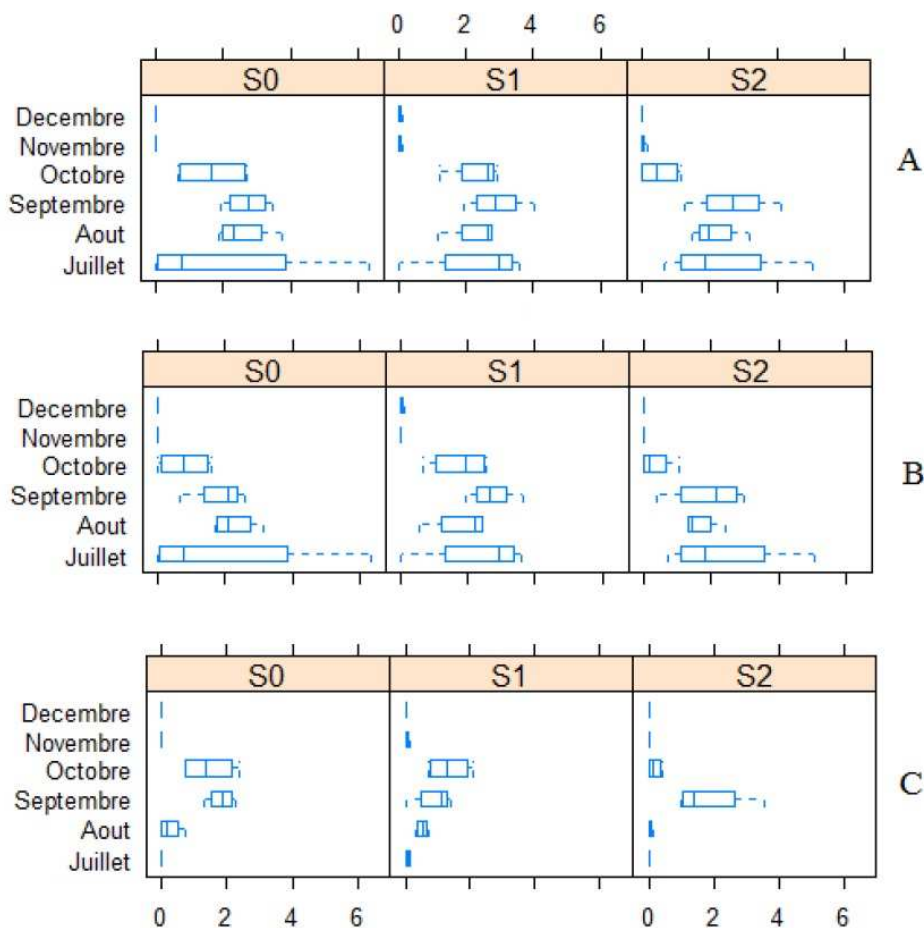


Figure 4 :Dynamique des populations (A) ensemble des vecteurs, (B) *Aedes vexans*, (C) *Culex poicilipes*

- Des densités vectorielles au niveau des parcs

De façon globale, les ovins semblent être les hôtes les plus piqués. Les caprins sont bien piqués dans les premiers cinq cent mètres et paraissent moins exposés au-delà de 500m. Le bœuf est surtout piqué par *Aedes vexans* et les autres vecteurs dans l'intervalle de distance (300m à 500m) et par *Culex poicilipes*, dans l'intervalle (0m à 300m).

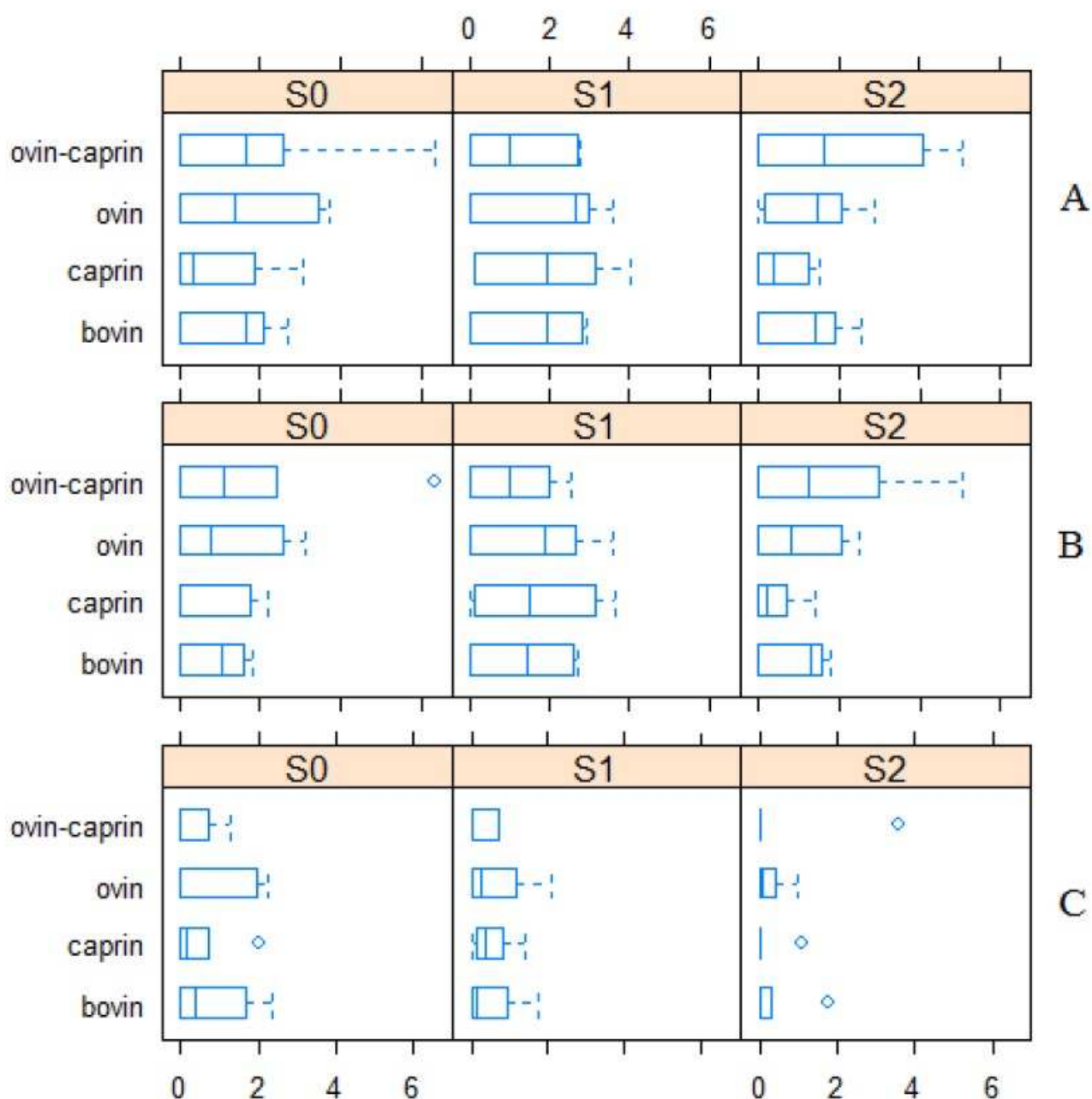


Figure 5 : Densités des vecteurs au niveau des parcs (A) :ensemble des vecteurs, (B) : *Aedes vexans*, (C) : *Culex poicilipes*

- De l'impact de la pluviométrie sur la dynamique des vecteurs

Les mesures in-situ peuvent être analysées de façon à mettre en évidence, au cours de la saison des pluies, en fonction de la distance à la mare, le nombre de sites ayant enregistré une densité vectorielle. Rappelons que sur chacune des 3 classes de distance à la mare, 21 sites ont été prospectés ; ce qui fait un total de 63 sites.

	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
S0 (moins de 300m)		10	18	19	14	1	2
S1 (300 à 500m)		14	16	18	20	2	0
S2 (+ de 500m)		11	19	19	8	2	2
Nbre total de sites		35/63	53/63	56/63	42/63	5/63	4/63
Pluviométrie à Barkédji (mm)	18,0	90,9	173,5	147,5	20,1	0,0	0,0
Pluviométrie à Niakha (mm)	18,9	108,2	109,9	146,0	22,0	0,0	0,0

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en juillet 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)		3	3	3	1
S1 (300 à 500m)	1	6		7	
S2 (+ de 500m)	3	1		5	2

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en août 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)	1	3	6	6	3
S1 (300 à 500m)	3	5		6	2
S2 (+ de 500m)	10			6	2

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en septembre 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)	2	2	7	4	4
S1 (300 à 500m)	1	8		6	2
S2 (+ de 500m)	9	2		6	2

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en octobre 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)	2	2	5	3	2
S1 (300 à 500m)	2	8		8	2
S2 (+ de 500m)	5			2	1

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en novembre 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)			1		
S1 (300 à 500m)				2	
S2 (+ de 500m)				1	1

Nombre de parcs ayant enregistré une densité vectorielle selon la distance en décembre 2010

	Bovin	Caprin	Mares	Ovin	Ovin-Caprin
S0 (moins de 300m)			2		
S1 (300 à 500m)					
S2 (+ de 500m)					1

La pluviométrie n'a pas eu d'effet sur la dynamique des *Aedes vexans* du fait de l'absence de pause pluviométrique suffisamment longue pour permettre la maturation et l'éclosion d'œufs nouvellement pondus. Après l'éclosion massive de début d'hivernage, les densités des populations d'*Aedes vexans* ont chuté progressivement. Un seul pic a été observé.

La dynamique des *Culex poicilipes* semble plus influencée par la qualité de l'eau et la quantité de végétation présente.

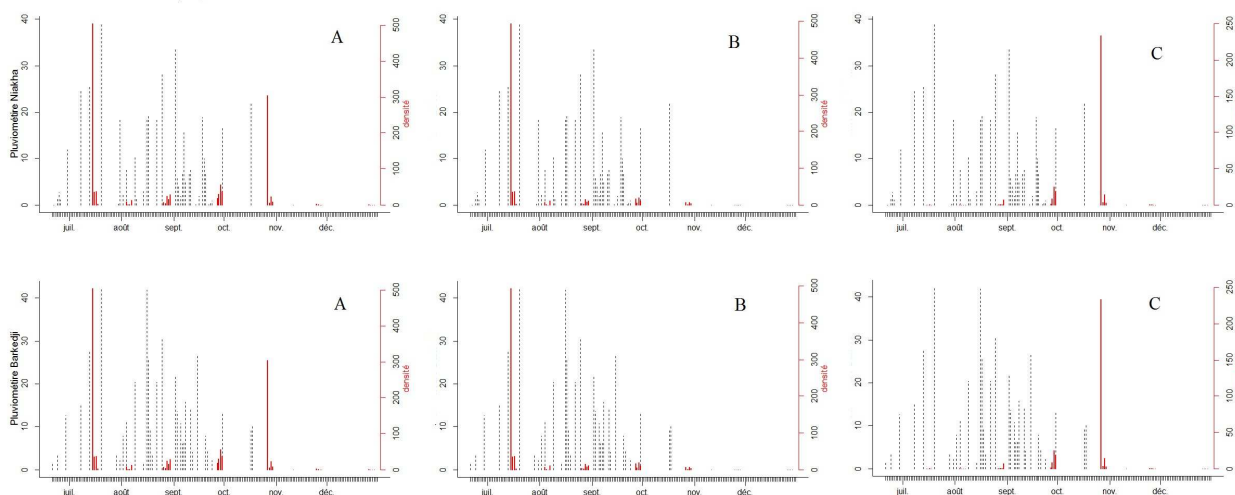


Figure 6: Impact de la pluviométrie sur la dynamique de (A) = ensemble des vecteurs, (B) = *Aedes vexans*, (C) = *Culex poicilipes*

- De la végétation et de la productivité des mares en *Culex poicilipes*

La mare de Kangaedji qui est assez bien couverte par la végétation a été la mare la plus productive en *Culex poicilipes* (451 individus). Elle est suivie de la mare de Ngao (306) qui est moins couverte que la mare de Fourdou (213). La mare de Niakha a été la moins productrice en *Culex poicilipes* (212).

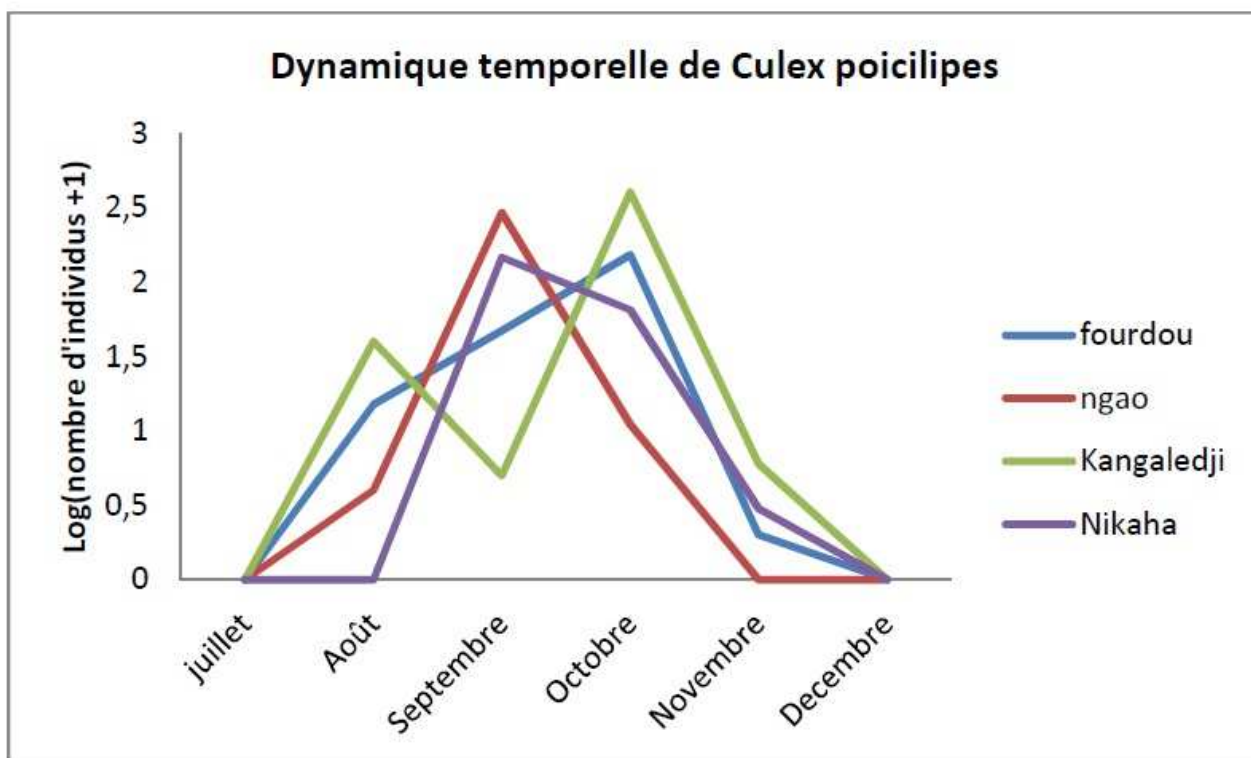


Figure 7: Dynamique temporelle de *Culex poicilipes* au niveau des mares

- Du niveau de risque mesuré

Les indices d'autocorrélation globale spatiale de Moran n'ont pas été significatifs mais les indices locaux de Getis ord (l'indice de Getis ord mesure l'autocorrélation spatiale locale) ont montré des zones de high spots significatifs au niveau des parcs situés près de la mare de Niakha en juillet et en septembre situés près des mares de Fourdou et Ngao en août, et près de la mare de Kangaedji en octobre.

- Des repas de sang de *Aedes vexans*

Un total de 618 *Aedes vexans* gorgés a été testé en ELISA. Les repas de *Aedes vexans* ont été pris principalement sur les bovins (170), les ovins (134) et les équins (116). Les canidae (7) et les oiseaux (1) ont été peu piqués par cette espèce. 140 repas n'ont réagi avec aucun des anticorps utilisés et 50 repas ont été des repas mixtes doubles ou triples. L'analyse des repas de sang montre une agressivité uniforme de *Aedes vexans* quelle que soit la distance.

1.5.2. VIROLOGIE

Le tableau 3 ci-après résumant les prélèvements effectués sur les troupeaux enquêtés.

Date de la campagne de mesures	Troupeaux de bovins		Troupeaux de petits ruminants (ovins et/ou caprins)	
	Nb troupeaux	Nb animaux	Nb troupeaux	Nb animaux
21-26 / 07 / 2010	5	71	11	329
26-31 / 08 /2010	2	25	12	344
28/12-02/01/2011	2	31	11	329
Total de sérums prélevés		127		1002

Tableau 3 : Prélèvements effectués sur les troupeaux enquêtés

La campagne 2010 a permis de collecter 1129 échantillons de sérum, dont 127 sérums de bovins et 1002 sérums de petits ruminants.

Certains marqueurs sanguins permettent d'avoir des informations concernant une circulation ancienne du virus, et la naïveté des troupeaux vis-à-vis de la maladie : les IgG.

D'autres marqueurs, les IgM, donnent des informations sur une contamination récente dans la saison.

L'IPD a recherché les IgM sur les 1129 sera. Les tests se sont révélés négatifs. Ces tests montrent l'absence d'une circulation récente, c'est-à-dire dans le mois avant le prélèvement, du virus de la FVR. Les tests IgG se sont révélés négatifs eux aussi, ce qui indique qu'il n'y a pas eu de circulation ancienne du virus de la FVR.

1.5.3. METEOROLOGIE

Synthèse du « profil » de l'année 2010

La saison des pluies 2010 à Barkédji est plutôt normale à légèrement excédentaire (+2,9 % au-dessus de la normale 1961-1990 ; Figure 8), avec un début assez tardif. En effet, les premières pluies sont tombées entre 21 et le 27 juin mais dans une proportion très faible (5,8 mm à Niakha et 5,3 mm à Barkédji). Les 29 et 30 juin, d'autres pluies vont tomber mais elles restent insignifiantes (12,7 mm à Barkédji et 11,9 mm à Niakha) pour les besoins d'une mise correcte en eau des mares, qui sont les gîtes larvaires des vecteurs de la FVR.

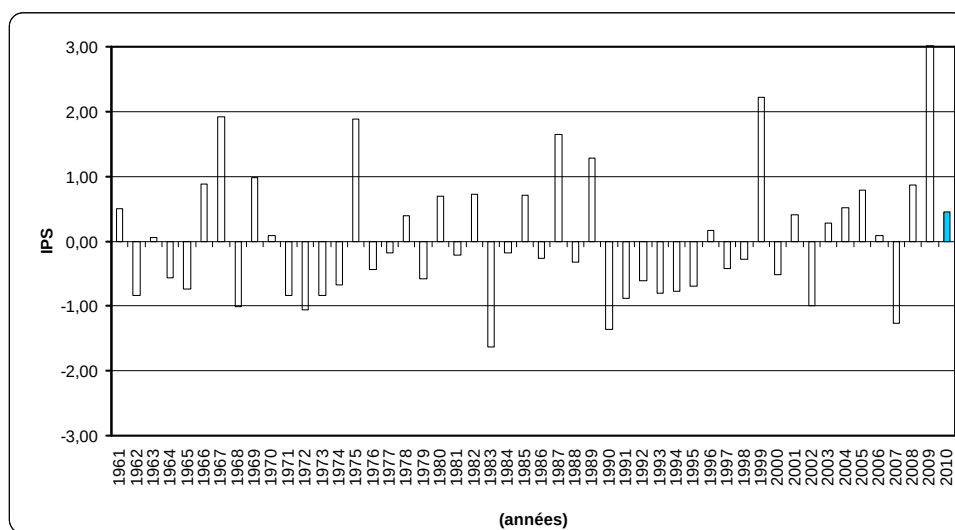


Figure 8 :Anomalies de précipitations à Barkédji de 1961 à 2010. *L'année 2010 est coloriée en bleu.*

Le cycle saisonnier (Figure 9) montre que le maximum de la saison des pluies est intervenu en août à Barkédji (173,5 mm) et en septembre à Niakha (146,0 mm). Le cumul pluviométrique enregistré au cours de la saison des 2010, s'élève à 450,0 mm à Barkédji alors qu'il est de 405,0 mm à Niakha.

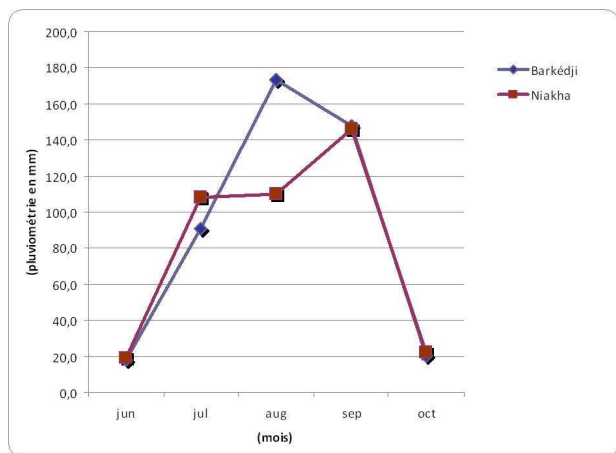


Figure 9 : Cycle saisonnier de la pluviométrie à Barkédji et à Niakha durant la saison des pluies 2010.

La répartition saisonnière du nombre de jours de pluies (NJP) montre que les mois d'août et de septembre enregistrent les plus valeurs les plus élevées (Figure 9) ; celles-ci représentent respectivement 71,8 % à Barkédji et 69,2% à Niakha du total saisonnier du nombre de jours de pluies. Les tableaux 3 et 4 illustrent la répartition du nombre de jours de pluies par classe de hauteurs de pluie à Barkédji et à Niakha durant la saison des pluies 2010.

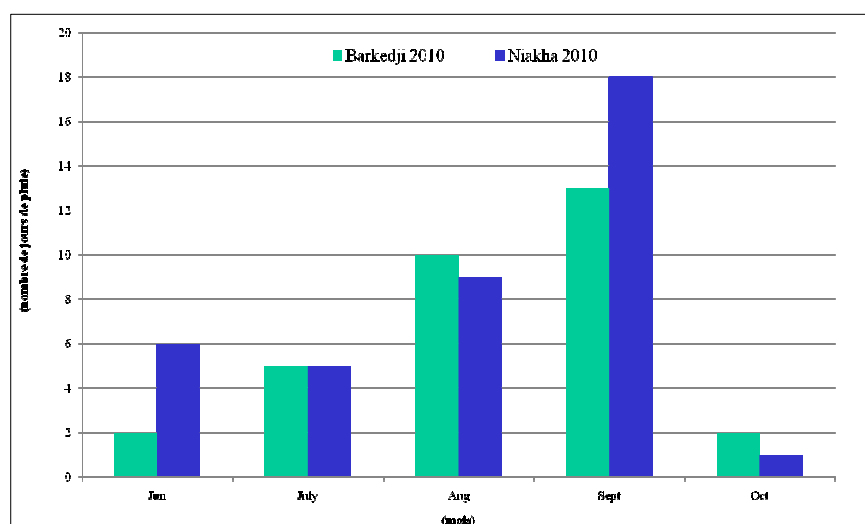


Figure 10 : Evolution du nombre de jours de pluie à Barkédji et à Niakha durant la saison des pluies 2010.

	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Total NJP	Total en mm	% par rapport au total
< 5mm	1	2	2	3	0	8	26,9	6,0
5-10mm	1	0	2	3	1	7	47,7	10,6
10-20mm	0	1	1	5	1	8	117,5	26,1
> 20mm	0	2	5	2	0	9	257,9	57,3
Total	2	5	10	13	2	32	450,0	100,0

Tableau 4 : Répartition du nombre de jours de pluies par classe de hauteurs de pluie à Barkédji durant la saison des pluies 2010

	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Total NJP	Total en mm	% par rapport au total
< 5mm	5	1	3	7	0	16	24,5	6,0
5-10mm	0	0	1	6	0	7	47,8	11,8
10-20mm	1	1	4	4	0	10	158,9	39,2
> 20mm	0	3	1	1	1	6	173,8	42,9
Total	6	5	9	18	1	39	405,0	100,0

Tableau 5 : Répartition du nombre de jours de pluies par classe de hauteurs de pluie à Niakha durant la saison des pluies 2010

La figure 11 illustre la distribution journalière des événements pluvieux avec un profil quasi identique au niveau des deux stations. D'ailleurs, l'étude de corrélation inter-station à l'échelle mensuelle à Barkédji et à Niakha, les mois de juillet et août, montrent les coefficients de corrélation les plus élevés (0.93 et 0.92). Ces deux mois enregistrent aussi les valeurs de variance commune les plus élevées (86.8 et 85.0). La hauteur pluviométrique maximale quotidienne enregistrée s'élève à 42.2 mm à Barkédji et 39.0 mm à Niakha ; elle est survenue le 22 juillet 2010.

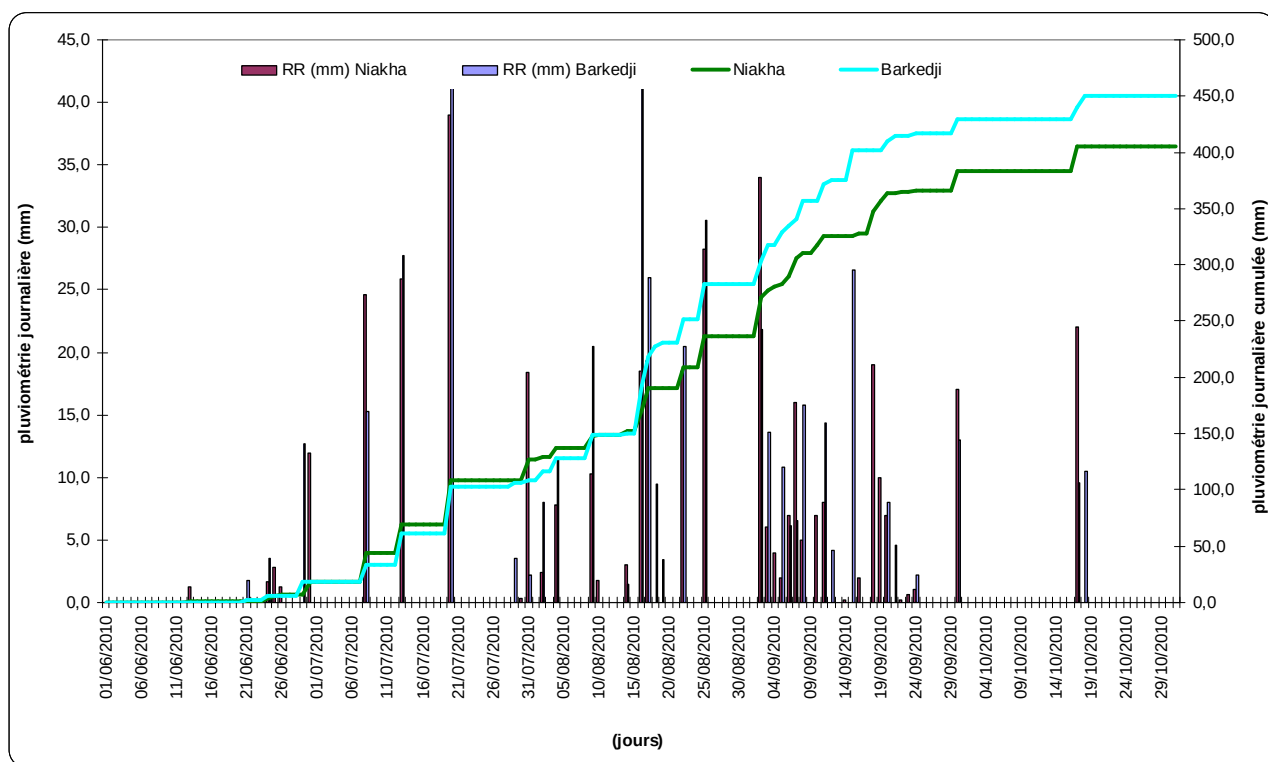


Figure 11 : Evolution journalière de la pluviométrie à Barkédji et à Niakha durant la saison des pluies 2010.

En conclusion, l'analyse de ces résultats montrent que cette année est une années normale du point de vue de la pluviométrie.

1.5.4. HYDROLOGIE

La mise en eau des mares a commencé timidement juste après les premières pluies (photo 12) mais force est de reconnaître que les premières données sont lacunaires (figure 13). En revanche à l'intérieur de la saison des pluies, toutes les échelles étaient submergées ; ainsi, leur lecture n'a pas été possible (lacunes des données à l'intérieur de la saison des pluies). La première mare à se vidanger reste celle Ngao ; Furdu, Niakha et Kangelédji sont restées en eau jusqu'en décembre. Ngao reste aussi un cas particulier : la mare s'est beaucoup ensablée au cours années passées et sa vidange est précoce par rapport aux mares ; en réalité il y a encore de l'eau dans la mares sous forme de flaque d'eau mais, pas là où les échelles sont.



Photos 12 : mise en eau de la mare de Niakha après la pluie de 24,6 mm (photo prise le 12/07/2010 à 17h45). La mise en eau est encore partielle en ce début de saison des pluies 2010 ; on peut voir que l'argile gonflante qui se trouve au fond de la mare est toujours craquelée, ce qui témoigne encore de l'insuffisance de l'humidité en début de saison des pluies.

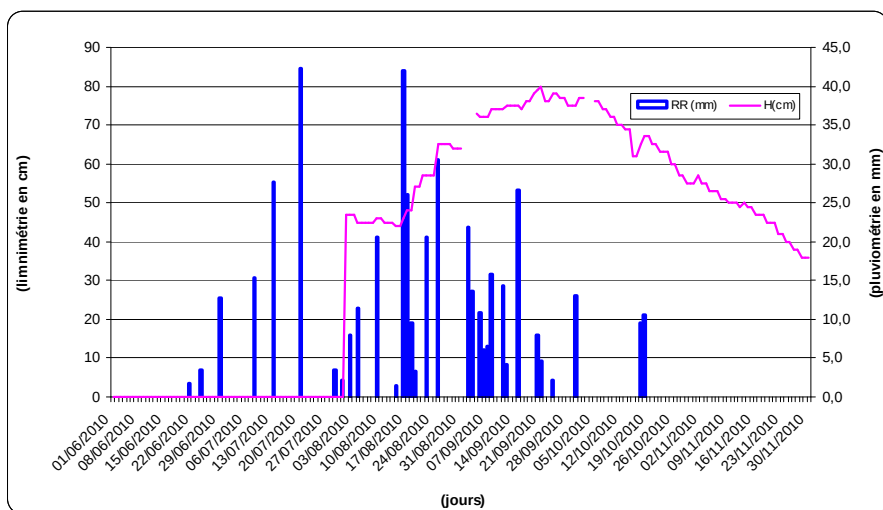


Figure 13 : Evolution de la limnimétrie et de la pluviométrie à la mare de Niakha

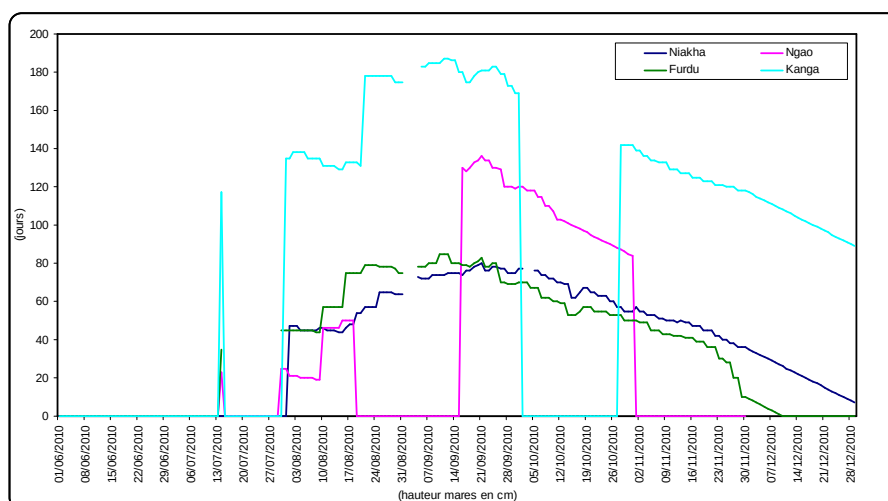


Figure 14 : Evolution de la limnimétrie au niveau des mares de Furdu, Kangalédji, Ngao et Niakha durant la saison des pluies 2010

1.5.5. MESURES PHYSICO-CHIMIQUES

A l'exception des matières en suspension (MES) qui sont dosées au laboratoire, tous les autres paramètres sont mesurés in situ par lecture directe. La température de l'eau descend exceptionnellement en dessous de 20°C avec une faible homogénéité spatiale. Le maximum est enregistré en octobre à Fourdou (35°C) et le minimum en novembre à Kangalédji (19.4°C). Le pH présente de très légères variations saisonnières. Les eaux les plus acides sont enregistrées en octobre à Niakha et à Ngao, coïncidant ainsi à la contraction des eaux et au pourrissement de la végétation aquatique. Le maximum de conductivité électrique est enregistré à la fin de l'hivernage avec 240 ($\mu\text{S}/\text{mS}$) à Niakha et 193 ($\mu\text{S}/\text{mS}$) à Kangalédji en novembre ; tandis que la plus faible valeur (10.8 $\mu\text{S}/\text{mS}$) a été enregistrée à Niakha, en octobre, correspondant au maximum d'effet de peigne de la végétation aquatique. A cette date, les profils de salinité des mares sont nettement plus contrastés. Par ailleurs, la turbidité est fortement influencée par la survenue d'un événement pluvieux, la présence de la végétation aquatique et les activités anthropiques. Globalement, la qualité de l'eau varie fortement dans le temps et dans l'espace.

1.5.6. VEGETATION ET PASTORALISME

- Végétation :

Un suivi agrostologique de la zone d'étude de l'Unité Pastorale (UP) de Barkédji a été réalisé au niveau des SCS (sites de contrôle au sol) et le tableau ci-dessous donne une synthèse des résultats qui renseignent sur les quantités de biomasse (herbacée et ligneuse) des sites de contrôle au sol.

Unités Pastorales	Sites	Biomasse Herbacée (kg ms/ha)	Biomasse Ligneuse (kg ms/ha)
Barkédji	Bark1	535	586
Barkédji	Bark2	441	409
Barkédji	Bark3	718	1037

Tableau 6: Production végétale des sites de contrôle au sol

La formation végétale dominante est la savane mais une forte percée de steppe (arborescente, arbustive à arborée) est signalée (Ba, 2011). Elle est arbustive dans la zone de terroir et arborée mais dégradée au niveau des aires protégées. La sécheresse et les actions anthropiques ont entraîné la disparition de certaines espèces et la contraction des ligneux au niveau des bas fonds. Les essences ligneuses les mieux conservées sont : *Balanites aegyptiaca*, *Pterocarpus lucens* et *Guiera senegalensis*. Tandis que celles qui ont disparu ou qui sont particulièrement menacées pour leur survie sont : *Mitragina inermis*, *Grevia bicolor*, *Combretum glutinosum* et *Tamarindus indica*.

En ce qui concerne la strate herbacée, nous avons surtout trois principales essences : *Limeum pterocarpum*, *Zornia glochidiata* et *Eragrostis tremula*.

Le couvert végétal est fragilisé essentiellement ici par la sécheresse et le surpâturage. C'est d'ailleurs le surpâturage qui pourrait être le principalement responsable de la disparition de certaines herbacées ; à cet effet, *Eragrostis pilosa* et *Crotalia sp.* est cité en exemple.

La composition floristique de la strate herbacée permet de distinguer *Eragrostis tremula*, *Schoenfeldia gracilis*, *Bracharia Sp* (Barkédji 1) et *Eragrostis tremula*, *Zornia glachidiata*, *Chloris pulosa* (Barkédji 2).

En conclusion, sur le plan pastoral, la baisse des précipitations influe négativement sur le disponible fourrager en saison sèche. Cette situation entraîne le départ précoce des troupeaux en transhumance à la recherche de pâturages. Le tableau : capacité de charge et possibilité d'accueil des up montre les unités pastorales déficitaires ayant pour conséquence départ en transhumance avec comme zone de transit l'unité pastorale de Barkédji présentant des possibilités d'accueil de 20.330 UBT pour une charge réelle (troupeaux résidents) de 15.225 UBT (PAPEL/CSE, 2005). Les rares pâturages des saisons des pluies ne sont pas exploitées par suite tarissement précoce des mares.

- **Pastoralisme (santé animale):**

Dans la Communauté Rurale de Barkédji, les activités économiques sont dominées par l'élevage, qui est l'activité de prédilection de l'ethnie majoritaire constituée par les Peuls. Le tableau ci-dessous donne les effectifs du cheptel. S'y ajoute le fait qu'au Ferlo, il existe une importante mobilité pastorale nationale et même transfrontalière (Sy, 2010).

Espèces	Nombre de têtes
Bovins	17 000
Ovins	40 000
Caprins	30 000
Equins	2 000
Asins	4 000

Tableau 7 : Effectifs du cheptel à Barkédji

Le système d'élevage est de type extensif et transhumant. Généralement, il y a un mélange d'espèces au sein des concessions (*gallé*). Cela permet d'anticiper sur les risques de mortalités consécutives à une épizootie ou à une sécheresse, et de valoriser au mieux les différences de cycle de production des espèces. L'importance de l'élevage ovin dans cette partie du Ferlo serait liée aux conditions favorables aux petits ruminants (abondante couverture ligneuse et des prix intéressants qu'on peut tirer des moutons lors de la tabaski). Les caprins sont beaucoup plus régulièrement commercialisés durant toute l'année.

L'exploitation des parcours naturels est organisée autour des points d'eau : mares temporaires en hivernage et forages ou puits en saison sèche. La recherche d'eau et de pâturages entraîne le déplacement fréquent des troupeaux autour des points d'eau de saison sèche (forage). Ces déplacements conditionnent le type d'habitat des pasteurs. En saison des pluies la famille et le bétail séjournent au niveau du campement permanent ou *roumano* et en saison sèche, du fait que le bétail est plus mobile pour la recherche de pâturages, l'habitat ou le *ceddano* est plus sommaire puisque devant être déplacé plus souvent.

Les bovins et les petits ruminants sont généralement conduits séparément. Les jeunes animaux sous la mamelle, tout comme pour les animaux malades ou affaiblis, sont gardés au niveau du campement ou pâturent dans le voisinage immédiat. En saison des pluies, du fait de la transhumance le nombre de bovins, ovins et caprins peut facilement être multipliés trois voire quatre... D'ailleurs à propos de la transhumance, elle se faisait par des déplacements vers le *Walo* (Fleuve Sénégal) et aujourd'hui, elle se traduit par des mouvements vers le Saloum, le Sénégal oriental voire au-delà.

Les résultats enregistrés dans le cadre du AdaptFVR confirment les observations faites les projets ACI-Ecologie quantitative et AMMA avec une légère variation par endroits généralement fonction de la

précocité ou non de la saison des pluies. La saison des pluies 2010, Thomas Manga (Chef de Service vétérinaire de Barkédji) pense que la transhumance peut être considérée comme précoce par rapport aux années précédentes ; il note une aussi une légère augmentation des flux (petits ruminants et bovins) ; figure BB. En revanche, celui des dromadaires est nette augmentation depuis plusieurs années et cette transhumance s'amplifie par ailleurs. Par endroits, il note une relative réduction (pas de disparition pour le moment, mais ce n'est à exclure dans le futur) du *Zornia glochidiata*, une espèce très appréciée par le bétail. A l'opposé, une autre herbacée a fait son apparition ; les populations l'appellent « *Niakhou Saloum* » ; elle n'est pas appréciée en saison des pluies mais elle l'est en saison sèche.

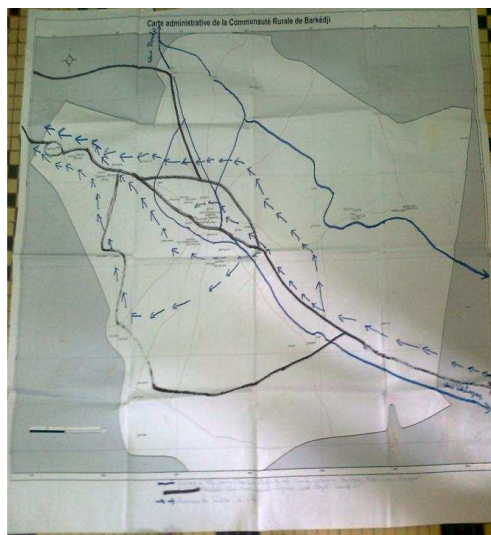


Figure 15 : Itinéraires de la transhumance au niveau de la CR de Barkédji découlant d'une cartographie participative avec les pasteurs durant les enquêtes sur le pastoralisme au cœur de la saison des pluies 2010. Les flèches en bleu montrent les itinéraires des pasteurs transhumants sédentaires. Les traits pleins bleus et noirs indiquent d'autres itinéraires généralement employés par les pasteurs peulh (Tatki - Ganina - Tessékéré - Dojdi - Barkédji - Samaly - Velingara - Bourlongne - Ribo - Lour - Koungueul ; Niassanté - Widou - Amaly - Loumby - Linguère - Gassel - Maugré - Ribo - Lour - Koungueu

En conclusion, on retrouve les mécanismes mis en évidence lors des campagnes précédentes (pluviométrie, hydrologie, entomologie).

En 2010, la pluviométrie a été normale avec un maximum en août-septembre et une inversion en milieu de saison.

On retrouve donc une production d'*Aedes vexans* en début de saison, puis de *Culex poicilipes* de septembre à décembre.

Le virus n'a pas circulé pendant la saison des pluies 2010.

La transhumance a été comparable à celle des années précédentes, avec un départ précoce des bovins et des ovins, ainsi qu'une augmentation du nombre de dromadaires.

2. VALIDATION DU MODELE

2.1. DESCRIPTION DU MODELE

L'approche conceptuelle de télé-épidémiologie du Cnes (CNES, 2008 ; Tourre et al. 2009 ; Vignolles, 2010) appliquée à la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) dans la région du Ferlo au Sénégal au cours de la saison 2003 a permis de produire des cartes dynamiques de risque d'exposition du bétail aux vecteurs de la FVR en associant comme facteurs déclenchant les événements pluvieux, la densité des vecteurs (*Aedes vexans* et *Culex poicilipes*) et la présence des hôtes que représentent le bétail (Tourre et al, 2009, Vignolles et al, 2009).

Une carte de risque est en fait le résultat du croisement entre la carte d'aléas (densité de moustiques) et la carte de vulnérabilité (carte des campements et parcs à bestiaux).

La carte d'aléas est calculée en tenant compte

- (i) de la distribution des évènements de pluie (fréquence et intensité) qui conditionnent la mise en eau et la dynamique des mares (gîtes larvaires) ainsi que l'éclosion des œufs des moustiques
- (ii) de la distance de vol des moustiques
- (iii) de leur agressivité (nombre de moustiques qui piquent) (Lacaux et al 2007 ; Tourre et al. 2008 ; Ndione et al 2009a et b).

Cette carte est aussi appelée carte des Zones Potentiellement Occupées par les Moustiques (ZPOM).

Cette méthodologie appliquée a posteriori en 2003, et qui intègre des données d'observation satellites pour mesurer les paramètres environnementaux et climatiques favorables à la production des moustiques vecteurs de la FVR, a été utilisée cette fois dans le but de produire ces cartes ZPOM d'aléas en temps quasi-réel pendant toute la saison des pluies 2010 dans la région de Barkédji au Sénégal (Vignolles et al. 2010, Tourre et al, 2010). Cet objectif a été atteint par l'automatisation d'une chaîne de processus codée en IDL.

Il est à noter que le système a été amélioré sur plusieurs points par rapport à la méthodologie utilisée en 2003 :

- création d'une base de données pluviométrique et des traitements statistiques associés ;
- modélisation du deuxième vecteur responsable de la FVR : *Culex poicilipes* ;
- intégration des nouvelles hypothèses dans le modèle ;
- implémentation d'un système de production automatique des cartes d'aléa ;
- rédaction de bulletins d'information tout au long de la campagne de 2010.

Ce premier niveau d'améliorations est présenté et détaillé dans l'annexe 6 (rapport de Laurent IMANACHE).

L'application développée avec le langage IDL (ITTVIS software) fonctionne sous Windows XP et Windows 7 à condition de disposer de quelques outils de bases qui sont :

- le logiciel ENVI 4.7 ainsi que d'IDL 7.1 (<http://www.itvis.com/>);
- une mémoire vive supérieure ou égale à 1 GO ;
- d'avoir une configuration graphique d'au moins 800x600 pixels.

L'application se présente sous forme de menus pour l'utilisateur (voir Figure 16) et fonctionne en mode « ligne de commande ». L'utilisateur peut ainsi au choix exécuter une des quatre fonctions de l'application après avoir réglé les paramètres d'entrée des différents modèles intégrés au système.

```

*****
*                                     Menu                                     *
*                                     ****                                     *
*  1| Réglages paramètres                                                    *
*  2| Analyse de la distribution des pluies                                    *
*  3| Analyse de la dynamique des surfaces                                    *
*  4| Analyse des densités de moustiques                                     *
*  5| Génération des cartes d'aléa                                           *
*  6| Retour                                                                  *
*
*  Votre choix svp !                                                         *
*****

```

Figure 16: Menu utilisateur

Les différentes opérations nécessaires pour aboutir à l'élaboration automatique des cartes dynamiques de ZPOM (voir Figure XX) sont en effet regroupées autour de quatre fonctions principales :

- **une fonction d'analyse des données pluviométriques** : cette fonction permet de détecter la mise en eau des mares mais aussi de suivre temporellement les précipitations. Elle permet notamment l'accès à des statistiques sur la distribution des pluies durant une saison. Cette fonction prend en entrée les données pluviométriques provenant soit de stations météorologiques soit de données satellitaires issues de la mission TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) ;
- **une fonction d'analyse de la dynamique des mares** : elle permet de suivre la dynamique des mares (vidange et remplissage). Elle fournit aussi des statistiques sur le nombre de mares restant au cours de la saison ainsi que leurs surfaces etc. Les données en entrée de la fonction sont la carte de la détection des surfaces maximales par télédétection et les événements pluviométriques (sortie de la fonction précédente). La localisation et la détection des surfaces maximales des mares reposent le calcul d'un indice appelé NDPI (*Normalized Difference Pond Index* ; Lacaux et al., 2007 ; Tourre et al., 2008 ; Vignolles et al., 2009 ; Ndione et al, 2009)) ;
- **une fonction d'analyse de la densité des moustiques** : elle permet d'analyser l'interaction des pluies efficaces ou de la couverture en végétation sur la production de moustiques pour chaque mare en fonction de l'espèce considérée. Elle fournit aussi des statistiques de base comme la densité maximale (nombre de moustiques par pixel) ou encore le nombre de mares productives en *Culex*, etc. Cette fonction dépend directement de la fonction précédente car elle prend en entrée la surface de chaque mare sur la zone ;
- **une fonction de production des cartes des zones potentiellement occupées par les moustiques (ZPOM)** : elle permet la sélection d'un genre de moustiques puis la production et la visualisation des cartes de ZPOM. En effet les mécanismes régissant la production des moustiques diffère selon que l'on est en présence d'*Aedes vexans* ou de *Culex poicilicipes*. Ces différences ont été intégrées de telle sorte qu'il est possible de produire des cartes de ZPOM spécifiques *Aedes* ou *Culex*. Elle prend en entrée la densité de moustiques de chaque mare.

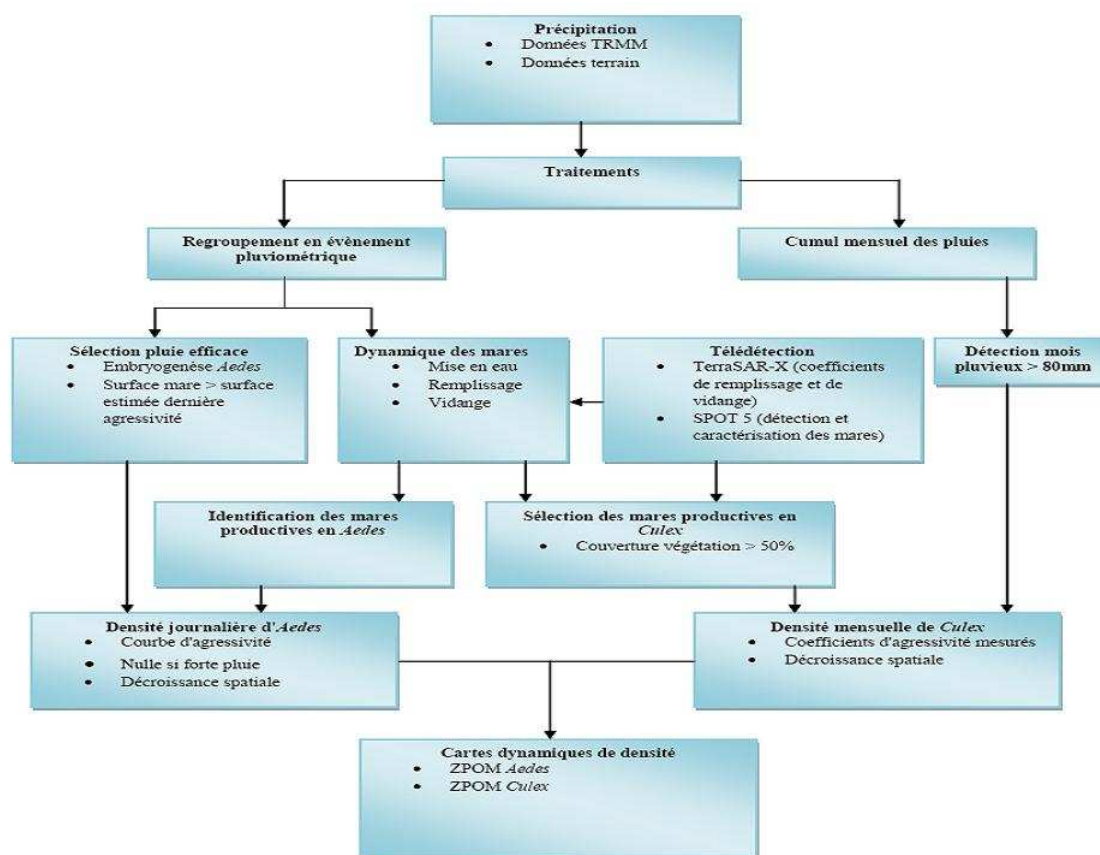


Figure 17 : Organigramme du système de production des cartes dynamiques de ZPOM

Ainsi il est possible de produire des cartes dynamiques de ZPOM de façon opérationnelle tout au long de la saison des pluies à partir des données pluviométriques. Afin de montrer ce que pourrait être le service opérationnel rendu, une production des cartes de ZPOM a été réalisée tout au long de la saison 2010 à partir des données pluviométriques acquises en quasi temps réel par la mission TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Ces cartes ont ensuite été distribuées sous forme de bulletins d'informations aux différents partenaires du projet (voir annexe 6, Rapport de Laurent IMANACHE).

Une deuxième étape d'amélioration du système a été opérée au travers de la calibration des paramètres du modèle permettant l'estimation des surfaces des mares en s'appuyant sur la série d'images satellite acquises pendant la saison 2010. Les images satellite HR ont été analysées pour détecter les mares et en mesurer leur superficie au cours de la saison des pluies. Rappelons que l'abondance des moustiques, vecteurs potentiel de la FVR dépend directement de la présence et de la dynamique des mares (gîtes larvaires), elles-mêmes liées à la variabilité spatio-temporelle des événements de pluies. Ainsi, le calcul de la dynamique des surfaces des mares est la première étape de la modélisation mise au point permettant l'élaboration des cartes des zones potentiellement occupées par les moustiques (ZPOM). Les images HR participent ainsi au même titre que la campagne de terrain à valider les cartes d'aléas produites en 2010 résultant du couplage de mesures in situ, de produits spatiaux adaptés et de modèles biomathématiques. Elles ont ainsi permis de recalibrer les paramètres du modèle afin d'améliorer l'estimation des surfaces des mares. Cette étude a mis en évidence l'importance de la prise en compte de l'hétérogénéité spatiale des pluies dans l'estimation des surfaces des mares. En effet, il a été montré que la surestimation des surfaces des mares est considérablement atténuée si on n'affecte pas la même hauteur de pluie (donnée par la station ou TRMM) à toutes mares de notre zone d'étude de 15 x 15 km. Afin de tenir compte de cette variabilité spatiale, pour chaque jour pluvieux, une hauteur de pluie différente est attribuée à chaque mare de façon aléatoire selon une loi de distribution exponentielle. En revanche, le tirage aléatoire rend impossible la représentation spatiale du risque final. Cette étape est détaillée dans l'annexe 5 (rapport de Matias ALCOPA). Cette étude a permis de considérer de l'hétérogénéité spatiale des pluies mais n'a pas pu être prise en compte dans la production des cartes 2010.

L'analyse des données entomologiques recueillies sur le terrain ainsi que les retours des acteurs locaux (IPD, CSE et DSV) nous ont amené à apporter de nouvelles modifications du système. Une troisième étape d'amélioration du système a donc démarré pour aboutir à une nouvelle production de cartes de ZPOM pour la saison 2010. Ce sont ces cartes qui ont ensuite été comparées aux données entomologiques (nombre de moustiques capturés dans les pièges) afin de valider le modèle ZPOM (voir §2.3 validation du modèle). Les principales modifications qui ont été apportées sont les suivantes (annexe 4, rapport de Clément Guilloteau, 2012) :

- la mare est une dépression de forme gaussienne à symétrie cylindrique ;
- un apport de volume d'eau à la mare entraîne un accroissement surfacique (modèle hydrologique basé sur un calcul différentiel) ;
- le coefficient d'extinction de la mare a été modifié : une mare disparaît quand sa surface est inférieure à 60m^2 ;
- du point de vue entomologique, une condition supplémentaire a été ajoutée : si la mare s'assèche dans les 4 jours qui suivent une pluie productive, l'agressivité *Aedes* est nulle (interruption du cycle aquatique).

Un retour d'expérience a aussi été mené à la fin de la campagne de terrain afin d'analyser le moyen de diffusion de l'information sous forme de bulletins d'information (pertinence du contenu, clarté, rythme de diffusion (voir §4- Adaptation).

2.2. ANALYSE DE SORTIE DU MODELE ZPOM SUR TOUTE LA SAISON DES PLUIES 2010

La saison des pluies 2010 présente une organisation assez particulière. Avec un début très tardif, l'essentiel des chutes de pluies ont eu lieu entre les mois d'août et de septembre. Le remplissage des mares temporaires s'est fait correctement dans l'ensemble ; elles ont atteint leur surface maximale entre le 8 août et le 27 septembre 2010 (figures 18-x). 240 mares ont été à l'origine de trois à quatre grandes vagues d'émergence d'*Aedes* selon la pluviométrie enregistrée à Niakha ou à Barkédji (figures 18-a et

18-b). En moyenne 150 mares ont été productives en *Culex*, et leurs superficies totales 6000 et 10000 ha, selon la pluviométrie enregistrée à Niakha et à Barkédji (figures 18-c et 18-d). La densité maximale de *Culex* survient en septembre 2010. Par rapport à la situation moyenne, ce pic de *Culex* du septembre est précoce à Niakha alors qu'à Barkédji, il survient vers mi-septembre.

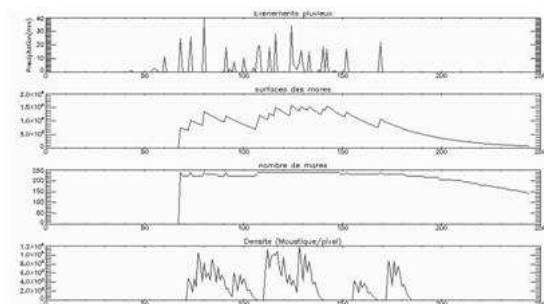


Figure 18-a : Sorties du modèle ZPOM sur l'évolution globale de la saison des pluies à Niakha (pluviométrie, surface des mares et dynamique vectorielle *Aedes*)

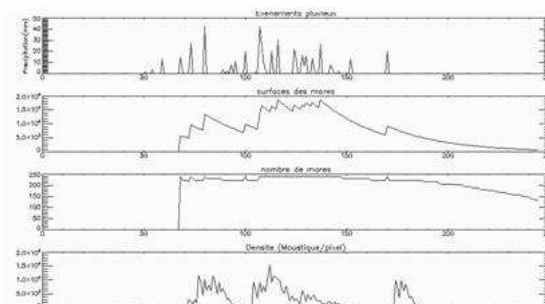
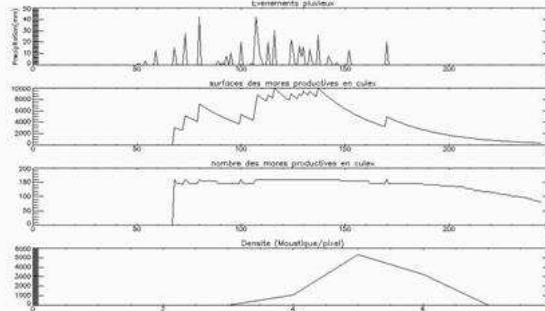
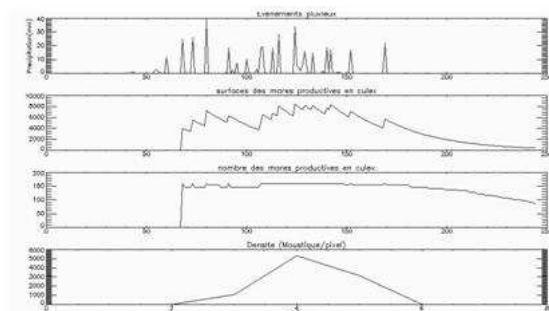


Figure 18-b : Sorties du modèle ZPOM sur l'évolution globale de la saison des pluies à Barkédji (pluviométrie, surface des mares et dynamique vectorielle *Aedes*)

Figure 18-c : Sorties du modèle ZPOM sur l'évolution globale de la saison des pluies à Niakha (pluviométrie, surface des mares et dynamique vectorielle *Culex*)

Figure 18-d : Sorties du modèle ZPOM sur l'évolution globale de la saison des pluies à Barkédji (pluviométrie, surface des mares et dynamique vectorielle *Culex*)



Figures 18-x : Sorties du modèle ZPOM sur l'évolution globale de la saison des pluies 2010 à Niakha et à Barkédji (pluviométrie, surface des mares et dynamique d'agressivité vectorielle)

3. VALIDATION DU MODELE

L'hétérogénéité des pluies reste une réalité tangible et selon que l'on se trouve à Barkédji ou à Niakha. En effet, la production de vecteurs, la courbe d'agressivité qui en découle ainsi que l'appréciation du risque environnemental en fonction de la pluviométrie de l'une ou l'autre des deux stations, varient considérablement.

A propos du risque *Aedes* (Figures 19-x), les premières émergences surviennent entre le 70^{ème} et le 107^{ème} jour à Niakha (12 juillet au 15 août 2010) et entre le 70^{ème} et le 96^{ème} jour à Barkédji (12 juillet au 4 août 2010). En début de saison des pluies, le risque est plus élevé à Niakha compte tenu de la mise en eau des mares fait suite à une pluie efficace de 24,6 mm, enregistrée le 8 juillet (photos 13 et 14) ; le même jour, Barkédji n'a enregistré que 15,3 mm, pluie efficace certes mais tout même faible (figure 19-a ; on peut nettement voir que la densité vectorielle est plus importante à Niakha qu'à Barkédji en ce début de saison des pluies).



Photos 13 et 14 : à gauche, mise en eau de la mare de Niakha après la pluie de 24,6 mm (photo prise le 12/07/2010 à 17h45). La mise en eau est encore partielle en ce début de saison des pluies 2010 ; on peut voir que l'argile gonflante qui se trouve au fond de la mare est toujours craquelée, ce qui témoigne encore de l'insuffisance de l'humidité en début de saison des pluies. A droite, une vue de la grande mare à l'entrée du village de Barkédji, après la pluie de 15,3 mm ; une petite retenue d'eau est disponible au niveau du bosquet à gauche de la photo.

Après les premières émergences d'*Aedes*, le risque va augmenter compte tenu des précipitations enregistrées le 13 juillet 2010, avec respectivement 25,9 mm (Niakha) et 27,7 mm (Barkédji), toutefois, il sera plus élevé à Barkédji que sur le reste de la zone. Cela peut se comprendre dans la mesure où par rapport aux précipitations antérieures qui ont permis la mise en eau des mares, lorsque Niakha va enregistrer de nouveau 25,9 mm (+1,3 mm par rapport à la pluie du 8 juillet), Barkédji enregistre dans le même temps augmentation de 12,4 mm avec la pluie survenue le 13 juillet 2010 (27,7 mm contre 15,3 mm le 8 juillet). Le risque sur Niakha ne va s'amplifier que de très peu alors qu'à Barkédji, il va réellement augmenter (tableau 8) : la moyenne de la densité vectorielle est passée de 2248,6 pour atteindre 6525,4 ; elle a presque triplé, atteignant ainsi son paroxysme le 17 juillet à Barkédji avec un risque fort autour des mares de Niakha et de Barkédji. D'ailleurs, sur la figure 2.2a du 17 juillet au 3 août 2010, les émergences relevées à Barkédji sont plus importantes avec une moyenne de 6525,4 contre 5342,9 à Niakha. A partir du 04 août 2010, seule Niakha va enregistrer des densités vectorielles d'*Aedes* (figure 19-a) compte tenu de la pluviométrie conséquente relevée quelques jours auparavant (18,4 mm le 31 juillet 2010).

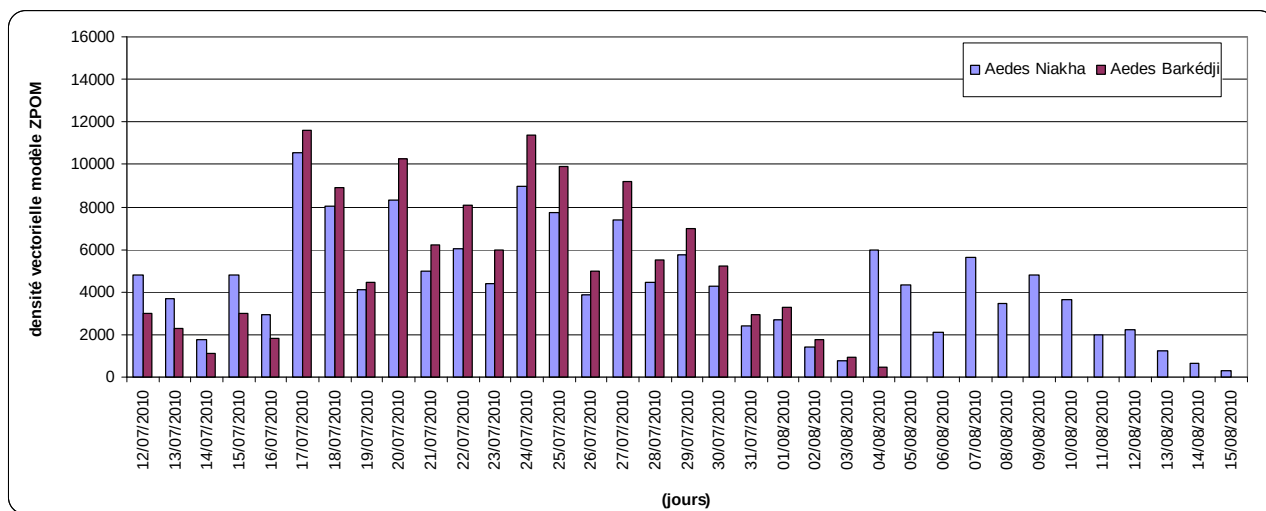


Figure 19-a : Densité vectorielle d'*Aedes* (moustiques/pixel) sur la période du 12 juillet au 15 août 2010 à Niakha et à Barkédji.

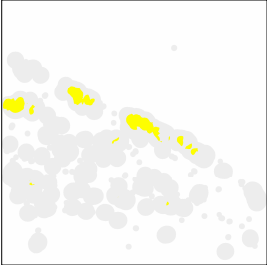
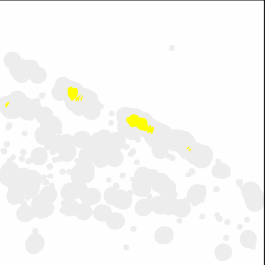
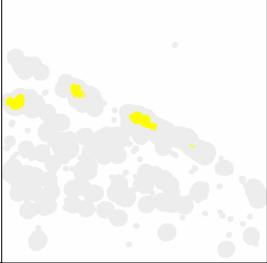
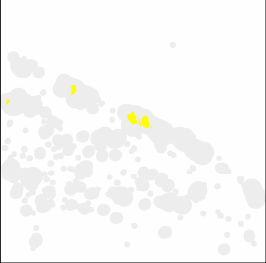
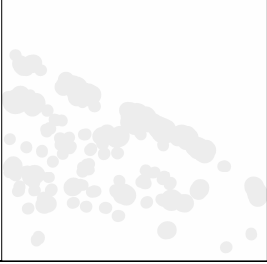
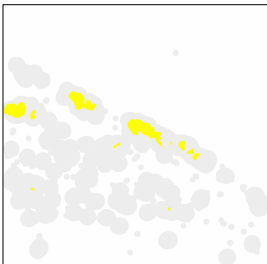
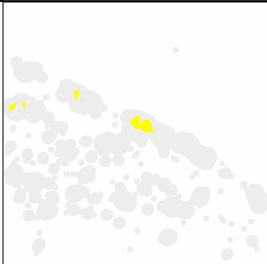
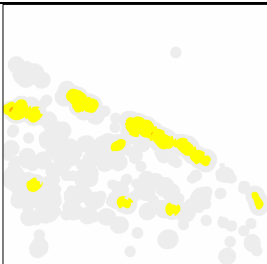
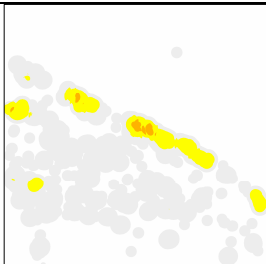
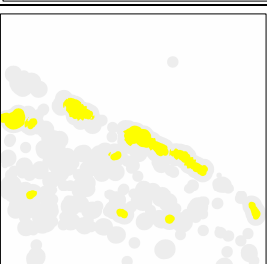
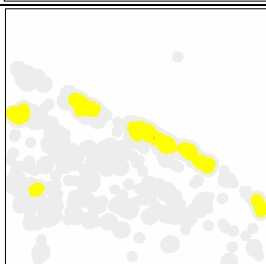
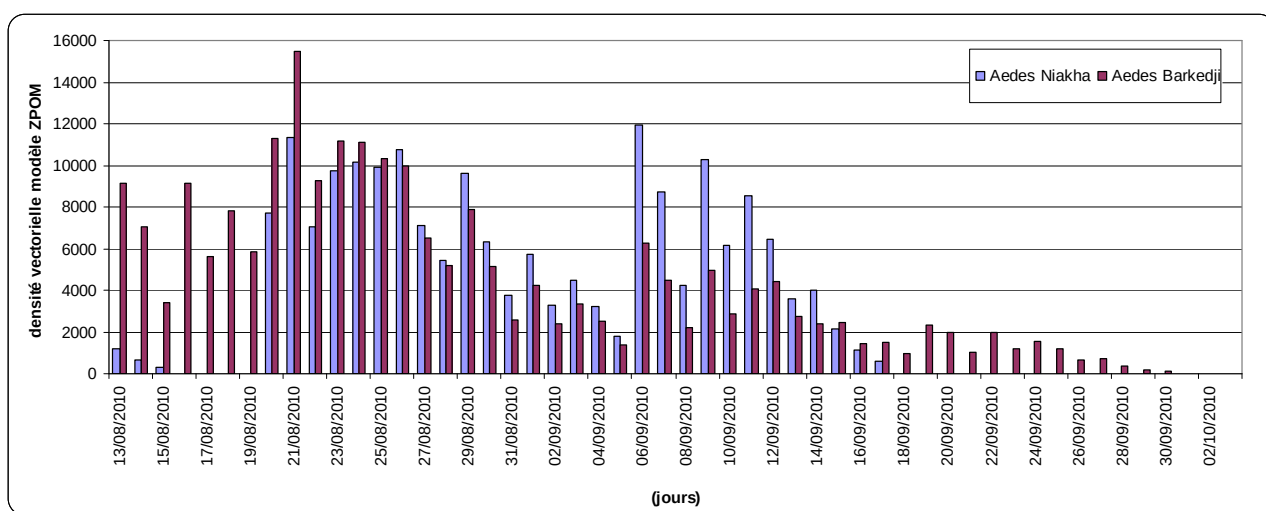
Jours	Pluviométrie Niakha			Pluviométrie Barkédji		
12-07-2010						
13-07-2010						
14-07-2010						
15-07-2010						
16-07-2010						
17-07-2010						
18-07-2010						

Tableau 8 : Répartition spatio-temporelle de journalière de la ZPOM *Aedes* du 12 au 18 juillet 2010.

Sur la figure 19-b, un regain de densité vectorielle est relevé à Niakha à partir de 20 août 2010 à cause de la pluviométrie enregistrée les 16 et 17 août 2010, avec respectivement 18,5 et 19,3 mm ; dans le même temps, Barkédji a recueilli 42,0 et 26 mm. Il convient juste d'ajouter qu'entre le 13 et le 19 août 2010, la densité notée à Barkédji est à mettre à l'actif des 20,5 mm du 9 août. Ainsi, cette brève période de risque *Aedes* sera renforcée à partir du 20 août. Cette tendance va se maintenir jusqu'au 17 septembre aussi bien sur Niakha que sur Barkédji, mais elle va se maintenir dans des proportions beaucoup plus faibles jusqu'en fin septembre en ne se limitant essentiellement que sur Barkédji (figure 19-b).

Figure 19-b : Densité vectorielle d'*Aedes* (moustiques/pixel) sur la période du 13 août au 2 octobre 2010 à Niakha et à Barkédji.

En octobre la situation du risque *Aedes* est très particulière. En effet, les sorties du modèle ZPOM qui utilisent l'entrée à la pluviométrie quelle que soit la station Niakha et/ou Barkédji montrent une densité vectorielle d'*Aedes* très tardive par rapport à cette période de l'année. Mais, il n'en demeure pas moins que cette situation est très bien connue dans les travaux scientifiques relatifs à l'émergence de la FVR aux Sénégal. Les pluies efficaces responsables de cette émergence sont survenues respectivement le 30 septembre (17,0 mm) et le 17 octobre (22,0 mm) à Niakha alors que Barkédji n'a enregistré qu'un cumul de 20,1 mm en deux jours (17 et 18 octobre). La densité moyenne d'*Aedes* par pixel est comprise entre 2310,3 (4 au 15 octobre 2010) et 4688,9 (21 octobre au 11 novembre 2010) selon la pluviométrie enregistrée à Niakha. En revanche, cette moyenne est plus élevée (5261,5) si l'on ne prend en compte que la pluviométrie de Barkédji. Toutefois, les jours les plus à risque concernant la période du 27 au 31 octobre 2010 (tableau 2.2) et ce risque était plus élevé à Barkédji les 27 et 28 octobre où il a même atteint le niveau FORT à TRES FORT (500 à plus de 1000 moustiques/pixel) par endroits (dans les secteurs de la mare Niakha ainsi qu'autour du village du même nom et à la grande mare de Barkédji). En réglé générale, on distingue : i) une zone nord où à l'exception des environs de la mare de Yaralopé, rien n'est propice au développement

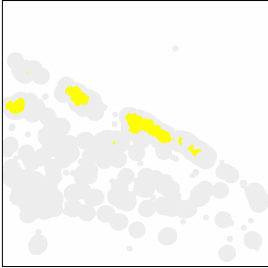
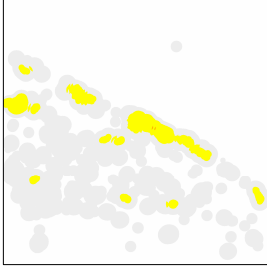
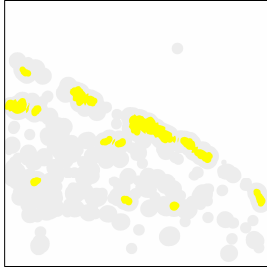
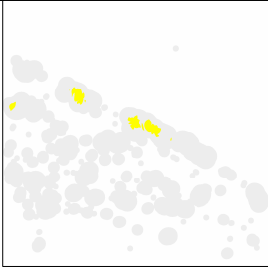
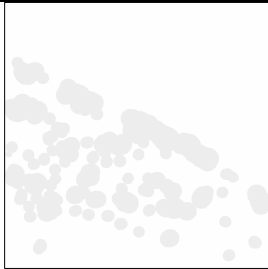
Jours	Pluviométrie Niakha	Pluviométrie Barkédji
27-10-2010		
28-10-2010		
29-10-2010		
30-10-2010		

Tableau 9 : Répartition spatio-temporelle de journalière de la ZPOM *Aedes* du 27 au 30 octobre 2010.

A propos du risque *Culex*, avec la pluviométrie enregistrée à Niakha, il est plus précoce qu'à Barkédji. En effet, il existe un décalage d'un mois entre les deux stations. En effet, dès le mois d'août ce risque est signalé (tableau 10). En revanche, le risque *Culex* permet d'identifier cinq régions dans la zone d'étude quelle que soit le mois : la première concerne Niakha ; la seconde, le complexe des mares de Barkédji, Loumbol Kadji et Kangalédji ; la troisième est centrée autour de la mare de Béli Boda (extrême sud-est), la quatrième autour de la mare de Ngao et enfin, la cinquième intéresse l'extrême sud-ouest de la zone d'étude, à savoir les villages de Loumby Dode et Ngassam Barkédji). La partie nord de la zone d'étude n'est pas propice au développement des *Culex*.

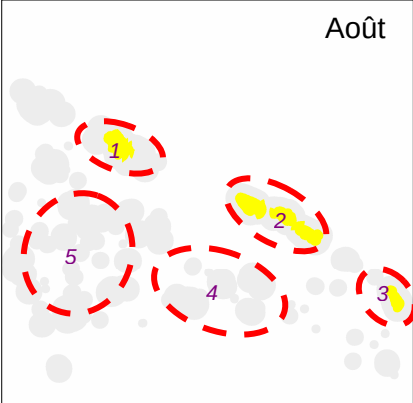
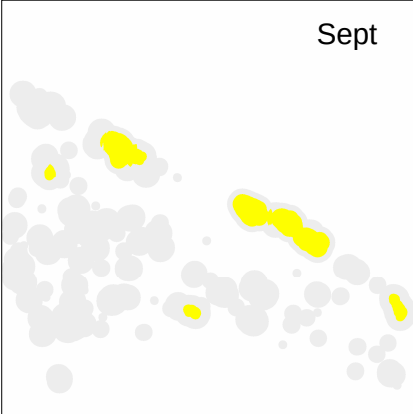
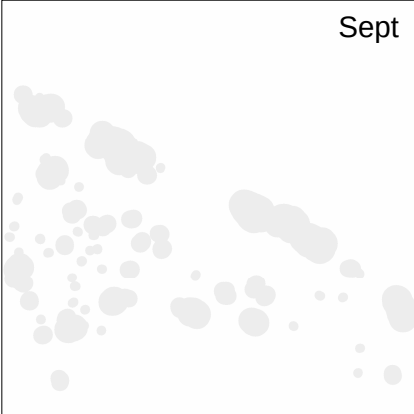
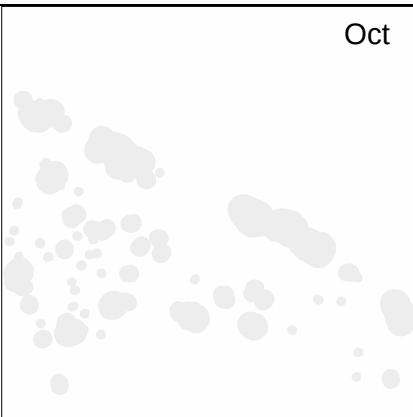
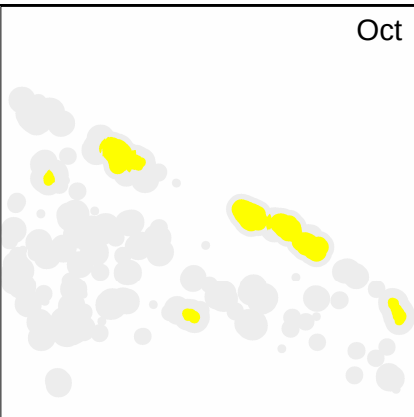
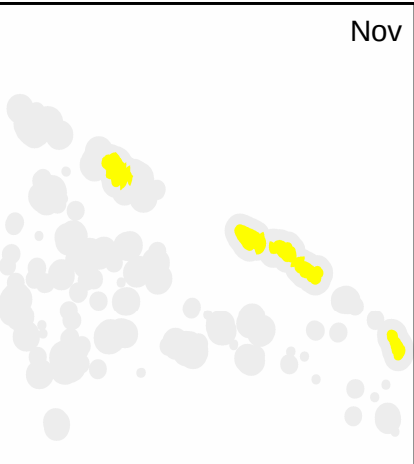
Pluviométrie Niakha		Pluviométrie Barkédji	
Août			
			
Sept			Sept
			
Oct			Oct
			
			Nov
			

Tableau 10 : Cartes dynamiques mensuelles d'aléa *Culex* à partir de la pluviométrie des stations de Niakha et de Barkédji durant la saison des pluies 2010. Les cinq régions à risque sont encadrées en tirets rouges.

Les sorties de ces modèles ont pu être validées grâce aux données collectées lors des campagnes entomologiques et environnementales de terrain.

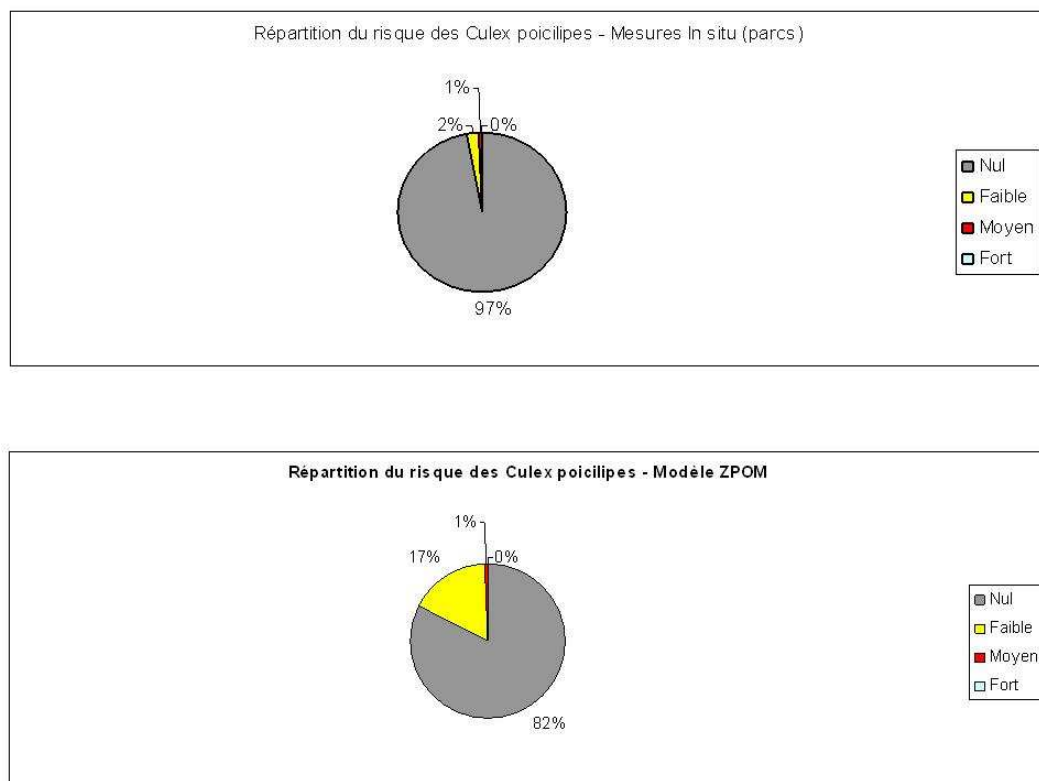


Figure 20 : comparaison du niveau de risque des *Culex poicilipes* entre mesures in-situ et sorties du modèle ZPOM (mare de Niakha)

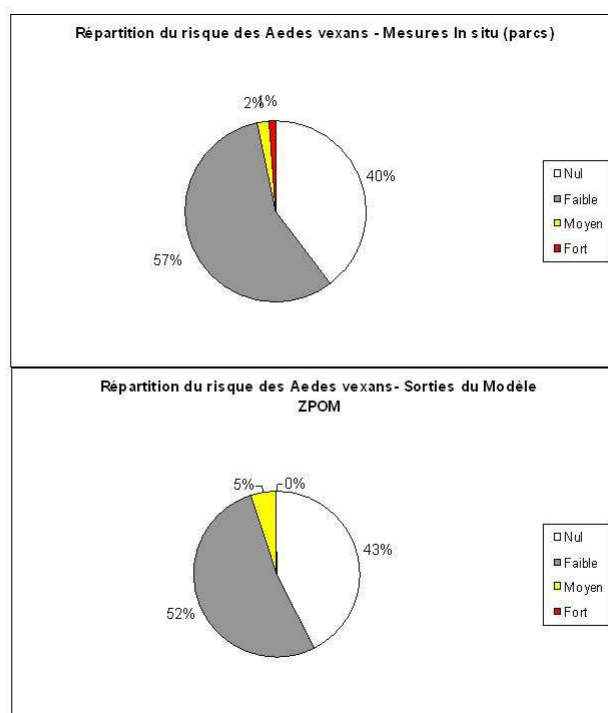


Figure 21 : comparaison du niveau de risque des *Aedes vexans* entre mesures in-situ et sorties du modèle ZPOM (mare de Niakha)

La comparaison entre le risque vectoriel mesuré et simulé dans les 181 parcs enquêtés entre le 15 juillet et le 30 octobre 2010 montre que :

- les densités d'*Aedes vexans* classés en 4 classes nulle, faible, moyenne et forte, sont à 97% dans le risque nul à faible, aussi bien pour les densités mesurées (40% nul + 57% faible) que simulées (43% nul + 52% faible) (cf. figure 217) ;
- les densités de *Culex poicilipes* sont encore plus faibles que celles d'*Aedes* avec un risque pratiquement nul (99%) aussi bien pour les mesures in-situ (97% nul + 2% faible) que pour les sorties de modèle (82% nul + 17% faible) (cf. figure 20).

En conclusion, nous disposons désormais d'un modèle biomathématique qui permet de prévoir le risque vectoriel de présence d'*Aedes vexans* et de *Culex poicilipes* avec une bonne précision. Au cours de la saison 2010, il a été démontré que ce modèle pouvait fournir les cartes de prévision de risque vectoriel de façon quasi-opérationnelle. Des bulletins d'information intégrant ces cartes de prévision ont été fournis tous les 15 jours aux partenaires du projet.

3. CLIMAT ET TENDANCES DU RISQUE

Il est rappelé que la dynamique des pluies au Sahel est fonction d'au moins 4 échelles de temps: l'échelle saisonnière, l'échelle interannuelle, l'échelle dite basses fréquences (quasi-décennale à multi décennale) et la composante anthropique du changement climatique. Le projet AdaptFVR qui se déroule sur 24 mois à partir de Mars 2010 couvre donc deux périodes de mousson d'été qui impliquent au moins la variabilité saisonnière et interannuelle. Les variabilités basses fréquences et anthropiques permettent donc d'évaluer les modulations à moyen et long terme de la dynamique des pluies au Sahel avec des conséquences sur les risques épidémiques de la FVR.

Une des caractéristique du climat au Sénégal est qu'il est influencé par la variabilité climatique de l'océan Atlantique ainsi que par celle de la mousson, ce qui rend les prévisions plus complexes sur la région du Ferlo, étudiée dans ce projet. Dans cette région les isohyètes annuelles varient de 300 mm à 150 mm (de façon quasi-zonale et ce du Sud au Nord). Cette région est soumise à une très forte variabilité interannuelle. Par exemple en 2006, 110% des pluies annuelles sont tombées sur la région, par rapport à 80 % à l'ouest de Barkédji en 2003. Il est aussi remarquable de voir que les organisations spatiales des mares sont différentes au Sud et Nord du Ferlo : elles sont sous formes de 'clusters' au sud de Barkédji où les nappes phréatiques sont plus proches de la surface, et en rangées orientées suivant les creux entre les alignements sableux au Nord. Les grandes mares se trouvent dans la rivière fossile juste au Nord de Barkédji. Ces structures vont donc réagir de manières différentes aux pluies de mousson, retour Atlantique et convection profonde (locale, lignes de grains et Ondes d'Est). Le climat du Sénégal et la dynamique des mares du Ferlo ont permis aux vecteurs et au virus de la FVR de s'adapter à cet écosystème et sa variabilité sous l'influence du climat à différentes échelles spatio-temporelles.

3.1. EVOLUTION DU DEBUT ET DE LA SAISON DES PLUIES EN TEMPS REEL

Les pluies enregistrées de la saison 2010 sont à considérer comme normales à supérieures à la normale localement (voir aussi la section 3.2). En 2010, les premières pluies à Barkédji sont apparues en Mai, alors que dans la journée du 21 Juin 38 mm sont observées par TRMM pour atteindre un maximum de 42 mm le 20 Juillet (65 mm au début Juillet sont observés par TRMM), et un autre maximum de 42 mm le 16 Août. L'on peut considérer que les pluies de mousson ont commencé le 5 Août et se sont arrêtées le 24 Septembre, avec cependant un événement pluvieux isolé le 30 Septembre de 13 mm, et deux événements pluvieux les 17 et 18 Octobre de 9 et 10 mm chacun. D'ailleurs les fortes pluies tombées pendant la dernière semaine de Septembre dans certaines régions du Sénégal ont fait deux victimes dans la région de Kafrine au centre du pays après l'effondrement de certaines maisons. Cet excédent tardif de pluviométrie a affecté les cultures dévastant notamment les rizières. Finalement, les quantités de pluies mesurées à partir de TRMM 3B-42 (25 km x 25 km, voir référence pour les détails) en temps réel (quand comparée à celles du pluviomètre de Barkédji) surestiment les pluies convectives et discrètes spatialement à Barkédji de 30 mm en moyenne en Juin et Juillet 2010 (du fait de la répartition hétérogène des pluies).

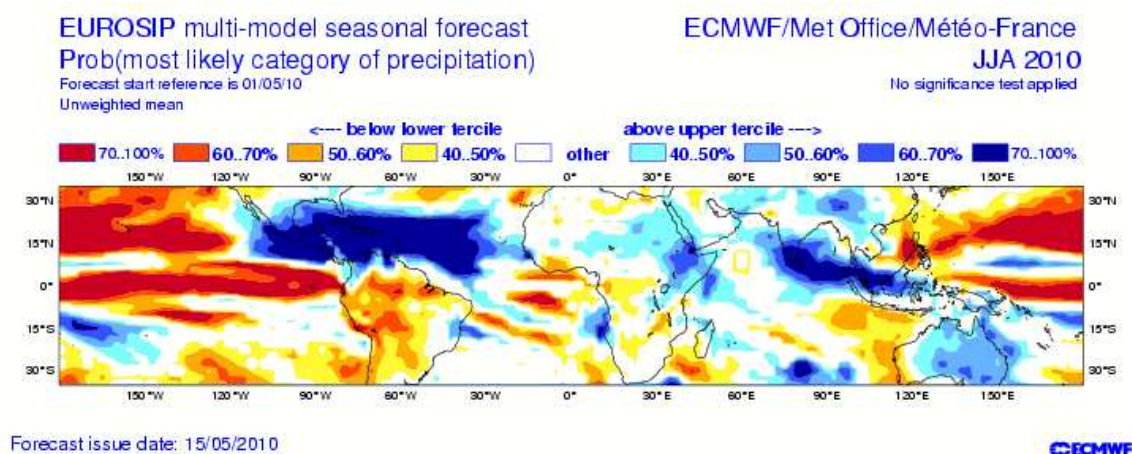
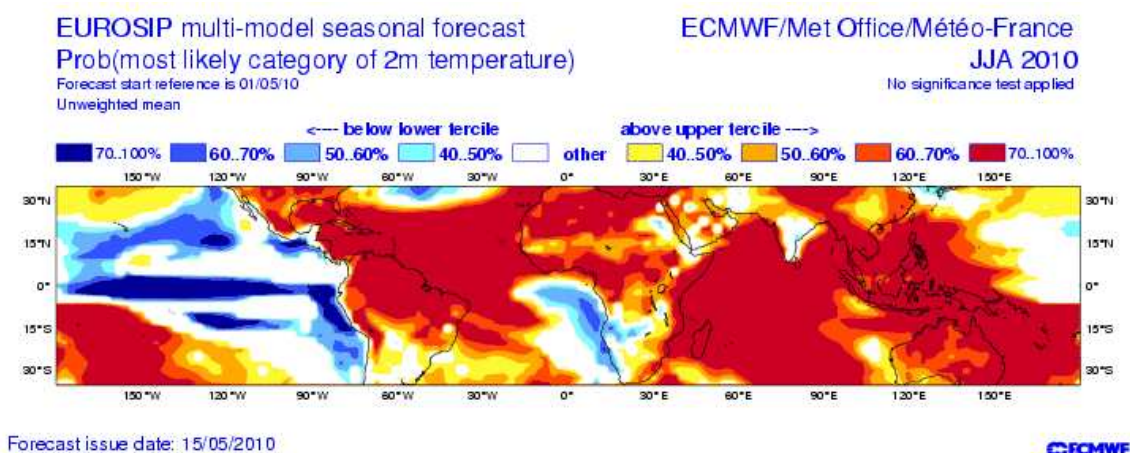
En 2011, la région de Kolda a reçu le lundi 16 mai ses premières pluies (vraisemblablement non liée à l'hivernage) pendant une trentaine de minutes. La pluie accompagnée de grondement de tonnerre vers minuit a surpris tout le monde. A Barkédji les premières pluies isolées mais significatives (~11 mm) sont apparues le 31 Mai (48 mm observés par TRMM). Le 28 Juin un autre événement pluvieux discret a eu lieu le 25 Juin (~28 mm). L'on peut considérer que la saison des pluies de mousson a commencée le 17 Août (par rapport au 5 Août en 2010) pour se terminer le 30 Septembre (par rapport au 24 Septembre en 2010) avec un dernier événement pluvieux faible (~2 mm) le 3 Octobre. Des pluies diluviennes sont enregistrées (plus de 200 mm) entre le 17 et le 30 Août 2011, au nord du Sénégal si bien que le fleuve du Sénégal a dépassé la côte d'alerte de 10 m. A la même période en 2010 la côte d'alerte était de 6,07 m. Le fleuve Sénégal est long de 1800 km. Il prend sa source en Guinée et traverse le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. En 2010 et 2011 le service de la météorologie de Bakel a constaté une montée récurrente du fleuve. Enfin, la saison des pluies s'est achevée le 18 octobre au Sénégal.

En résumé la saison des pluies en 2010 à Barkédji a démarré 12 jours plus tôt qu'en 2011, pour se terminer à peu près à la même époque. Le détail des quantités de pluies (individuelles et cumulées) se trouve ailleurs dans ce rapport à la section 1.5 (Analyse des mesures in-situ).

3.2. PREVISIONS SAISONNIERES ET STOCHASTIQUES DE LA MOUSSON D'ETE AU SENEGAL

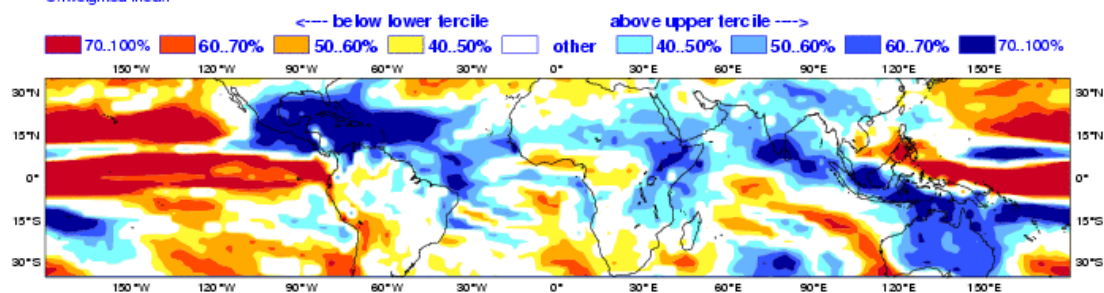
Les prévisions stochastiques de la température et des précipitations pendant les moussons des étés 2010 et 2011 se révèlent peu utilisables puisqu'elles ne peuvent pas être quantifiées au niveau du Sénégal, et du Ferlo en particulier. Ce sont en effet des pluies utiles pour l'agressivité des vecteurs qui doivent être identifiées en temps quasi-réel. Tout ce que l'on peut dire est qu'en 2010 et 2011 il était prévu qu'au mois de juin les précipitations soient différentes, avec 2011 plus sec que 2010 (voir les cartes EUROSIP qui suivent). Par rapport à la FVR, ces cartes probabilistes ont une importance relative au niveau des systèmes d'information de la santé et des épidémies possibles de la FVR. Il faut cependant constater que la 'bonne mousson' a été prévue par les services de prévision de Météo-Sénégal en se basant les outils PRESAO (*Prévision saisonnière de l'Afrique de l'Ouest*, www.acmad.ne). Au niveau régional, un cumul pluviométrique supérieur ou égal à la normale 1971-2000 était attendu au Sahel pour la saison 2010. Des écoulements supérieurs ou égaux à la normale étaient prévus pour les bassins du Sénégal, de la Gambie, du Niger moyen et du lac Tchad.

Le Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) avait indiqué que l'état thermique des océans Atlantique et Indien en 2011, n'était pas favorable à une saison des pluies homogène au Sahel et en Afrique de l'Ouest avec une forte incertitude sur la prévision saisonnière. L'évolution de la situation pluviométrique a en effet été assez hétérogène avec des zones localement excédentaires provoquant parfois des inondations et des zones à déficits pluviométriques marqués et par contraste avec 2010, des conditions globalement normales à déficitaires pour la partie Ouest.



EUROSIP multi-model seasonal forecast
 Prob(most likely category of precipitation)
 Forecast start reference is 01/08/10
 Unweighted mean

ECMWF/Met Office/Météo-France
 JAS 2010
 No significance test applied



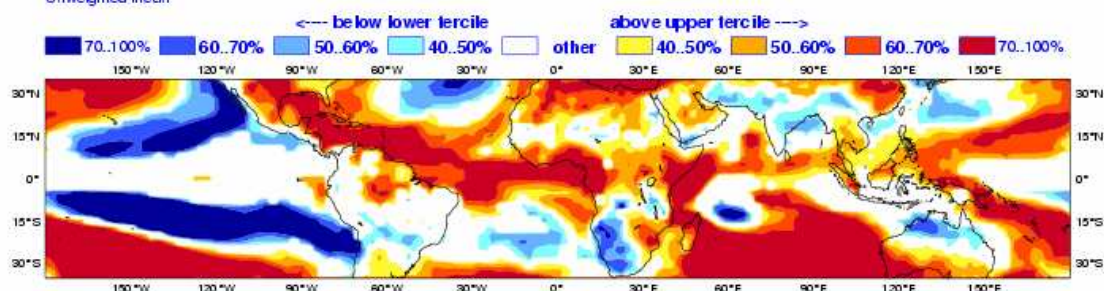
Forecast issue date: 15/08/2010

ECMWF

Figure 22 : Température au sol (2 m) et précipitations prévues (terciles) mi-Mai 2010 pour la période Juin-Juillet-Août JJA, (top, milieu), et mi-Juin 2010 pour la période Juillet-Août-Septembre (JAS, bas). Pour la température au dessus/dessous (déciles à l'intérieur des terciles) en rouge/bleu, pour les précipitations au dessus/dessous en bleu/rouge. Produit EUROSIP. Le Sénégal était prévu plus humide (60% tercile supérieur en JAS).

EUROSIP multi-model seasonal forecast
 Prob(most likely category of 2m temperature)
 Forecast start reference is 01/05/11
 Unweighted mean

ECMWF/Met Office/Météo-France
 JJA 2011
 No significance test applied

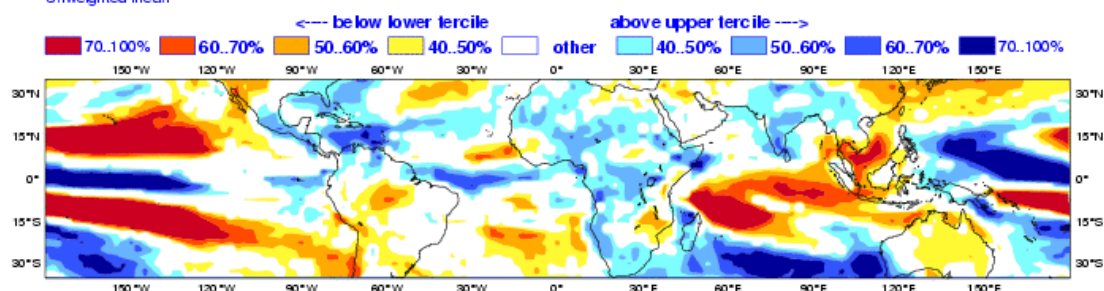


Forecast issue date: 15/05/2011

ECMWF

EUROSIP multi-model seasonal forecast
 Prob(most likely category of precipitation)
 Forecast start reference is 01/05/11
 Unweighted mean

ECMWF/Met Office/Météo-France
 JJA 2011
 No significance test applied



Forecast issue date: 15/05/2011

ECMWF

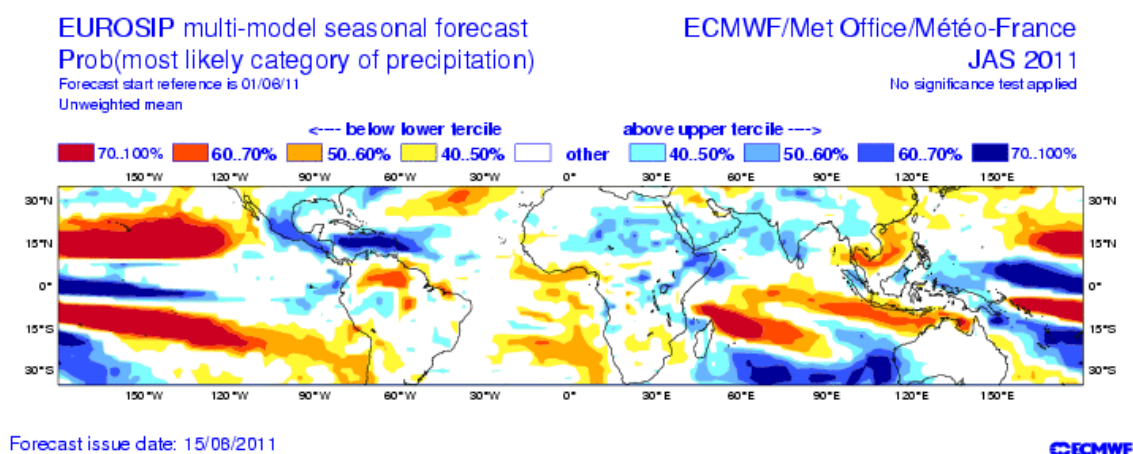


Figure 23 : Température au sol (2 m) et précipitations prévues (terciles) mi-Mai 2011 pour la période Juin-Juillet-Août JJA, (top, milieu), et mi-Juin 2011 pour la période Juillet-Août-Septembre (JAS, bas). Pour la température au dessus/dessous (déciles a l'intérieur des terciles) en rouge/bleu, pour les précipitations au dessus/dessous en bleu/rouge. Produit EUROSIP. Le Sénégal était prévu plus sec (40% tercile inférieur en JAS).

En combinant les résultats des deux derniers sous paragraphes et de l'étude de la pluviométrie à la section 1.5, l'on constate que la saison des pluies 2010 a été relativement normale à Barkédji. Des événements violents ont cependant eu lieu au Sénégal avec de grosses inondations (pluies diluviennes au Nord du Ferlo fin Août, et inondations graves à Pikine le 12 Août).

3.3. EVOLUTION DES SIGNAUX BASSES FREQUENCES DU CLIMAT AU SAHEL

L'oscillation quasi-décennale (QDO) et multi décennale Atlantique (AMO) sont reliées à la structure tripolaire de l'Atlantique Nord et celle dipolaire de l'Atlantique tropical. Ces deux signaux climatiques modulent fortement les précipitations Sahéliennes (figure 24). Les structures spatiales de la STT sont fortement corrélées (au moins 0.4) avec les pluies au Sahel, d'où l'intérêt de surveiller le phasage des indices AMO et QDO pour leurs modulations de l'agressivité des vecteurs de la FVR. Dans le tableau suivant les valeurs récentes mensuelles de l'AMO sont listées, avec des valeurs toutes positives pendant les moussons 2010 et 2011, et des valeurs très faibles négatives fin 2011, début 2012.

2009 -0.022 -0.128 -0.129 -0.094 -0.030 0.161 0.268 0.191 0.096 0.207 0.107 0.121

2010 0.077 0.210 0.322 0.466 0.495 0.485 0.492 0.569 0.491 0.367 0.278 0.249

2011 0.182 0.144 0.092 0.128 0.181 0.215 0.136 0.189 0.192 0.103 -0.035 -0.010

2012 -0.031

Tableau 11 : Valeurs mensuelles de l'indice AMO de l'Atlantique Nord pour les quatre dernières années (valeurs semblables à celles du tripôle de la SST Atlantique (voir figure suivante). Les valeurs sont en général positives pendant les moussons 2010 et 2011. Un changement de phase pourrait advenir en 2012 ?

La série temporelle de l'AMO pour la deuxième partie du 20^{ème} siècle se trouve dans la figure suivante. La distribution caractéristique des anomalies de SST est aussi représentée. On remarquera que la tendance a des valeurs négatives de 1971 à 1992 qui coïncident avec la sécheresse Sahélienne.

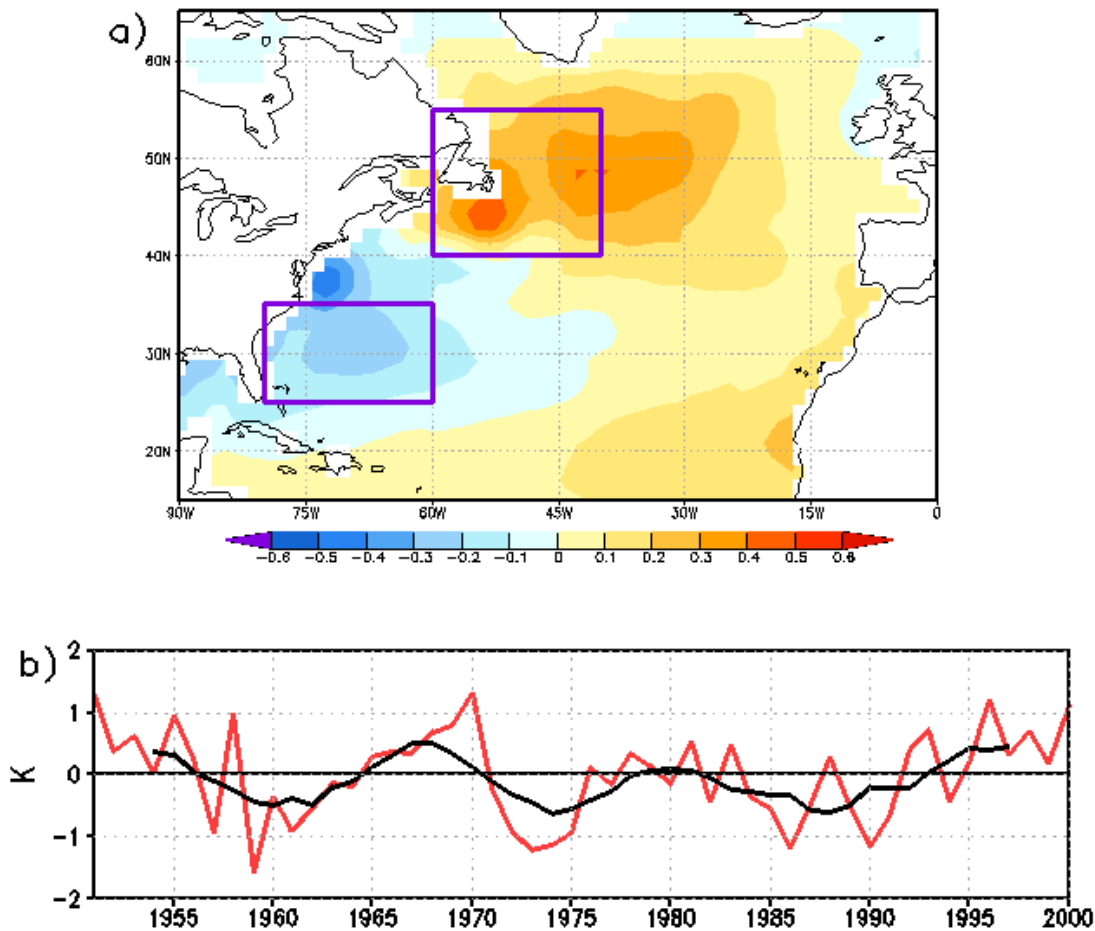


Figure 24 : a) Distributions spatiales de la SST associées avec l'AMO (aussi appelé le tripôle Atlantique). Les valeurs positives sur tout l'est Atlantique, y compris au large de l'Afrique de l'Ouest (pôles 1 et 2) sont associées à des valeurs négatives au large des côtes Nord Américaine (pôle 3). b) Série temporelle de l'AMO (interannuelle et lissée avec une fenêtre glissante de 10 ans). L'évolution basse fréquence est remarquable avec les valeurs surtout négatives de 1970 à 1995 correspondant à la sécheresse Sahélienne.

Relation entre climat basse fréquence au Sahel et densité du vecteur *Aedes*

Pendant les étés 2010 & 2011 du projet AdaptFVR, le phasage de l'AMO était >0 ainsi que celui de la QDO. La Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) s'est trouvée donc plus au Nord avec en général des précipitations sahéliennes au-dessus de la normale.

Un cycle basse fréquence a été identifié entre le nombre moyen de pause pluviométrique par saison de mousson et la densité de vecteurs *Aedes* (période 1960-2010).

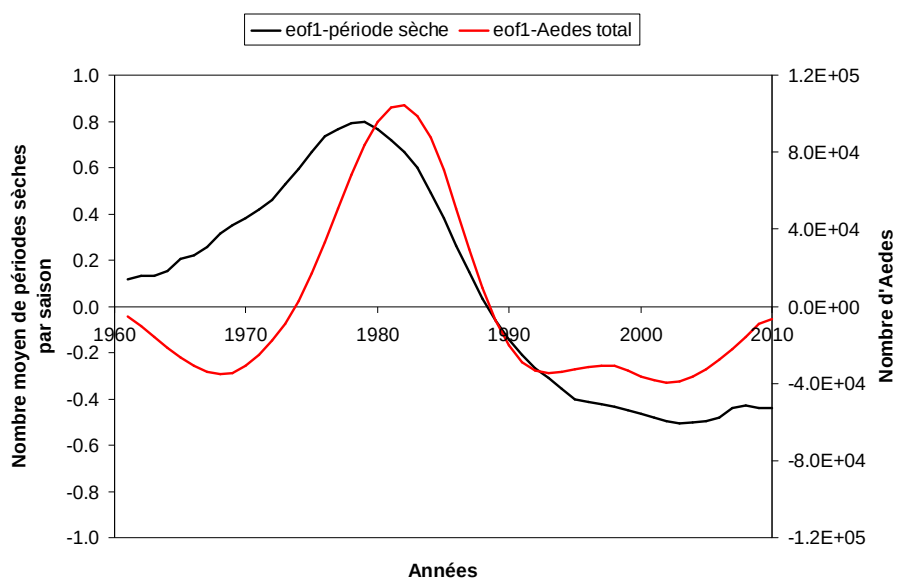


Figure 25 : Phasages du nombre moyen de pauses pluviométriques par saison (valeurs normalisées de l'EOF #1, ordonnées à gauche) et de la densité d'*Aedes* (unité $\times 10^4$ de l'EOF #1, ordonnées à droite). Le grand changement à la fin 20^{ème} siècle est remarquable. Ces résultats confirment qu'il est nécessaire de disposer de pauses pluviométriques pour l'émergence des *Aedes* au cours de la saison des pluies.

Un autre résultat intéressant est obtenu lorsque l'on compare la variabilité basse fréquence de la SST dans l'Atlantique nord (semblable à celle de l'AMO, ou du tripôle Atlantique) en utilisant une analyse spectrale singulière (SSA), avec la production de vecteurs *Aedes* (figure 26).

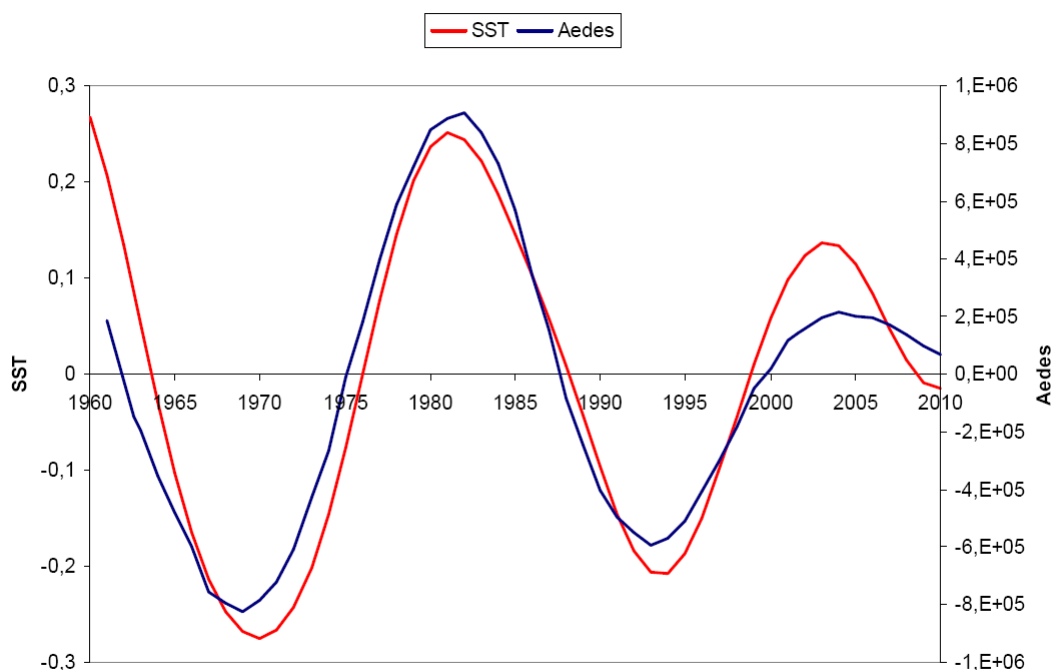


Figure 26 : Evolutions des anomalies basses fréquences des anomalies de la SST Atlantique (ordonnées à gauche) et de la production d'*Aedes* (unité $\times 10^4$, à droite) à partir d'une analyse en spectres singuliers (SSA) et ce pour une période de 50 ans (1960-2010). Le phasage entre les deux EOFs est remarquable : les anomalies positives/négatives des SST sont associées, à des pluviométries plus fortes/faibles ainsi

que des densités d'*Aedes* plus élevées/moins fortes. Ce résultat devient un outil pour l'organisation décisionnelle à moyen et long termes pour le risque *Aedes*.

En conclusion, la correspondance des phases est remarquable sur 50 ans, sur des périodes de ~25 ans, et qui pourraient correspondre à la variabilité basse fréquence de l'océan Atlantique. Ce résultat est important pour comprendre le cycle d'émergence des *Aedes*.

3.4. SCENARIOS CLIMATIQUES AU SAHEL JUSQU'EN 2050

Un ensemble de simulations climatiques régionales est analysé dans le cadre du projet, à partir de 10 Modèles Climatiques Régionaux (RCMs). Des projections de précipitation jusqu'en 2050 sont ainsi présentées. Tous les RCMs utilisent une grille de 50 km x 50 km et sont soumis aux mêmes conditions initiales. Ce sont les projections climatiques du *COordinated Regional climate Downscaling Experiment* (ici 'CORDEX-Africa', voir Annexe). Le résultat de l'analyse multi modèle donne les meilleurs résultats. Chaque modèle pris individuellement a tendance à démarrer trop tôt pendant le cycle diurne. Ce biais systématique se retrouve dans la moyenne d'ensemble.

Les observations TRMM de la mousson ouest africaine commence fin Mai-début Juin sur le Golfe de Guinée avec un saut abrupt vers le Sahel. Les données TRMM démontrent un excès de précipitation au-dessus du Golfe et une sous-estimation pour le Sahel. D'autre part ERA-Interim ne permet pas aux précipitations de s'étendre très Nord, entraînant un biais sec entre ~10°-18°N. Sept modèles (RCA, HIRHAM, CCLM, REMO, RACMO, PRECIS et WRF) simulent relativement bien le saut vers le Nord de la mousson d'été, au bon moment de l'année, mais avec des différences en intensité. Trois modèles (HIRHAM, REMO et CCLM) surestiment les maxima de pluies en Mai-Juin et Octobre-Novembre sur le Golfe de Guinée, tandis que le CCLM sous estime les minima sur le Sahel en général. Trois modèles (RCA, ARPEGE et CRCM) ne permettent pas une progression assez nord des pluies sahéliennes. Donc, dans les résultats présentés pour AdaptFVR les pluies sont en général sous-estimées.

Les dix modèles utilisés dans l'analyse sont : CNRM/ARPEGE5.1, DMI/HIRHAM5, ICTP/RegCM3, CLMcom/CCLM4.8, KNMI/RACMO2.2b, MPI/REMO, SMHI/RCA35, UCT/PRECIS, UC/WRF3.1.1, UQAM/CRCM5, des institutions suivantes : Institut Centre National de Recherches Météorologiques, France ; Danmarks Meteorologiske Institut, Danmark ; Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy ; CLM community Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Netherlands ; Max Planck Institute, Germany ; Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska institut, Sweden ; University of Cape Town, South Africa ; Universidad de Cantabria, Spain ; Université du Québec à Montréal, Canada.

Dans la figure 27 suivante l'apprentissage de CORDEX-Afrique est effectuée pour la région de Barkédji (1950-2005) et pour le cumul des pluies (bleu). Les données TRMM sont aussi superposées pour comparaison (violet). Lorsque l'on compare avec les pluies cumulées et enregistrées à Barkédji, le modèle sous-estime les quantités de 150 à 200 mm pour les raisons énoncées plus haut. D'autre part la tendance est très faible (~10 mm sur 50 ans).

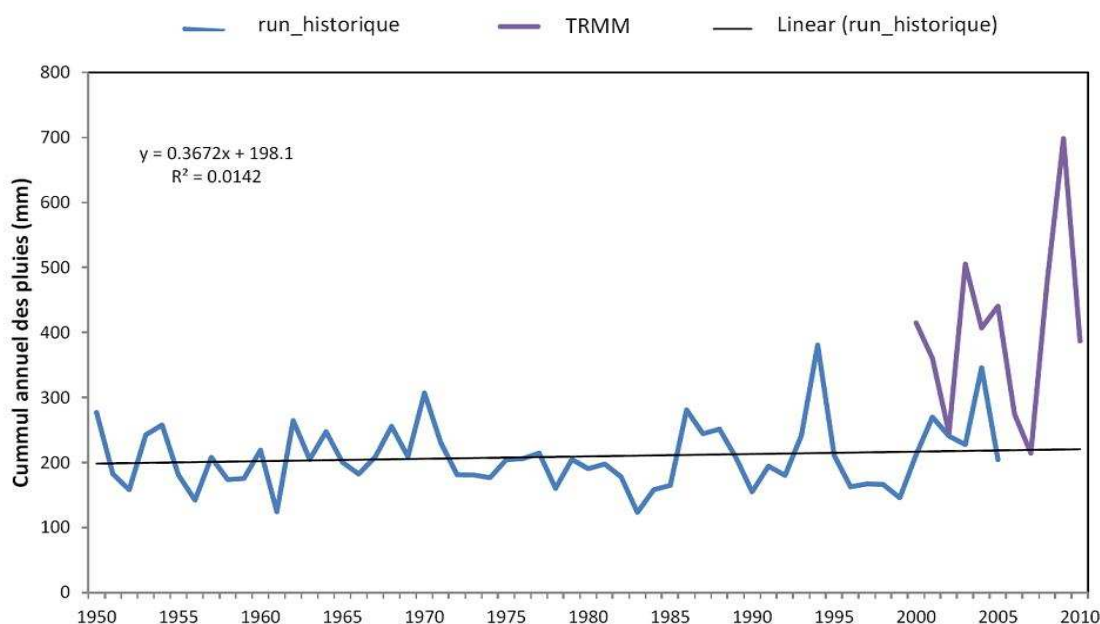


Figure 27 : 'Training' du modèle Cordex, avec les résultats sur les précipitations à Barkédji à partir du forçage ERA-40 (bleu). Les données TRMM sont comparées à la fin de la période (violet). Bien que les cumuls (en mm) soient sous estimés (voir référence sur CORDEX), on remarque les valeurs faibles de 1971 à 1986, période incluse dans la grande sécheresse Sahélienne. La tendance linéaire sur 50 ans est très faible (équation donnée dans le cadre de la figure).

Les scénarios (RCPs 8.5 et 4.5) des pluies à Barkédji est présenté dans la figure 28 suivante, jusqu'en 2050. Les principales caractéristiques sont :

- 1) une faible tendance croissante des pluies cumulées (~10 mm sur 50 ans) pour le scénario 8.5 ;
- 2) peu de correspondance entre les deux scénarios ;
- 3) tendance à une variabilité de type décennale pour le scénario 4.5 (pics en 2006, 2016, 2025, et 2035). Les mécanismes physiques restent à élucider ;
- 4) après 2035, la variabilité interannuelle est plus faible.

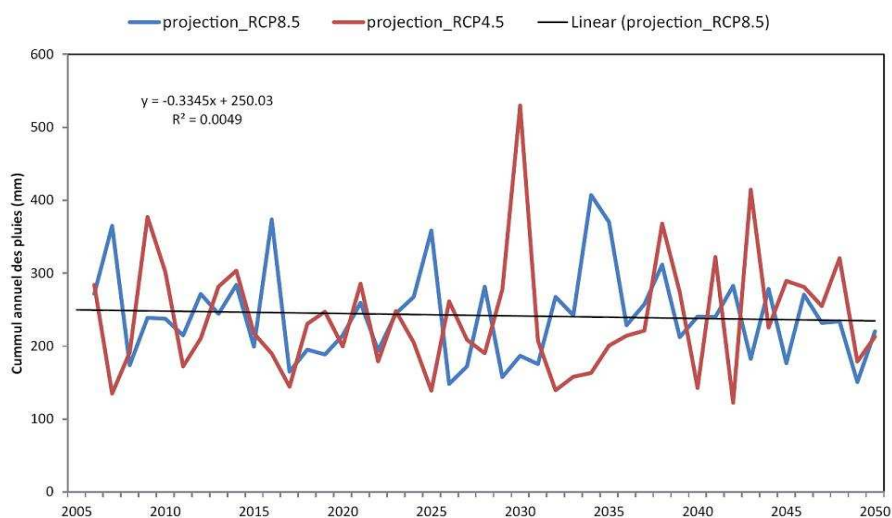


Figure 28 : Deux simulations des pluies cumulées par saison (en mm) à partir de CORDEX est pour Barkédji. On remarque une faible tendance linéaire à la baisse (équation donnée dans le cadre de la figure pour le scénario 8.5 W/m^2) dans les deux scénarios, et une variabilité basse fréquence pour le scénario 4.5 W/m^2 .

3.5. CONCLUSION METEOROLOGIQUES SUR LA VARIABILITE DU CLIMAT AU FERLO (SAHEL)

Suite à cette étude climatique, les points importants à retenir sur la variabilité spatio-temporelle du climat au Ferlo sont les suivants :

a) La prévision saisonnière probabiliste (sous forme de quantiles) à grande échelle présente encore des limites pour être utilisée aux échelles spatio-temporelles plus fines du projet AdaptFVR sur le Ferlo. Cependant, la qualité des précipitations in situ est suffisante pour établir des liens entre les pluies et l'agressivité des vecteurs Aèdes, au début de la mousson d'été, ou après des périodes relativement sèches. D'autre part le passage en opérationnel est possible puisque les correspondances entre les données pluie de TRMM et in situ sont bonnes (même si les pluies TRMM semblent surestimées en 2010, à cause peut être des problèmes d'hétérogénéité ?).

b) Les prévisions basse fréquences, sont basées sur des corrélations statistiques entre la SST (température de surface de l'océan) et la densité de vecteurs Aedes. Ces résultats qui reposent sur une étude historique (1960-2010) sont très prometteurs. En effet ils montrent des phasages positifs entre les deux séries chronologiques : c'est à dire des anomalies positives/négatives de SST sur des périodes de 10-15 ans sont associées à une augmentation/réduction de la production d' Aedes. La surveillance en temps réel des anomalies de SST atlantique devient donc un élément important pour une adaptation aux épidémies potentielles de la FVR, sur des périodes de types décennales.

c) L'évaluation du changement climatique au 21^{ème} siècle (ici jusqu'en 2050), à partir des premiers résultats de CORDEX-Afrique (scénarios RCP 8.5 et 4.5 W/m² correspondants à des concentrations de CO₂ de 1370 ppm en augmentation constante après 2100, et de 650 ppm stable après 2100), montre que les effets sembleraient minimes sur le Ferlo. En effet la variation de la température sur le Ferlo est de 1.5°C pour le scénario 8.5 W/m² et de 1°C pour le scénario 4.5 W/m² (période 2005-2050, non montré) comparé à une augmentation de 0.4°C pour la période 1950-2010. La tendance (détectée statistiquement) d'une variation de -10 mm de précipitation à Barkédji sur les 50 ans à venir est très faible (donc peu d'incidence sur la dynamique des mares et la production de vecteurs). De plus cette tendance se trouve surtout dans la limite des incertitudes des modèles numériques.

La conclusion générale est que la prévision saisonnière doit être améliorée sur des échelles plus fines (projet TIGGE en cours du THORPEX Interactive Grand Global Ensemble, avec des prévisions de 1 jour à deux semaines. <http://tigge.ecmwf.int/>). Ceci devrait permettre d'améliorer les modèles de dynamique des mares. La variabilité basses fréquences du climat Atlantique est très prometteuse pour des adaptations de systèmes d'information sanitaires sur des périodes décennales. Enfin peu de changement à prévoir pendant la première moitié du 21^{ème} siècle sur les précipitations cumulées dans la région de Barkédji. La dynamique des mares et la production des vecteurs de la FVR ne devrait donc pas changer notablement.

4. LES DIFFERENTES FORMES DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

4.1. LES DIFFERENTES FORMES D'ADAPTATION

Le GIEC (2001) définit l'adaptation en ces termes « *Réaction des systèmes naturels ou anthropiques aux stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, en vue d'en atténuer les inconvénients ou d'en exploiter les avantages* ». Le GIEC (2001) identifie plusieurs sortes d'adaptations, notamment :

- l'**adaptation anticipative** : adaptation qui a lieu avant que les effets des changements climatiques soient observables. On parle aussi d'adaptation proactive ;
- l'**adaptation autonome** : adaptation qui ne constitue pas une réaction réfléchie aux stimuli climatiques, mais qui résulte de changements écologiques des systèmes naturels ou d'une évolution des conditions socio-économiques propres aux systèmes anthropiques. On parle aussi d'adaptation spontanée ;

- l'**adaptation prévue** : adaptation qui résulte de décisions stratégiques délibérées, fondées sur une perception claire des conditions qui ont changé - ou qui sont sur le point de changer – et sur les mesures qu'il convient de prendre pour revenir, s'en tenir ou parvenir à la situation souhaitée ;
- l'**adaptation de caractère privé** : adaptation qui est amorcée et réalisée par des individus, des ménages ou des entreprises privées. Cette sorte d'adaptation sert d'ordinaire les intérêts de ceux qui la mettent en œuvre ;
- l'**adaptation de caractère public** : adaptation qui est amorcée et réalisée par les services publics. Cette sorte d'adaptation sert généralement les intérêts de la collectivité ;
- l'**adaptation réactionnelle** : adaptation qui a lieu après que les effets des changements climatiques ont été observés.

Le signal changement climatique en l'état actuel des connaissances n'est pas bien défini et quantifié au Sahel. Pour cette étude AdaptFVR, nous faisons le choix de présenter des actions verticales et transversales dans le cadre de l'adaptation anticipative (figure 29).

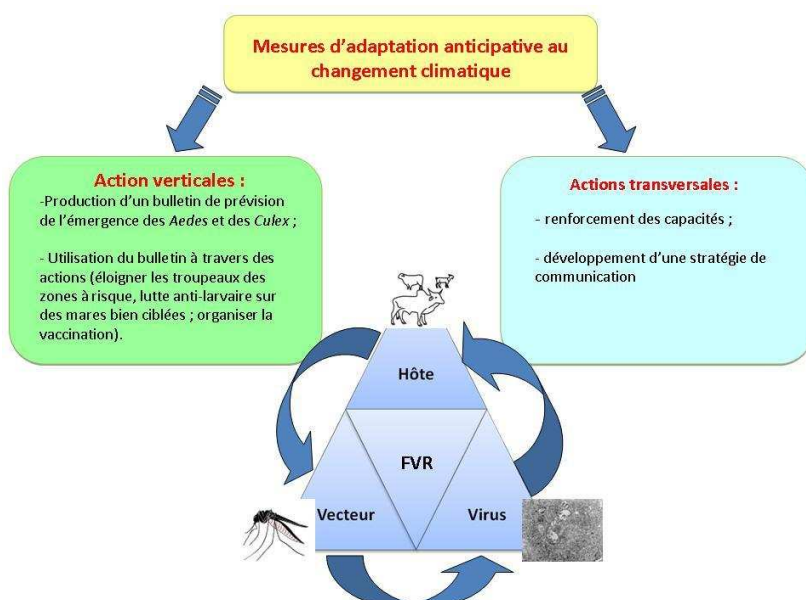


Figure 29 : Architecture de l'organisation des mesures d'adaptation anticipative au changement climatique.

Toutes ces mesures d'adaptation vont contribuer à assurer le contrôle et la durabilité de l'activité pastorale au Ferlo. Ainsi, chaque fois qu'une mesure d'adaptation sera mise en application et qu'elle sera réussie, ce sera une contribution notable à la réduction de la vulnérabilité des populations mais aussi un pas dans la réduction de la pauvreté.

4.2. ADAPTATION A LA VARIABILITE ET AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE SAHEL

La *prévision saisonnière* probabiliste (sous forme de quantiles) à grande échelle présente des limites pour être utilisée aux échelles spatio-temporelles plus fines du projet AdaptFVR. Des progrès sur la désagrégation spatiale et des prévisions sub-saisonnières sont en cours de développement. Cependant ces informations statistiques qui sont disponibles aujourd'hui et qui sont mises à jour tous les mois (voir produits EUROSIP, §3 Climat et tendances du risque) doivent permettre aux systèmes sanitaires de proposer une stratégie d'adaptation anticipative (en amont) face au risque potentiel d'apparition des épidémies liées en partie, au climat du Ferlo.

Les *prévisions interannuelles à basse fréquences*, basées sur des corrélations statistiques entre la SST (température de surface de l'océan) et la densité de vecteurs *Aedes*, est prometteuse puisque notre étude sur la période 1960-2010, montre des phasages positifs entre les deux séries chronologiques. Une adaptation à moyens termes devient donc possible : c'est à dire des anomalies positives/négatives de SST sur des périodes de 10-15 ans sont associées à une augmentation/réduction de la production d'*Aedes* au début de la saison des pluies au Ferlo. Les modifications d'adaptations anticipatives à moyen terme, à partir d'indices climatiques en temps réel de types QDO et AMO semblent plus difficiles à mettre en œuvre puisque, 1) les deux signaux interagissent (se modulent) entre eux, et 2) le changement définitif du phasage de l'AMO demande au moins 6 mois de mesures pour être vérifié. Par exemple pour la période 2011-2012 les phases négatives sont très faibles et un retour à des phases positives pourrait être envisagé avec des pluies au moins normales sur le Ferlo.

L'adaptation au *changement climatique* du 21^{ème} siècle à partir des premiers résultats de CORDEX-Afrique (scénarios RCP 8.5 et 4.5 W/m²), semblerait minime tout au moins en ce qui concerne le climat au Sénégal. Très peu de changements sont à prévoir au niveau des quantités de précipitations sur le Ferlo. En effet aucune variation significative de la température sur le Ferlo n'est à signaler, alors que la tendance (détectée statistiquement) d'une variation de -10 mm de précipitation à Barkédji sur les 50 ans à venir est non seulement très faible, avec peu d'incidence sur la dynamique des mares, mais se trouve surtout dans la limite des incertitudes des modèles numériques.

4.3. ADAPTATION ANTICIPATIVE

Au Sénégal, la FVR figure sur la liste des maladies prioritaires surveillées par la Direction des Services vétérinaires dans le cadre du Système national de surveillance épidémiologique des maladies (SNSE) (voir encadré 1). elle fait l'objet d'une double surveillance, à savoir active et passive. La problématique de l'adaptation est importante à plus d'un titre dans la mesure où avec la décentralisation, la santé tout comme l'environnement font partie des compétences transférées aux collectivités locales.

Encadré 1 : Le Système National de Surveillance Epidémiologique des maladies animales (SNSE)

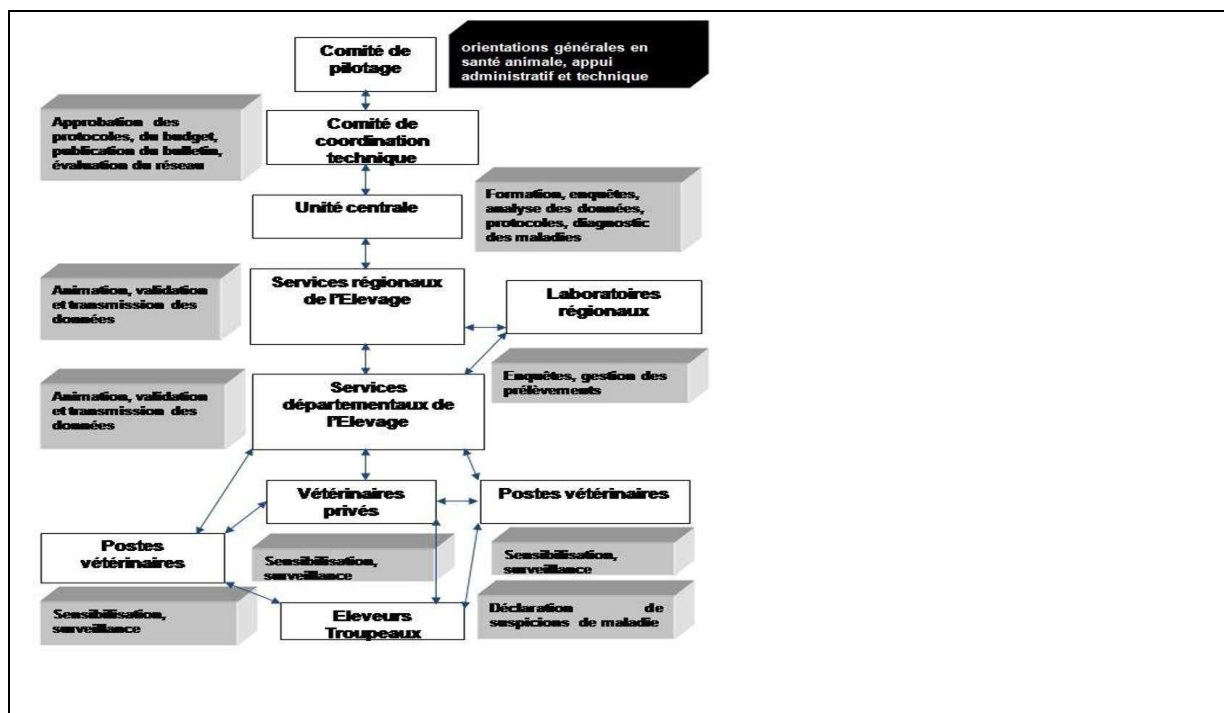
La DSV dispose déjà d'un Système National de Surveillance Epidémiologique des maladies animales (SNSE). Le SNSE a été créé par arrêté n° 005917 du 25 octobre 2005 du Ministère de l'Elevage. Il comprend un comité de pilotage chargé de définir les orientations stratégiques, un comité de coordination technique qui approuve les protocoles et le budget et des réseaux d'épidémiologie-surveillance. Chaque réseau est composé d'une unité centrale (Direction des Services vétérinaires (DSV), Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires (LNERV) et autres partenaires) et des unités de terrain (Services régionaux et départementaux de l'Elevage et des postes vétérinaires). Ses objectifs sont les suivants :

- détecter toute résurgence de maladies éradiquées ;
- détecter toute introduction de maladies nouvelles ;
- évaluer les résultats des plans de lutte ;
- déterminer l'importance réelle des maladies surveillées ;
- mettre à la disposition des autorités des informations épidémiologiques ;
- s'adapter au contexte de mondialisation du commerce et d'analyse des risques liés aux échanges d'animaux et de produits d'origine animale.

Les principales maladies surveillées sont les suivantes : la peste bovine, la péripneumonie contagieuse bovine, la fièvre aphteuse, la dermatose nodulaire contagieuse bovine, la peste équine, **la fièvre de la vallée du Rift**, la peste des petits ruminants, la peste porcine africaine, la rage, la fièvre charbonneuse, la septicémie hémorragique, les pasteurelloses ovine et caprine et les maladies aviaires.

D'autres maladies font l'objet d'une surveillance active : il s'agit de la peste bovine, la péripneumonie contagieuse bovine, **la fièvre de la vallée du Rift** et la grippe aviaire. Cependant, la peste bovine a été éradiquée officiellement du monde, à la suite d'une déclaration conjointe OIE/FAO, le 28 juin 2011 à Rome (Italie). Donc elle ne fait plus l'objet d'une surveillance active au Sénégal.

La surveillance passive est continue et concerne les 13 maladies prioritaires sur toute l'étendue du territoire.



La Fièvre de la Vallée du Rift fait l'objet d'une double surveillance, à savoir active et passive. La problématique de l'adaptation est importante à plus d'un titre dans la mesure où avec la décentralisation, la santé tout comme l'environnement font partie des compétences transférées aux collectivités locales.

Le dispositif d'adaptation va s'articuler autour de mesures anticipatives, liées certes à la prévention mais aussi aux cas de flambées épidémiques qui pourraient potentiellement survenir.

Les acteurs de l'adaptation anticipative sont entre autres : la DSV (niveau central), le Service régional de l'Elevage de Louga et le Service départemental de l'Elevage de Linguère, le Poste vétérinaire de Barkédji, la Communauté Rurale et l'Unité Pastorale (UP) de Barkédji. Pour mémoire, l'UP dispose d'un Comité de gestion qui a ses propres canaux de vulgarisation à travers différents sous-comités villageois mais aussi une radio rurale où des émissions destinées aux pasteurs existent déjà. Ces dernières seront mises à contribution pour une diffusion la plus large possible des mesures d'adaptation préconisées par les acteurs locaux en se basant sur les cartes de risque mises au point dans le cadre du projet AdaptFVR, en sus des différents canaux de diffusion utilisés par le Ministère de l'Elevage (notes de service, médias étatiques et privés, bulletins épidémiologiques, réunions locales etc).

De fait, les principales mesures d'adaptation s'appuieront sur les sorties de la modélisation ZPOM du risque vectoriel (*Aedes* et *Culex*) spatio-temporel. Ces sorties sont présentées dans les Bulletins AdaptFVR produits en temps réel lors de la période expérimentale 2010. Il est donc indispensable de transférer la production des Bulletins aux organismes de recherche et aux utilisateurs sénégalais.

1) Production et dissémination du Bulletin AdaptFVR de prévision de l'émergence des *Aedes* et des *Culex*

La première mesure d'adaptation consiste à informer les différents acteurs du niveau central au niveau local. C'est l'objectif du Bulletin d'information AdaptFVR. Sa production va impliquer les trois acteurs principaux que sont la DSV (suivi des troupeaux sentinelles); le CSE (recherche-développement) et l'IPD (entomologie et virologie). La production et la diffusion du bulletin sont rappelés dans la figure 30.

Le CSE dans son nouvel organigramme, dispose d'un programme « **Recherche-développement** » qui coordonne toutes les activités de recherche aussi bien en interne que celles de partenariat. Cette entité sera responsable de la production du Bulletin (sorties de modèle, production de cartes ZPOM, mise en forme, etc.). Le CSE a une longue tradition de production de ce format d'information: on peut citer entre autre le « **Bulletin de Veille Environnementale – Suivi des zones agricoles à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique** » diffusé au niveau des partenaires du GTP (Groupe de travail Pluridisciplinaire) de suivi de la campagne agricole au Sénégal et des partenaires au développement (Représentations diplomatiques à Dakar, FAO, PAM, etc.).

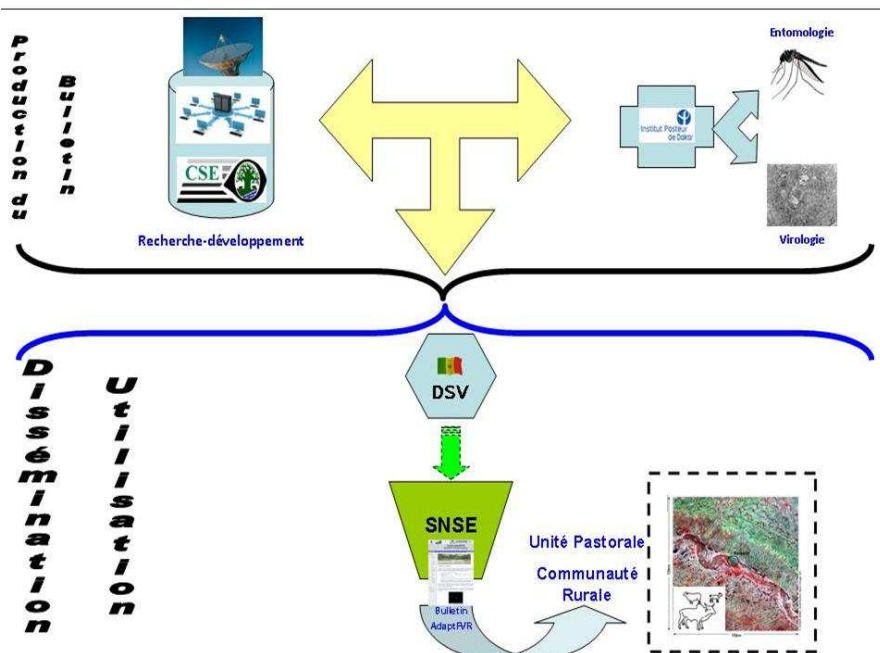


Figure 30 : Schéma sur la production et la diffusion du bulletin AdaptFVR

La production du bulletin va exiger une logistique particulière (PC, logiciels, etc.) et va nécessiter aussi des activités de maintenance. Ces nouveaux besoins doivent être détaillés ; il en est de même de l'organisation de leur financement. Un schéma de transfert est actuellement en cours de discussion entre le CNES et le CSE (figure 31). Les modalités de propriété intellectuelle seront détaillées dans une convention particulière entre le CNES et le CSE.

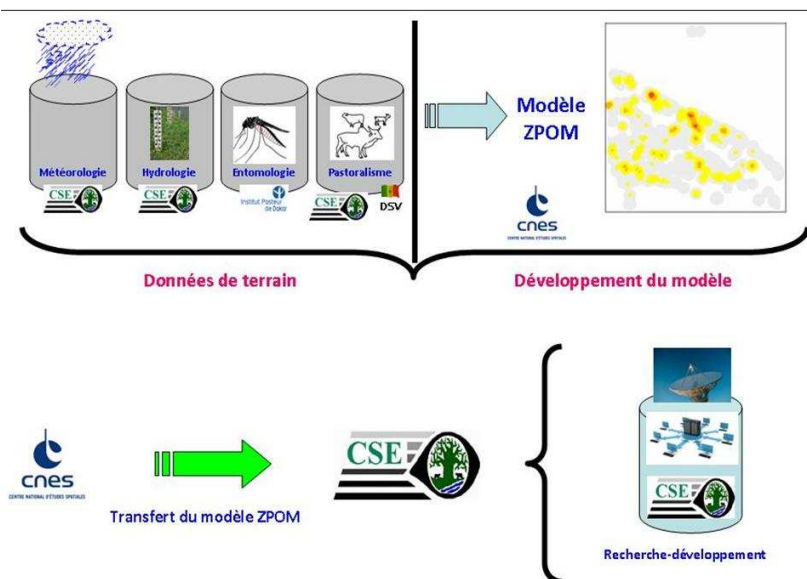


Figure 31 : Schéma sur l'architecture et le transfert du modèle ZPOM du CNES au CSE

La dissémination du Bulletin AdaptFVR va intégrer le dispositif de circulation de l'information dans le cadre du SNSE (figure 32) où désormais, un *Bulletin Adaptation* va y figurer au même titre que les autres bulletins et rapports, et ce du niveau central au niveau local (Communauté Rurale, Unité Pastorale en l'occurrence, etc.).

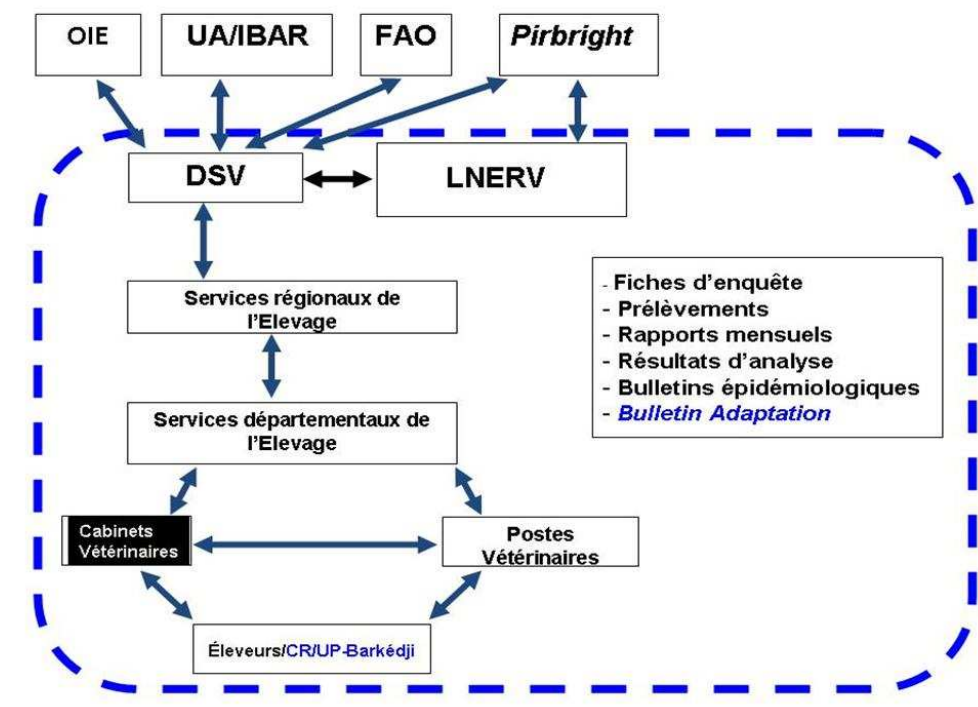


Figure 32: Circulation de l'information dans le SNSE (Source : DSV). Les informations à l'intérieur des tirets bleus concernent la circulation de l'information à l'échelle nationale

L'Unité Pastorale (UP) de Barkédji et la Communauté Rurale (CR) de Barkédji, sont les utilisateurs finaux. Il leur appartiendra d'utiliser au mieux les informations contenues dans le « **Bulletin AdaptFVR** » pour la gestion du risque sanitaire dans les parcours bétail qui ressortent de leur responsabilité. L'UP dispose d'un Comité de gestion qui a ses propres canaux de vulgarisation à travers différents sous-comités villageois mais aussi la radio rurale où des émissions destinées aux pasteurs existent déjà.

2) Utilisation du Bulletin AdaptFVR à travers des actions ciblées

Les trois principales actions de lutte focalisée contre la maladie qui se dégagent du projet AdaptFVR sont les suivantes :

- **éloigner les troupeaux des zones à risque** : à partir des cartes de risque vectoriel produites tous les quinze (15) jours, il sera donné des avis-conseils aux éleveurs de s'installer en dehors des zones à risque ; grâce à des panneaux qui seront confectionnés en langue locale (peul) et installés autour des mares, la DSV va indiquer aux éleveurs où s'installer. Les informations contenues dans le Bulletin, vont permettre d'optimiser l'implantation des parcs à bestiaux en fonction de la prévision du niveau de risque *Culex* ou *Aedes* et d'éviter ou de diminuer ainsi le contact hôte-vecteurs réduisant de ce fait le risque de transmission
- **organiser la lutte anti-larvaire** : elle se fera de manière ciblée sur la base des bulletins de prévision d'émergence de moustiques fournis pour la saison des pluies. En 2010 (figures 8 et 9), sur les 1354 mares détectées dans le zone Barkédji (45X45km) représentant une surface maximum de 1702 ha, seules 457 mares, en raison de leur taux de couverture en végétation supérieur à 50%, sont potentiellement productrices de *Culex*. Ces mares à « *Culex* » représentent une surface maximum de 373ha. L'évolution dynamique de la surface et du nombre

de mares Culex à traiter est montrée sur la figure 33. En moyenne, la surface à traiter est de 68,2 ha correspondant à 115 de mares à « *Culex* » à traiter. Ces informations donnent une idée de la surface globale à traiter, et donc de la quantité de produit anti-larvaire et du coût économique que représenterait un traitement préventif. L'Institut Pasteur de Dakar étudie actuellement la faisabilité et le coût de la lutte anti-larvaire dans la zone de Barkédji.

- **organiser au besoin la vaccination** : les cartes de prévision du niveau du risque vectoriel peuvent également être utilisées pour optimiser la stratégie de vaccination de la DSV. En effet, en disposant des informations sur la base des périodes à haut risque identifiées, comme par exemple les pluies tardives de fin de saison humide, il est possible de cibler les zones pour les campagnes de vaccination.

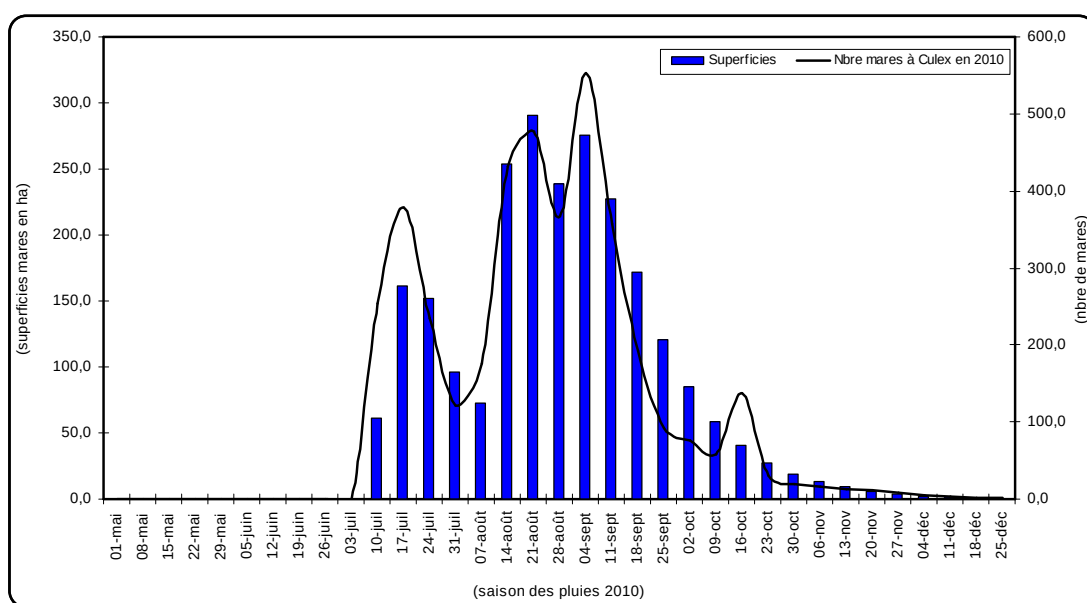


Figure 33 : Evolution des superficies et du nombre à mares Culex durant la saison des pluies 2010 sur la base des sorties du modèle ZPOM.

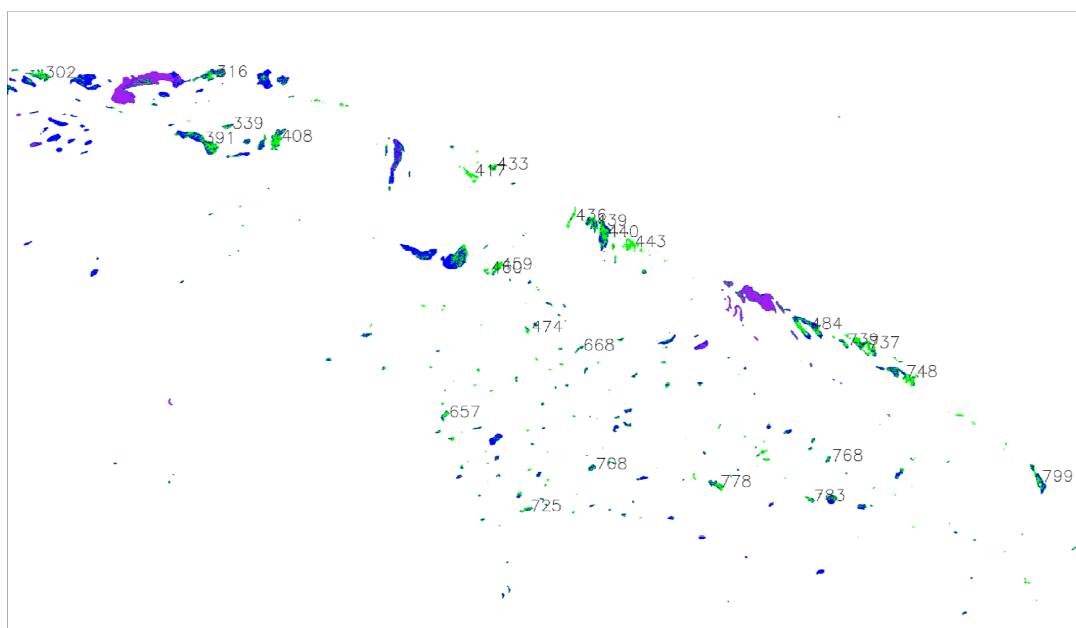


Figure 34 : Extrait d'une vue cartographique des mares autour de Barkédji à partir des sorties du modèle ZPOM de la zone de 45*45 km (en bleu, ce sont les mares en eau libre ; en vert, il s'agit de la végétation aquatique, et le violet correspond aux mares turbides ; les numéros indique les mares dont la superficie est supérieure à 1 ha)

Tableau 11 : Vue des statistiques le nombre des mares supérieure à 1 ha (sorties du modèle ZPOM) durant la saison des pluies sur la zone de 45*45 km centrée de Barkédji durant la saison des pluies 2010.

Microsoft Excel - stat fenetre Barkedji.xls

Fichier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

Répondre en incluant des modifications... Terminer la révision...

Arial 10

A1 Mares à Culex > 1ha - SP 2010

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1	Mares à Culex > 1ha - SP 2010	01-mai	08-mai	15-mai	22-mai	29-mai	05-juin	12-juin	19-juin	26-juin	03-juillet	10-juillet	17-juillet	24-juillet	31-juillet	07-août	14-août	21-août	28-août	04-sept	11-sept	18-sept	25-sept	02-oct	09-oct	16-oct	23-oct	30-oct	06-nov	13-nov	20-nov	
2	302	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	3,53	3,73	2,80	2,17	5,30	6,34	5,51	6,15	5,46	4,43	3,33	2,50	1,88	1,43	1,08	0,81	0,60	0,34	0,00	
3	316	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	5,00	5,28	3,97	3,07	7,51	8,97	7,80	8,71	7,73	6,27	4,71	3,54	2,66	2,02	1,53	1,15	0,86	0,65	0,00	
4	339	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,84	0,90	0,68	0,47	1,27	1,59	1,38	1,54	1,37	1,11	0,83	0,62	0,37	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	391	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,47	9,19	9,71	7,29	5,64	13,79	16,48	14,33	16,00	14,20	11,52	8,66	6,51	4,89	3,72	2,81	2,11	1,59	1,19	0,00	
6	408	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74	4,59	4,85	3,65	2,82	6,89	8,24	7,17	8,00	7,10	5,76	4,33	3,25	2,44	1,86	1,40	1,06	0,79	0,59	0,00	
7	417	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	1,37	1,45	1,09	0,84	2,06	2,46	2,14	2,39	2,12	1,72	1,29	0,97	0,73	0,53	0,25	0,03	0,00	0,00	0,00	
8	433	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,92	0,98	0,74	0,55	1,39	1,70	1,48	1,65	1,47	1,19	0,88	0,67	0,44	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	436	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	1,27	1,34	1,01	0,78	1,90	2,28	1,98	2,21	1,96	1,59	1,20	0,90	0,67	0,46	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	
10	439	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	3,13	3,31	2,48	1,92	4,69	5,61	4,88	5,45	4,84	3,92	2,95	2,22	1,66	1,27	0,96	0,72	0,50	0,22	0,00	
11	440	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,35	6,21	6,56	4,93	3,81	9,31	11,14	9,68	10,81	9,60	7,79	5,85	4,40	3,30	2,51	1,90	1,43	1,07	0,81	0,00	
12	443	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	2,33	2,46	1,85	1,43	3,50	4,18	3,64	4,06	3,60	2,92	2,20	1,65	1,24	0,94	0,71	0,50	0,21	0,02	0,00	
13	459	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	1,93	2,04	1,53	1,19	2,90	3,47	3,02	3,37	2,99	2,42	1,82	1,37	1,03	0,78	0,58	0,31	0,06	0,00	0,00	
14	460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,43	0,45	0,16	0,31	0,78	0,94	0,81	0,91	0,81	0,65	0,42	0,13	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15	474	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,44	0,46	0,17	0,20	0,75	0,95	0,83	0,92	0,82	0,67	0,43	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	484	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	7,39	7,81	5,87	4,54	11,09	13,26	11,53	12,87	11,43	9,27	6,97	5,24	3,93	2,99	2,26	1,70	1,28	0,96	0,00	0,00
17	503	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	1,11	1,18	0,88	0,68	1,67	2,00	1,74	1,94	1,73	1,40	1,05	0,79	0,58	0,32	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
18	546	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,64	0,71	0,50	0,23	1,00	1,30	1,13	1,26	1,12	0,91	0,68	0,46	0,16	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
19	592	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,90	0,96	0,72	0,53	1,36	1,68	1,46	1,63	1,44	1,17	0,88	0,66	0,43	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	604	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,73	0,80	0,59	0,35	1,12	1,44	1,25	1,40	1,24	1,01	0,76	0,55	0,27	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21	625	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	2,58	2,72	2,05	1,58	3,87	4,62	4,02	4,49	3,98	3,23	2,43	1,83	1,37	1,04	0,79	0,58	0,31	0,06	0,00	
22	657	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	1,09	1,16	0,87	0,67	1,64	1,97	1,71	1,91	1,70	1,38	1,03	0,78	0,57	0,30	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	668	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,49	0,55	0,27	0,08	0,78	1,05	0,91	1,02	0,90	0,73	0,52	0,24	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
24	708	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,93	0,99	0,74	0,55	1,40	1,71	1,49	1,66	1,48	1,20	0,90	0,68	0,45	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
25	718	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,50	0,57	0,30	0,09	0,80	1,08	0,94	1,04	0,93	0,75	0,54	0,26	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
26	725	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,92	0,98	0,73	0,54	1,38	1,69	1,47	1,64	1,46	1,18	0,89	0,67	0,44	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	737	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,91	5,05	5,34	4,01	3,10	7,58	9,06	7,88	8,80	7,81	6,34	4,76	3,58	2,69	2,04	1,54	1,16	0,87	0,65	0,00	0,00
28	739	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,04	1,10	0,83	0,64	1,56	1,88	1,63	1,82	1,62	1,31	0,99	0,74	0,53	0,26	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	
29	748	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07	5,48	5,79	4,35	3,36	8,22	9,83	8,55	9,54	8,47	6,87	5,16	3,88	2,92	2,22	1,68	1,26	0,95	0,71	0,00	0,00
30	768	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,51	0,58	0,31	0,09	0,81	1,09	0,94	1,05	0,94	0,76	0,55	0,27	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
31	778	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	2,08	2,20	1,66	1,28	3,13	3,74	3,25	3,63	3,22	2,62	1,97	1,48	1,11	0,84	0,63	0,39	0,11	0,00	0,00	
32	783	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,71	0,79	0,58	0,33	1,10	1,41	1,23	1,37	1,22	0,99	0,74	0,53	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
33	799	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	3,83	4,05	3,04	2,35	5,75	6,87	5,98	6,67	5,92	4,81	3,61	2,71	2,04	1,55	1,17	0,88	0,66	0,43	0,00	0,00
34	Superficies	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5	161,6	151,7	96,4	72,9	253,5	290,3	238,5	275,2	227,1	171,6	120,8	85,0	58,5	40,8	27,2	19,1	13,4	9,1	0,0	
35	Nbre mares à C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	254,1	377,7	234,3	121,1	176,6	431,7	476,6	367,4	553,9	356,7	192,0	91,6	75,7	58,0	137,3	30,3	19,3	16,3	13,6	1,0	0,0
36																																
37																																
38																																
39																																
40																																
41																																
42																																
43																																
44																																
45																																

3) Stratégie de communication

Pour que les mesures d'adaptation issues des bulletins ZPOM soient pleinement efficaces au niveau local, il s'agira aussi de prendre en compte une donnée importante et fondamentale pour la réussite des mesures d'adaptation : l'appropriation des produits élaborés par les communautés au niveau local.

Celle-ci exige que les produits soient accessibles certes, mais surtout qu'ils soient compréhensibles, ce qui va exiger qu'ils soient traduits en langue locale, notamment en peul et/ou wolof... Cela peut être largement envisagé dans la mesure où des campagnes d'alphabétisation ont fait leur preuve et elles constituent au Ferlo un élément facilitateur qui pourrait être mis à contribution en vue de la réussite de l'après-projet.

Il reviendra à la DSV de montrer la valeur ajoutée de produits élaborés dans le cadre du projet *AdaptFVR* pour faciliter leur appropriation. Il est prévu d'informer la population par des messages en langues locales sur les radios communautaires. Des réunions locales devraient également être organisées par les services vétérinaires pour mieux informer les autorités administratives, les élus locaux et les populations (éleveurs).

Une première forme concrète de communication a été réalisée grâce à des panneaux interdisant l'implantation des parcs à animaux à moins de 500m des mares ; ils ont déjà été mis en place.

La communication se fait également au niveau national, dans le cadre de la stratégie de globale communication du Ministère de l'Elevage sur les maladies animales (reconnaissance des maladies, conduite à tenir pour éviter leur apparition, mesures à mettre en œuvre pour éviter leur extension etc.).

En conclusion, plus concrètement dans la région du Ferlo, et sur la base du retour d'expérience du projet *AdaptFVR*, les partenaires, notamment la DSV, estime que les bulletins peuvent permettre de prendre en partie ou en totalité les mesures suivantes :

- l'orientation des éleveurs locaux et transhumants ;
- déplacements d'animaux pour les éloigner des zones à risques, interdiction d'accès aux zones à risques en rapport avec les organisations d'éleveurs et les responsables d'unités pastorales, les autorités locales et administratives et les partenaires au développement (ONG, Projets etc.) ;
- la vaccination des populations d'animaux soumis au risque par les services vétérinaires ;
- la lutte anti vectorielle (élimination des insectes adultes par pulvérisation) et anti larvaire (destruction des larves par traitement insecticide et larvicide des mares) en rapport avec les services compétents (services de la Direction de la Protection des Végétaux, service d'hygiène etc.) ;
- une communication envers les populations sur les risques et les mesures à prendre avant pendant et après une crise. Les réunions locales, les médias locaux et centraux seront mis à profit ;
- le renforcement de la surveillance au niveau des troupeaux, des mares, des mouvements d'animaux etc. ;
- le renforcement des capacités des agents de terrain afin de les préparer à la mise en œuvre des mesures préventives et à la riposte.

4.4. ADAPTATION REACTIONNELLE

A propos de mesures réactionnelles, si besoin en était, il faut mentionner qu'une fois la maladie déclarée, les mesures conventionnelles visant à limiter son extension doivent être mises en œuvre. Ainsi, il s'agit de délimiter la zone infectée et un périmètre de sécurité. Les mouvements d'animaux sont interdits dans les deux sens dans la zone infectée, les cadavres d'animaux y sont détruits et au besoin des malades abattus et détruits. La désinfection et la désinsectisation y sont opérées. Dans le périmètre de sécurité, les mouvements d'animaux sont contrôlés et la vaccination péri-focale réalisée. Dans la mesure du possible les populations de vecteurs sont réduites par pulvérisation d'insecticides.

Une communication de crise sera effectuée pour expliquer les mesures mises en œuvre, leur justification et leur impact immédiat et sur le long terme. Ces mesures seront mises en œuvre avec les autres secteurs compétents (administration territoriale, élus locaux, services techniques etc.).

La période de suivi ayant coïncidé avec une phase de silence de la maladie et de faible risque d'apparition de la maladie, aucune mesure préventive n'a été déployée pendant ladite période.

5. VALORISATION

Le projet AdaptFVR a été valorisé au travers de plusieurs actions.

5.1. BULLETINS ZPOM DE PREVISION

Bulletin n°1 : 7 juillet 2010

Bulletin n°2 : 10 juillet 2010

Bulletin n°3 : 15 juillet 2010

Bulletin n°4 : 2 août 2010

Bulletin n°5 : 16 août 2010

Bulletin n°6&7 : 16 septembre 2010

Bulletin n°8 : 1^{er} octobre 2010

5.2. PUBLICATIONS

- Cissé A., Bah A., Drogoul A., Cissé A.T., Ndione J.-A., Kébé C.M.F., 2012. Un modèle à base d'agents sur la transmission et la diffusion de la fièvre de la vallée du Rift à Barkédji (Ferlo, Sénégal). *Studia Informatica Universalis*, 77-97.
- GeoCarto, NASA Earth Observation Program for Public Health Special issue, December 2012, "CNES strategy, satellite data and modeling for public health: towards a cooperation with NASA », Murielle Lafaye and Cécile Vignolles, CNES; John Haynes and Sue Estes, NASA.
- Caminade C., Ndione J.-A., Jones A., Kébé C.M.F., Danuor S., Tay S., Tourre Y.-M., Lacaux, J.-P., Duchemin J.-B., Jeanne I., Morse A.P., 2011. Mapping Rift Valley fever and malaria risk over West Africa using climatic indicators. *Atmospheric Sciences Letter*, 12: 96-103.
- CNES Mag 2011, « Au Sénégal, le satellite protège les troupeaux », Murielle Lafaye et Cécile Vignolles, CNES
- Cécile Vignolles, Yves M.Tourre, Oscar Mora, Laurent Imanache, Murielle Lafaye, « TerraSAR-X high-resolution radar remote sensing : an operational warning system for Rift Valley Fever risk", *Geospatial Health* 5(1), 2010, pp.22-31

En cours de soumission :

- Dia I., Ndione J.-A., By Y., By D., Bocoum O., Diallo M., 2010. Mosquito species diversity and abundance in relation to land use/land cover in the Sahelian area of Senegal. *Soumis à Acta Tropica*.
- «Spatial analysis of the exposition of ruminant to RFV vector in Barkedji» par Ba Y, Talla C, Dia I, Ndione, J, Lafaye M, Vignolles C, Diallo M
-

D'autres publications sont à venir sur les thèmes suivants:

- Adaptation,
- Entomologie, "l'influence des facteurs environnementaux sur l'exposition des ruminants dans la zone de Barkédji.
- Actualisation de la modélisation du risque vectoriel,
- Influence de l'hétérogénéité des pluies sur la modélisation du risque vectoriel,

- Climat au Sahel.

5.3. COLLOQUES ET PRESENTATIONS

Présentations à l'occasion de colloques:

- ISPRS 2012, 25/8-01/09, Yves M. Tourre, "Remote sensing in a changing Climate and Environment: the Rift Valley Fever Case", Melbourne, Australia,
- Ndione J.-A., 2011. Climate, Environment and Health: Recent Achievements in Senegal, pp. 96-97, in Omumbo J.A., Platzer B., Girma A., Connor S.J. (2011), *Climate and Health in Africa: '10 Years On' Workshop*, Addis Ababa (Ethiopia) IRI Technical Report 1101, International Research Institute for Climate and Society, Palisades, NY, 114 p.
- 2011. Atelier de bilan et de prospective du programme RPIECSA sur les changements climatiques : priorités du réseau AMMANET pour le développement, Cotonou (Bénin), 18-21 octobre 2011. COMMUNICATION ORALE : Ndione J.-A., Gaye A.Th., Dia I., Diallo M., Ba Y., Bah A., Dème A., Kébé C.M.F., Faye A., Ba T., Ka A., Lacaux J.-P., Tourre Y., Vignolles C., Lafaye M., Güell A., Morse A., Caminade C., Sall B., Ndiaye El H.Y., Diouf M.B., Ndiaye O., 2011. Climate, environment and health: recent achievements in Senegal.
- 2011. Climate & Health in Africa: 10 years On, Addis-Ababa (Ethiopia), April 4-6, 2011. COMMUNICATION ORALE : Ndione J.-A., Lacaux J.-P., Tourre Y.-M., Vignolles C., Lafaye M., Güell A., Gaye A.Th., Diallo M., Dia I., Ba Y., Kébé C.M.F., Faye A., 2011. Climate, environment and health: recent achievements in Senegal.
- 2011. Climate Change and Health Workshop, Ness Garden (Wirral), United Kingdom, June 21, 2011. COMMUNICATION ORALE : Ndione J.-A., Lacaux J.-P., Tourre Y.-M., Vignolles C., Lafaye M., 2011. Risk mapping using high resolution remote sensing data: case study on Rift Valley fever (RVF) in Ferlo (Senegal).
- ISPRS 2011, 12-13 septembre 2011, Santa Fe (USA), « CNES satellite data and modeling for public health », Murielle Lafaye, CNES
- ISPRS 2011, 12-13 septembre 2011, Santa Fe (USA), "A conceptual approach of tele-epidemiology applied to Rift Valley Fever in Senegal", Cécile Vignolles, CNES
- NASA Public Health Program review, 13-16 septembre 2011, Santa Fe (USA), « CNES strategy, satellite data and modeling for public health », Murielle Lafaye, CNES
- Journée de la Société Française de Météorologie « Le changement climatique dans tous ses états » 23 mars 2011, « La Télé-épidémiologie, une aide à la santé dans un contexte de changement climatique », Murielle Lafaye, CNES
- Toulouse Space Show 2010, 8-11 juin 2010, session « Environnement-Climat-Santé », « Tele-epidemiology : which contribution for Earth Observation satellite data ? », Cécile Vignolles, CNES
- Tourre Y.-M., Lacaux J.-P., Vignolles C., Ndione J.-A., Lafaye M., 2010. Rift Valley Fever (RVF) risks in Senegal using high-resolution remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan, 343-348.
- Bop M., Sambou S., Kébé C.M.F., Ndione J.-A., 2010. Modélisation du fonctionnement hydrologique d'un bassin endoréique pour une application à l'étude de la fièvre de la vallée du Rift (FVR). *Global change: facing risks and threats to water resources* (Proceedings of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), IAHS Publ. 340, 305-313.

Présentations hors colloques :

- Au Ministère de la Santé, 15 novembre 2011, « CNES satellite data and modeling for public health », Murielle Lafaye, CNES
- A l'Institut Pasteur de Madagascar, octobre 2011, « CNES strategy, satellite data and modeling for public health », Murielle Lafaye, CNES
- au Centre de Compétences Techniques Applications, 12 mars 2011, « Télé-épidémiologie et Fièvre de la Vallée du Rift : études au Sénégal », Jacques-André Ndione, CSE
- au Ministère de la Santé, Direction Générale de la Santé, novembre 2010, Murielle Lafaye, CNES

5.4. MASTERES ET HDR

Habilitation à Diriger la Recherche :

Pendant la durée du projet, Jacques-André NDIONE du Centre de Suivi Ecologique de Dakar a brillamment passé son habilitation à Diriger la Recherche le 22 juin 2012.

- Soutenance de Jacques-André NDIONE le 22 juin 2012, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de climatologie, « Approche intégrée du complexe environnement-climat-maladies vectorielles au Sénégal : synthèse de travaux sur la fièvre de la vallée du rift, la dengue et le paludisme »

Stages de Mastère :

- Clément GUILLOTEAU, projet de fin d'étude ENSEEIHT, « Apport des outils spatiaux au suivi de la Fièvre de la Vallée du Rift : estimation et prévision des densités de vecteurs », septembre 2012, 55 pages
- Matias ALCOBA, rapport de Mastère 2 , « Apport des outils spatiaux au suivi de la Fièvre de la Vallée du Rift », juillet 2011, 35 pages
- Laurent IMANACHE, rapport de Mastère 2, « Fièvre de la Vallée du Rift : mise en place d'un système de prévention et d'alerte précoce », septembre 2010, 35 pages

5.5. REDGEMS

RedGems est un système interactif qui a été développé pour être **l'interface entre différentes équipes** travaillant sur un même projet, et aider ainsi à une meilleure analyse des relations santé, climat, environnement. Mais ce système a aussi pour ambition d'être **un outils de communication vers l'extérieur**.

Ce système repose sur une **approche multidisciplinaire** basée sur une meilleure connaissance des maladies ré-émergentes, de leur localisation géographique, et de l'impact des facteurs climatiques et environnementaux sur leur développement et leur propagation.

Le concept, qui sous-tend l'organisation de ce système, est basé sur des études particulières menées dans le cadre de **projets comme ADAPT RVF**.

Cette approche par projet, permet d'identifier expérimentalement les mécanismes qui relient les paramètres physiques, biologiques et socio-économiques associés aux maladies. La production de produits spatiaux adaptés permet ensuite de mettre en relation les épidémies avec certains facteurs favorisant le développement de vecteurs des maladies, ou la prolifération d'agents pathogènes, comme la végétation, les forêts, les étendues d'eau ou les mouvements de population. Enfin l'utilisation de modèles biomathématiques permet de modéliser la dynamique des épidémies.

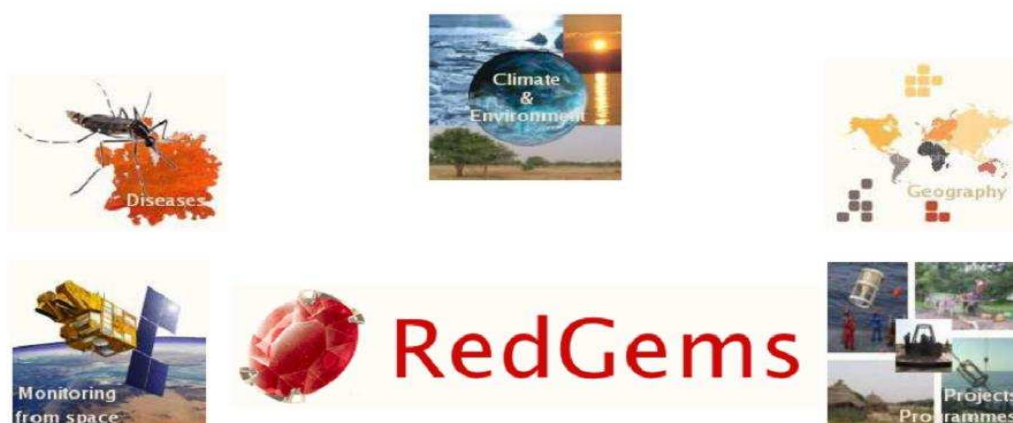
Ainsi **les principales composantes** du système sont :

- La présentation des **projets** et de leurs résultats,
- Une localisation **géographique** des études,
- L'analyse des facteurs **climatiques et environnementaux**,
- La description des **maladies** ré-émergentes,
- L'utilisation de **données spatiales**.

Pour chacune de ces composantes, une information générale est développée au regard des autres composantes du système. Le contenu est organisé de façon à pouvoir interagir avec les informations, articles, données et ressources les plus récentes et les plus pertinentes présentes sur le site, ou à l'extérieur.

Les résultats obtenus sont valorisés dans la **composante projet** du système RedGems, mais également dans les autres composantes du système (climat, maladies, géographie ou espace).

Cette organisation du système, et la multiplication des liens visent à aider à une compréhension globale des mécanismes en jeu, et offre à l'internaute la possibilité de passer d'un thème à l'autre, et d'approfondir le sujet.



RedGems (Re-Emergent Diseases Global Environment Monitoring from Space)
is an innovative and multidisciplinary information system.

Last updated on 2011/08/11

[About us](#) | [Privacy policy](#) | [Copyright](#) | [Contact us](#)

©2007 Médias-France

Page d'accueil du site Redgems. Chaque image permet d'accéder directement à la rubrique mentionnée.

Afin d'avoir une meilleure lisibilité, et une plus grande facilité d'accès, la composante projet a été scindée en deux : les projets de télé épidémiologie et les projets de télé médecine.

La notion de télé épidémiologie est expliquée en amont avant d'entrer dans chacun des projets. Un tableau récapitule les différents projets développés actuellement avec les maladies qui y sont traitées.

[HOME](#)
[Diseases](#)
[Climate and Environment](#)
[Geography](#)
[Space Tools](#)
[Projects](#)

- [Adapt FVR](#)
- [AMMA Health](#)
- [AMMA RVF Senegal](#)
- [EEQS](#)
- [MATE](#)
- [Paluclim](#)
- [PaluSat](#)
- [POLCA](#)
- [Vibrio Sea](#)

Teleepidemiology

Teleepidemiology study interaction between environment, climate and health. As regards monitoring epidemics, merging health data with environmental and climatic data gathered on the ground or by observation satellites (data on water, air, vegetation and soil) can be used to identify the conditions likely to cause diseases to develop and to gain a deeper understanding of the mechanisms involved in the spread of disease.

Using space-based techniques in this field is a major step forward in the battle to prevent diseases transmitted through water, the air or carriers (malaria, Rift Valley Fever, yellow fever, dengue...) which cause millions of deaths each year across the world.

The ultimate aim of these projects is to set up early-warning systems to predict epidemics

Project	- Diseases	- Country
Adapt FVR	RFV	Senegal
AMMA Health	RFV, Malaria	
AMMA RVF Senegal	RVF	Senegal
EEQS	Malaria	
MATE	Dengue	Argentina
Paluclim	Malaria	Sahelian Country
PaluSat	Malaria	Senegal
POLCA		Sahelian Country
Vibrio	Vibrios diseases	Mediterranean region

Articles

- [CNES teleepidemiology conceptual approach](#)

In the context of climate change and the rapidly increasing population, some epidemics are emerging or re-emerging. The French Spatial Agency (CNES) has thus developed a concept based on a deterministic approach of the relations climate-environment-health and on an original and really adapted space offer (Lacaux et al., 2007 ; CNES, 2008). This approach is mainly based upon the study of the key mechanisms and processes linking disciplines : environmental sciences, entomology, ornithology, (...) ([read more...](#))

C'est aussi ici, en amont de l'ensemble des projets de télé épidémiologie, que nous proposons un article expliquant l'approche conceptuelle développée grâce aux premiers projets intégrés dans le système RedGems.

Ce projet, en outre, a permis de mieux décrire cette approche conceptuelle et de la mettre plus en évidence dans le système Redgems

Adapt RVF a été intégré dans la composante télé-épidémiologie du système Redgems.



Adapt FVR

[Home](#) > [Projects](#) > [Teleepidemiology](#) > [Adapt FVR](#)

Search

[HOME](#)

[Diseases](#)

[Climate and
Environment](#)

[Geography](#)

[Space Tools](#)

[Projects](#)

[What is AdaptFVR project ?](#)

[Who are the partners ?](#)

[Space and AdaptFVR project](#)

[Timetable](#)

[Preliminary results and
publications](#)

[Study area and in situ data](#)

Keywords

[RVF](#) [Remote sensing](#)
[Pastoralism](#)

Related Information

- [AMMA RVF Senegal](#)
- [Preliminary results and publications](#)
- [Study area and in situ data](#)
- [Remote sensing](#)

Adapt FVR

AdaptFVR is a project to study the impacts of climate change on the emergence of Rift Valley Fever vectors in Senegal. It proposes to apply « [Tele-epidemiology](#) » [conceptual approach](#) as a linkage between climate, environment and health, to [Rift Valley Fever](#) in the sahelian Ferlo region in Senegal. It is proposed to study impacts of climate variability on RVF epidemiological scheme and to analyse its on risk forecast. Project objectives are to provide and validate dynamic maps of cattle risk exposure to RVF vector mosquitoes bites, then to study adaptation processes for pastoralism management addressing the predicted risk, and last to study the impact of climate variability, from seasonal until low frequency climatic modes, including tendencies and climate change, on risks forecasting.

This project is supported by the research program 'Management and Impacts of Climate Change' or '[Gestion et Impacts du Changement Climatique](#)' ([GICC](#)) managed by the [French Ministry of Ecology](#) (MEDDTL).

Articles

• [Timetable](#)

This project will take 24 months and is composed of 6 tasks (T1 à T6). ([read more...](#))

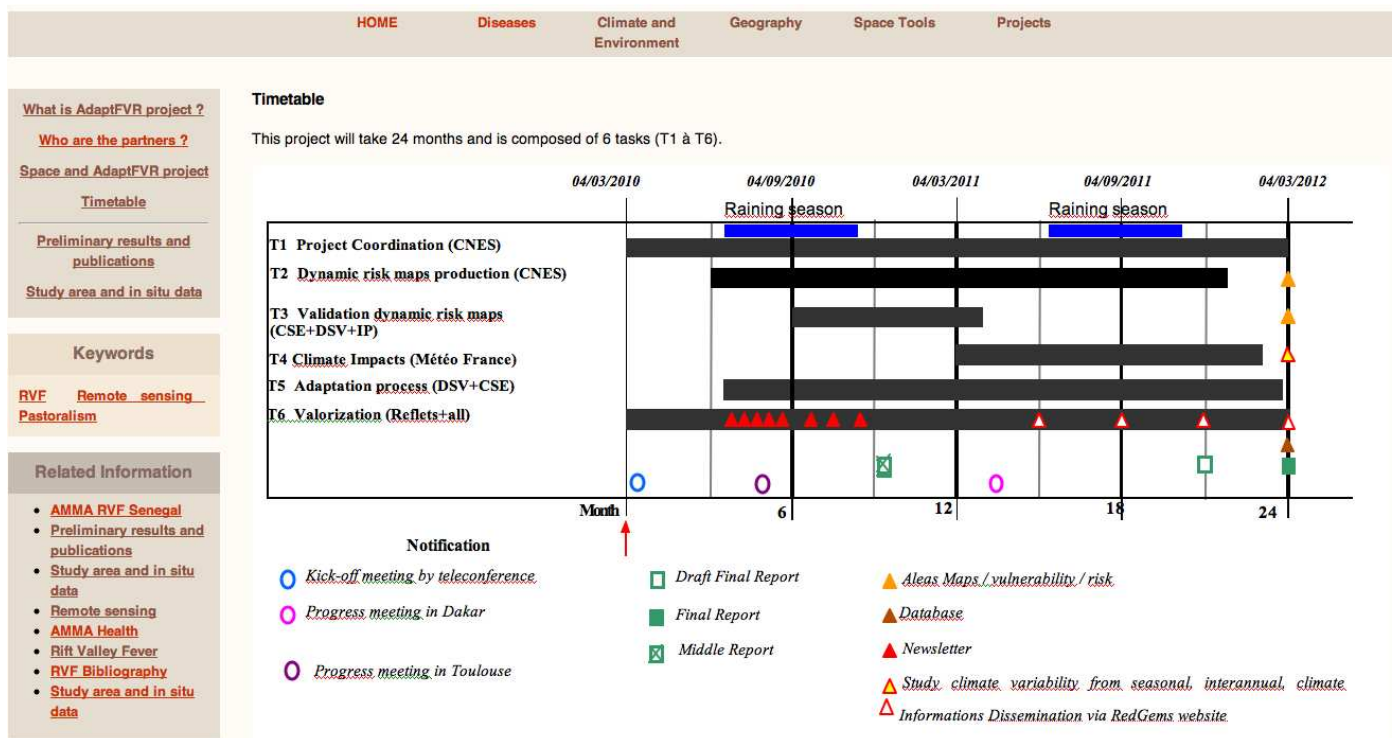
• [Space and AdaptFVR project](#)

In the context of climate change and the rapidly increasing population, some epidemics are emerging or re-emerging



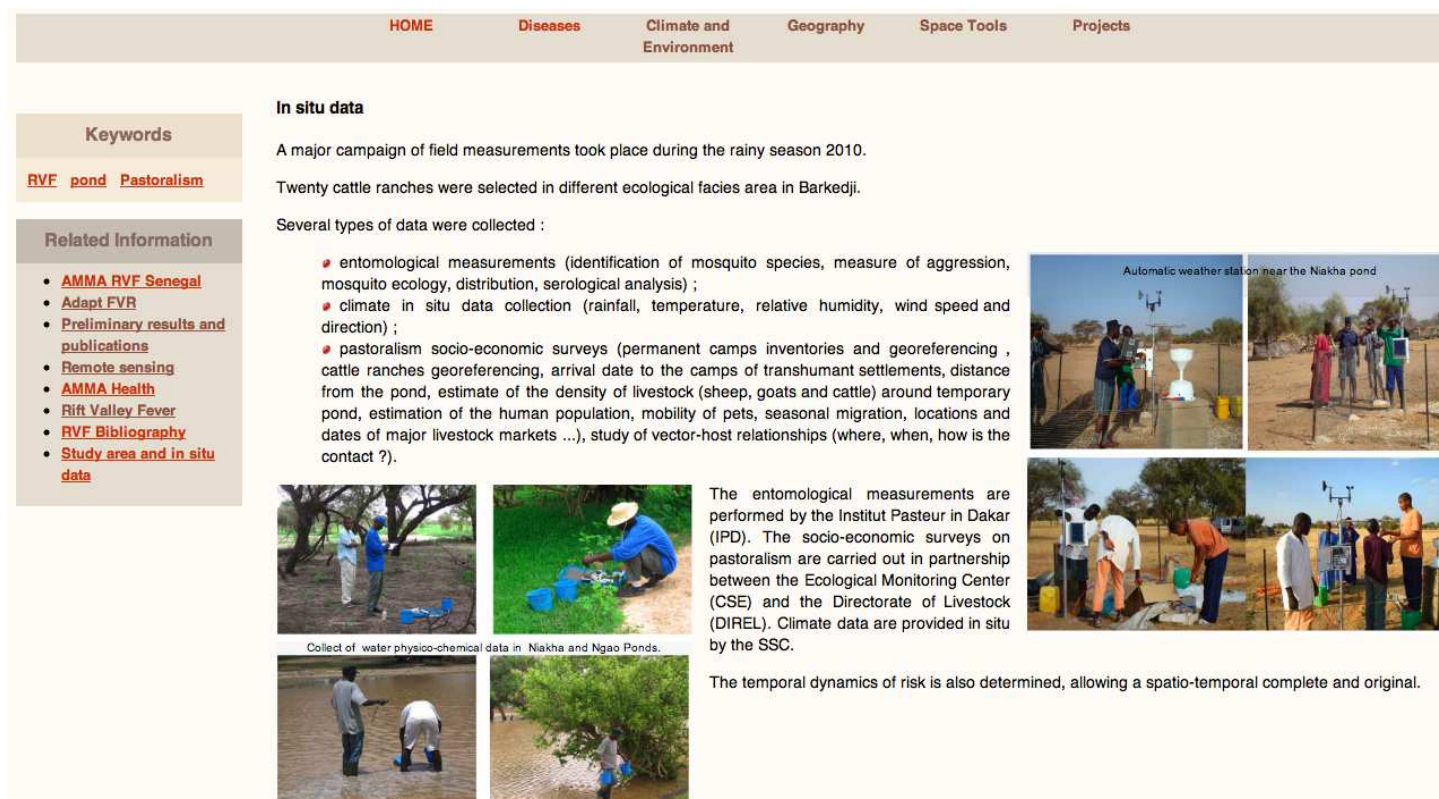
Pour ce projet, comme pour les autres nous retrouvons trois articles de base, décrivant les objectifs du projet, les partenaires et l'apport du spatial.

Nous avons également intégré un calendrier pour permettre à chacun, spécialiste ou simple internaute, de connaître et suivre le déroulement du projet.



Nous avons aussi proposé aux différents partenaires deux sous rubriques pour

- décrire les sites d'études et les mesures effectuées
- mettre en ligne les premiers articles et résultats.



Ces deux dernières rubriques n'ont pas été utilisées autant que nous l'espérions ; En effet, avec ce projet, nous avons mis en évidence une difficulté d'utilisation du système dû à son double objectif, d'être une plateforme d'échange d'informations entre partenaires du projet et être simultanément accessible à tout internaute.

Il est en effet parfois difficile pour une équipe de recherche de mettre en ligne des résultats tant que ceux-ci n'ont pas été publiés.

Cette étude terminée nous allons maintenant pouvoir mettre à disposition beaucoup plus d'informations.

CONCLUSION

La Fièvre de la Vallée du Rift est l'une des maladies prioritairement surveillée par le système de surveillance des épidémies (SNSE) car elle affecte le cheptel et cause de lourdes pertes économiques.

Dans le contexte de changement climatique en cours et à venir, prévoir comment pourrait évoluer les conditions environnementales et climatiques entrant en jeu dans les mécanismes d'émergence des moustiques vecteurs de cette zoonose serait une aide précieuse à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation.

Bénéficiant des résultats d'études antérieures qu'ils ont menées et grâce au soutien du programme GICC, les partenaires du projet AdaptFVR (CNES, Direction des Services Vétérinaires du Ministère de l'Elevage du Sénégal, Centre de Suivi Ecologique de Dakar, Institut Pasteur de Dakar, Météo France et l'Association Reflets) ont franchi des étapes décisives : la fourniture opérationnelle de cartes de prévision du risque d'émergence des moustiques vecteurs de la FVR et l'élaboration d'une stratégie d'adaptation intégrant ces cartes innovantes dans le SNSE du Sénégal.

La coordination a permis d'animer un vrai travail scientifique multi-disciplinaire, depuis l'organisation des campagnes de mesures de terrain, des activités de télédétection, de modélisation bio-mathématique, jusqu'à la fourniture quasi-opérationnelle durant toute la saison des pluies 2010 de cartes de prévision du risque d'émergence des moustiques vecteurs de la FVR et leur validation par les acteurs de terrain.

Sur la base des résultats du projet AdaptFVR, de l'animation de réflexions multi-disciplinaires transverses, et en prenant en compte le fait qu'un jour ces nouvelles cartes innovantes puissent être produites par un organisme sénégalais, la Direction des Services Vétérinaires du Ministère de l'Elevage du Sénégal a élaboré une stratégie d'adaptation. Cette stratégie comprend des mesures pour éloigner les troupeaux des zones à risque, des actions de lutte anti-larvaire pour limiter l'émergence et donc la propagation du virus par les moustiques, des actions de vaccination, mais aussi des actions de communication à l'échelon local, régional et national pour faciliter l'acceptation de ces mesures et intégrer ces nouvelles informations dans la réflexion des décideurs.

Le transfert du modèle prévisionnel de carte de risque d'émergence des moustiques vecteurs de la Fièvre de la Vallée du Rift est en cours de formalisation entre le CNES et le CSE. Ce transfert réalisé sur un organisme sénégalais dont les compétences sont reconnues internationalement devrait avoir un impact régional sur la prévision des risques vectoriels de la FVR.

Notons qu'actuellement, d'autres études utilisant la même approche de télé-épidémiologie sont en cours pour le paludisme en milieu urbain et rural dans le cadre du projet PaluClim soutenu par le programme GICC, et pour la dengue.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie relative à l'entomologie

Diallo, M. (1995). Dynamique comparée des populations de Culicidae à Kédougou (zone soudano-guinéenne) et à Barkedji (zone de savane sahélienne) : conséquences dans la transmission des arbovirus. *Mémoire de DEA de Biologie animale*. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 87 p

Diallo, M., Lochouart, L., Ba, K., Sall, A.A., Mondo, M., Girault, L., and Mathiot, C. (2000): First isolation of the Rift Valley fever virus from *Culex poicilipes* (Diptera: Culicidae) in nature. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 62, 702-704.

Ba, Y., Diallo, D., Kebe, C.M.F., Dia, I., and Diallo, M. (2005). Aspects of bio-ecology of two Rift Valley fever virus vectors in Senegal (West Africa): *Aedes vexans* and *Culex poicilipes* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 42 (5), 739-750.

Diallo, M., Nabeth, P., Bâ, K., Sall, A. A., Bâ, Y., Mondo, M., Girault, L., Abdalahi, M. O., and Mathiot, C. (2005). Mosquitoes vectors of the 1998-1999 outbreak of Rift Valley Fever and other arboviruses (Bagaza, Sanar, Wesselsbron and West Nile) in Mauritania and Senegal. *Medical and Veterinary Entomology*, n°19, pp. 119-126.

Ndiaye PI, Bicout DJ, Mondet B, Sabatier P, 2006. Rainfall triggered dynamics of *Aedes* mosquito aggressiveness. *J Theor Biol* 243, 222-229.

Ba, Y., Diallo, D., Dia, I., et Diallo, M. (2006). Comportement trophique des vecteurs du virus de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal: implications dans l'épidémiologie de la maladie. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique* 99 (4), 283-289.

Faye, O., Diallo, M., Diop, D., Bezeid, O. E., Bâ, H., Niang, M., Dia, I., Sid Ahmed, O. M., Ndiaye, K., Diallo, D., Ly, P.O., Diallo, B., Nabeth, P., Simon, F., Lô, B., and Diop, O.M. (2007). Outbreak of Rift Valley Fever in Mauritania, 2003: Association of a Rift valley fever outbreak in West Africa with the East-Central Africa virus lineage, Mauritania 2003. *Emerging Infectious Diseases*, 13, (7), 1016-1023.

Bibliographie relative à la télédétection

Lacaux J-P, Tourre YM, Vignolles C, Ndione J-A, Lafaye M, 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: application to Rift Valley fever epidemics in Senegal. *Remote Sens Environ* 106, 66-74.

CNES, 2008. Method for tele-epidemiology (Méthode pour la télé-épidémiologie). Patent delivered

Tourre YM, Lacaux J-P, Vignolles C, Ndione J-A, Lafaye M, 2008. Mapping of zones potentially occupied by *Aedes vexans* and *Culex poicilipes* mosquitoes, the main vectors of Rift Valley Fever in Senegal. *Geospat Health* 3, 69-79.

Ndione, J-A., J-P. Lacaux, Y. M. Tourre, C. Vignolles, D. Fontanaz, and M. Lafaye, 2009: Water ponds and sanitary risk in the Ferlo area: Contribution of remote sensing in studying Rift Valley Fever between August 2003 and January 2004. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 20, 153-160, doi : 10.1684/sec.2009.0170.

Tourre, Y.M., J-P. Lacaux, C. Vignolles, and M. Lafaye, 2009: Climate impacts on environmental risks evaluated from space: a conceptual approach to the case of Rift Valley Fever in Senegal. *Global health Action*, Climate Change and Infectious Disease, 2 , 10.3402/gha.v2i0.2053.

Vignolles, C., Y. M. Tourre, O. Mora, and M. Lafaye, (2010): TerraSAR-X high-resolution radar remote sensing: an operational warning system for Rift Valley fever risk, *Geospatial Health*, 5(1), 23-31

Bibliographie relative à l'environnement

Sy O., 1998, La transhumance transfrontalière, source de conflits au Ferlo (Sénégal), *Mappemonde*, 2, 1-13

Ndione, J-A., et Kébé, C.M.F. (2002). Epizootie de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal en 1987 : conditions pluviométriques d'une émergence. *Publ. de l'Association Internationale de Climatologie*, 14 : 428-36.

Bicout, D. J., Porphyre, T., Ndione, J-A., and Sabatier, P. (2003). Modelling abundance of *Aedes* and *Culex* spp in rain fed ponds in Barkédji, Senegal, ISVEE Proceedings of the 10th International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics.

Ndione, J-A., Besancenot, J-P., Lacaux, J-P., et Sabatier, P. (2003). Environnement et épidémiologie de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) dans le bassin inférieur du fleuve Sénégal. *Environnement, Risques et Santé*, 2, 1-7.

Besancenot, J-P., Handschumacher, P., Ndione, J.A., Mbaye, I., et Laaidi, K. (2004). Climat, eau et santé au Sahel ouest africain, *Sécheresse*, Vol 15, n°3, 233-241.

Mondet, B., Diaité, A., Ndione, J-A., Fall, A.G., Chevalier, V., Lancelot, V., and Ponçon, N. (2005). Rainfall patterns and population dynamics of *Aedes* (*Aedimorphus*) *vexans arabiensis*, Patton 1905 (Diptera, Culicidae), a potential vector of Rift valley virus in Senegal, *J. Vect. Ecol.*, 30, (1):102-106.

Ndione, J-A., Bicout, D., Mondet, B., Lancelot, R., Sabatier, P., Lacaux, J-P., Ndiaye, M., et Diop, C. (2005). Conditions environnementales associées à l'émergence de la fièvre de la vallée du Rift dans le delta du fleuve Sénégal en 1987, *Environnement, Risques et Santé*, Vol. 4, n°2, S5-S10.

Ndione, J-A., Diop, M., Lacaux, J.P., et Gaye, A.T. (2006). Pluviométrie et émergence de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) dans la vallée du fleuve Sénégal : nouvelles considérations, Actes du 1^{er} Colloque Francophone en Environnement et Santé (2006), Dakar, pp.1-7.

Ndione, J-A., Diop, M., Mondet, B., Diop, C., et Dacosta, H. (2006). Emergence de la Fièvre de la Vallée du Rift au Sénégal et variabilité intra saisonnière de la pluviométrie, African Monsoon Multidisciplinary Analyses (AMMA), Extended abstracts, 1st International Conference, Dakar, pp 586-588.

Ndione, J-A., Lacaux, J.P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Fontannaz, D., et Lafaye, M., (2008). Mares temporaires et risques sanitaires au Ferlo : contribution de la télédétection pour l'étude de la Fièvre de la vallée du Rift entre août 2003 et janvier 2004, *Sécheresse*, (sous presse)

Ndione, J-A., Diop, M., Lacaux, J-P., et Gaye, A. T. (2008). Variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie et émergence de la fièvre de la vallée du rift (FVR) dans la vallée du fleuve Sénégal : nouvelles considérations, *Climatologie*, Vol 5, (sous presse).

Ba T., 2011, Dynamique de l'occupation du sol de la communauté rurale de Barkédji au Ferlo (Nord-Sénégal), Mémoire de DEA, FST-UCAD, 48p.

Bibliographie relative à la santé animale (pastoralisme)

Chevalier, V., Lancelot, R., Thiongane, Y., Sall, B., Diaité, A., and Mondet, B. (2003), Rift Valley Fever in Small Ruminants, Senegal, 2003, *Emerging Infectious Diseases*, 11 (11), 1693-1700.

Sall, B. (2001). Epidémiologie-surveillance de la FVR au Sénégal : objectifs, méthodologie, résultats obtenus. In : Lefèvre PC, éd. *Séminaire sur la surveillance épidémiologique et le contrôle de la fièvre de la vallée du Rift en Afrique de l'Ouest*, Dakar : FAO, pp. 17-19.

Bibliographie relative à la météorologie

Álvarez-García, F., M. Latif, A. Biastoch, 2008: On Multidecadal and Quasi-Decadal North Atlantic Variability. *J. Climate*, 21, 3433–3452. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2007JCLI1800.1>

AMO:

[http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=\[Keyword%3D%27Atlantic+Multidecadal+Oscillation%27\]&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=NOAA_NWS_CPC_AMO&MetadataView=Full&MetadataType=0&lnode=mdlb3](http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=[Keyword%3D%27Atlantic+Multidecadal+Oscillation%27]&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=NOAA_NWS_CPC_AMO&MetadataView=Full&MetadataType=0&lnode=mdlb3)

Bastin, S., and A. Revelard, 2011 : Etude préliminaire de la variabilité interannuelle de la mousson africaine à partir de la simulation WRF-CORDEX. http://region.ipsl.fr/cordex1/CORDEX_Bastin.pdf

Colin J., M. Deque. R. Raduz, and S. Somot, 2010. Sensitivity study of heavy precipitation in Limited Area Model climate simulations: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique. *Tellus A*, 62, 5, 591–604. doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00467.x

CORDEX: http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/RCD_Projects/CORDEX/CORDEX.html

Deser, C., and M.I S. Timlin, 1997: Atmosphere-Ocean Interaction on weekly timescales in the North Atlantic and Pacific. *J. Climate*, 10, 393-408.

EUROSIP

multi-models

system:

<http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/seasonal/forecast/eurosip/>

Fontenille, D, M. Traore-Lamizana, M. Diallo, J. Thonnon , J-P. Digoutte, and H. G. Zeller, 1998: Nouveaux vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift en Afrique de l'Ouest. *Emerg Infect Dis.*, 4 , 289-293.

Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu, E. J. Nelkin, K. P. Bowman, Y. Hong, E. F. Stocker, and D. B. Wolff, 2007: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *J. Hydrometeor.*, 8, 38-55.

Knight, J. R., C. K. Folland, and A. A. Sacife, 2006: Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17706, doi:10.1029/2006GL026242.

Kummerow, C., Barnes, W., T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, 1998: The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15, 809-817.

MacKellar, N., J. H. Christensen, and P. Lucas-Picher, 2010 : Modèles, projections et incertitudes climatiques en Afrique Sub-saharienne : Introduction pour les chercheurs et les décideurs., CC DARE, *Climate Change and Development-Adapting by Reducing Vulnerability*, UNEP-RISO Centre, pp 24. http://www.ccdare.org/Portals/131/Documents/CCDARE_ClimateModels_FR.pdf

Marechal, F. N. Ribeiro, M. Lafaye, and A. Güell, 2008: Satellite imaging and vector-borne diseases: the approach of the French National Space Agency (CNES). *Geospatial Health*, 3, pp. 1-5.

Ndione, J-A., J-P. Lacaux, Y. M. Tourre, C. Vignolles, D. Fontanaz, and M. Lafaye, 2009: Water ponds and sanitary risk in the Ferlo area: Contribution of remote sensing in studying Rift Valley Fever between August 2003 and January 2004. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 20, 153-160, doi : 10.1684/sec.2009.0170.

Nikulin, G. and co-authors, 2012: Precipitation Climatology in An Ensemble of CORDEX-Africa Regional Climate Simulations. *J. Climate* , e-view, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00375.1>.

Paz, S., Y. M. Tourre, and J. Brolley, 2008: Multitemporal climate variability over the Atlantic Ocean and Eurasia: linkages with Mediterranean and African climate. *Amos. Sci. Lett.*, 9, 196-201. doi:10.1002/asl.181.

Rajagopalan, B., Y. Kushnir, and Y. M. Tourre, 1998: Observed decadal midlatitude and tropical

Atlantic climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3967-3970.

Rogel P., Y. M. Tourre, V. Benoit, and L. Jarlan, 2006: Atlantic moisture availability and precipitation over West Africa: Application to DEMETER hindcasts. *Geophys. Res. Letters*, 33, L21711.

Sahel rainfall: http://jisao.washington.edu/data_sets/sahel/

Shanahan, T.M., J. T. Overpeck, K. J. Anchukaitis, J. W. Beck, J. E. Cole, D. L. Dettman, J. A. Peck, C. A. Scholz, and J. W. King, J.W., 2009: Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa: *Science*, 324, 377-380. <http://www.geo.utexas.edu/faculty/shanahan/pdf/Shanahan09-Science.pdf>

Tourre, Y. M., B. Rajagopalan and Y. Kushnir, 1999: Dominant patterns of climate variability in the Atlantic ocean during the last 136 years. *J. Climate*, 12, 2285-2299.

Tourre YM, Fontannaz D, Vignolles C, Ndione JA, Lacaux JP, and M. Lafaye, 2007: GIS and high-resolution remote sensing improve early warning planning for mosquito-borne epidemics. *HealthyGIS Newsletter* ESRI-Summer 2007.

Ndione J-A, Diop M, Lacaux J-P, Gaye AT, 2008. Variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie et émergence de la fièvre de la vallée du rift (FVR) dans la vallée du fleuve Sénégal: nouvelles considérations. *Climatologie* 5, 83-97.

Tourre, Y.M., J-P. Lacaux, C. Vignolles, and M. Lafaye, 2009: Climate impacts on environmental risks evaluated from space: a conceptual approach to the case of Rift Valley Fever in Senegal. *Global health Action*, Climate Change and Infectious Disease, 2 , 10.3402/gha.v2i0.2053.

doi: 10.3402/gha.v2i0.2053. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2799327/>

Tourre, Y.M., S. Paz, Y. Kushnir and W.B. White, 2010: Low-frequency climate variability in the Atlantic basin during the 20th century. *Atmos. Sci. Lett*, 11, doi: 10.1002/asl.265.

TRMM : http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/text/handbook_e.pdf

Vignolles, C. 2011: A Conceptual Approach of Tele - epidemiology applied to the Rift Valley Fever in Senegal. ISPRS Commission VIII, Working Group 2 on Health Symposium of Advances in Geospatial Technologies for Health, Santa Fe, NM, USA, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/8-C23/pdf/Vignolles.pdf>

Zhang R., and T. Delworth, 2006: Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17712, doi:10.1029/2006GL026267.

Les plans de gestion élaborés sont mis en œuvre de façon consensuelle, constituent une convention locale adoptée par les populations locales pour une meilleure gestion de leurs ressources. Le tableau en annexe fournit une synthèse de l'évaluation du plan de gestion de l'UP de Barkédji ainsi que le niveau d'implication des membres de l'unité pastorale.

Au Sénégal cette approche est développée par deux projets de développement pastoral à savoir le PRODAM et le PAPEL. Avant, l'approche a été testée au Sénégal oriental en 1979 dans le cadre du projet de développement de l'élevage au Sénégal oriental (PDESO).

1. GENERALITES

1.1 Situation

Au Ferlo, la durabilité de l'élevage pastoral repose sur la diversité et la flexibilité des régimes de mobilité. Depuis les années 90, le PAPEL (Projet d'Appui à l'Élevage) intervient dans la zone pour organiser la gestion des ressources naturelles à l'échelle des unités pastorales (UP), avec l'objectif affiché d'assurer le contrôle et la durabilité de cette activité. Une Unité Pastorale (UP) est constituée de « l'espace et de l'ensemble des ressources polarisées par un forage pastoral » (Faye, 2001).

Il s'agit pour un ensemble de localités de se partager un même espace pastoral voire agricole et d'exploiter les mêmes points d'eau compte tenu de leurs intérêts économiques et de leurs liens historiques et de voisinage. Les communautés vivant sur une même UP ont des droits prioritaires d'exploitation des ressources au niveau de leur terroir mais également des responsabilités à l'égard de ces ressources (PAPEL, 2005). L'implantation des UP est censée découler d'une démarche participative auprès des populations concernées. Deux phases de mise en œuvre (1993-2002 et 2003-2008) se sont succédées et ont permis l'implantation de 20 UP (10 par phase).

La Communauté rurale est le quatrième niveau de découpage administratif après la région, le département et l'arrondissement. Elle est dirigée par un conseil rural qui dispose d'un président à sa tête. La Communauté rurale peut comporter généralement une ou plusieurs unités pastorales en son sein.

La nouvelle unité pastorale de BARKEDJI est située dans le Ferlo sableux-argileux. Elle est entièrement comprise dans la communauté rurale du même nom (figure aa), dans le département de Linguère (Région de Louga). Elle est limitée au nord par l'UP de Younoufé, au sud par celle de Thiel et à l'est par celle de Vélingara (figures nn et pp).

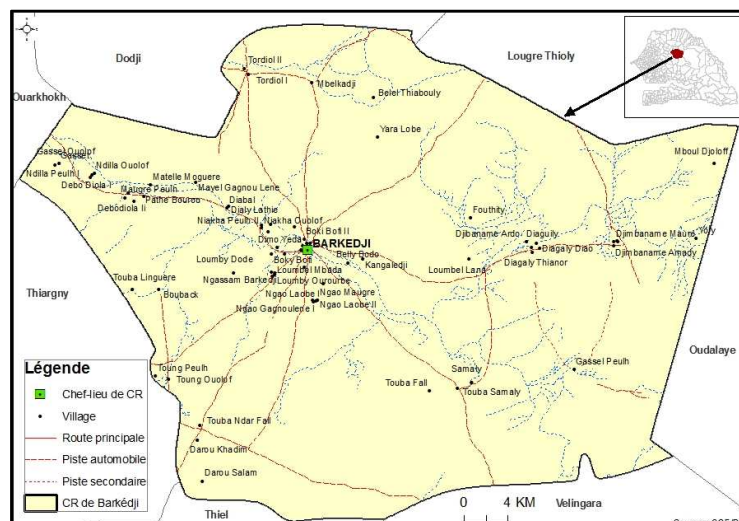


Figure aa : Carte administrative de la Communauté Rurale de Barkédji (Source : Ba, 2011)

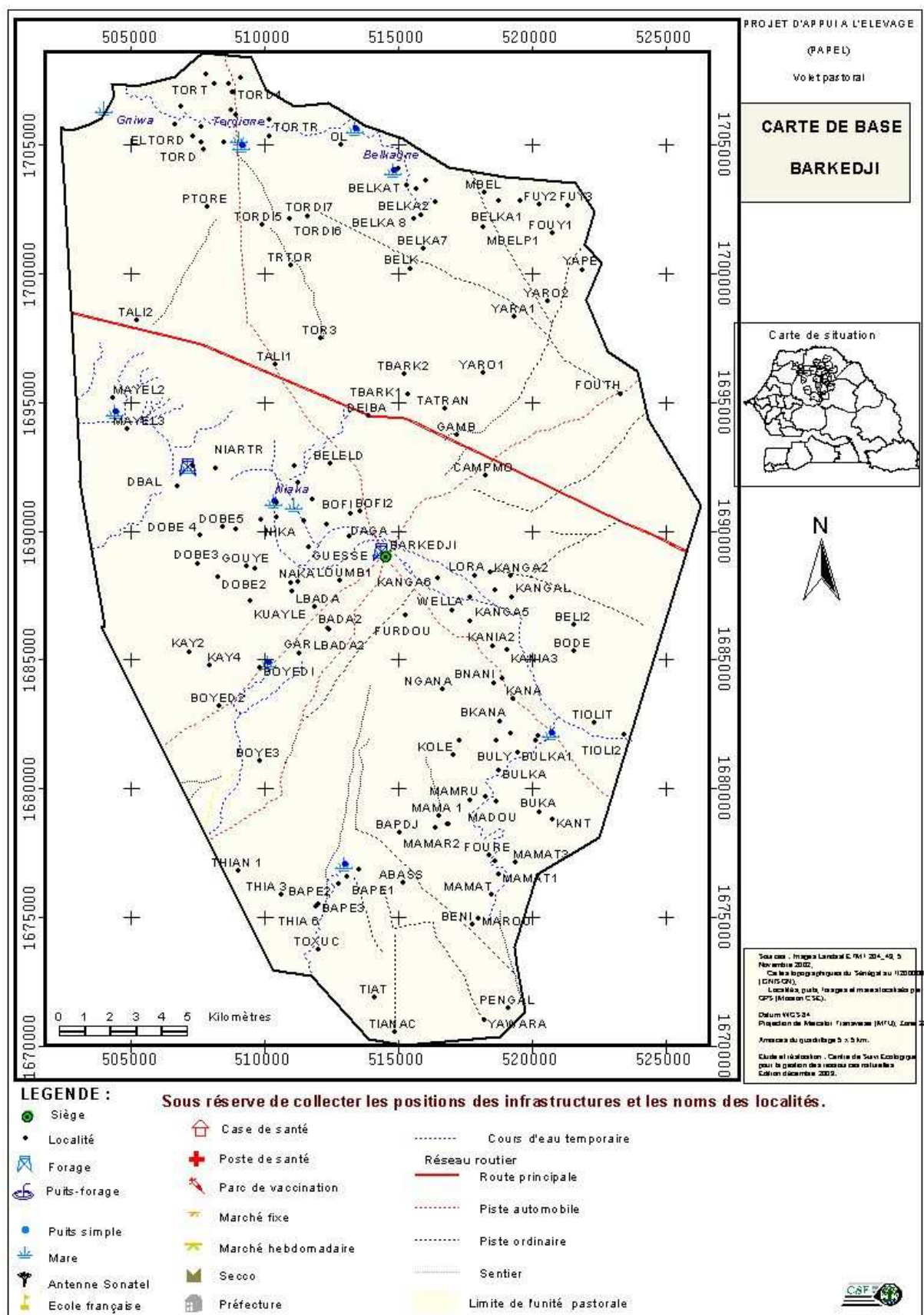


Figure nn : Carte de situation de l'UP de Barkedji (Source : CSE, XXXX)

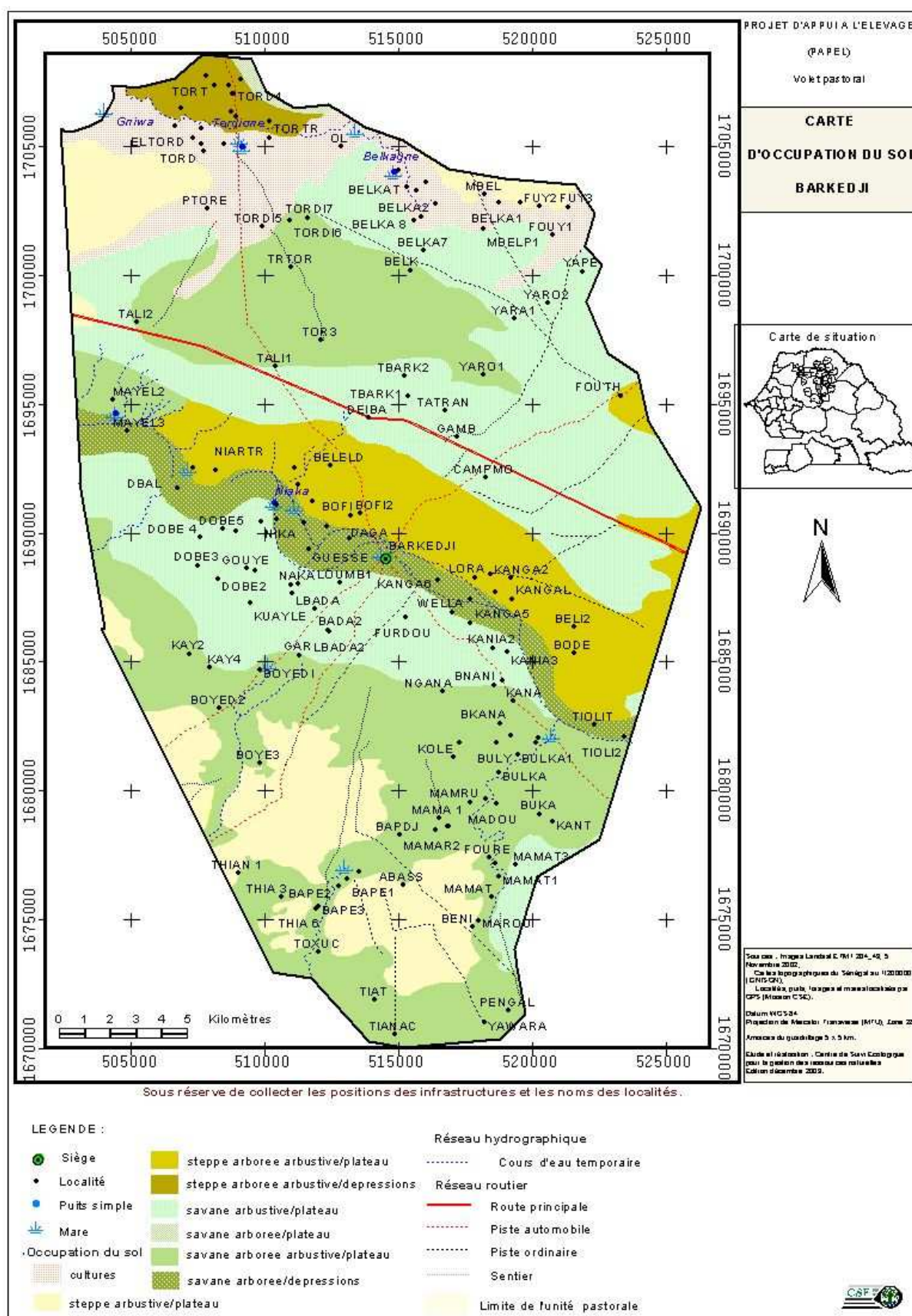


Figure pp : Carte de l'occupation des sols de l'UP de Barkédji (Source : CSE, XXXX)

Sur le plan foncier, l'UP s'étend pour près de la moitié sur les forêts classées de Barkédji-Dodji et de Vélingara), donc sur le domaine protégé. Seule la partie occidentale est dans la zone de terroir.

Le climat est sahélien avec deux saisons : une saison des pluies courte (environ 3 mois) et une saison sèche (environ 9 mois).

1.2 Les aspects socio-démographiques

Les principales ethnies présentes sont par ordre d'importance Peulhs, Maures et Ouolof. Les sous-classes de l'ethnie Peulh, au nombre de sept sont les suivantes : Sanarabés, Ourourbés, Wadabés, Fafabés, Bisnabés, Mbeynabés, Pampinabés et Edynabés.

Comme un peu partout dans le Ferlo, zone par essence vouée à l'élevage (zone sylvo-pastorale), les femmes sont mobilisées par la corvée d'eau, l'alimentation du bétail, les cultures de case, les corvées domestiques, la production du lait, la fabrication du beurre de vache, la construction ou la réfection des cases, les produits de cueillette et le petit commerce. Elles partagent avec les enfants la conduite et le gardiennage du troupeau des petits ruminants notamment. Mais ici à Barkédji, les femmes, toutes ethnies confondues, sont très actives dans l'alphabétisation. Elles sont élèves ou monitrices pour beaucoup d'entre-elles. Par ailleurs, les femmes maures sont très actives par moments dans le tissage de vannes, la tannerie et la vente de tabac. Aussi, dans les villages où l'accès à l'eau est correct, les femmes font du maraîchage.

S'y ajoute le fait que la CR de Barkédji est une zone d'accueil des transhumants au cours de la saison des pluies. En 2002, dans le cadre du projet EMERCASE, Chevalier et al (2002) ont montré que « l'analyse des mouvements de transhumance a révélé des situations contrastées selon la saison (figure XX). Dès le début de la saison pluvieuse (figure XX a), de nombreux mouvements ont été observés, mais peu d'éleveurs s'établissaient à Barkédji : la zone servait de transit pour des éleveurs venant essentiellement de l'est du Ferlo et du Sine-Saloum. Au cœur de la saison pluvieuse (août-septembre), les éleveurs transhumants étaient nombreux. Au maximum de leur présence, leurs troupeaux représentaient la moitié des effectifs de la CR de Barkédji. La moitié de ces transhumants venaient des CR voisines, notamment celle de Vélingara, adjacente à Barkédji (sud). Les autres étaient originaires de l'est du Ferlo, de l'est du Siné-Saloum et de la frontière gambienne (voire de la Gambie elle-même). Quelques éleveurs venaient du centre du bassin arachidier (Diourbel) et de la vallée du fleuve Sénégal. Dès le mois d'octobre (graphe en bas à gauche), les éleveurs transhumants ont regagné leur lieu de séjour de saison sèche, avant l'épuisement des ressources en eau et des pâturages. En saison sèche (figure XX d), la plupart des éleveurs présents étaient sédentaires. Les rares éleveurs transhumants rencontrés effectuaient des mouvements de faible amplitude, à la recherche des pâturages résiduels.

Plus récemment, grâce aux projets AMMA et AdaptFVR, les résultats enregistrés confirment ces observations avec une légère variation par endroits généralement fonction de la précocité ou non de la saison des pluies. Par exemple, à propos de la saison des pluies 2010, Thomas Manga (Chef de Service vétérinaire de Barkédji) pense que la transhumance peut être considérée comme précoce par rapport aux années précédentes ; il note une aussi une légère augmentation des flux (petits ruminants et bovins). En revanche, celui des dromadaires est nette augmentation depuis plusieurs années et cette transhumance s'amplifie par ailleurs. Par endroits, il note une relative réduction (pas de disparition pour le moment, mais ce n'est à exclure dans le futur) du *Zornia glochidiata*, une espèce très appréciée par le bétail. A l'opposé, une autre herbacée a fait son apparition ; les populations l'appellent « *Niakhou Saloum* » ; elle n'est pas appréciée en saison des pluies mais elle l'est en saison sèche.

Ces mouvements de transhumants (tout comme ceux relatifs aux mouvements commerciaux du bétail) ne doivent pas être occultés compte tenu de leur importance à considérer dans la propagation des maladies infectieuses et parasitaires. D'ailleurs, dans le cycle épidémiologique de la FVR au

Ferlo, Diallo (1995). En réalité, si l'on s'inquiète de la transhumance par rapport à cette problématique, il se trouve que l'inquiétude vient surtout du fait que l'état immunitaire des troupeaux transhumants n'est pas toujours facile à appréhender (problème de contrôle), ce qui nous oblige alors à poser ce débat (Ndione et al, 2003 ; FAO, 2003).

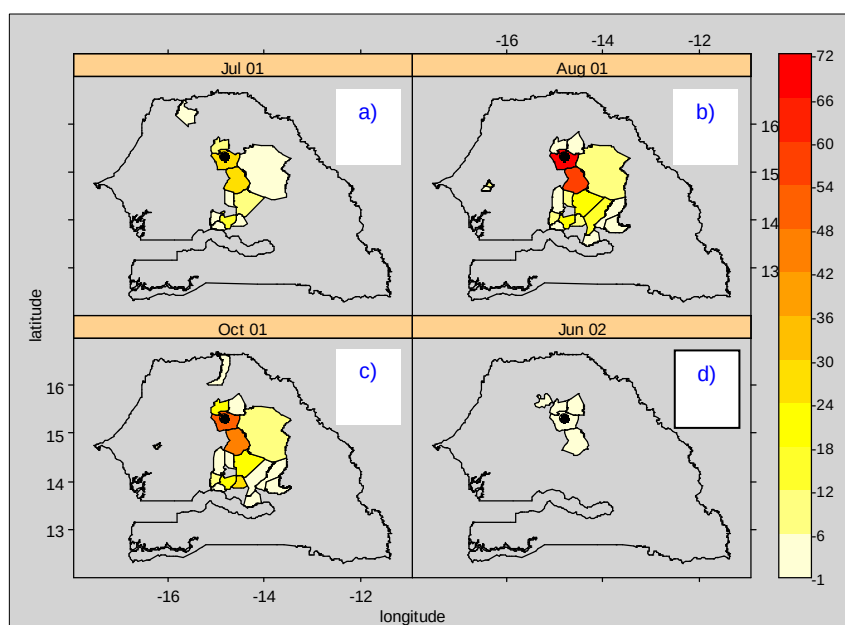


Figure XX : Origine des troupeaux transhumants enquêtés dans la zone d'étude (chiffres bruts) pendant la saison pluvieuse 2001 et la saison sèche 2001-2002 (la CR de Barkédji est marquée par un point noir ; Source : adapté de Chevalier et al, 2002)

2. LES RESSOURCES NATURELLES ET LES SYSTEMES DE PRODUCTION

2.1 Les ressources en eau

Au plan local, la variabilité forte spatio-temporelle des cumuls pluviométriques annuels marqués par une réduction malgré des saisons de pluies humides ces dernières années (en l'occurrence 2005, 2008 et 2009), reste associée souvent à un démarrage tardif et une fin précoce de la saison des pluies.

A côté des ressources pluviométriques, l'UP dispose de mares. Celles-ci, mis à part les forages, elles demeurent quasiment les seules sources d'approvisionnement en eau entre juillet et février. Elles permettent ainsi aux populations de disposer de l'eau de boisson mais également d'abreuver le bétail (zébus de race Gobra ainsi que de petits ruminants, des ânes et des chevaux et de quelques dromadaires). En réalité, Barkédji est situé dans les vallées fossiles du Ferlo et reste entouré par des bas-fonds (ramifications du Ferlo) qui collectent l'eau sous forme de mares temporaires dès le début de la saison des pluies. Lacaux et al (2007) ont grâce à l'outil satellitaire ont pu identifier 1354 mares au mois d'août 2003 autour de Barkédji. Parmi les grandes mares, on peut citer Niakha, Wendou Ecole, Loumbel Lana, Moguéré qui sont particulièrement utiles dans l'abreuvement du

troupeau pendant la saison des pluies. En général, la durée d'enneigement des mares après la saison des pluies peut aller de deux à trois, voire quatre mois (novembre à début février).

Mais en dehors de l'irrégularité des pluies, certaines mares de l'UP sont confrontées à une importante pression animale, à l'ensablement et au colmatage de leurs émissaires ; ceci résulte de l'érosion hydrique et éolienne d'autant plus intense que le type de sol est fragilisé en surface. On signale par ailleurs une autre contrainte afférente aux mares. Il s'agit de la dégradation de l'environnement physique de celles-ci en rapport avec des activités mal contrôlées et un surpâturage.

Les effets combinés des facteurs précités et des transhumants qui campent aux abords des mares, constituent de lourdes menaces sur le devenir de ces dernières. Il faut signaler cependant l'existence de deux mares aménagées : Moguéré et Loumbel Lana dans la communauté rurale.

Les autres ressources en eau proviennent du forage de Barkédji, des puits-forages de Diabal et de Mogré. Les puits ordinaires captent la nappe entre 85 et 90 m. Les plus anciens datent de la période coloniale. Globalement, les ressources en eau sont de bonne qualité. Mais, elles ne sont pas partout facilement accessibles.

2.2 Les ressources végétales

La formation végétale dominante est la savane. Elle est arbustive dans la zone de terroir et arborée mais dégradée au niveau des aires protégées. La sécheresse et les actions anthropiques ont entraîné la disparition de certaines espèces et la contraction des ligneux au niveau des bas fonds (Louguéré).

Les essences ligneuses les mieux conservées sont : *Balanites aegyptiaca*, *Pterocarpus lucens* et *Guiera senegalensis*. Tandis que celles qui ont disparu ou qui sont particulièrement menacées pour leur survie sont : *Mitragina inermis*, *Grevia bicolor*, *Combretum glutinosum* et *Tamarindus indica*.

En ce qui concerne la strate herbacée, nous avons surtout trois principales essences : *Limeum pterocarpum*, *Zornia glochidiata* et *Eragrostis tremula*.

Le couvert végétal est fragilisé essentiellement ici par la sécheresse et le surpâturage. C'est d'ailleurs le surpâturage qui pourrait être le principalement responsable de la disparition de certaines herbacées ; à cet effet, *Eragrostis pilosa* et *Crotalia sp.* est cité en exemple.

Le système de suivi et évaluation des pâturages mis en place par le PAPEL dans le cadre d'un partenariat avec le CSE a permis d'installer dans la zone de desserte de l'unité pastorale des sites de contrôle au sol et les résultats des relevés effectués (PAPEL/CSE, 2005) sont les suivants.

Tableau :

Composition floristique strate herbacée

Barkédji 1	<i>Eragrostis tremula</i> , <i>Schoenfeldia gracilis</i> , <i>Bracharia Sp.</i>
Barkédji 2	<i>Eragrostis tremula</i> , <i>Zornia glachidiata</i> , <i>Chloris pulosa</i>

Le tableau ci-dessous renseigne sur les quantités de biomasse (herbacée et ligneuses) des sites de contrôle au sol.

Tableau : Production végétale des sites de contrôle au sol

Unités Pastorales	Sites	Biomasse Herbacée (kg ms/ha)	Biomasse Ligneuse (kg ms/ha)
Barkédji	Bark1	535	586
Barkédji	Bark2	441	409

Barkédji	Bark3	718	1037
----------	-------	-----	------

3 LES SYSTEMES DE PRODUCTION

Les activités économiques dans l'UP sont essentiellement structurées autour de l'élevage, de l'agriculture et du commerce.

3.1 L'élevage

L'activité économique dominante est l'élevage. Il est de type extensif et pastoral. Pour la recherche de pâturages, les troupeaux, notamment les bovins se déplacent à l'intérieur de l'UP. Ces déplacements du troupeau peuvent aussi être liés au tarissement précoce de certaines mares ou à l'existence de poches de sécheresse. Bien évidemment, la grande transhumance du bétail jusqu'au Saloum, en dehors des limites de la zone sylvo-pastorale existe, mais il convient de signaler que l'UP de Barkédji reçoit des troupeaux du bassin arachidier (Ndiagianiao, Bambey, Gossas et Diourbel) dans un instinct de survie pour sécuriser le bétail et éviter les conflits entre agriculteurs et éleveurs. L'UP reçoit également, annuellement malgré les conditions très incertaines, des transhumants venant du Walo et même de la Mauritanie.

Les statistiques officielles recueillies au près de l'agent vétérinaire permettent de disposer de données structurées sur le cheptel. Ainsi, les estimations vaccinales sont les suivantes : 17 000 bovins, 40 000 ovins, 30 000 caprins, 4 000 asins et 2 000 équins.

L'alimentation du bétail se fait essentiellement à partir des pâturages naturels. Mais les pratiques de complémentation sont bien connues, notamment durant la période de soudure pendant laquelle même le fourrage aérien se raréfie. Elle est aussi pratiquée sur les femelles porteuses et sur les vieilles vaches. Les aliments de bétail étant achetés à Dahra ou à Linguère. L'embouche, qui est dite herbagère (*Morsingol*) ou de pâturages verts, concerne plutôt les ovins (opération Tabaski seulement) en raison de la cherté et de l'instabilité des prix des aliments de bétail.

La production laitière a un caractère saisonnier et décroît au fur et à mesure que la saison sèche s'installe.

3.2 L'agriculture

L'agriculture est une activité peu pratiquée en raison de l'insécurité pluviométrique et de la divagation des animaux. Les principales spéculations portent sur le petit mil (Souna), le sorgho (Féla), le haricot (Niebe), l'osail et le maïs. Elle est pratiquée non loin des villages et campements, autour des Windés. Les exploitations sont d'ailleurs familiales et individuelles. Il y a justement ici une compétition entre espace pastoral et agricole, mais les conflits trouvent toujours un dénouement heureux, au niveau local. Mais les conflits sont tellement récurrents qu'on ne se croirait plus en zone sylvo-pastorale ; la charge de bétail est en général tel qu'il est difficile d'éviter les conflits.

Le maraîchage même s'il existe est confronté à l'accessibilité et à la disponibilité de l'eau. Les produits de cueillette entrent en partie dans l'autoconsommation, mais procurent aussi des revenus assez substantiels aux femmes, aux enfants et à quelques adultes. Il s'agit essentiellement des fruits de *Ziziphus mauritiana*, de *Balanites aegyptiaca* et de pain de singe (fruits de *Adansonia digitata*). De même le Niandame (*Boscia senegalensis*) contribue à procurer quelques revenus aux populations. La gomme arabique exploitée à partir de *Acacia senegal* est quasiment la chasse gardée des hommes !

4 LES CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES

4.1 Les équipements et les infrastructures

4.1.1 Les infrastructures socio-éducatives

L'UP est relativement assez bien pourvue en infrastructures socio-éducatives. En effet, on dénombre cinq écoles primaires. On signale aussi l'existence de sept centres d'alphabétisation fonctionnels au niveau de l'UP. Mais la particularité de cette UP, c'est qu'elle dispose également d'un collège d'enseignement moyen, sis à l'entrée de Barkédji. Le poste de santé est annexé d'une maternité et d'un dépôt de pharmacie. Deux cases de santé sont également signalées respectivement à Tordione et Mbelkadji.

4.1.2 Les infrastructures pastorales

L'UP dispose d'un forage motorisé situé à Barkédji. Il est équipé d'un bassin hydraulique à ciel ouvert et d'un château d'eau. On note également l'existence de cinq puits ordinaires et de deux puits-forage.

L'UP dispose aussi d'un poste vétérinaire, d'un parc à vaccination et d'un secco qui fait office de magasin céréalier. De même on signale l'existence d'un marché hebdomadaire qui ouvre le jeudi à Barkédji. Il fait aussi office de marché permanent de bétail (foirail).

Le forage ainsi que certaines de ses annexes sont vétustes et méritent réhabilitation. Le bassin sur sol et l'abreuvoir en T sont d'un âge assez avancé. Le château d'eau et les onze bornes-fontaines construits en 1996 étaient inopératoires jusqu'à une date récente ; le même constat était valable pour les quatre nouveaux abreuvoirs. S'y ajoute le fait que pour des raisons techniques, ces infrastructures ne sont pas utilisées de façon optimale. Il n'y a pas d'antennes de forage au niveau des secteurs... Le puisage se fait par siphonnage à partir du bassin ; ceci a pour conséquence d'engendrer des pertes d'eau inestimables au niveau du forage et le colmatage récurrent des tuyaux de vidange et d'alimentation de l'ancien abreuvoir. Toutes choses qui amplifient le problème d'accès à l'eau au niveau de l'UP.

L'unique parc à vaccination situé à Barkédji est dans un état moyen, mais doit être réhabilité. Un second a été aménagé grâce au PAPEL mais il est assez éloigné du centre du village.

Les pare-feux ne sont plus régulièrement entretenus. Par endroits, ils sont envahis par les herbes si ce ne sont des arbres et des arbustes.

5 ENVIRONNEMENT INSTITUTIONNEL ET ORGANISATIONNEL

Au point de vue organisationnel, l'UP se signale d'abord par un bon niveau. De même certains services techniques de l'Etat, notamment les agents du CERP sont assez dynamiques. Sans aucun doute, la proximité de Linguère y est pour quelque chose. Par ailleurs, Barkédji cumule deux fonctions administratives : il est chef-lieu d'arrondissement et de communauté rurale.

On signale l'existence de vingt six GIE et GPF reconnus et très actifs dans l'embouche ovine et le micro-crédit. La géographie des GPF au nombre de treize également, mime quasiment celle des GIE. D'autres formes de groupements sont également présentes au niveau de l'UP. Il s'agit entre autre du comité de gestion du forage et des clubs de solidarité qui regroupent chacun une dizaine de femmes.

Les partenaires au développement les plus actifs dans l'encadrement des populations de la communauté rurale et de l'UP sont entre autres SAFEFOD, DIOMECE, GEC, CAREC, ASERD (alphabétisation) ADYD, CERFLA, Enda TM (ADESA), Projet Valeurs (UICN), une section de Gallé Aynabé ... Tandis que les projets et programmes les plus visibles sont : AFDS, et le PAPEL. Le CERP de Barkédji est également présent et apporte un appui inestimable.

La coopération décentralisée se signale également par la présence de la Chine **Taiwan** qui finance les GPF actifs dans l'embouche, l'USAID (DYSC) dans la santé familiale et reproductive.

6 STATISTIQUES

Fiche de collecte des statistiques			
Nom de l'UP : BARKEDJI			
CR : Barkedji			
THEME	TYPOLOGIE	Nbre	Commentaires
	Ecole primaire publique	5	En plus des cinq écoles, existe un CES à Barkédji
	Centre d'alphabétisation	7	Ils sont financés essentiellement par ADYD
	Poste de santé	1	Il est très fonctionnel et annexé
	Maternité	1	d'une Maternité dans un état moyen
	Case de santé	2	Situées respectivement à Tordione et à Mbelkadji
	Pharmacie/Dépôt	1	Dans les locaux du poste de santé de Barkédji
	Pharmacie (vétérinaire)/Dépôt	1	
	Forage	1	Un nouveau mais aux annexes pas fonctionnelles
Equipements et infrastr.	Antenne forage	0	A cause des défauts de conception du château d'eau
	Borne fontaine	11	Toutes à Barkédji, mais non fonctionnelles
	Puits forage	2	Non équipés
	Puits ordinaire	5	Datant en général de la période coloniale
	Marché hebdomadaire	1	A Barkédji qui ouvre le jeudi
	Marché fixe	0	
	Foirails	1	A Barkédji, à la place du marché hebdomadaire
	Moulin		
	Parc à vaccination	1	Dans un état moyen à Barkédji
	Aire d'abattage		
	Magasin céréalier (Banque céréalière)		
	Autre magasin	1	Secco
	Microfinance (Caisse-Mutuelle)	1	Ouverte par la CAREC
	Foyer des jeunes		
Organisations	Nombre de GIE	13	Ils sont reconnus et affiliés mais non pas d'activités continues faute de financement
	Nom de GPF	13	Très dynamiques surtout dans le micro-crédit

	Nombre d'ASC	4	Dont 3 à Barkédji et 1 à Diagaly
	Nombre de groupements mixtes	ND	Il s'agit en fait de plusieurs dont APE, APH, CGF, les clubs de solidarité
	Bovins	17 000	Estimations vaccinales
	Ovins	40 000	
Elevage	Caprins	30 000	Estimations vaccinales
	Azins	4 000	
	Equins	2 000	
	Volaille	15 000	
Mares	Mare aménagée (Bassin de rétention)	2	Existence de deux mares aménagées
	Maison communautaire	1	Jusqu'à cette année, elle accueillait le CES
	Foyer des femmes		
	Télécentre	3	Tous à Barkédji
Autres	Boutique	40taine	Dans Barkédji seulement
	Restaurant	5	Ils sont soutenus le jour du louma par d'autres initiatives
	Dibiterie	5	Mais d'autres fonctionnent le jour du louma

ANNEXE 2 : LE PROJET CORDEX

Dans l'optique de l'IPCC's Fifth Assessment Report (AR5, en 2014 l'AR5), le CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) qui structure les travaux des climatologues est dans sa phase 5 (CMIP5), avec des ambitions nouvelles. Il s'intéresse à davantage de questions scientifiques, intègre des scénarios de politique climatique d'atténuation et initie des simulations d'étude de la prévisibilité décennale. Les résultats des simulations du climat passé et futur sont rendues directement accessibles dans une base de données disponible au niveau international. En complément de CMIP5, le programme CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) du WCRP définit aussi un cadre sur la régionalisation des scénarios climatiques (REpresentative Concentration Pathways, ou RCP) qui seront aussi rendus accessibles pour analyses futures. La région utilisée pour le projet AdaptFVR est celle encadrée en rouge dans la figure suivante (CORDEX-Afrique).

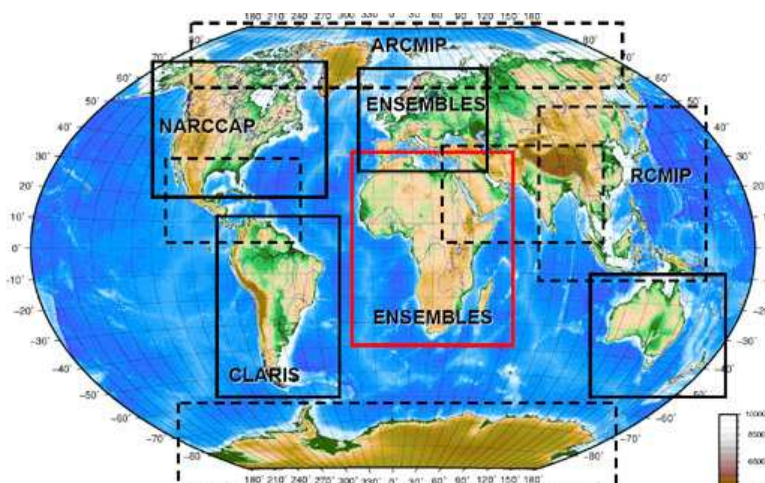


Figure XX : Zones distinctes sur le globe pour les différentes simulations. Le rectangle rouge inclus la zone étudiée ici dans le cadre du projet AdaptFVR.

Representative Concentration Pathway (RCP)

Les 'Representative Concentration Pathways (RCP)' sont basés sur des scénarios sélectionnés à partir d'équipes de modélisations qui travaillent sur des évaluations intégrées de changement climatique. RCPs sont des projections à partir seulement de différents forçages radiatifs, causés par le déséquilibre entre les changements radiatifs entrants et sortants dus aux changements de la composition chimique de l'atmosphère. D'une manière conceptuelle un simple changement de RCP peut avoir des impacts sur les développements socio-économiques et techniques de différentes régions. Ces régions devront donc s'adapter en retour. Deux RCPs sont utilisés ici pour le continent Africain et correspondent aux forçages radiatifs total de 8.5 W/m^2 (en rouge sur la figure, soit 1,370 ppm de CO_2 en augmentation) et de 4.5 W/m^2 (en jaune sur la figure, soit 650 ppm de CO_2 stabilisés) en 2100. Ces résultats seront inclus dans les nouveaux scénarios de l'IPCC's Fifth Assessment Report (AR5, en 2014). Dans la figure qui suit l'augmentation globale de la température de la surface de l'air est donnée à titre d'indication.

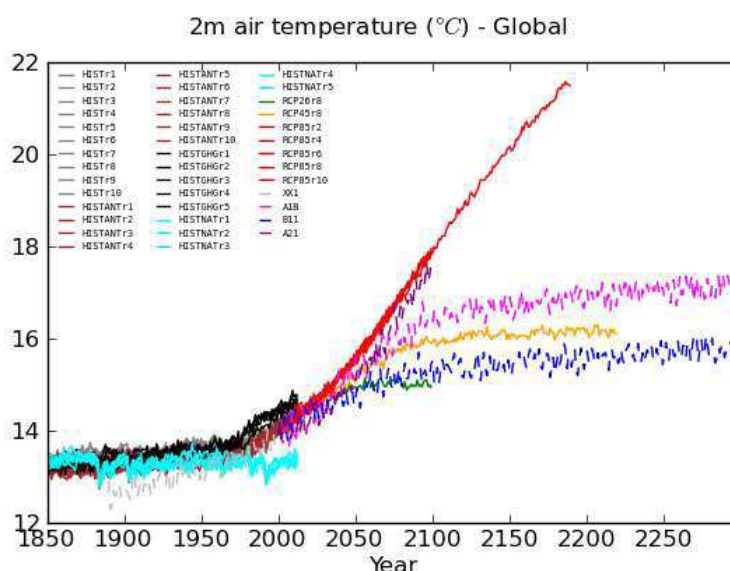


Figure XX: Différents scénarios qui seront utilisés pour le prochain Rapport 5 du GIEC. Pour le projet AdaptFVR seuls les scénarios 8.5 (rouge) et 4.5 (jaune) ont été utilisés.

Abstract sur CORDEX, extrait du papier à paraître de Nikulin et al., 2012 (e-view):

'An ensemble of regional climate simulations is analyzed to evaluate the ability of ten regional climate models (RCMs) and their ensemble average to simulate precipitation over Africa. All RCMs use a similar domain and spatial resolution of ~50km and are driven by the ERA-Interim reanalysis (1989-2008). They constitute the first set of simulations in the CORDEX-Africa project. Simulated precipitation is evaluated at a range of time scales, including seasonal means, annual and diurnal cycles, against a number of detailed observational datasets.

All RCMs simulate the seasonal mean and annual cycle quite accurately, although individual models can exhibit significant biases in some sub-regions and seasons. The multi-model average generally outperforms any individual simulation, showing biases of similar magnitude to differences across a number of observational data sets. Moreover, many of the RCMs significantly improve the precipitation climate compared to that from their boundary condition data set - ERA-Interim. A common problem in the majority of the RCMs is that precipitation is triggered too early during the diurnal cycle, although a small subset of models do have a reasonable representation of the phase of the diurnal cycle. The systematic bias in the diurnal cycle is not improved when the ensemble mean is considered. Based on this performance analysis, it is assessed that the present set of RCMs can be used to provide useful information on climate projections over Africa '.

ANNEXE 3 : EXEMPLE DE BULLETIN ZPOM DE LA SAISON 2010

Bulletin n°1

 CNES CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES	 CSE	 INSTITUT PASTEUR	 DIREL/DSV	 MÉTÉO FRANCE Toujours un temps d'avance	 Relevo
Projet AdaptFVR Bulletin d'information					
7 JUILLET 2010			ÉDITION 1, NUMÉRO 1		
Sommaire : ▪ L'objectif du bulletin ▪ Les données de TRMM ▪ Evolution de la surface des mares ▪ Agressivité et présence des vecteurs ▪ Production de cartes de risque Rédacteurs : Laurent Imanache Cécile Vignolles	L'objectif du bulletin La mise en eau des mares s'est effectuée le mardi 29 juin d'après les précipitations enregistrées par TRMM, nous vous proposons donc un premier bulletin d'information. Son objectif premier est de présenter et fournir les résultats du modèle développé dans le cadre de la production de cartes d'aléa environnemental. Les informations fournies par le modèle sont les suivantes : ➤ L'évolution de la pluviométrie durant la saison ➤ L'évolution de la dynamique des mares notamment Niakha, Kangaedji, Barkedji, Loumbol, Fourdou et Ngao ➤ L'évolution de la densité de moustiques ➤ Production de cartes des zones potentiellement occupées par les moustiques (ZPOM) ➤ Des statistiques sur la pluviométrie, sur le nombre d'événements pluviométriques, sur le nombre d'événements significatifs et leurs localisations mais aussi des statistiques sur la dynamique des mares comme le nombre de mares restant sur la zone d'intérêt etc. L'objectif second de ce bulletin est aussi de nous permettre d'améliorer le modèle existant. Cela doit se faire par une remontée d'information indiquant si les informations fournies par le modèle s'avèrent correct ou non. De ce fait, il nous sera possible de revoir la calibration pour une meilleure prédiction du risque environnemental. De plus, ce bulletin peut être personnalisé dans le sens où il est possible de choisir sa zone d'intérêt et de recevoir toutes les informations sur celle-ci. Par exemple, il suffit juste de données les coordonnées d'un point et l'espace de travail sera une zone de 15km par 15km centrée autour de ce point. Figure 1 - Zone centrée sur Barkedji				

Les données TRMM

L'enregistrement de la pluviométrie se fait à l'aide des données du satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Il est important pour nous de savoir si les données que nous utilisons en entrée du modèle reflètent « la vérité » sur le terrain. A partir de ces données, nous faisons un regroupement par événement pluviométrique (les pluies supérieures à 10mm seulement agissent significativement sur la surface d'une mare). Ces données seront présentées de la manière suivante :

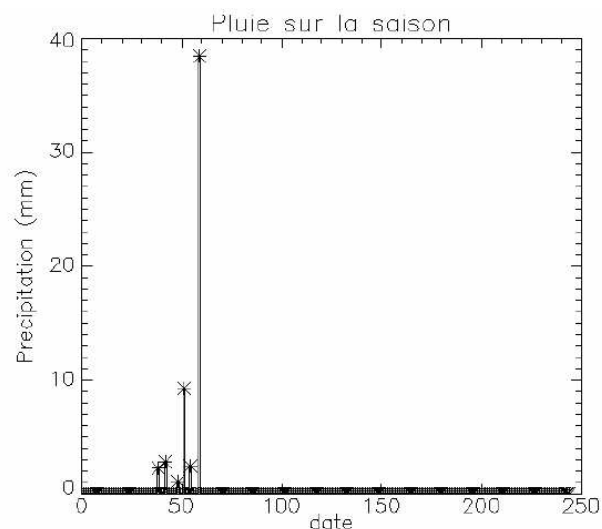


Figure 2- Pluie sur la saison 2010

L'échelle est la suivante :

- 0 correspond au 1^{er} mai de l'année en cours
- 245 correspond au 31 décembre de la même année

Les statistiques associées sont les suivantes :

- Le nombre d'événements pluviométriques et leurs localisations temporelles
- La précipitation maximale enregistrée et sa localisation temporelle
- Le cumul des pluies

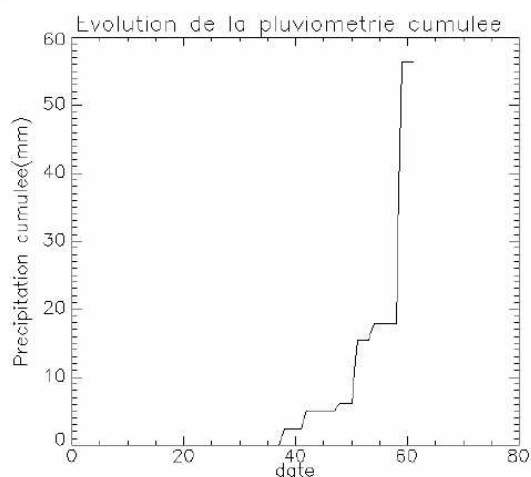


Figure 3- Pluviométrie cumulée saison 2010

Par exemple:

Le nombre d'événements pluviométriques est :	1
Le nombre d'événements compris entre 10 et 20mm est :	0
Le nombre d'événements compris entre 20 et 30mm est :	0
Le nombre d'événements compris entre 30 et 40mm est :	1
Ces événements correspondent aux dates suivantes :	29-juin
Le nombre d'événements supérieur ou égal à 50mm est :	0
La précipitation maximale vaut :	38.43mm correspondant au 29-juin
Le cumul des pluies vaut :	56.36mm

L'évolution de la dynamique des mares

La dynamique des mares est présentée sous la forme d'un graphique avec en abscisse l'évolution temporelle (1^{er} mai-31 décembre) et l'évolution de la surface en pixel pour la saison en cours.

La figure 4 ci-après représente l'évolution de la surface de la mare de Barkedji.

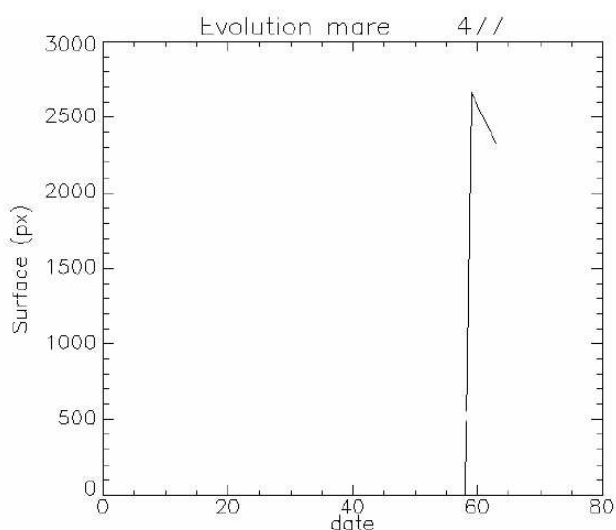


Figure 4-Evolution de la surface de Barkedji

Les statiques associées sont les suivantes :

- Le nombre de mares restant à un jour donné.
- Le nombre total de mares sur la zone de 15km par 15km
- La surface maximale et la mare associée

Par exemple pour le 29 juin :

Le nombre de mares supérieur ou égal à 500px est :	9
Le nombre de mares compris entre 100 et 500px est :	36
Le nombre de mares compris entre 50 et 100px est :	36
Le nombre de mares compris entre 10 et 50px est :	97
Le nombre de mares compris entre 1 et 10px est :	60
La surface max vaut :	2667px
Et correspond à la mare N° :	477
Le nombre total de mares est :	238 pour une surface totale de 25142 px

NB : Chaque pixel a une résolution spatiale de 10 m soit une superficie de 100m².

L'évolution de la densité d'une mare

L'évolution de la densité de moustiques va différer selon le vecteur considéré (*Aedes vexans* ou *Culex Poicillipes*). La représentation de la densité pour une mare se fait à l'aide d'un graphique contenant dans un premier temps les événements pluviométriques ainsi que l'évolution de la surface de la mare. De plus, il comporte les événements significatifs (cas des Aèdes) et bien sur l'évolution temporelle de l'agressivité des vecteurs. Soit la représentation suivante :

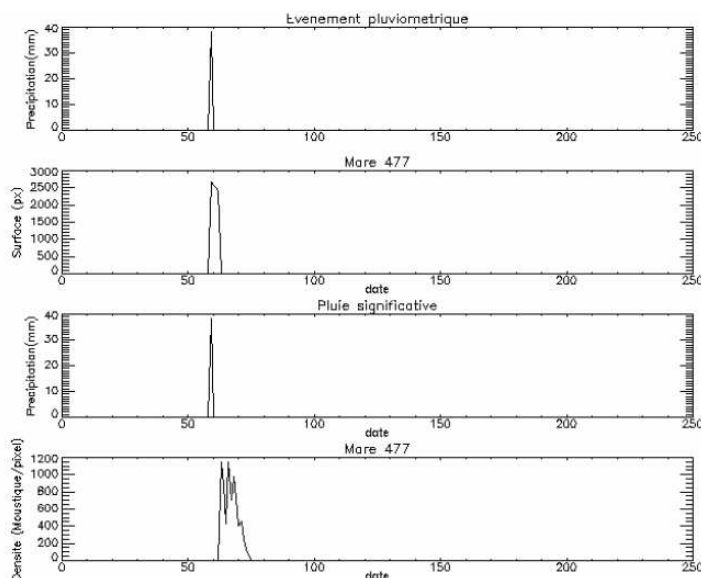
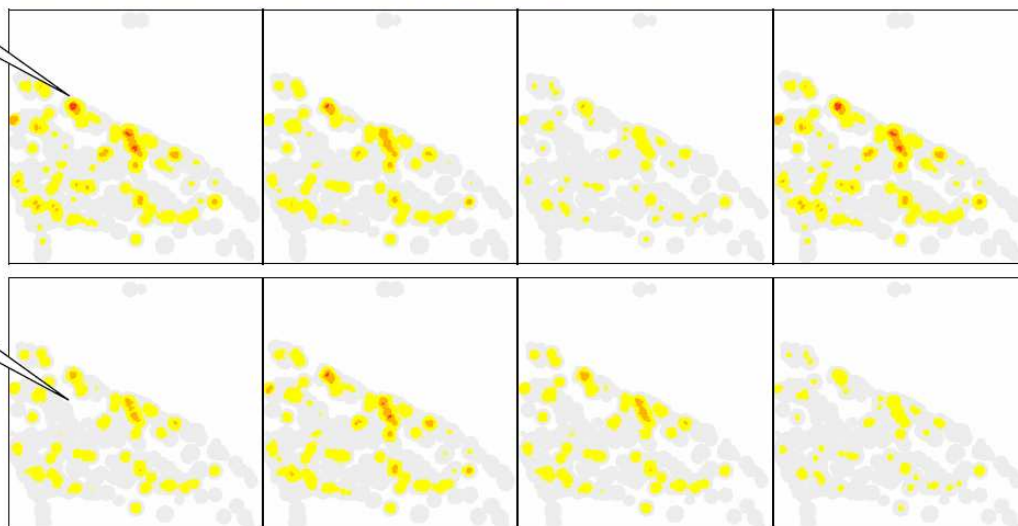


Figure 5- Evolution de la densité de moustiques pour la mare de Barkedji

Production de cartes ZPOM

S'il y a présence et agressivité des moustiques, le modèle délivre des cartes d'aléa. Selon le vecteur choisi, le système d'alerte délivrera une carte d'aléa *Aedes* et/ou une carte d'aléa *Culex*. Cependant l'échelle d'aléas est la même. Ici sont présentées les cartes prévisionnelles d'aléas *Aedes* du 3 juillet au 14 juillet. Cela correspond au cycle d'agressivité de l'*Aedes vexans*.



ZPOM
11-juil-10

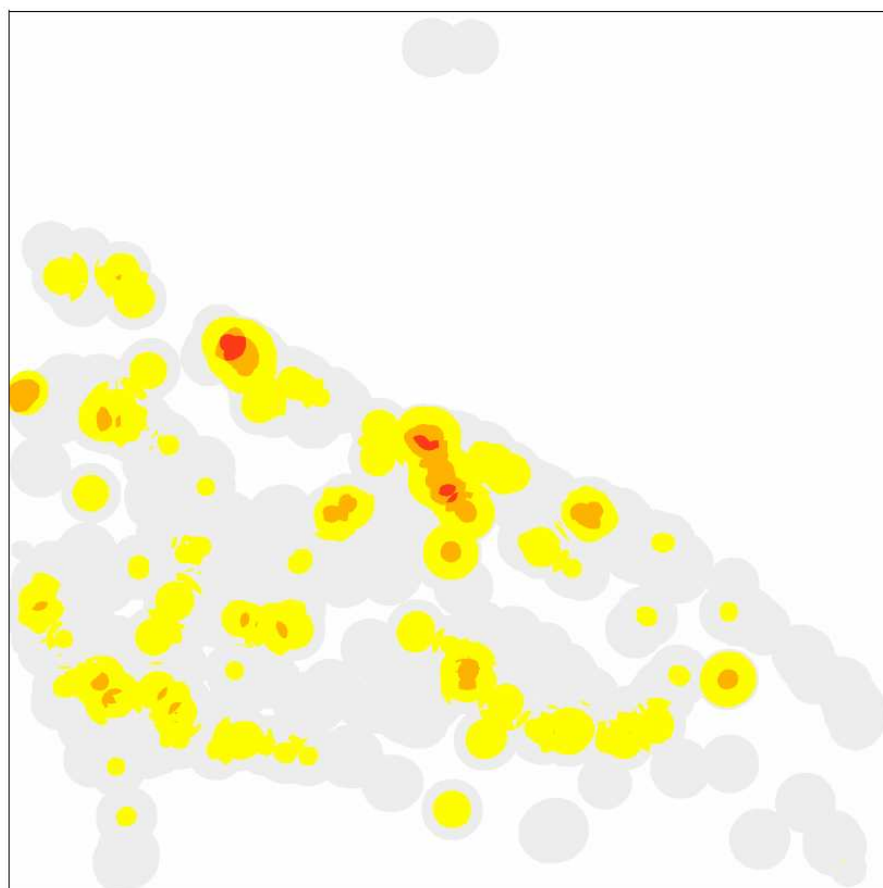


Figure 6 - ZPOM Aedes au 3 juillet 2010

Soit le code couleur suivant pour aléa:

Aucun	Faible	Moyen	Fort	Très fort
-------	--------	-------	------	-----------

ANNEXE 4 : RAPPORT DE STAGE DE CLEMENT GUILLOTEAU

Document fourni séparément (55 pages)

ANNEXE 5 : RAPPORT DE MASTERE 2 DE MATIAS ALCOBA

Document fourni séparément (35 pages)

ANNEXE 6 : RAPPORT DE MASTERE 2 DE LAURENT IMANACHE

Document fourni séparément (35 pages)