

<b>1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Généralités : le virus et la maladie .....</b>	<b>7</b>
2.1	Définition .....	7
2.2	Historique et Répartition géographique .....	7
2.3	Virologie.....	8
2.3.1	Description et classification de l'agent pathogène .....	8
2.3.2	Structure physico-chimique.....	9
2.3.3	Pouvoir antigénique et immunogène .....	9
2.3.4	Pouvoir pathogène .....	9
2.3.5	Résistance.....	9
2.4	Manifestations.....	10
2.4.1	Espèces affectées .....	10
2.4.2	Pathogénie .....	10
2.4.3	Symptômes.....	10
2.4.3.1	Chez l'homme.....	10
2.4.3.2	Chez les ovins .....	11
2.4.3.3	Chez les caprins .....	11
2.4.3.4	Chez les bovins .....	11
2.4.3.5	Autres espèces .....	11
2.4.4	Lésions .....	11
2.5	Diagnostic.....	12
2.5.1	Diagnostic clinique et épidémiologique.....	12
2.5.2	Diagnostic expérimental.....	12
2.5.2.1	Prélèvements.....	12
2.5.2.2	Méthodes de diagnostic.....	12
2.6	Lutte.....	13
2.6.1	Traitement .....	13
2.6.2	Prophylaxie.....	13
2.6.2.1	Médicale.....	13
2.6.2.2	Sanitaire.....	13
<b>3</b>	<b>Epidémiologie.....</b>	<b>13</b>
3.1	Epidémiologie moléculaire. ....	13
3.2	Epidémiologie descriptive.....	14
3.3	Epidémiologie analytique .....	17
3.3.1	Sources de virus.....	17
3.3.2	Transmission.....	17
3.3.3	Vecteurs.....	18
3.3.4	Réservoirs.....	21
3.4	Conséquences pour la modélisation .....	22
3.4.1	Cas de l'Afrique de l'Est.....	22
3.4.1.1	Utilisation des précipitations au Kenya.....	22
3.4.1.2	Indicateurs climatiques et satellites utilisés dans la modélisation de la FVR au Kenya	22
3.4.2	Cas de l'Afrique de l'Ouest : Utilisation des indices précédents .....	24

<b>4</b>	<b>Modélisation de la FVR au Sénégal.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Objectifs.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Description des modèles développés .....</b>	<b>26</b>
4.2.1	Hypothèses de base.....	26
4.2.1.1	Modèle de l'équipe CEA, programme Epitep, CIRAD.....	26
4.2.1.2	Modèle de l'équipe INRA / ENVL.....	26
4.2.1.3	Spatialisation .....	27
4.2.2	Mise en équation, l'exemple du modèle de l'ENVL .....	29
4.2.3	Besoin en données .....	31
4.2.3.1	Identification de sites d'études .....	31
4.2.3.2	Données sérologiques.....	31
4.2.3.3	Informations zootechniques et zoosanitaires.....	33
4.2.3.4	Informations entomologiques.....	33
4.2.3.5	Données environnementales .....	34
4.2.3.6	Orientation des axes de recherche .....	35
<b>4.3</b>	<b>Protocoles d'enquêtes .....</b>	<b>36</b>
4.3.1	Récolte des informations entomologiques .....	36
4.3.1.1	Matériel utilisé.....	36
4.3.1.1.1	Piégeage des moustiques émergents .....	36
4.3.1.1.2	Piégeage des moustiques adultes. ....	36
4.3.1.2	Méthodes de capture .....	36
4.3.1.2.1	Récolte des œufs en saison sèche.....	36
4.3.1.2.2	Récolte et traitement des moustiques émergents .....	37
4.3.1.2.3	Récolte et traitement des moustiques adultes .....	37
4.3.1.3	Choix des mares étudiées .....	38
4.3.1.3.1	Cas de Barkédji .....	38
4.3.1.3.2	Cas de Ross-Béthio .....	40
4.3.2	Cartographie .....	40
4.3.2.1	Cas de Ross-Béthio .....	40
4.3.2.2	Cas de Barkédji.....	40
4.3.3	Enquêtes démographiques et zootechniques .....	40
4.3.3.1	Enquête préliminaire .....	40
4.3.3.1.1	Méthode d'enquête.....	40
4.3.3.1.2	Nature des informations collectées .....	41
4.3.3.1.2.1	Les mares .....	41
4.3.3.1.2.2	Les points d'eau profonde.....	41
4.3.3.1.2.3	Les lieux d'habitations.....	41
4.3.3.2	Enquêtes « mouvements de troupeaux » .....	42
4.3.3.2.1	Echantillonnage.....	42
4.3.3.2.2	Informations récoltées .....	43
4.3.4	Protocole d'Epidémiosurveillance.....	43
4.3.4.1	Sensibilisation des éleveurs.....	44
4.3.4.2	Surveillance clinique et sérologique .....	44
4.3.4.2.1	Fiche foyer .....	44
4.3.4.2.2	Fiche prélèvement .....	44
4.3.4.3	Surveillance sérologique .....	44
4.3.5	Relevés climatiques et hydrologiques.....	44

<b>4.4</b>	<b>Résultats préliminaires .....</b>	<b>45</b>
4.4.1	Préambule.....	45
4.4.2	Cartographie .....	45
4.4.3	Hydrologie et climatologie.....	47
4.4.4	Enquêtes « troupeaux » .....	53
4.4.4.1	Enquête préliminaire (10 juin 2001).....	53
4.4.4.2	Enquête du 20 au 30 juillet 2001 .....	53
4.4.5	Entomologie .....	56
<b>4.5</b>	<b>Perspectives et conclusions .....</b>	<b>57</b>
4.5.1	Cartographie .....	57
4.5.2	Enquêtes troupeaux.....	57
4.5.3	Entomologie .....	57
4.5.4	Hydrologie et climatologie.....	58
4.5.5	Intérêts et contraintes de la modélisation.....	58
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Annexes : fiches d'enquêtes .....</b>	<b>62</b>

# 1 Introduction

Ce stage de CEAV s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche sur la fièvre de la vallée du Rift, le projet Emercase. Il s'agit d'un programme de Recherche / Développement coordonné par l'ENVL (P. Sabatier), avec pour partenaires principaux au Sénégal la Direction de l'Élevage, les aspects recherche de terrain ayant été confiés à l'ISRA et au CIRAD.

Ce projet a deux grands objectifs au Sénégal :

- le renforcement du réseau d'épidémiosurveillance de la FVR ;
- la modélisation de l'occurrence et de la diffusion de la FVR chez les ruminants, dans le but de mettre au point un outil d'aide à la décision pour les programmes de lutte (évaluation du niveau de risque, test de stratégies de lutte).

L'épidémiosurveillance vétérinaire de la FVR est mise en œuvre par la Direction de l'élevage avec l'appui technique de l'ISRA-LNERV et de l'Institut Pasteur de Dakar. Le dispositif de terrain comporte une douzaine de postes vétérinaires (PV) répartis en Casamance, dans le Ferlo et la vallée du fleuve Sénégal.

Ces Postes vétérinaires :

- réalisent les prélèvements sanguins nécessaires à un suivi sérologique de troupeaux sentinelles (recherche active de circulation occulte du virus),
- signalent toute suspicion clinique de FVR (avortements des femelles et mortalité néonatale des ruminants) et font les prélèvements nécessaires au diagnostic expérimental,
- sensibilisent les éleveurs à l'aide de matériel de communication (réunions, affiches, etc.).

Le service de virologie de l'ISRA-LNERV (Dr Y. Thiongane) effectue les analyses sérologiques et confie à l'Institut Pasteur de Dakar les isolements de virus.

Le projet Emercase a récemment équipé la Direction de l'élevage et les services régionaux en matériel informatique et de communication pour standardiser les déclarations de suspicions de foyer et accélérer la circulation de l'information. Tous les chefs de postes ont été équipés de palm-pilotes qui permettent la transmission rapide de fiches de suspicion, de fiches foyers et de fiches de prélèvement via un réseau sécurisé connecté au réseau téléphonique. Ils sont également équipés de GPS et les coordonnées des élevages concernés par une suspicion sont précisées sur les fiches.

En plus d'un appui logistique et technique la présence permanente de ces chefs de PV facilite les rapports avec les éleveurs, les autorités administratives et traditionnelles.

Afin d'avoir une idée plus dynamique et synchrone des moyens de survie et / ou de dispersion du virus dans les périodes inter-épidémiques et le cas échéant, pendant les poussées épidémiques, la prise en compte des facteurs environnementaux est incontournable.

En effet leur rôle sur la distribution et l'abondance des vecteurs et / ou réservoirs potentiels est encore mal connu alors que nous allons voir que ces paramètres sont fondamentaux pour la modélisation de cette arbovirose.

En collaboration avec des équipes de climatologues, entomologistes, hydrologues et agropastoralistes, nous avons décidé la mise en commun d'informations très variées. Cette mise en commun se fera par l'intermédiaire de la constitution d'une base de données relationnelles et d'un Système d'information géographique (SIG), où la superposition des couches d'information est un outil précieux pour la mise en évidence d'indices de modélisation.

En effet, la superposition de couches variées au sein d'un SIG dynamique permet de mettre en évidence des périodes et des situations à risques, où se conjuguent différents facteurs de risques en un même point et au même moment. Parmi ces couches d'information, nous représenterons entre autre les densités animales et humaines, les mouvements animaux, la qualité des pâturages, les points d'eau utilisés, la végétation et les taux de contaminations des vecteurs et du bétail.

Dans un premier temps, ce rapport présentera la FVR au Sénégal, en s'intéressant plus particulièrement à l'aspect modélisation. Il présentera ensuite les enquêtes de terrain destinées à mesurer certains paramètres du modèle : interfaces moustiques – ruminants (où, quand et comment peut se produire l'infection du bétail) et diffusion spatiale de la maladie (mouvements des troupeaux à petite échelle : de mare à mare et à grande échelle : transhumance).

## 2 Généralités : le virus et la maladie

### 2.1 Définition

La fièvre de la vallée du Rift est une maladie infectieuse, commune à l'homme et aux animaux, transmise par des arthropodes et due à un virus de la famille des *Bunyaviridae*, genre *Phlebovirus*. Il s'agit donc d'une zoonose et d'une arbovirose.

Maladie à déclaration obligatoire, elle est inscrite sur la liste A de l'OIE.

Elle est également connue sous le nom d'hépatite enzootique du mouton, en raison des lésions caractéristiques d'hépatite observées et de la sensibilité particulière des ovins à cette infection.

Longtemps considérée comme affection relativement secondaire, elle a suscité récemment l'intérêt des vétérinaires et des médecins en raison des flambées épizoo-épidémiques survenues au Soudan, en Egypte, en Mauritanie et au Sénégal, où elle s'est révélée une zoonose majeure [IEMVT-CIRAD, 12/1990].

### 2.2 Historique et Répartition géographique

La Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) fut décrite pour la première fois en 1931 par Montgomery au Kenya, dans la région de la vallée du Rift, près du lac de Naivasha.

Elle fut responsable de nombreuses épizooties limitées au bétail et à l'Afrique subsaharienne jusqu' en 1976. Ces épizooties, de grande importance économique (100 000 moutons tués en Afrique du Sud en 1951, 60 000 avortements au Zimbabwe en 1978), atteignaient principalement l'Afrique de l'Est et du Sud. Elle était alors considérée comme peu dangereuse pour l'homme.

En 1976, le virus passe des régions d'altitude aux grandes vallées fluviales, en commençant par le Soudan. En 1977, l'Egypte fut la première grande victime de la FVR, au plan humain. L'épizootie débuta au niveau du bétail en avril dans la Province d'Aswan, probablement liée aux importations régulières de bétail et ou à des transferts de moustiques infectés par le vent à partir du Soudan, alors infecté par la maladie [Abd El-Rahim, Abd El-Hakim et al., 1999]. Les premiers cas humains furent signalés en octobre dans la province de Shargiya, au nord-est du Caire. Dans les semaines suivantes, l'épidémie a progressé le long du canal d'Ismailiya qui rejoint le Nil au niveau du Caire.

Des études sérologiques rétrospectives ont permis de retracer l'évolution de la maladie, qui est arrivée du Soudan en descendant le Nil. La maladie animale a précédé l'épidémie, et les cas humains ont éclaté au cours de l'été, moment le plus favorable à la multiplication des vecteurs. En tout, elle aura touché au moins un million de personnes et provoqué 2000 cas cliniques dont 600 fatals [Lefevre, 1997].

Depuis, la RFV persiste en Egypte sous forme d'enzootie, avec des résurgences régulières de cas dans le bétail (1978, 1993 et 1997).

La communauté scientifique considéra dès lors la FVR comme une dangereuse zoonose, et les travaux se multiplièrent. Mais la détection de la maladie à bas bruit dans de nombreuses localités et l'absence de cas cliniques humains, du moins détectés et déclarés, pendant une dizaine d'années conduisit à un relâchement de l'appréhension d'une nouvelle épidémie.

En 1979, le virus de la FVR fut mis en évidence pour la première fois à Madagascar. Il n'y eut aucun impact sur la santé humaine ou animale avant 1990 et 1991, où il provoqua plusieurs épizooties marquées par des avortements massifs chez les bovins.

C'est alors que survint l'épidémie de 1987 en Mauritanie. Le premier cas humain fût détecté à l'hôpital de Rosso en octobre, par deux médecins français de l'armée. L'incidence augmenta alors

rapidement dans les semaines qui suivirent et les pertes totales humaines en Mauritanie furent évaluées à 224 sur 1264 cas par l'Institut Pasteur de Dakar [Walsh, 06/1988]. La maladie avait été détectée de longue date dans la région par des enquêtes sérologiques qui montraient une augmentation de la prévalence en anticorps, et notamment en Igm dans le triangle Kaedi-Selibaby-Aïoun El Atrouss. De plus, la réunion de nombreux facteurs favorisant la pullulation des insectes vecteurs (en particulier la mise en eau du barrage de Diama en août) avait conduit l'institut Pasteur de Dakar à annoncer le risque d'épidémie. Cette épidémie est à l'origine d'un vaste système de surveillance établi dans la région, dans lequel s'inscrit le projet Emercase.

Une seconde épidémie a touché le sud et le sud-ouest de la Mauritanie en septembre 1998, provoquant de nombreux avortements parmi les troupeaux, et le décès officiel de six personnes, enregistrés à l'hôpital d'Aoiun.

Récemment, les épidémies qui ont touché l'Arabie Saoudite et le Yémen en Août et Novembre 2000, provoquant 516 cas sévères dont 87 morts prouvent que la FVR peut sortir des territoires africains et représente donc une menace majeure pour un grand nombre de pays du moyen orient et de la péninsule arabo-persique, d'autant que le nombre d'espèces d'insectes potentiellement vecteurs est très important [CDC., 11/2000].

La figure suivante récapitule les informations précédentes. Les mortalités humaines sont représentées dans les bulles à fond marron.

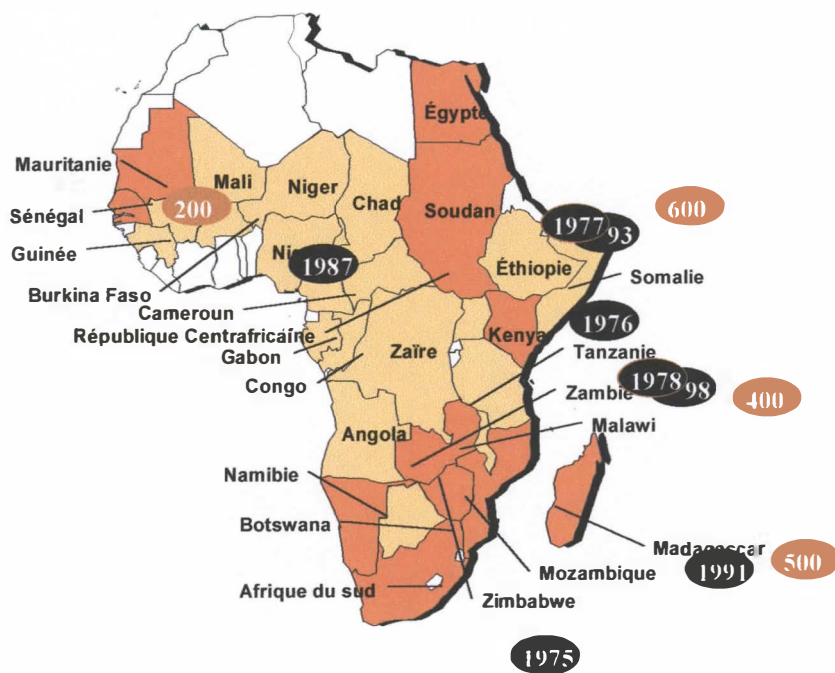


Fig 1) Historique de la Fièvre de la vallée du Rift

## 2.3 Virologie

### 2.3.1 Description et classification de l'agent pathogène

Les particules virales, de 90 à 120 nm de diamètre, sont sphériques, à symétrie hélicoïdale et pourvus d'une enveloppe lipidique d'origine cellulaire portant à sa surface des projections de 5 à 10 nm formées de deux glycoprotéines (G1 et G2).

C'est un virus à ARN segmenté composé de 3 trois ARN simple brin de polarité négative.

Ses caractéristiques physico-chimiques et antigéniques le placent dans le genre *Phlebovirus*, de la famille des *Bunyaviridae*.

### 2.3.2 Structure physico-chimique

Les trois molécules d'ARN sont dénommées selon leur taille relative, L, M et S pour *large, medium et small*. Chaque ARN se trouve sous forme de ribonucléoprotéine de forme circulaire (RNP), où sont associées de nombreuses copies de la protéine N et quelques copies de la protéine L qui a une activité d'ARN-polymérase ARN-dépendante [Prehaud and Bouloy, 07-08/1998]. Les séquences aux extrémités 3' et 5' sont complémentaires et peuvent s'apparier de façon stable en « queue de poêle » et sont communes à tous les *Phlebovirus*.

Le segment L code pour la polymérase L, le segment M pour une polyprotéine qui subit un clivage co-translationnel pour donner les deux protéines d'enveloppe (G1 et G2) ainsi que deux protéines non structurales. Le segment S code pour la nucléoprotéine et pour une protéine non structurales (NSs).

Pour une raison encore inconnue, la protéine NSs s'accumule sous forme phosphorylée dans le noyau alors que tout le cycle a lieu dans le cytoplasme, ce qui est observable au microscope électronique. Elle est également présente dans le cytoplasme, associée à la protéine N des RNP intracellulaires. Elle pourrait intervenir soit dans l'encapsidation, soit comme cofacteur modifiant l'activité de la polymérase de transcriptase en réplique.

Les glycoprotéines G1 et G2 (respectivement 65 et 56 kDA) sont responsables de la fixation du virus par reconnaissance de récepteurs existant à la surface des cellules sensibles.

### 2.3.3 Pouvoir antigénique et immunogène

Tous les souches virales isolées sont regroupées au sein d'un même type antigénique, y compris celles qui ne présentent pas d'activité hémagglutinante (Lunyo, Ouganda, 1955 et Zinga, RCA, 1969).

Les protéines G1 et G2, responsables de l'activité hémagglutinante du virus, sont la cible de la défense immunitaire humorale, les anticorps protecteurs étant dirigés contre elles. Ces anticorps, ainsi que ceux détectés par inhibition de l'hémagglutination ou l'ELISA (IgG) persistent longtemps alors que les anticorps fixant le complément (IgM), induits par la protéine N, diminuent très vite.

Dans les formes suraiguës et aiguës de la maladie, la réponse immune n'a pas le temps d'apparaître avant la destruction massive des organes lymphoïdes et du foie. Chez les animaux qui guérissent, les anticorps de classe M (IgM) apparaissent les premiers, dès le 3<sup>ème</sup> jour après l'infection, mais ils disparaissent en 2 mois chez 75% des bovins lors de l'infection naturelle et chez à peu près tous les animaux en 6 mois. En revanche, les anticorps de classe G (IgG), durent au moins 4 à 5 ans chez les ovins et bovins, et vraisemblablement toute la vie de l'animal. Si un animal possédant des IgG est ré-infecté, des Igm apparaissent à nouveau mais sont de plus courte durée ce qui présente un intérêt pour le dépistage des infections récentes lors de suivis sérologiques.

### 2.3.4 Pouvoir pathogène

Il est très variable que ce soit qualitativement ou quantitativement, ce qui peut en partie expliquer les différences de gravité observées entre les épidémies d'Afrique australe et les épidémies égyptienne et mauritanienne. Cependant, d'autres facteurs interviennent, comme des facteurs écologiques favorables, ou la présence de maladies intercurrentes comme la bilharziose.

On distingue qualitativement les souches en fonction des organes infectés et des lésions produites. Ainsi, les souches d'Afrique australe sont dites pantropes, avec en premier lieu un viscérotropisme marqué tandis que d'autres souches (souche Lunyo) sont prioritairement neurotropes.

### 2.3.5 Résistance

Le virus est sensible aux solvants des lipides (éther, chloroforme). Il est également inactivé par les désinfectants usuels (formol,  $\beta$ -propionolactone, désocylate de soude, solution forte d'hypochlorite de sodium avec chlore résiduel dépassant 5 ppm). Il est stable pour les pH compris entre 6.2 et 8.

Il résiste relativement bien à la chaleur et il faut appliquer une température de 56°C pendant 3H pour l'inactiver. Il survit 8 mois à +4°C quand il est stocké en suspension dans du sang ou du sérum. Il se conserve très bien aux températures faibles : un mois à -20°C et un an à -40°C.

Le virus résiste donc étonnement bien dans le milieu extérieur et il a été reporté une contamination de personnes ayant travaillé dans des locaux (pourtant nettoyés) où des animaux infectés avaient séjourné trois mois auparavant.

## 2.4 Manifestations

### 2.4.1 Espèces affectées

Parmi les espèces domestiques, les petits ruminants puis les bovins sont les plus sensibles. Le cheval, l'âne, le porc, le chien et le chat ne font qu'une virémie transitoire avec séroconversion et sont considérés comme des culs de sac épidémiologiques. Par contre, les chiots et les chatons âgés de moins d'une semaine sont très sensibles.

Parmi les espèces sauvages africaines, les ruminants manifestent un syndrome frustré alors qu'on ne note qu'une virémie passagère chez les singes.

Chez les rongeurs, la sensibilité est très variable selon les espèces, et leur rôle comme réservoir de virus reste très controversé.

### 2.4.2 Pathogénie

Le virus se réplique d'abord au site d'inoculation puis infecte différents organes cibles comme la rate, le foie et le cerveau. Ces organes peuvent soit guérir grâce à la réponse immunitaire spécifique ou non-spécifique de l'hôte, soit subir des effets lytiques d'origine virale ou immunopathologiques.

Cette contamination a certainement lieu par voie sanguine sous forme d'une virémie primaire, comme c'est le cas pour la plupart des autres arboviroses mais celle-ci est indétectable. Il est également possible qu'elle ait lieu via le drainage lymphatique, le virus se multipliant dans les nœuds lymphatiques satellites avant de rejoindre la circulation sanguine.

La virémie détectable correspond à un relargage secondaire de virus dans le sang suite à une multiplication massive du virus dans les organes cibles.

Dans ce cadre général, la durée et la localisation des différentes phases, ainsi que les effets immunopathologiques, dépendent de l'espèce et même de l'individu ce qui entraîne une expression clinique et lésionnelle variable de la maladie.

### 2.4.3 Symptômes

Les symptômes varient en fonction de l'âge et de l'espèce atteinte avec toutefois une certaine uniformité interspécifique.

#### 2.4.3.1 Chez l'homme

La période d'incubation est de 2 à 6 jours, au bout desquels se développe un syndrome grippal, avec installation brutale de fièvre, céphalées, myalgies et douleurs dorsales. Une raideur du cou, une photophobie et des vomissements peuvent alors parfois apparaître. On peut alors confondre la FVR avec une méningite. Ces symptômes durent en général 4 à 7 jours.

Dans un petit nombre de cas, cette phase peut s'aggraver par trois autres formes :

- pathologie oculaire avec lésions rétinienne en 1 à 3 semaines après les premiers symptômes dans 0.5% des cas. Si la tache jaune est atteinte, une baisse permanente de l'acuité visuelle peut survenir. La létalité est faible pour cette forme.
- méningo-encéphalite dans moins de 1% des cas, entre 1 et 3 semaines après le début des symptômes également. La létalité est encore rare chez les patients atteints uniquement par cette forme.
- fièvre hémorragique 2 à 4 jours après l'apparition de la maladie dans moins de 1% des cas. On constate alors des signes d'atteinte hépatique grave avec ictère et phénomènes



hémorragiques : hématomérose, méléna, purpura, saignements des gencives. La virémie peut alors durer 10 jours et la létalité s'élève à 50%.

#### 2.4.3.2 Chez les ovins

On distingue quatre formes :

- La forme suraiguë chez les agneaux nouveaux-nés, où l'incubation est courte (12 à 72 heures) et les symptômes peu évocateurs en raison d'une grande rapidité d'évolution : forte hyperthermie, inappétence, faiblesse, douleurs abdominales, décubitus et mort en 24 heures. La mortalité atteint alors 90%.
- La forme aiguë chez les adultes et les jeunes de plus de trois semaines, dont l'incubation est de 2 à 5 jours et qui se traduit par des symptômes plus caractéristiques apparaissant peu de temps avant la mort de l'animal : forte hyperthermie, jetage mucopurulent strié de sang, vomissement, diarrhée putride hémorragique et parfois ictère. La mortalité est de l'ordre de 20 à 30%.
- Les formes subaiguës se traduisent par des avortements nombreux dans les troupeaux deux semaines après l'infection.
- Les formes inapparentes sont vraisemblablement fréquentes étant donné le grand nombre de séroconversions n'ayant donné lieu à aucun symptôme.

#### 2.4.3.3 Chez les caprins

Bien que les chèvres soient plus résistantes que les moutons, les chevreaux présentent une maladie analogue à celle des agneaux et un même taux de mortalité. En revanche, les adultes ne font qu'une forme subaiguë rarement mortelle. Par contre l'avortement est très fréquent et le taux d'avortements peut atteindre 80%.

Il faut toutefois mettre en avant des différences en fonction des souches virales comme le suggère l'épizootie de 1973 au Soudan où la mortalité chez les adultes a atteint 50%.

#### 2.4.3.4 Chez les bovins

La maladie évolue différemment selon l'âge des animaux.

Chez les veaux la forme aiguë est fréquente avec hyperthermie, faiblesse générale, refus de se déplacer, diarrhée fétide et souvent polypnée et dyspnée.

Chez les adultes l'avortement est généralement le seul symptôme mais peut toucher 80 à 90 % des femelles gestantes. Lorsqu'ils sont atteints par une forme aiguë, les bovins adultes présentent de l'hyperthermie pendant 2 à 4 jours, de l'anorexie, du jetage mucopurulent, une diarrhée hémorragique. Quand la maladie évolue sur une à deux semaines, un ictère net apparaît.

La mortalité varie de 10 à 70% chez les jeunes mais dépasse rarement 10% chez les adultes.

#### 2.4.3.5 Autres espèces

Chez les dromadaires, on observe des avortements sans autre signe clinique.

Les chevaux, les chiens et les chats sont réceptifs (virémie transitoire) mais ne présentent aucun symptôme.

Chez les rongeurs infectés expérimentalement, la mortalité est très variable en fonction des espèces : 95 à 100% chez la souris blanche en fonction de la souche virale, alors que des rongeurs sauvages sénégalais tels que *Arvicantis niloticus* et *Mastomys erythroleucus* semblent insensibles à la maladie avec une simple séroconversion dans seulement 25% des cas. [Diop, Y. et al., 2000]

### 2.4.4 Lésions

Dans le cas d'une forme aiguë, la principale lésion observée dans toutes les espèces est une nécrose du parenchyme hépatique qui apparaît parsemé de petits foyers de nécrose grisâtres de 1 à 2 mm de diamètre. Ils sont parfois difficiles à observer en raison de la décoloration de l'organe qui est en plus hypertrophié. Chez les adultes le foie est congestionné, friable, de couleur orange ou marron

avec présence de pétéchies sous-capsulaires. La muqueuse de la vésicule biliaire est souvent œdémateuse et hémorragique.

Des pétéchies sous-capsulaires sont visibles à la surface de la rate mais pas en profondeur.

Les organes du tractus digestif, en particulier la caillette et l'intestin grêle, sont le siège de lésions d'œdème ou d'hémorragies (entérite hémorragique).

L'ictère de la carcasse n'est visible que lorsque les animaux ont survécu suffisamment longtemps et n'est présent que chez 10% des agneaux atteints d'une forme suraiguë.

## 2.5 Diagnostic

### 2.5.1 Diagnostic clinique et épidémiologique

Il est basé sur l'association des éléments suivants :

- épizootie avec avortements, mortalités néonatales élevées, lésions hépatiques chez les petits ruminants et les bovins (les ovins étant les plus affectés) dans une région à forte pression vectorielle éventuellement associée à un syndrome pseudo-grippal chez l'homme en contact avec ce cheptel.

Un diagnostic différentiel doit être fait d'avec la maladie de Wesselsbron.

### 2.5.2 Diagnostic expérimental

#### 2.5.2.1 Prélèvements

Les prélèvements sont :

- le sang entier, la rate, le foie obtenus pendant la phase fébrile et conservés à +4°C ou congelés pour la virologie;
- des sérums couplés ou du sang entier obtenus pendant l'acmé thermique et la phase de convalescence et conservés à +4°C ou congelés pour la sérologie;
- le foie conservé dans du formol à 10% pour l'histopathologie.

Les tissus des animaux infectés présentent un risque élevé de contamination et des mesures de précaution drastiques doivent être prises pour leur prélèvement et leur transport, effectué dans des paquets aux normes internationales afin d'éviter tout risque de diffusion du virus. Les prélèvements sont envoyés à des laboratoires spécialisés de haute sécurité et si possible aux centres collaborateurs de l'OMS : Institut Pasteur de Dakar par exemple.

#### 2.5.2.2 Méthodes de diagnostic

En virologie, on pratique l'isolement et l'identification du virus sur souris, hamster, agneau nouveau-né ou cultures cellulaires. L'immunofluorescence sur étalement de foie, de rate ou cerveau d'animal sacrifié en période d'hyperthermie permet d'avoir un résultat rapide.

En sérologie, on utilise des tests ELISA, de séroneutralisation, d'immunofluorescence, d'inhibition de plaque (PRNT), d'inhibition de l'hémagglutination ou de fixation du complément. Le test ELISA est particulièrement performant en terme de spécificité et de sensibilité.

Les tests de séroneutralisation et d'inhibition de plaque sont des tests de référence spécifiques et utilisables dès le 3<sup>ème</sup> jour de l'infection, mais nécessitent l'utilisation de virus vivant : leur emploi n'est donc pas préconisé dans les régions non endémiques, ou on préfère le test d'inhibition de l'hémagglutination. Avec ce test peut exister un risque de réactions croisées avec d'autres phlébovirus et une confirmation par un laboratoire de référence est alors préférable.

En histopathologie on recherche des inclusions nucléaires acidophiles dans les cellules hépatiques, caractéristiques de la FVR.

## 2.6 Lutte

### 2.6.1 Traitement

Il n'existe pas de traitement spécifique et un traitement symptomatique est instauré dans les formes graves d'atteinte humaine.

### 2.6.2 Prophylaxie

#### 2.6.2.1 Médicale

Un vaccin vétérinaire (souche Smithburn) est employé depuis de nombreuses années, en Afrique orientale et australe. Il s'agit d'un vaccin modifié neuro-adapté, administrable en une injection, très efficace et peu coûteux à produire mais qui possède un pouvoir pathogène résiduel. Celui-ci se traduit par des effets tératogènes, abortifs et des encéphalites sur les agneaux. Ce vaccin n'est donc utilisable que dans les zones infectées. De plus, le risque de recombinaison avec des virus sauvages est élevé.

Des vaccins inactivés par le formol ont également été utilisés en Afrique pour la vaccination animale et humaine mais plusieurs injections sont nécessaires en raison de leur faible pouvoir immunogène ce qui rend leur coût prohibitif en vaccination vétérinaire.

Enfin, un vaccin américain atténué par mutations (souche RFV MP-12) s'est avéré très immunogène (nécessité d'une seule injection), peu coûteux et sans effets pathogènes ou tératogènes, le seul symptôme observé étant une légère hyperthermie sans conséquence sur la survie embryonnaire. Ce vaccin initialement à visée humaine est utilisable chez le bétail et présente en plus le double avantage d'un faible risque de transfert vectoriel (virémie faible et de courte durée) et de recombinaison avec les virus sauvages, les trois segments génomiques étant mutés. Les résultats préliminaires d'une expérimentation en Afrique de l'Ouest (Sénégal et Mauritanie) sont très encourageants : les animaux présentent une montée d'anticorps significative et aucun avortement n'a été constaté dans les espèces bovine, ovine, caprine et cameline [Morris, C.A. et al., 08/1997; Morris, Mebus et al., 08/1997].

#### 2.6.2.2 Sanitaire

Elle est limitée la lutte contre les vecteurs étant extrêmement coûteuse et souvent inefficace. La méthode la plus efficace est de déplacer les troupeaux hors des zones infestées par le vecteur mais elle est très difficile à mettre en œuvre et l'identification de périodes et de zones à risque est donc fondamentale pour le contrôle de la maladie.

## 3 Epidémiologie

### 3.1 Epidémiologie moléculaire.

Le séquençage de la région du segment S codant pour NSs a permis de différencier trois lignées majeures, ce que n'avait pas permis les tests sérologiques. Cette classification a ensuite été confirmée par le séquençage partiel des segments M et L qui montrent une variabilité faible, inférieure à 5% des nucléotides, ce qui se traduit par une différence inférieure à 2.5% dans les acides aminés des protéines codées. [Sall, Zanotto et al., 09-10/1998; Sall, Zanotto et al., 10/1999]

Ces trois lignées recoupent à peu près la répartition géographique :

- Ia pour la lignée d'Afrique Centrale et de l'Est
- Ib pour la lignée d'Afrique de l'Ouest
- II pour la lignée Egyptienne

Ces études ont permis de montrer que les souches virales des épidémies égyptiennes de 1977 et 1993 sont proches ce qui suggère que la RFV se maintient sous forme endémique en Egypte. De plus les souches de l'Afrique Centrale et de l'Est restent également très apparentées à

travers le temps ce qui montre une grande stabilité de souche en un même lieu, malgré le passage de cycles endémiques en cycles épidémiques. L'absence de corrélation évidente entre les souches groupées par espèce hôte souligne certainement des échanges fréquents de virus entre les différentes espèces.

Le séquençage des souches responsables des épidémies malgaches permet de supposer deux introductions différentes à partir de la côte Est-Africaine.

La mise en évidence de souches appartenant à un groupe donné dans une zone géographique où prédomine un autre groupe, prouve une certaine circulation des souches selon deux mécanismes possibles :

- la circulation dans la forêt tropicale humide par un hypothétique cycle sylvatique (la mise en évidence du virus chez des moustiques sylvatiques, des singes et des rongeurs est un argument indéniable)
- les migrations ou le transport d'animaux ou vecteurs infectés comme cela a été établi chez certaines souches de Brucella.

Enfin certaines souches apparaissent issues de la recombinaison de segments S, M et L de souches de groupes différents, ce qui prouve la présence d'échanges génétiques par réassortiment de segments. Ceci a lieu lorsqu'une cellule est co-infectée par deux souches virales grâce à la segmentation du génome, ce qui a pu être montré expérimentalement tant en culture cellulaire que sur des moustiques co-infectés. La probabilité d'apparition d'une tel phénomène dans la nature est inconnue, mais il peut avoir lieu soit chez l'espèce hôte, soit chez le vecteur. Cette propriété est d'autant plus intéressante qu'elle permet une double évolution par les mutations ponctuelles et les réassortiments de segments alors qu'on sait que les arbovirus évoluent en moyenne 10 fois moins vite que les virus ayant un seul hôte. Il est probable que la vitesse d'évolution du virus de la FVR dépende du nombre d'hôtes potentiels mais on ignore encore l'importance respective des deux mécanismes.

L'importance de ce résultat est loin d'être négligeable d'autant qu'on a isolé une souche potentiellement réassortissante d'un cas humain fatal lors de l'épidémie mauritanienne de 1987. Quand on compare cela au cas bien connu des pandémies à Influenza issus de réassortiments, on se pose des questions même si beaucoup de souches de FVR issues de cas fatals n'avaient subi aucun réassortiment. De plus se pose le problème de l'utilisation des vaccins à virus atténué qui pourraient être à l'origine de l'apparition de chimères pathogènes après réassortiment avec les souches sauvages. On comprend alors la nécessité d'utiliser des vaccins atténués portant des marqueurs d'atténuation sur plusieurs segments pour minimiser le risque d'apparition de telles chimères.

### 3.2 Epidémiologie descriptive

La Fièvre de la Vallée du Rift se présente sous forme de poussées épidémiques entrecoupées de longues périodes inter-épidémiques silencieuses. On peut alors n'en trouver aucune trace ou détecter son passage sérologiquement.

Lors de flambées épizootiques, elle provoque avortements et mortalité dans les troupeaux de petits et grands ruminants ce qui entraîne de graves pertes économiques. Ceci se déroule essentiellement en cours ou en fin de saison des pluies, suite à une pullulation des vecteurs. Dans certains cas, suite à un premier cycle d'amplification animale, elle peut atteindre la population humaine et peut alors se révéler mortelle. [Lefevre, 1997]

Au Sénégal, le virus RVF, initialement décrit sous le nom de Zinga, a été isolé pour la première fois en 1974 à partir de lots d'*Aedes dalzieli* capturés dans la région de Kédougou [Digoutte, Cordellier et al., 1974]. Les études sérologiques réalisées entre 1981 et 1986 ont mis en évidence une importante circulation du virus RVF dans le Sud de la Mauritanie : 17,8 % des petits ruminants (83 sérums positifs / 466 testés) présentaient des anticorps pour le virus RVF [Lancelot, Gonzalez et al., 1989]. En outre dans cette région, 13,3% des éleveurs (32 sérums positifs / 240 testés) se sont révélés positifs.

Une épidémie se déclara à l'automne 1987 au sud de la Mauritanie dans la région de Trarza [Saluzzo, Digoutte et al., 1987]. Le premier cas a été diagnostiqué le 14 octobre 1987 à Rosso

(16,30°N, 15,50°W), et au total de 284 cas se sont déclarés les jours suivants (confirmés par isolement de virus, ou par détection d'IgM spécifiques). On a dénombré parmi ces 284 cas 28 décès (9,9%). Cette épidémie a permis d'étudier parfaitement les formes cliniques : fièvre algique (40% des cas hospitalisés à Rosso), formes avec ictère (28,5%, bon pronostic), formes hémorragiques avec ictère (18,4%; létalité: 52%), encéphalites [Jouan, 1989]. Ces formes sont analogues à celles de la fièvre jaune, la seule différence étant la rapidité d'évolution liée à la réplication très rapide du virus. L'épidémie s'est légèrement propagée vers le Nord, jusqu'à 102 km de Rosso, sur la route menant à Nouakchott ; à l'ouest, elle a été limitée par Keur Macène (65 km à l'ouest) et à l'est par Tosso (65 km à l'est). Le nombre total de cas humains a été estimé à 1009. La figure suivante montre le schéma de diffusion supposé du virus :

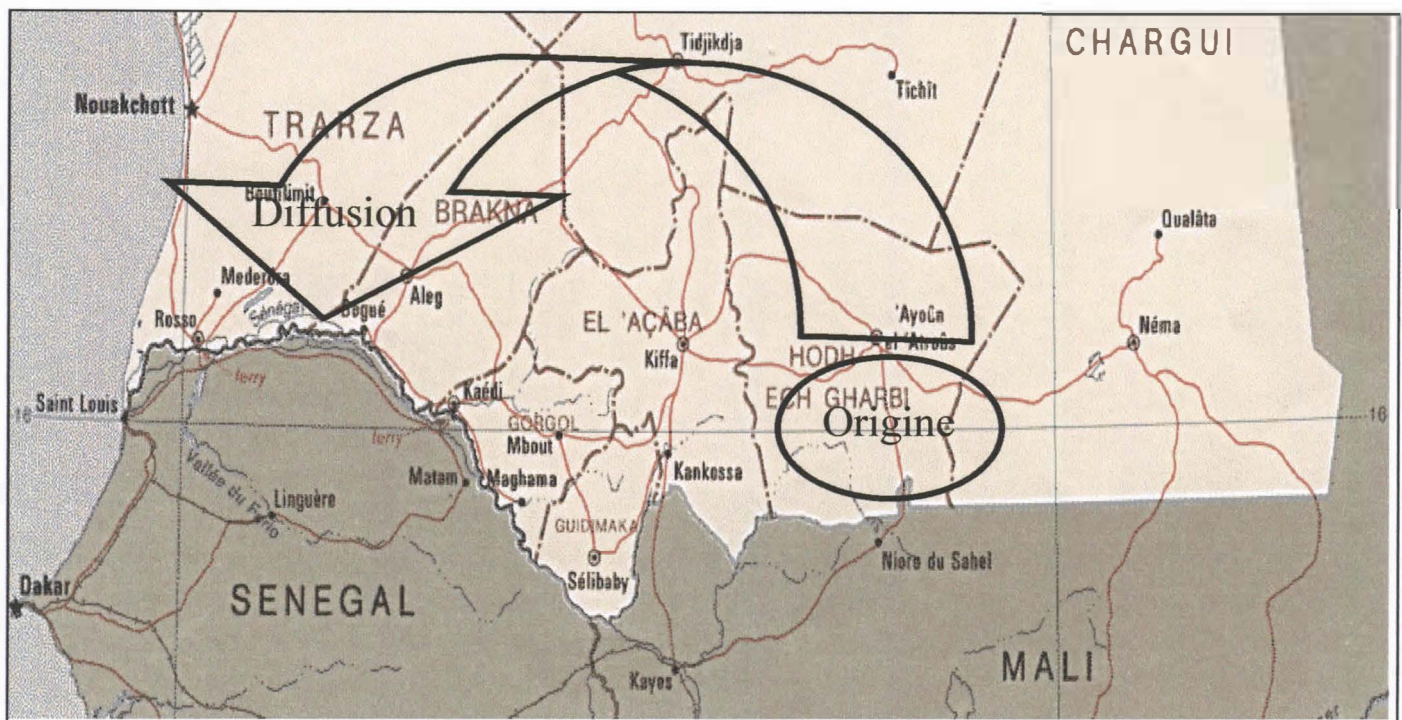


Fig 2) Extension Géographique de l'Epidémie de Fièvre de la vallée du Rift (Sénégal, Mauritanie).

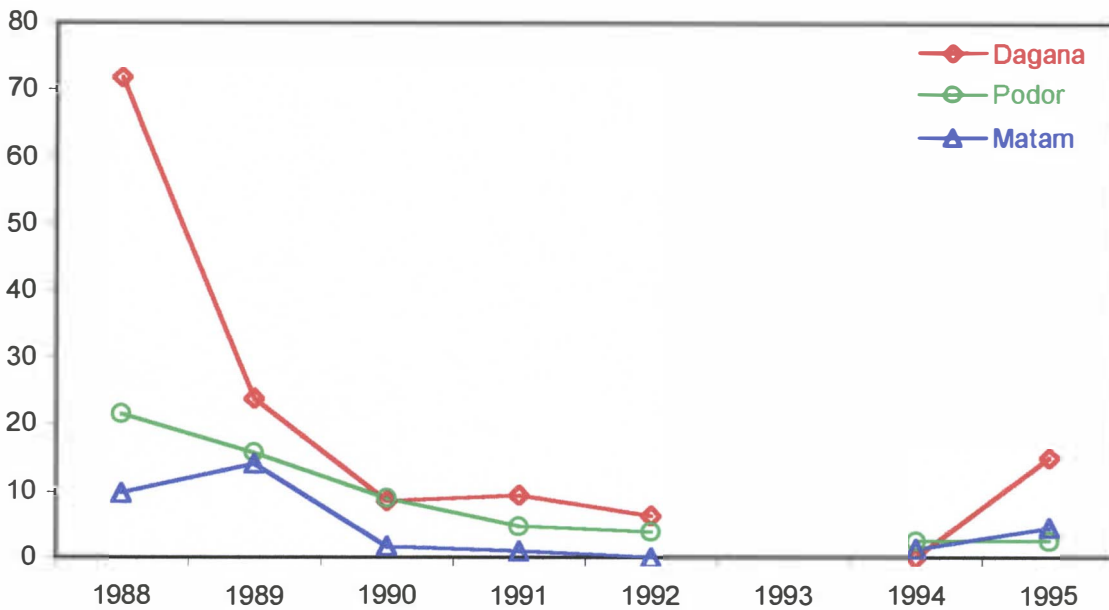
Une enquête menée en Février-Mai 1989 dans le centre-nord du Sénégal chez des Peuls semi-nomades a montré que 22,7% de 273 personnes testées avaient des anti-corps anti-FVR (IgG exclusivement), sans différence selon les sexes; la séroprévalence augmentait avec l'âge (jusqu'à toucher 1/3 des sujets de plus de 60 ans) [Jouan, Coulibaly et al., 1989]. L'enquête par interrogatoire permet de penser qu'une douzaine de sujets de la région étudiée, auraient pu mourir de FVR dans les deux années précédentes.

En parallèle, un programme de surveillance sérologique des animaux a été mis en place dans deux zones sahéliennes cibles, vallée du Sénégal et du Ferlo [Thiongane, Gonzalez et al., 1991]. Les petits ruminants et les bovins sont apparus parmi les espèces domestiques les plus sensibles. Sur les 173 sérums animaux (moutons et chèvres) qui ont été examinés, 65% possédaient des anticorps spécifiques dont la moitié de type IgM. La prévalence moyenne en anticorps contre le virus de la fièvre de la vallée du Rift chez les petits ruminants (moutons, chèvres) du Sénégal a été évaluée entre 7 et 15%.

Ces données ont confirmé l'existence d'une épizootie associée de fièvre de la Vallée du Rift parmi les populations animales dans lesquelles on avait constaté des avortements. Les équins, les porcins, les dromadaires n'ont fait qu'une virémie transitoire avec conversion sérologique.

Entre 1989 et 1993, aucun cas clinique de RVF n'a été observé au niveau des troupeaux sentinelles de la vallée du fleuve Sénégal (300 à 400 sérologies annuelles dans 10 troupeaux) [Thiongane, Zeller et al., 1994]. L'absence d'anticorps de classe M dans les prélèvements effectués entre 1989 et 1992 confirme l'absence de circulation virale dans les troupeaux suivis dans cette zone. Par ailleurs, la séroprévalence des anticorps neutralisant le virus de la RVF a décliné

régulièrement : de 24,4% (1988) à 1% (1993). Dans la figure suivante, il apparaît que la prévalence générale la plus forte était localisée dans le delta : Dagana (16,16°N 16,08°W) et qu'elle décroissait en remontant le long du fleuve Sénégal jusqu'à Matam (15,4°N, 13,4°W).



**Fig 3) Prévalence en Anticorps (IgG) anti-virus de la RVF dans les troupeaux de petits ruminants de la vallée du Fleuve Sénégal (Dagana, Matam, et Podor), de 1988 à 1995 [Thiongane, Zeller et al., 1994].**

Deux nouveaux foyers de RVF ont été observés en 1993 dans des troupeaux de petits ruminants de Kaédi (16°12'N, 13°30'W), région de St Louis au Sénégal et de Guidimaka en Mauritanie. Un an plus tard, en Octobre-Décembre 1994, deux autres foyers de petits ruminants ont été mis en évidence dans la vallée du Sénégal à Ross Béthiot (16,17°N, 16,8°W) et dans la vallée du Ferlo à Barkédji (15°20'N, 14°17'W) [Thiongane, al. et al., ]. Parallèlement une étude de prévalence de la RVF, conduite en Mauritanie en 1993, conclut à une reprise de la circulation du virus dans les régions de Gorgol, Assaba, Hodh El Gharbi [Schneegans, 1999]. Ces foyers suggèrent la fin de la période post-enzootique que connaissaient les troupeaux de petits ruminants depuis 1988. Le virus se trouvait à l'état endémique dans toute la savane semi-humide et ayant pénétré sous forme d'épizootie le sud mauritanien, pouvait se réintroduire à tout moment. Par ailleurs, le Ferlo apparaît comme une zone d'enzootie marquée par une circulation virale active mais saisonnière et de faible ampleur. Aucun cas clinique ni aucun autre animal séropositif n'ont été détectés dans cette période. Cependant en 1992, la séroprévalence de la vallée du Ferlo était supérieure à celle de la vallée du Sénégal (7,5 % vs 4%) et à cette date un animal appartenant à un troupeau transhumant de la vallée du Sénégal a été trouvé porteur d'anticorps de classe M (séropositif en IgM), ce qui signait une infection récente.

Une seconde épidémie de FVR est survenue en Septembre 1998 dans le sud et le sud-est de la Mauritanie. Six personnes sont décédées de cette maladie à l'Hôpital d'Aoiun entre le 15 Septembre et le 1 Octobre 1998. Une forte prévalence en anticorps pour le virus de la Fièvre de la vallée du Rift a été alors observée parmi les populations humaines de la région de Sélibali (9 sérums positifs sur 35 testés) et de Kaédi (23 sérums positifs sur 181 testés). Par ailleurs, des avortements dus au virus de la FVR (confirmé par l'Institut Pasteur de Dakar) ont été observés chez des animaux, en particulier des moutons, dans les wilayas du sud mauritanien. Une forte atteinte sérologique a été constatée : 45% d'IgM positifs dans la région du Hodh El Gharbi ; 14 % dans l'Açaba ; 5% dans le Brakna [Schneegans, 1999].

### 3.3 Epidémiologie analytique

#### 3.3.1 Sources de virus

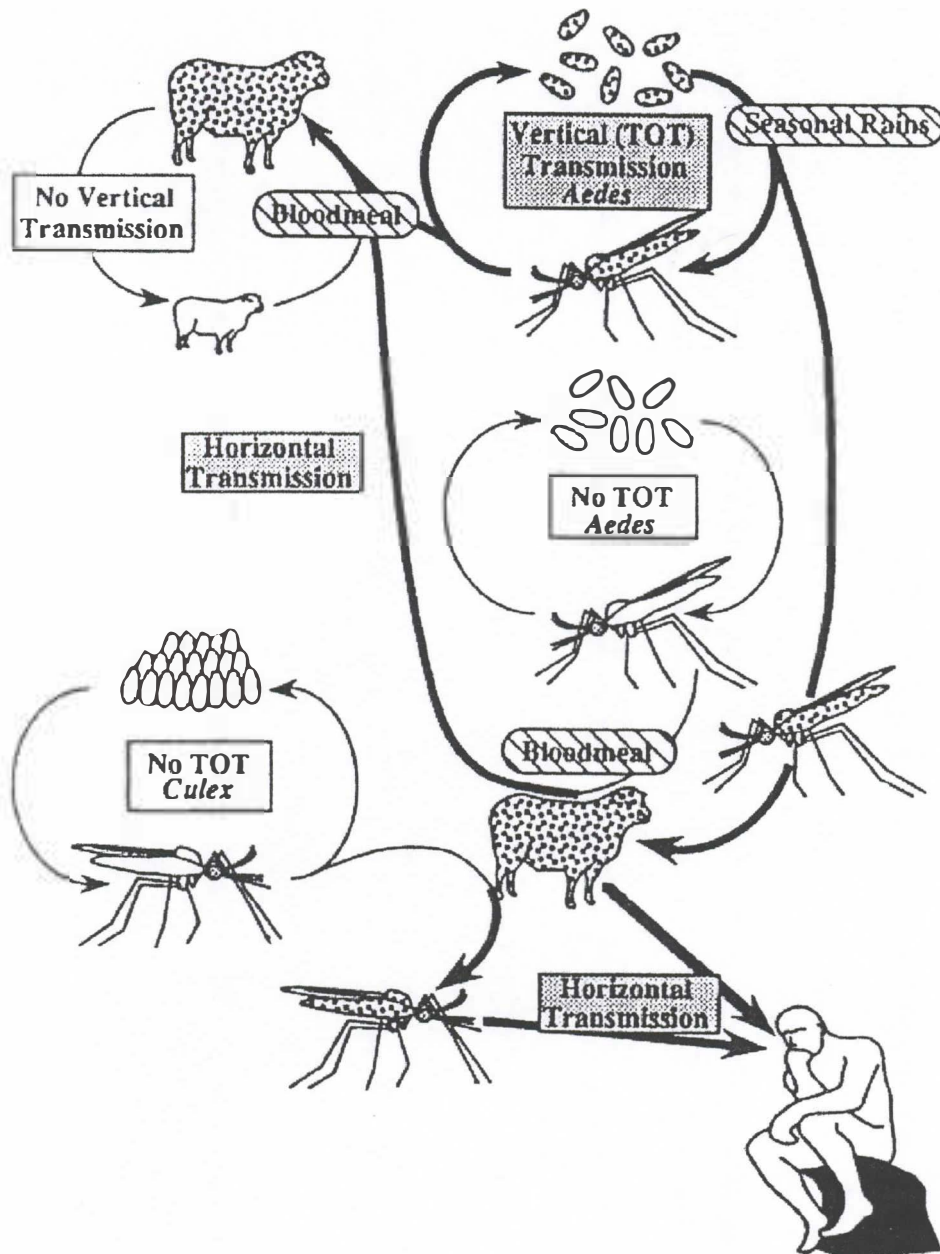
Il s'agit de tous les animaux ou humains en phase de virémie. Cependant il apparaît que toutes les espèces n'ont pas le même rôle, les petits ruminants étant les hôtes responsables de l'amplification du virus et représentant donc une source de contamination majeure pour l'homme lors d'épidémies.

#### 3.3.2 Transmission

En ce qui concerne la population animale, elle est principalement vectorielle et de nombreuses espèces de moustiques sont mis en cause à travers le continent Africain. Il convient de distinguer deux types de vecteurs : les vecteurs du genre *Culex* qui joue un rôle important dans l'amplification virale et la contamination humaine mais chez qui la transmission verticale n'est pas possible et les vecteurs du genre *Aedes* qui, non seulement jouent le même rôle que le premier, mais assurent également la survie du virus d'une saison humide à l'autre par le biais d'une transmission verticale [Diallo, 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998; Diallo, 2000].

En revanche, pour l'homme la transmission peut être soit vectorielle, soit directe suite à la manipulation d'avortons ou au contact avec des aérosols viraux occasionnés notamment par l'abattage des animaux . Un vide sanitaire prolongé suivi d'un nouveau cycle de nettoyage / désinfection des locaux est donc indispensable lorsqu'ils sont soumis à une telle contamination. Ce dernier mode de contamination a été mis en évidence à diverses occasions par l'identification de métiers à risques (vétérinaires, éleveurs, tueurs...), de lieux à risque (abattoirs, tueries, salles de mise bas), voir d'ethnies à risque en fonction de l'importance relative de l'élevage et de l'agriculture chez celle-ci. En ce qui concerne le sexe, des observations apparemment opposées ont été rapportées : si dans la plupart des cas les hommes s'avéraient être plus exposés au risque de transmission directe, ce ne fut pas le cas lors de l'épidémie de Rosso où les femmes, qui gèrent pratiquement totalement l'élevage des animaux dans les communautés péri-urbaines, ont payé un plus lourd tribut à l'épidémie.

Le schéma suivant illustre le mécanisme de transmission de la maladie :



**Fig 4) Diagramme schématisique des principales voies de transmission du virus de la Fièvre de la Vallée du Rift. Les lignes épaisses représentent des transferts viraux alors que les lignes fines représentent les cycles biologiques, sans rapport avec le virus RFV. TOT représente la transmission trans-ovarienne. [Wilson, 1994].**

### 3.3.3 Vecteurs

En Afrique de l'est et du sud, le virus est transmis par des *Aedes* (sous-genre *Aedimorphus* et *Neomelaniconion*). Les vecteurs (*Ae. Cumminsii*, *Ae. Circumluteolus*, et *Ae. mcintoshii*) utilisent les mares temporaires remplies à l'occasion des fortes pluies. Ces vecteurs pullulent alors et peuvent s'en suivre des cycles épidémiques. Pendant ces cycles épidémiques, beaucoup d'autres espèces de moustiques peuvent servir de relais [Turell and Bailey, 1987; Logan, Linthicum et al., 1991].

En Afrique de l'Ouest, de nombreuses espèces d'insectes hématophages ont été trouvés porteurs du virus FVR, ce qu'illustre très bien le tableau suivant :



Host	No. of isolates	Location	Year(s)
<i>Aedes dalzieli</i>	3	Kédougou, Sénégal	1974
<i>Ae. dalzieli</i>	1	Kédougou, Sénégal	1983
<i>Ae. ochraceus</i>	3	Barkedji, Sénégal	1993
<i>Ae. vexans</i>	10	Barkedji, Sénégal	1993
<i>Ae. cumminsii</i>	1	Burkina-Faso	1983
<i>Ae. furcifer</i>	1	Burkina-Faso	1983
<i>Culex antennatus</i>	1	Nigeria	1967-70
<i>Culicoides sp.</i>	2	Nigeria	1967
<i>Ae. palpalis</i>	1	Central African Republic	1969
<i>Mansonia africana</i>	1	Central African Republic	1969
<i>Amblyomma variegatum</i> (on cattle in a slaughterhouse)	1	Central African Republic	1983
Humans	2	Sénégal	1975
	1	Sénégal	1980
	201	Mauritania	1987
	12	Central African Republic	1971-90
Bats	2	Guinea	1981-83
Sheep	1	Barkedji, Sénégal	1993
Bovine	1	Kolda, Sénégal	1993

**Tabl.1:** *Présentation des espèces chez lesquelles le virus de la FVR a été isolé, [Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998]*

Suite à l'épidémie de FVR dans le sud de la Mauritanie en 1987, des études entomologiques ont été menées afin d'identifier les vecteurs sylvatiques de ce virus dans différentes zones bioclimatiques au Sénégal, en particulier à Kédougou et à Barkédji [Diallo, 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1995; Zeller, Fontenille et al., 1997; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998 ; Diallo, 2000].

La zone de Kédougou (12°11'N, 12°33'W), zone climatique soudano-guinéenne située dans le sud du Sénégal, présente une saison des pluies longue, s'étendant de Mai à Octobre, avec une moyenne pluviométrique annuelle de 1 100 mm par opposition à la zone de Barkédji (15°17'N, 14°17'W), zone climatique sahélienne du Ferlo située dans le nord du Sénégal qui présente une saison humide courte, de Juillet à septembre, avec une moyenne pluviométrique annuelle de 250 à 350 mm. Dans cette dernière zone, les mares temporaires se remplissent dès les premières pluies et sont utilisées pour l'abreuvement des animaux jusqu'à leur assèchement en janvier.

Des insectes hématophages ont été collectés tous les ans de 1991 à 1996, en Juillet, Octobre et Novembre à Kédougou et mensuellement à Barkédji. Quatre méthodes de capture ont été utilisées. Il s'agit de captures sur appâts humains de 17H30 à 22H30, de pièges CDC (Centers for Disease Control and Prevention) associés à de la glace carbonique, de CDC placés dans les enclos à bétail et de pièges à appâts animaux associés à des pièges lumineux par intermittence. A Kédougou, les arthropodes furent capturés dans les villages et les forêts et à Barkédji, au bord des mares temporaires. Les prises étaient allotées par espèce, sexe, localisation et date.

Plus de 228 000 moustiques répartis en 52 espèces à Barkédji et 250 000 moustiques répartis en 102 espèces à Kédougou furent collectés. De plus, 233 000 phlébotomes parmi 11 espèces et 35 000 phlébotomes parmi 25 espèces furent capturés respectivement de Barkédji et Kédougou. A Barkédji, le genre *Aedes* représentait 29% des captures. *Ae. (Aedimorphus) vexans* était le plus abondant, suivi par *Ae. (Aedimorphus) ochraceus* ; *Ae. (Neomelaniconion) mcintoshii* et *Ae. (Aedimorphus) dalzieli* étaient très rares. A Kédougou, le genre *Aedes* représentait 50% des captures. *Ae. dalzieli* était prédominant alors que *Ae. vexans*, *Ae. mcintoshii* et *Ae. ochraceus* étaient beaucoup moins abondants.

A Barkédji, 10 isollements du virus RFV concernaient *Ae. vexans* et 3 concernaient *Ae. ochraceus*. A Kédougou aucun virus RFV ne fut isolé pendant la période d'étude. Cinq autres virus furent isolés de vecteurs ou vecteurs potentiels de RFV. Le tableau suivant présente les résultats détaillés :

Location	Vector species	No.	No. pools	Virus isolates a (No. strains)
Barkedji	<i>Aedes vexans</i>	42.055	1.428	WN-NRI (1), RVF (10), WN (2)
	<i>Ae. mcintoshii</i>	758	88	NRI (1)
	<i>Ae. ochraceus</i>	3.672	228	WSL (1), RVF (3)
	<i>Ae. dalzieli</i>	105	34	(0 virus)
	Phlebotominae spp	233.895	2.251	SAB (63), CHP (7), GF (5), Ar D 88909 (1), Ar D 95737 (12)
Kédougou	<i>Ae. vexans</i>	1.194	81	(0 virus)
	<i>Ae. mcintoshii</i>	536	107	(0) virus)
	<i>Ae. ochraceus</i>	915	110	WSL (1)
	<i>Ae. dalzielii</i>	31.809	821	CHIK (8), BBK (1), WSL (2), KED (6), BOU (1), PGA (2), ZIKA (22)
	Phlebotominae spp	35.569	364	SAB (11), CHP (4), TETE (1), Ar D 111740 (1), Ar D 95737 (2)

WN: virus West-Nile, NRI: virus Ngari, RVF: virus de la vallée du Rift V, WSL: virus Wesselsbron, SAB: virus Saboya, CHP: virus Chandipura, GF: virus Gabek Forest, CHIK: virus Chikungunya, BBK: virus Babanki, KED: virus Kédougou, BOU: virus Bouboui, PGA: virus Pongola, ZIKA: virus Zika, TETE: virus Tete. Ar D 88909, Ar D 95737, et Ar D 111740: virus non identifiés à ce jour. b4 Les souches de la fièvre de la vallée du Rift ont été isolées en 1974 et 1982.

**Tabl2: Vecteurs sylvatiques de Fièvre de la Vallée du Rift et isolement viraux, Sénégal, 1991 à 1996, [Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998].**

Même si la compétence vectorielle d'*Ae. dalzieli*, *Ae. vexans* et *Ae. ochraceus* n'a pas été confirmée expérimentalement, ce sont de bons candidats en temps que vecteurs enzootiques de FVR au Sénégal. Ces vecteurs potentiels sont différents des principaux vecteurs Est-Africains (*Ae. Cumminsii*, *Ae. Circumluteolus*, et *Ae. mcintoshii*) également présents en Afrique de l'Ouest mais dont le rôle dans la transmission de la FVR au Sénégal n'a pas été démontré. Leur abondance est bien supérieure à ces derniers. Ainsi, lors de l'isolement viral de 1993 à Barkédji, seulement 58 *Ae. mcintoshii* avaient été capturés, contre 6 958 *Ae. vexans* et 1069 *Ae. ochraceus*.

Suite à la ré-émergence de la RFV en Mauritanie en 1998, d'autres enquêtes entomologiques ont été menées dans la zone de l'Hodh El Gharbi, dans des localités où des cas confirmés ont été signalés ainsi que le long de la vallée du fleuve Sénégal afin d'évaluer les possibilités d'extension de la maladie au Sénégal. Les localités concernées sont Thillé Boubacar (15°06'N, 16°31'W), Kanel (15°N, 16°31' W), Dembankané (15°06'N, 12°39'W) et Diawara (15°024N, 12°33'W). Les mêmes méthodes de capture que dans l'étude précédente furent utilisées.

Parmi les 31 944 moustiques capturés appartenant à 20 espèces et 6 genres, les genres *Culex* et *Mansonia* furent les plus représentés. Les *Culex* constituaient 50 % des prélèvements à eux seuls,

et les *Mansonia* 45%. *Cx.poicilipes* et *Ma. uniformis* ont été les espèces les plus abondantes avec respectivement 47 et 45 % de l'ensemble des moustiques capturés. Les *Aedes* étaient représentés seulement par deux spécimens d'*Ae.vexans* et *Ae.sudanensis*.

Au total, 36 souches de RVF furent isolées, toutes à partir de *Culex poicilipes* et sur le site de Diawara. Ces résultats portent à 53 le nombre de souches de ce virus isolé chez *Culex poicilipes* au Sénégal.

Le tableau suivant reprend l'ensemble des captures effectuées sur le site de Diawara, ainsi que les isolements viraux.

Espèce	Moustiques capturés/type de piège		Total moustiques capturés				Virus isolés	TRI (%)
	PL (CO2)	PL (Etables)	N	N lots	Densité	%		
<i>An. ziemanni</i>	536	0	536	12	107,2	3,69	-	-
<i>An. pharoensis</i>	101	0	101	4	20,2	0,70	-	-
<i>An. rufipes</i>	95	7	102	3	20,4	0,70	-	-
<i>Ae. vexans</i>	1	0	1	1	0,2	0,01	-	-
<i>Cx. antennatus</i>	12	3	15	3	3	0,10	-	-
<i>Cx. bitaeniorhynchus</i>	2	0	2	1	0,4	0,01	-	-
<i>Cx. ethiopicus</i>	3	0	3	1	0,6	0,02	-	-
<i>Cx. neavei</i>	67	0	67	4	13,4	0,46	-	-
<i>Cx. poicilipes</i>	10662	0	10662	212	2132,4	73,40	36 RVF 24 Sanar	0,37(0,06) 0,24 (0,04)
<i>Ma. africana</i>	13	0	13	2	2,6	0,09	-	-
<i>Ma. uniformis</i>	3023	0	3023	61	604,6	20,81	1 Sanar	0,03 (0,03)
<i>Mi. splendens</i>	1	0	1	1	0,2	0,01	-	-
Total	14516	10	14519	305	2905,2	100	-	-

N: Nombre de moustiques capturés ; (%): rapport en % du nombre capturés de l'espèce/ nombre total ; PL: Pièges Lumineux

RVF: virus de la fièvre de la Vallée du Rift ; Sanar: virus ArD 66707 (Sanar).

TRI: Taux Réel d'Infection: nombre de moustiques estimés infectés pour 100 moustiques testés, selon Chiang & Reeves (1962).

Tabl.3: Abondance et densité des populations de moustiques à Diawara (Vallée du Fleuve Sénégal) en novembre 1998 [Diallo, 2000].

Ainsi, quatre espèces de moustiques ont été trouvées porteuses du virus de la FVR au Sénégal. Nous avons déjà vu que les deux genres concernés (*Aedes* et *Culex*) ont des rôles différents dans la transmission de la maladie. Nous verrons bientôt que ceci peut s'expliquer par leurs dynamiques de population très différentes, les premiers étant capable de coloniser le milieu dès l'arrivée des pluies alors que les seconds colonisent ce dernier plus progressivement avec un nombre de cycles annuels beaucoup plus important.

### 3.3.4 Réservoirs

Nous avons déjà vu que certaines espèces de moustiques du genre *Aedes* étaient capables d'entretenir le virus en lui permettant de passer la saison sèche dans leurs œufs. Ces moustiques représentent donc un véritable réservoir de la maladie.

Le rôle de réservoir des ruminants sauvages et celui des oiseaux n'a pas pu être établi mais la participation de rongeurs sauvages dans le cycle naturel de la FVR en zones d'épizooties n'est pas exclu [Gora, Thiongane et al., 2000]. De Juin 1996 à Avril 1998, 290 rongeurs appartenant à 14 espèces furent capturés dans sept localités sénégalaises. La prévalence des anticorps anti-FVRV était de 3.8 % sur l'ensemble des rongeurs capturés (CF tableau ci-dessous). Quatre espèces appartenant à la famille des Muridae furent trouvées porteuses d'anticorps. Il s'agit de *Rattus rattus*, *Mastomys huberti*, *Arvicamrhus niloticus* et *Mastomys erythroleucus*. Le plus fort taux de séropositivité fut trouvé à Richard-Toll dans des zones de cultures irriguées de la vallée du fleuve Sénégal. Les épizooties de FVR ont une cyclicité associée à des changements bioclimatiques favorisant la pullulation des vecteurs [Thiongane, al. et al., ; CDC., 11/2000] et sont suivies d'une

période d'immunité chez le bétail qui le protège de la re-infection. Il est possible que pendant ces périodes, *A. niloticus* et *M. erythroleucis* jouent le rôle d'hôtes amplificateurs, jouant ainsi un rôle crucial dans la maintenance de la maladie. Cependant, la durée de l'infection étant plus courte chez les rongeurs que chez les ruminants, leur rôle dans le transport de la maladie est sans doute plus limité.

Site of capture	No. positive	No. tested	%
Richard Toll	7	(73)	9.6
Pout	1	(25)	4.0
Dakar-Niayes	1	(18)	5.5
Mbour-Bandia	2	(61)	3.3
Koungheul	0	(13)	0.0
Barkédji	0	(38)	0.0
Kédougou	0	(62)	0.0
Total	11	(290)	3.8

**Tabl4:** Seroprevalence des anticorps anti-RVSV chez les rongeurs sauvages au Sénégal par site de capture, 1996-1998 [Gora, Thiongane et al., 2000].

### 3.4 Conséquences pour la modélisation

#### 3.4.1 Cas de l'Afrique de l'Est

##### 3.4.1.1 Utilisation des précipitations au Kenya

La corrélation entre précipitations locales et activité du virus FVR au Kenya n'est pas évidente, avec des années à fortes pluies sans épidémie et des épidémies lors d'années avec des moyennes annuelles similaires ou légèrement supérieures à la moyenne. En calculant un indice basé sur le surplus des moyennes mensuelles par rapport à des moyennes calculées sur une période de 33 ans, pondéré du nombre de jours pluvieux par mois, l'équipe de Davies et Linthicum a toutefois réussi à montrer une corrélation nette [Davies, Linthicum et al., 1985].

Si cette étude met en évidence l'influence des pluies abondantes et répétées à grande échelle et sur une longue période, l'absence de corrélation entre prévisions locales et épidémies montre l'intervention d'autres facteurs. Dans la région étudiée, les pluies abondantes sont induites par la remontée de l'ICTZ (zone de convergence intertropicale) qui correspond à une zone de confluence de courants provenant du nord et du sud et qui détermine l'importance et la durée des pluies et du couvert nuageux. Les pluies abondantes entraînent une remontée de la nappe phréatique qui inonde les dépressions des herbages (damboos), gîtes larvaires reconnus de certaines espèces vectrices de FVR (notamment du genre *Aedes*), ce qui entraîne l'émergence de fortes populations d'adultes. Le couvert nuageux favorise en outre la survie des moustiques adultes, facteur clef dans la propagation des épizooties. De plus, les courants d'air induits par ce phénomène ainsi que l'effet de la convection ont certainement un grand rôle dans le transport passif des vecteurs.

Il est intéressant de remarquer que l'effet induit par l'ICTZ est en général semblable sur tous l'est et le sud-est du continent Africain et que les épidémies de FVR ont souvent lieu en même temps au Kenya, Tanzanie, Zambie et Afrique du sud. Ce n'est cependant pas le cas pour l'ouest Africain et son utilisation, du moins isolée, y est donc probablement impossible.

Il est intéressant de pouvoir corréliser cet indice pluviométrique à des données satellites sur l'activité et les mouvement de l'ICTZ. En effet, cela permet d'une part de diminuer la part très coûteuse des relevés au sol et d'autre part d'utiliser des modèles climatiques pour être capable d'anticiper les périodes d'activités virales.

##### 3.4.1.2 Indicateurs climatiques et satellites utilisés dans la modélisation de la FVR au Kenya

Le phénomène ENSO (El-nino Southern deviation) est une cause principale de variabilité climatique inter-annuelle dont l'index d'oscillation, le SOI (Southern oscillation index), est utilisé

depuis le 19<sup>ème</sup> siècle. Cet index compare la pression atmosphérique de Tahiti avec celle de Darwin, en Australie et il est exprimé comme une déviation standard par rapport à la norme. Des déviations négatives importantes sont associées aux événements El nino provoquant des anomalies climatiques, comme des précipitations anormalement élevées. Ces phénomènes ont déjà été mis en rapport avec de nombreuses maladies humaines et animales dans de nombreux pays.

D'autre part ces précipitations anormalement élevées sont associées à un développement anormalement élevé de la végétation qui peut être détecté par des satellites équipés de radiomètre à très haute résolution (AVHRR). Ces informations sont traduites en différents index permettant de mesurer l'activité photosynthétique, proportionnelle au développement de la végétation, dont le plus connu est le NDVI (Normalized difference vegetation index). Ces données sont toutefois relatives à une situation et à une période données et doivent être étalonnées systématiquement par des mesures au sol [Linthicum, A. et al., 06/99].

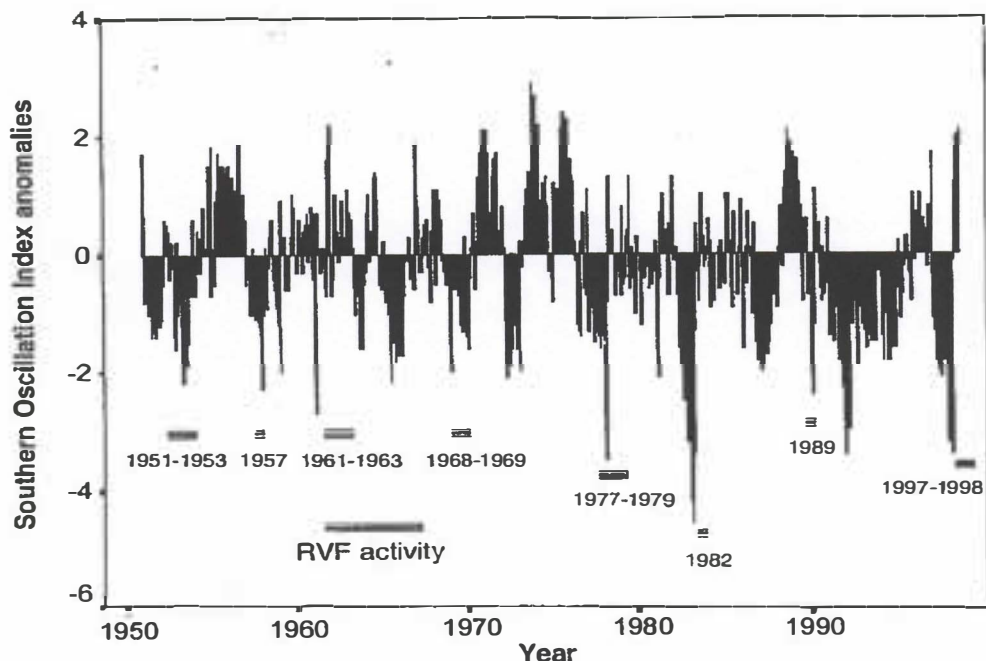
Enfin, la constitution d'un indice mesurant une différence de températures de surface de l'océan entre deux points fixes situés dans des régions équatoriales de l'océan pacifique et l'océan indien s'est également révélé très utile dans la prévision d'anomalies climatiques au niveau du continent africain.

Ces trois indices (Températures de surface de l'océan (SST), Indice d'oscillation vers le sud du phénomène ENSO (SOI) et Indice normalisé de végétation (NDVI)) ont tous été corrélés à des précipitations anormalement élevées dans l'Est africain et plus particulièrement au Kenya.

Cependant, sur une période de 48 ans (1950-1998), leur utilisation indépendante ne permet pas de prévoir les épizooties de RFV de façon satisfaisante. Différentes combinaisons de ces trois indices ont donc été testées et c'est l'utilisation simultanée des SST des océans indien et pacifique et des anomalies de NDVI qui permet la meilleure prévision du risque à 5 mois, avec une prédiction de 100% des épidémies et aucune fausse alerte.

On comprend l'intérêt de ce modèle qui aurait pu permettre d'éviter ces épizooties, par des moyens de lutte ciblés comme la vaccination des troupeaux ou la désinsectisation des sites de ponte des vecteurs.

Les figures suivantes montrent l'activité du virus de la FVR au cours du temps, en fonction de l'évolution de ces différents indices.



**Fig 5) Evolution des anomalies SOI entre Janvier 1950 et Mai 1998 et périodes d'activité de la FVR au Kenya. Les valeurs SOI sont présentées comme des déviations standardisées par rapport à une moyenne calculée entre 1951 et 1980.**

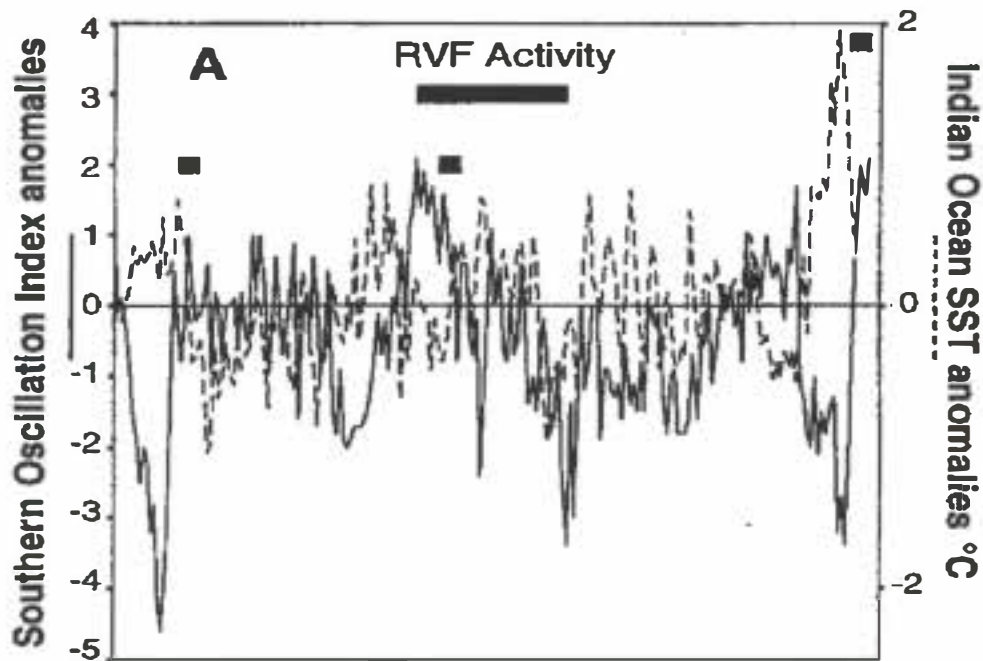


Fig 6) Evolution des anomalies des températures de surfaces de l'Océan Indien et des anomalies SOI de janvier 1982 à Mai 1998.

### 3.4.2 Cas de l'Afrique de l'Ouest : Utilisation des indices précédents

En zone sahélienne, l'utilisation des précipitations et des NDVI semble beaucoup moins évidente et leur corrélation aux épizooties de RVF beaucoup plus douteuse (CF figure suivante). Ainsi en 1993, la circulation enzootique du virus à Barkédji et en Mauritanie apparut en l'absence de fortes pluies ou de NDVI élevés alors que des années comme 1994 et 1999, où les NDVI étaient beaucoup plus élevés, n'ont pas donné lieu à une circulation virale, au moins détectable.

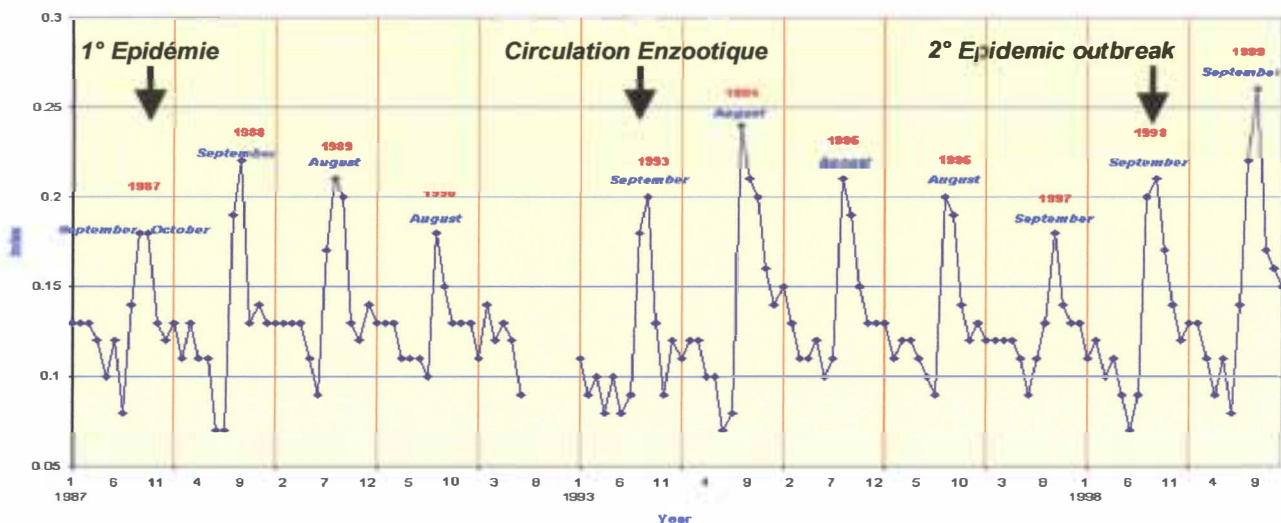


Fig 7) Variation des NDVI et activité FVR (∇) entre 1987 et 2000 en Mauritanie (Wilaya Hodh El Gharbi).

De même, l'activité RFV décrite dans le sud de la Mauritanie en 1982-1985 eut lieu pendant une période de sécheresse, en l'absence de pluies importantes [Zeller, Fontenille et al., 1997].

L'analyse du SOI et des anomalies SST ne permet pas non plus de prévoir ces évènements. Cela peut être dû à la moindre influence du phénomène El Nino sur les précipitations par rapport à l'Afrique de l'Est et surtout à des différences de conditions écologiques de nature à engendrer les épidémies. En effet, une étude de prévalence réalisée en novembre 1989 dans le sud de la Mauritanie montre une influence significative de la pluviométrie mais souligne l'importance des facteurs écologiques puisque la prévalence en IgM est significativement plus élevée dans les zones de lacs et grands oueds que dans les autres zones (vallée du fleuve Sénégal, mares temporaires et zone à forte humidité mais sans eau libre). La nature de l'eau libre favorable à la pullulation des vecteurs peut donc différer de ce qui est observé en Afrique de l'Est et seules des études entomologiques poussées sur la production qualitative et quantitative des différentes zones permettraient de préciser ces résultats [Lancelot, Gonzalez et al., 1989].

Etant donné sa distribution sporadique par le passé, les risques de transmission et d'épizooties de FVR peuvent apparaître dans des zones où le virus n'avait pas été détecté auparavant. De plus, l'extension de l'irrigation dans la vallée du Fleuve Sénégal avec les barrages de Diama et Manantali pourrait aussi être un facteur d'augmentation du risque de transmission, comme cela a pu être observé avec le barrage d'Assouan et les projets d'irrigation du delta du Nil en Egypte en 1977. Il a été suggéré que les altérations écologiques qu'entraînent de tels aménagements hydrauliques pouvaient être responsables de l'épidémie mauritanienne de 1987 par la création de nouveaux biotopes favorables aux vecteurs potentiels [Digoutte and Peters, 1989].

Cependant, la décroissance rapide de la prévalence en anticorps anti-FVRV de 1987 à 1992 suggère le passage à une période inter-épizootique, avec une maintenance du virus FVR cantonné aux zones humides.

Les moustiques infectés capturés en 1993 au niveau des mares suivies près de Barkédji suggèrent la présence de foci enzootiques au niveau de cette zone sahéenne. La présence d'IgM chez les moutons suivis au niveau de Barkédji indique que l'infection a eu lieu en Octobre ou Novembre 1993. A l'opposé, l'absence de circulation détectable du virus et d'émergence de moustiques infectés en 1991 et 1992 indique que les conditions environnementales étaient insuffisantes pour permettre son développement. La distribution des anticorps anti-FVRV au Sénégal confirme l'hypothèse de nombreux loci sans forme clinique détectable [Zeller, Fontenille et al., 1997].

Enfin, et nous verrons que cela a une très grande influence sur la diffusion de la maladie, l'élevage sahéen est basé sur les petites et grandes transhumances contrairement à l'élevage intensif de races améliorées en Afrique du Sud.

L'impossibilité d'utiliser des modèles statistiques a conduit à la mise au point de modèles dynamiques, qui intègrent les particularités épidémiologiques de la maladie en Afrique de l'ouest. Il s'agit principalement :

- du passage trans-ovarien du virus chez certains vecteurs,
- de la dynamique saisonnière des vecteurs,
- de l'immunité du bétail,
- des mouvements de troupeaux.

## **4 Modélisation de la FVR au Sénégal**

### **4.1 Objectifs**

Le modèle mathématique de la transmission de la FVR a pour but d'explorer l'apparition jusqu'ici inexplicée d'épidémies et l'impact potentiel de différentes mesures de contrôle. L'utilisation de modèles épidémiologiques a été initiée par Kermack et McKendrick [Kermack and McKendrick, 1927] et développée par Anderson et May [Anderson and May, 1979; May and Anderson, 1979].

L'intérêt d'un modèle est d'être capable de simuler l'évolution temporelle et géographique d'une maladie dans un environnement ayant des caractéristiques données, que ce soit en situation d'endémie ou de crise épidémique. Il constitue ainsi un outil d'aide à la décision pour mettre en place des programmes de surveillance et de lutte appropriés. Sa mise au point nécessite la prise en compte de l'ensemble des facteurs conditionnant l'épidémiologie de la maladie, ce qui comprend une étude exhaustive de la bibliographie ainsi qu'une discussion et une collaboration approfondies entre scientifiques d'horizons très variés. Il est ensuite nécessaire d'estimer les paramètres du modèle par des enquêtes de terrain et enfin de valider les hypothèses formulées par un réseau d'épidémiosurveillance performant ainsi que par des enquêtes sur foyers.

La recherche d'indicateurs du milieu corrélés à l'abondance des vecteurs représente un enjeu majeur. En effet, certains de ces paramètres peuvent être mesurés par télédétection ce qui permet de prévoir des périodes à risques et le cas échéant de renforcer certaines mesures de lutte ou de surveillance.

## 4.2 Description des modèles développés

### 4.2.1 Hypothèses de base

#### 4.2.1.1 Modèle de l'équipe CEA, programme Epi trop, CIRAD

Le modèle de l'équipe CEA (M. Dubois) simule la dynamique de la FVR sans représentation explicite des vecteurs. Les hypothèses de base sont les suivantes:

- *Aedes vexans* est un des vecteurs principaux, au moins en début d'épidémie ;
- un foyer se déclenche quand des œufs infectés d'*Aedes vexans* éclosent et que les moustiques nouveaux-nés piquent des ruminants sensibles et réceptifs.

Les facteurs conditionnant l'éclosion de moustiques infectants sont :

- la survie des œufs infectés (intervalle de temps depuis les derniers foyers);
- les paramètres environnementaux atteignant un niveau compatible avec l'éclosion des œufs : pluviosité, hygrométrie, niveau d'eau dans des mares servant de gîtes larvaires;
- la présence de ruminants sensibles et réceptifs (densité de population, immunité).

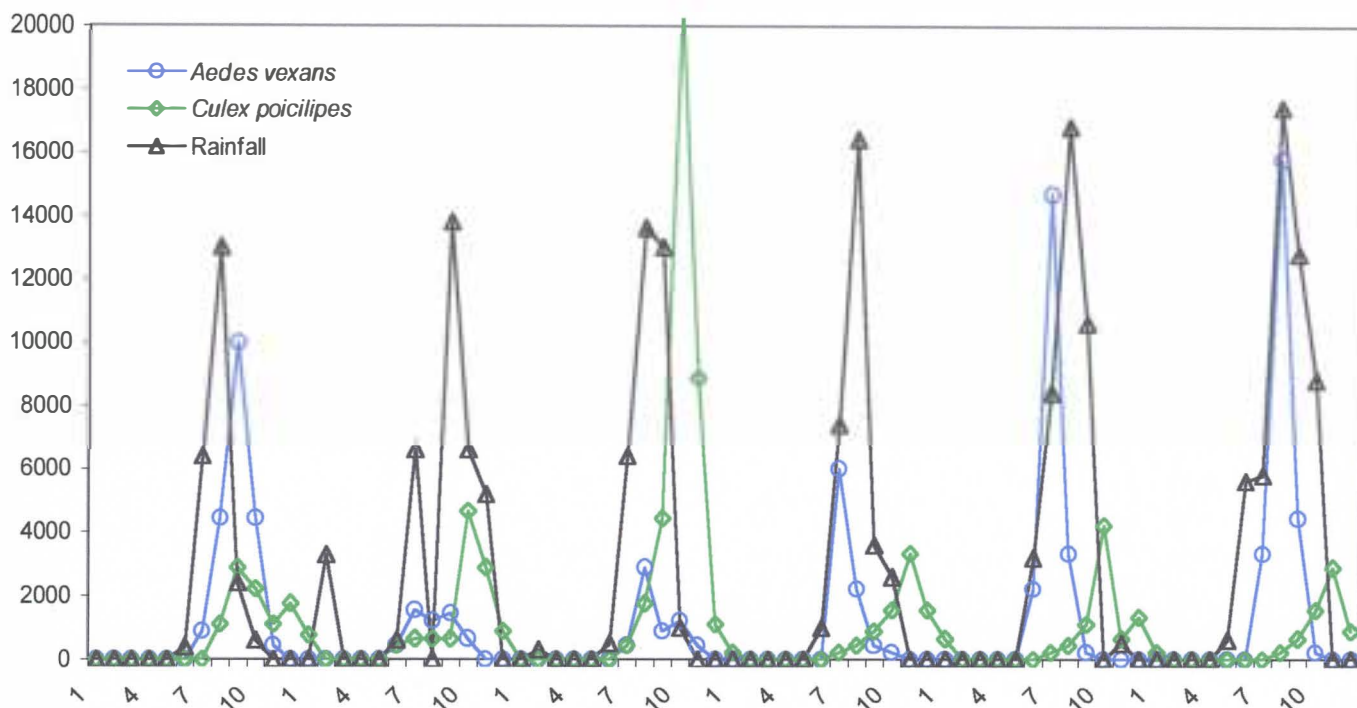
#### 4.2.1.2 Modèle de l'équipe INRA / ENVL

En plus des éléments pris en compte par l'équipe CEA, le modèle de l'équipe de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon (P. Sabatier, K. Monfray, D. Bicoût) représente explicitement la dynamique de deux vecteurs (*Aedes vexans* et *Culex poicilipes*).

Celui-ci s'appuie sur des résultats obtenus sur le site de Barkédji à partir du piégeage d'adultes en activité [Diallo, 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998; Diallo, 2000]. On constate qu'*Aedes vexans* est une espèce abondante en début de saison des pluies alors que *Culex poicilipes* prend le relais par la suite.

La figure suivante représente les résultats obtenus lors de la période d'étude :





**Fig 8) Abondance mensuelle des populations d'*Aedes vexans* et de *Culex poicilipes*, Barkédji, Sénégal, 1991-1996 .**

#### 4.2.1.3 Spatialisation

Les deux modèles précédents simulent la dynamique d'un foyer de FVR autour d'une mare. Pour rendre compte de la diffusion spatiale (contagion à d'autres troupeaux des environs et d'autres régions plus ou moins éloignées), un modèle a été développé qui comporte deux paramètres principaux :

- un paramètre de diffusion de proximité ( $\alpha$ ) représentant la contamination de nouveaux troupeaux par des moustiques infectés : troupeaux venant s'abreuver à une mare « infectée » ;
- un paramètre de diffusion distante ( $\beta$ ) représentant la dissémination de la FVR à d'autres régions : mouvements de transhumance du bétail et mouvements actifs (vol) ou passifs (vent) des moustiques.

Les schémas suivants présentent l'effet de la variation de ces paramètres sur la vitesse d'expansion de la maladie :

$\alpha=.3$ ,  $t=1$  et  $t=50$



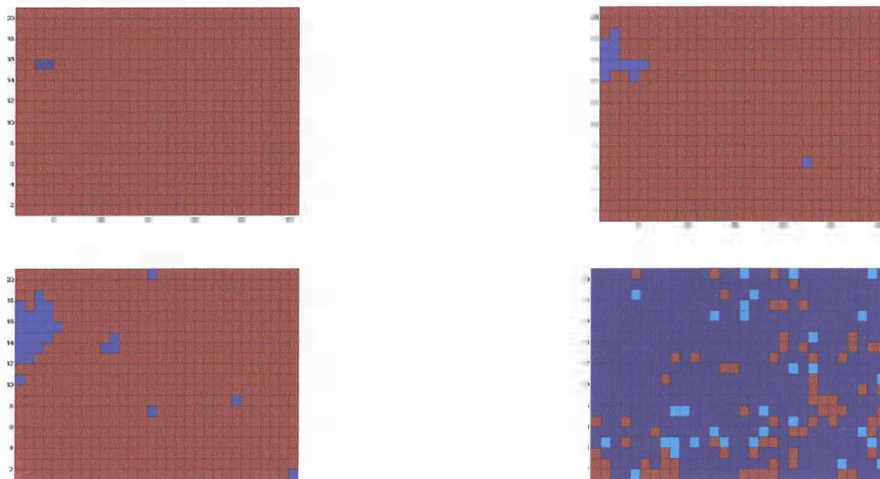
$\alpha=.7$ ,  $t=1$  et  $t=50$



**Fig 9) Modèle à deux dimensions sans diffusion distante ( $\beta=0$ ).**

Ce premier modèle représente la diffusion par contact d'une maladie contagieuse comme la rage par exemple.

$\alpha=.3$ ,  $t=1$ ,  $t=10$ ,  $t=20$  et  $t=50$



**Fig 10) Modèle à deux dimensions avec diffusion distante ( $\beta=0.1$ ).**

Ici, on observe que des foyers secondaires apparaissent à très grande distance du foyer primaire. Nous avons pu voir dans l'historique de la maladie qu'une telle situation s'est déjà présentée plusieurs fois.

#### 4.2.2 Mise en équation, l'exemple du modèle de l'ENVL

Comme exemple classique d'une situation épidémiologique générale, on considère un petit groupe d'individus infectés et infectieux placés dans une population beaucoup plus grande d'individus sensibles. On essaye ensuite de décrire l'expansion de l'infection dans la population ainsi obtenue [Sabatier, Dubois et al., 2000].

Considérons une population d'animaux domestiques (moutons et/ou vaches) distribuée en  $N$  classes d'âge, chaque classe contenant  $z_\alpha$  individus /  $\alpha \in \{1, \dots, N\}$  tel que la taille totale de la

population soit  $\sum_{\alpha=1}^N z_\alpha$ . Pour simplifier, considérons  $z_\alpha = 1$  tel que la taille de la population soit  $N$ .

Le statut sanitaire  $p(\alpha, t)$  de la classe d'âge  $\alpha$  au temps  $t$  est représenté par :

$$p(\alpha, t) = \begin{cases} 0; \text{IgM positif (résistant)} \\ 1; \text{séronégatif (sensible)} \end{cases}$$

Considérons une mare de profondeur  $L$  subdivisée en  $L$  strates (ou niveaux) contenant un certain nombre  $o(s, t)$  d'œufs infectés dans le statut  $s$  au temps  $t$ . Pour simplifier, nous considérons que la valeur de  $o(s, t)$  est comprise entre 0 et  $V$ , i.e.  $0 \leq o(s, t) \leq V$ . Cette mare est sujette à être remplie jusqu'au niveau  $h$  par les chutes de pluies durant l'hivernage. Dans le but d'imiter la nature aléatoire de l'abondance des chutes de pluies, le niveau d'hivernage  $h(t)$  est considérée comme une fonction aléatoire uniformément répartie dans l'intervalle  $[H_{min}, L]$ .

L'évolution du système au cours du temps, avec un incrément  $\Delta t$ , est décrite par :

$$\left\{ p(\alpha, t + \Delta t) = [1 - f_1(t)]p(\alpha - 1, t); \alpha \in [2; \dots, N] \right. \quad (1)$$

$$\left. \left\{ o(s, t + \Delta t) = (k\Delta t - 1)H[s - h(t)]o(s, t) + \{1 - H[s - h(t)]\}f_1(t)f_2(t)V; s \in [1, \dots, L] \right. \right. \quad (2)$$

aux conditions limites,  $p(1, t) = 1 \forall t$ , et  $k\Delta t > 1$ .

Soit deux fonctions du temps  $f_1; f_2: \mathbf{N} \rightarrow [0, 1]$  :

$$f_1(t) = H \left[ \sum_{s=1}^{h(t)} o(s, t) - \theta \right] \quad (3)$$

$$f_2(t) = H \left[ \sum_{\alpha=2}^N p(\alpha, t) \right] \quad (4)$$

où  $\theta$  représente le seuil déclenchant l'infection d'une population animale, et  $H(x)$  une fonction définie telle que  $H(x) = 0$  pour  $x < 0$  et  $H(x) = 1$  pour  $x > 0$ . Notons que  $f_1(t)$  est une fonction aléatoire du temps par l'intermédiaire de  $h(t)$ . (5)

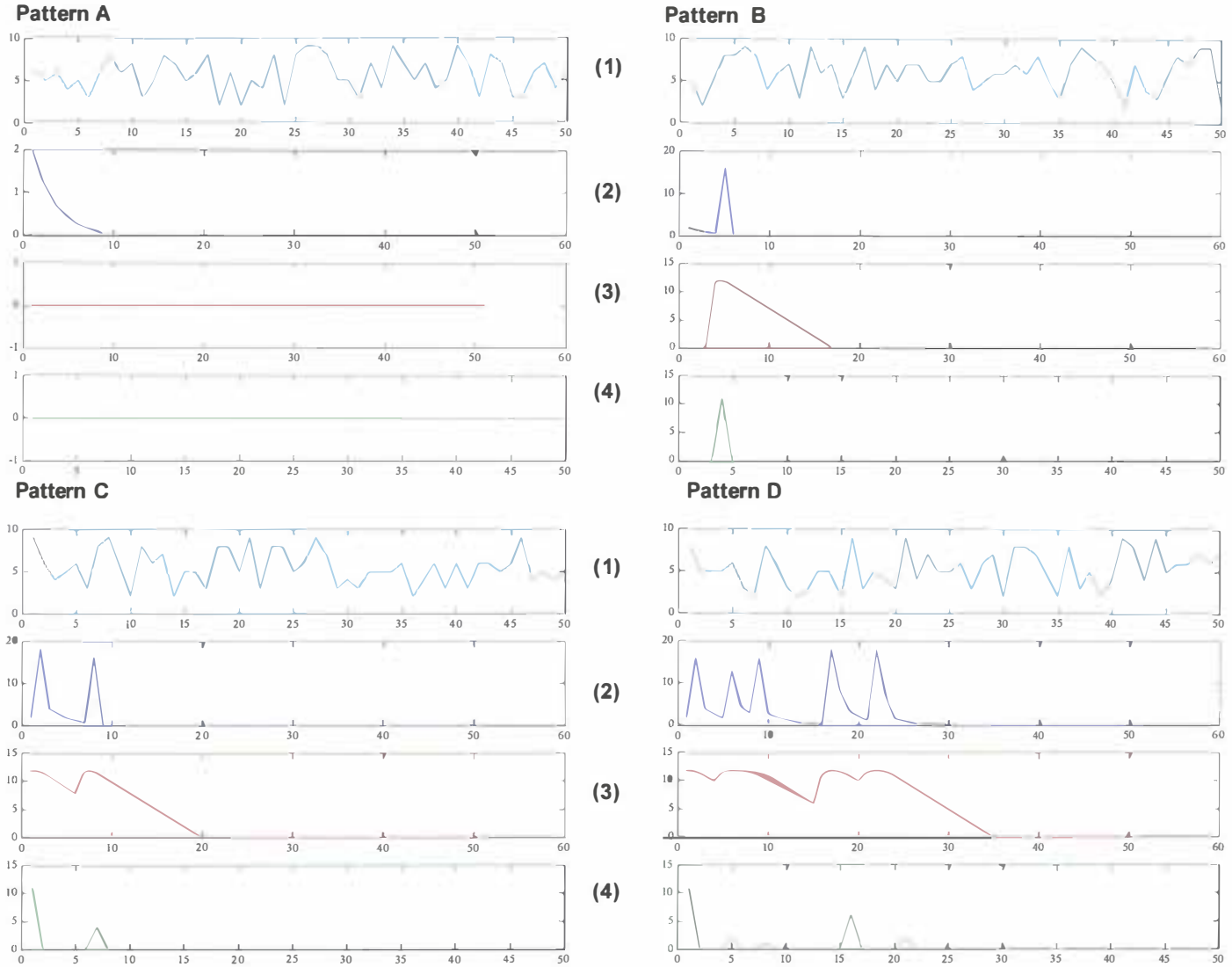
Les données résultantes du système dynamique (1, 2), contrôlées par le niveau d'hivernage  $h(t)$ , i.e. le remplissage de la mare, sont :

$$O(t) = \sum_{s=1}^h o(s, t) \text{ pour le nombre total d'œufs infectés au niveau de la mare suivie } \mathcal{Z}. \quad (6)$$

$$P(t) = N - \sum_{\alpha=1}^N p(\alpha, t) \text{ pour le nombre d'animaux infectés (séroprévalence en IgM) dans la zone } \mathcal{Z}. \quad (7)$$

$$A(t) = f_1(t) \sum_{\alpha=2}^N p(\alpha, t) \text{ pour le nombre total d'avortements (prévalence clinique) dans la zone } \mathcal{Z}. \quad (8)$$

Pour  $\theta$  fixé et des conditions initiales données,  $h(0)$ ,  $o(s,0)$   $\forall s \in \{1, \dots, L\}$ , et  $p(\alpha,0)$   $\forall \alpha \in \{2, \dots, N\}$ , l'évolution du système en fonction du temps est calculée avec un incrément temporel de  $\Delta t = 1$  an. Pour étudier la phénoménologie du système, des simulations numériques ont été réalisées en faisant varier le niveau d'hivernage  $h(t)$ . On trouve alors quatre grands types d'infection de FVR, présentés sur la figure suivante: (A) pas d'infection: absence de cas secondaires; (B) infection sporadique: une seule épidémie; (C) infection épizootique avec oscillations amorties; (D) infection épizootique avec oscillations périodiques.



(1) Fluctuations du remplissage de la mare suivie ( $h(t)$ ) ; (2) Quantité d'œufs infectés dans la zone 9 à proximité de la mare ( $O(t)$ ) ; (3) Séroprévalence des animaux dans la zone 9 ( $P(t)$ ) ; (4) Prévalence des avortements ovins dans la zone 9 ( $A(t)$ ).

**Fig 11) Présentation des quatre grands types d'infection de FVR obtenus par le modèle.**

C'est le modèle expérimental le plus simple de la transmission de la FVR. Il a été utilisé pour explorer les différents types d'épizooties attendues et les conséquences d'incertitudes biologiques : taux de transmission et remplissage des mares. Ce premier modèle simple ne prend pas en compte l'état virémique. Ceci est discutable par exemple dans les équations (4) et (8):

- Equation (4):  $f_2(t) = H \left[ \sum_{\alpha=2}^N p(\alpha, t) \right]$  parce que cela signifie que  $O(t)$  ne peut augmenter en l'absence d'animaux sensibles.

- Equation (8):  $A(t) = f_1(t) \sum_{\alpha=2}^N p(\alpha, t)$  parce que cela signifie que le nombre d'avortements est proportionnel à la population d'animaux sensibles (au lieu d'animaux virémiques).

### 4.2.3 Besoin en données

#### 4.2.3.1 Identification de sites d'études

Afin de faire tourner les modèles et d'identifier leurs failles, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre de données mesurées sur des populations réelles et de vérifier que les simulations sont en accord avec la réalité.

Deux régions stratégiques d'un rayon de 20 km chacune ont donc été choisies pour récolter toutes les informations nécessaires pour faire tourner les modèles. Ces régions ont été la cible d'une activité virale par le passé et représentent deux situations écologiques très différentes.

La première, centrée sur Ross-Bethio, village situé dans la vallée du fleuve Sénégal à 50 km au nord-est de St Louis et à 50 km au sud-ouest de Rosso, est située sur une zone de transition entre le wallo, zone inondable avec mares permanentes et cultures irriguées et le diéri, zone de dunes avec mares temporaires utilisée principalement comme pâturage de saison humide lorsque le wallo devient invivable en raison d'une pullulation de moustiques. Dans le wallo, l'hydrologie des mares est principalement conditionnée par le niveau du fleuve alors que dans le diéri, l'effet de la pluviométrie est prépondérant ce qui engendre la présence d'une grande diversité de biotopes sur une distance limitée.

La seconde, centrée sur Barkejii, village situé dans le sud-ouest du Ferlo à 30 km à l'est sud-est de Linguère, présente un climat sahélien typique avec des mares temporaires en saison humide dont le niveau est conditionné par la pluviométrie. L'abondance des pâturages disponibles en cette saison en fait une région de forte concentration animale. En saison sèche, au contraire, les points d'eau souterraine deviennent la seule source d'eau, et une partie des troupeaux transhume alors que les autres sont regroupés au niveau de ces points d'eau. La compréhension fine de ces mouvements animaux est un enjeu majeur dans notre étude.

Ce site a été la cible de nombreuses enquêtes entomologiques, virologiques et sérologiques et un acquis scientifique majeur y a été capitalisé [Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1995; Zeller, Fontenille et al., 1997; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998; Diallo, 2000]. C'est un lieu idéal pour tenter une synthèse des connaissances épidémiologiques et évaluer l'intérêt d'un modèle de simulation de l'occurrence de diffusion de la FVR.

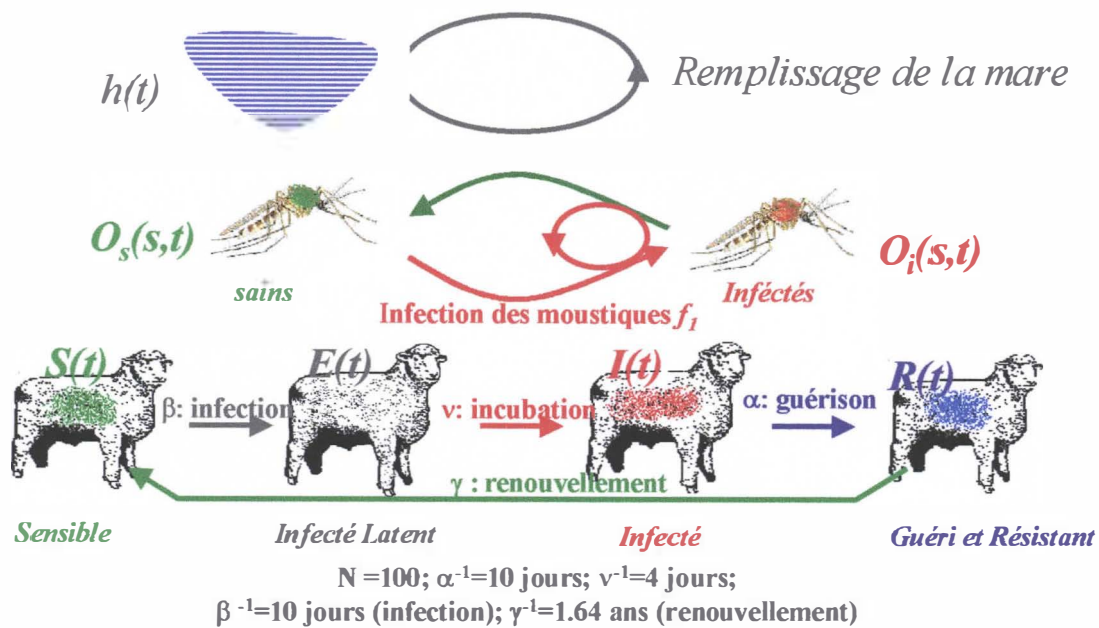
#### 4.2.3.2 Données sérologiques

Comme nous avons pu le constater ci-dessus, de nombreuses données sérologiques sont déjà disponibles suite aux études menées au Sénégal et en Mauritanie depuis l'épizootie de 1987.

Les paramètres pris en compte sont les suivants :

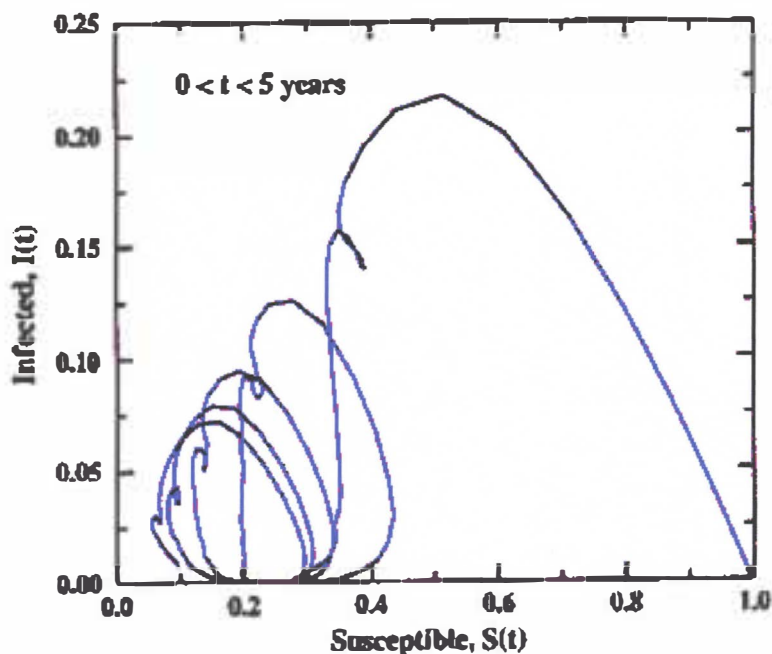
- la durée d'infection ( $\beta$ ) qui fait passer l'animal du statut sensible  $S(t)$  au statut infecté latent  $E(t)$  suite à la piqûre d'un moustique infecté est estimée à 10 jours.
- La durée d'incubation ( $\nu$ ) pendant laquelle l'animal passe du statut latent au statut infecté  $I(t)$ , est estimée à 4 jours.
- La durée de guérison ( $\alpha$ ) pendant laquelle l'animal passe du statut infecté au statut guéri et résistant à une nouvelle infection  $R(t)$ , est estimée à 10 jours.
- Enfin, la durée de renouvellement de la sensibilité ( $\gamma$ ), faisant passer l'animal du statut résistant au statut sensible, est estimée à 1.654 ans.

L'ensemble de ces données sont schématisées sur la figure suivante :



**Fig 12) Schéma présentant les paramètres pris en compte dans la modélisation de l'infection.**

Ces paramètres permettent de simuler l'évolution de l'infection d'une population dans le temps. Sur le schéma suivant, le taux d'animaux infectés est représenté en fonction du taux d'animaux sensibles. Chaque boucle représente une année et on peut observer une évolution cyclique du taux d'infection, suivi d'un emballement, qui pourrait représenter une épizootie :



**Fig 13) Evolution cyclique du taux d'animaux infectés  $I(t)$  en fonction du taux d'animaux sensibles  $S(t)$  sur une période de 5 années.**

La vérification de telles hypothèses repose sur les suivis clinique et sérologique des animaux dans les zones d'étude.

#### 4.2.3.3 Informations zootechniques et zoosanitaires

Pour être capables de comprendre et modéliser la diffusion de proximité de la maladie dans une population, il est nécessaire d'estimer de nombreux facteurs influençant celle-ci. C'est le cas de la localisation des troupeaux et des éleveurs, de la dynamique de la densité animale, de la composition de ces troupeaux et de leurs déplacements quotidiens pour la recherche de points d'eau et de pâturages.

En ce qui concerne la diffusion à distance, il est nécessaire de prendre en compte les mouvements de transhumance en évaluant leur importance et leur nature.

La représentation fine de ces deux types de mouvements ne peut être obtenue sans une représentation cartographique précise de nos zones d'études.

Enfin, la vérification des hypothèses de diffusions en périodes endémiques et épidémiques suppose que le suivi du statut sérologique des troupeaux vis à vis de la FVR ainsi que la déclaration des cas de suspicion soient réalisés en parallèle avec le relevé systématique des coordonnées géographiques des troupeaux concernés.

#### 4.2.3.4 Informations entomologiques

Les besoins du modèle en terme de données entomologiques sont multiples.

Il s'agit d'une part de connaître la diversité des espèces impliquées dans la transmission, la dynamique saisonnière des populations de vecteurs potentiels et la prévalence du virus chez ces vecteurs potentiels et d'autre part d'identifier les paramètres environnementaux déterminant leur abondance. Ces paramètres d'abondance doivent être faciles à mesurer et si possible à distance (remote control).

Nous avons vu ci-dessus que des études entomologiques répétées nous donnent une bonne idée de la situation de Barkédji (diversité spécifique et vecteurs potentiels) [Diallo, 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1995; Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998; Diallo, 2000].

Pour rappel, cela a permis d'identifier 46 espèces réparties en 8 genres. Parmi celles-ci, deux espèces sont prédominantes. Il s'agit d'*Aedes vexans*, qui représente 41% des captures totales et 93% des captures du genre *Aedes*, et de *Culex poicilipes*, qui représente 28% des moustiques capturés et 72% des captures du genre *Culex*. Au sein des *Aedes*, la seconde espèce la plus représentée est *A. ochraceus*, avec 3% des *Aedes* capturés.

Au total, 10 souches de virus de la FVR ont été isolées d'*A. vexans*, et 3 d'*A. ochraceus* sur le site de Barkédji. Au cours d'études entomologiques menées dans d'autres sites au Sénégal en 1998 (Thillé Boubacar, Kanel, Dembankané et Diawara), *C. poicilipes* s'est avéré être un moustique prédominant dans la plus part de ces sites (sauf à Thillé Boubacar). Trente-six souches virales de FVR en ont été extraites sur le site de Diawara [Diallo, 2000].

L'analyse des préférences trophiques pour les deux premières espèces montre qu'une part importante des repas sanguins sont pris sur le bétail et que l'homme est également soumis à la prédation de ces deux espèces. L'ensemble de ces informations font de ces espèces de bons candidats en temps que vecteurs potentiels de Rift.

Les études précitées ont permis de mettre en évidence un pic d'abondance d'*A. vexans* en début de saison des pluies et un relais par un pic d'abondance de *C. poicilipes* en fin de saison des pluies. En comparant ces résultats à d'autres travaux entrepris en Afrique de l'est sur le genre *Aedes*, l'hypothèse d'un rôle d'initiation des épizooties par les *Aedes* et d'amplification par les *Culex* a été avancée [Fontenille, Traore-Lamizana et al., 1998; Diallo, 2000][Fontenille, 1998; Diallo, 2000].

Afin de faire tourner nos modèles, il nous reste à préciser la dynamique des populations de ces 3 espèces sur le site de Barkédji, à identifier les biotopes et les événements climatiques favorables à leur prolifération et à caractériser les principales interfaces hôtes - vecteurs.

En revanche, sur le site de Ross-Béthio les culicinés ont été peu étudiés et il s'agira donc dans un premier temps d'évaluer la diversité spécifique et d'identifier les principaux vecteurs de FVR en choisissant des mares situées sur un trans-sec allant de la zone inondée en permanence à la zone dunaire de mares temporaires. Les études de dynamique des populations et des cycles vectoriels viendront dans un second temps.

Le travail de terrain doit être couplé à des études de laboratoire des paramètres biologiques des vecteurs, afin de justifier certaines hypothèses du modèle.

Les plus importants à déterminer sont :

- le pourcentage des œufs pondus qui entrent en dormance au cours du temps. Ce pourcentage est soit à peu près constant au cours du temps, soit dépendant du moment de ponte : faible en début saison des pluies et élevé en fin de saison des pluies « en préparation » de la saison sèche. Cette dernière hypothèse est actuellement privilégiée et va de paire avec le caractère monocyclique supposé de l'espèce. De tels mécanismes sont le fruit d'une adaptation poussée au milieu et rappellent les réponses adaptatives des *haemonchinae* au milieu aride en Mauritanie : alors que certaines espèces pondent toute l'année (exemple de *Haemonchus contortus*), d'autres limitent leurs pontes à la saison humide ce qui représente une adaptation très efficace aux conditions extérieures de survie des larves (exemple de *Haemonchus longistipes*) [Jacquet, Cabaret et al., 1995; Jacquet, Colas et al., 1995; Jacquet, Cabaret et al., 1998].
- les facteurs influençant le taux de survie des œufs (ex : rigueur et durée de la saison sèche) ;
- le taux d'éclosion, qui n'est jamais de 100%, certains œufs devant être déshydratés plusieurs fois pour éclore ce qui permet à l'espèce de survivre en cas de mise en eau d'une mare inférieure au cycle larvaire ;
- le taux de survie des larves écloses qui dépend des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (salinité, dureté, pH) mais aussi des caractéristiques biologiques de la mare (ressources nutritives, compétition, prédation).

#### 4.2.3.5 Données environnementales

Le niveau d'hivernage  $h(t)$  i.e. le remplissage de la mare, est un paramètre de contrôle important de la dynamique épidémiologique de la FVR. Dans ces modèles simples,  $h(t)$  est uniformément distribuée dans l'intervalle  $[H_{min}, L]$  si bien que la moyenne pluviométrique est  $(L + H_{min})/2$ . Il peut donc être très intéressant de déterminer la distribution de  $h(t)$  au cours de la saison des pluies.

Ceci peut être réalisé par des mesures au sol corrélées à une détection spatiale des ressources en eau de surface (hydrographie, lacs, barrages, mares, retenues collinaires etc) à partir de canaux rouge, infrarouge et moyen infrarouge. Du point de vue physique, l'eau a la particularité d'avoir une réflectance moyenne dans le domaine du visible qui chute brutalement dans le proche et moyen infra-rouge, contrairement à la plupart des autres corps (végétation, sols nus) qui ont une réflectance moyenne ou forte dans cette gamme de longueurs d'onde. Ainsi la séparation « eau / non eau » ne pose généralement pas de problème majeur en télédétection si l'on peut travailler dans le domaine du proche ou moyen infra-rouge, et il est facile de l'isoler de son contexte.

La cartographie des zones en eau et des zones inondables peut ainsi être réalisée par l'utilisation des données VEGETATION-SPOT 4 à basse résolution mais haute répétitivité: analyse du canal PIR et MIR; évolution temporelle du NDVI; techniques de contraste local (MIR, NDVI, NDWI)<sup>1</sup>. A partir des indices NDVI (calculés à partir de PIR et R) et NDWI (calculés à partir de PIR et MIR) d'une part, et du canal MIR lui même d'autre part, on peut obtenir un masque d'eau.

Ce masque issu des données VEGETATION-SPOT 4 est assez bien corrélé, sur les zones et aux dates d'intérêt que nous avons retenues, avec celui obtenu à partir des données HRVIR-SPOT 4 (haute résolution visible et infra-rouge mais faible répétitivité) (Figure suivante).

<sup>1</sup> NDVI: Normalised Difference Vegetation Index; NDWI: Normalised Difference Water Index; PIR: Proche Infrarouge; MIR: Moyen Infrarouge; R: Rouge; HRVIR Haute Resolution Visible et Infrarouge.

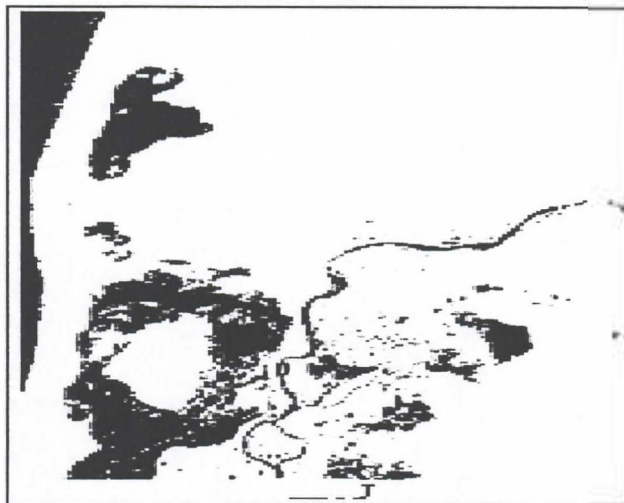


### Echelle régionale (Zoom)



SPOT-4 Vegetation (1 Km)  
Septembre 2<sup>e</sup> décade 1999

### Echelle locale



SPOT-4 HRVIR (20 m)  
Septembre 21 1999

**Fig 14) Masques d'eau obtenus à deux échelles complémentaires : Delta du fleuve Sénégal (16,2°N à 16,8°N et 16,5° à 15,80°W).**

La région de Ross-Béthio comprend un réseau hydrologique complexe avec des périmètres irrigués, des mares permanentes et des mares temporaires. Ce système et son évolution sont suivis par la SAED qui réalise un SIG dynamique mis à jour régulièrement, ce qui nous permettra de disposer d'informations au sol précises et actualisées.

En ce qui concerne Barkejii, la situation hydrologique est beaucoup plus simple. Il est cependant nécessaire d'établir la localisation des mares temporaires. Le suivi du niveau et de la surface d'un échantillon de mares temporaires instrumentées devrait permettre d'établir une relation entre surface et hauteur d'eau et d'étalonner les mesures de surface par images satellitaires.

D'autres informations, comme les précipitations au sol et la gestion des barrages (notamment débit et niveau du fleuve), qui reflètent l'effet des précipitations en amont (Guinée), sont à prendre en compte puisqu'elles conditionnent la répartition et l'importance des ressources en eau libre et des biotopes favorables aux vecteurs.

Enfin, la direction des vents dominants est importante à prendre en compte puisqu'elle provoque le déplacement passif des vecteurs, qui pourrait être à l'origine d'une diffusion à distance du virus.

#### 4.2.3.6 Orientation des axes de recherche

Vu les informations dont nous disposons déjà, les besoins du modèle et les compétences disponibles, deux axes de recherche ont été définis :

- Conditions d'infection des ruminants : dynamique saisonnière de l'abondance des hôtes et vecteurs, lieux et moments de contact bovins / moustiques. Cela doit aboutir à préciser certains paramètres des modèles, mais aussi à définir les conditions d'une surveillance éco-entomologique, utilisant l'image satellitaire.

- Diffusion spatiale de la maladie par les mouvements d'animaux : mesure des paramètres de diffusion à distance.

## 4.3 Protocoles d'enquêtes

### 4.3.1 Récolte des informations entomologiques

#### 4.3.1.1 Matériel utilisé

##### 4.3.1.1.1 Piégeage des moustiques émergents

Le Modèle utilisé a été créé pour les besoins de l'étude, à partir de pièges décrits dans un document qui nous a été remis par Bernard Mondet, laboratoire d'entomologie médicale, Institut Pasteur de Dakar ([M.W. Service, ]. Inspiré du modèle conique de Pritchard&Scholfield, 1980, il s'en distingue par un diamètre deux fois plus important (0.5m), et la particularité d'être un piège flottant : en effet, bien que fixé par un axe en acier inoxydable à l'endroit désiré, il coulisse sur cet axe et son flotteur lui permet de suivre le niveau de l'eau.

Le piège est présenté par le schéma suivant :

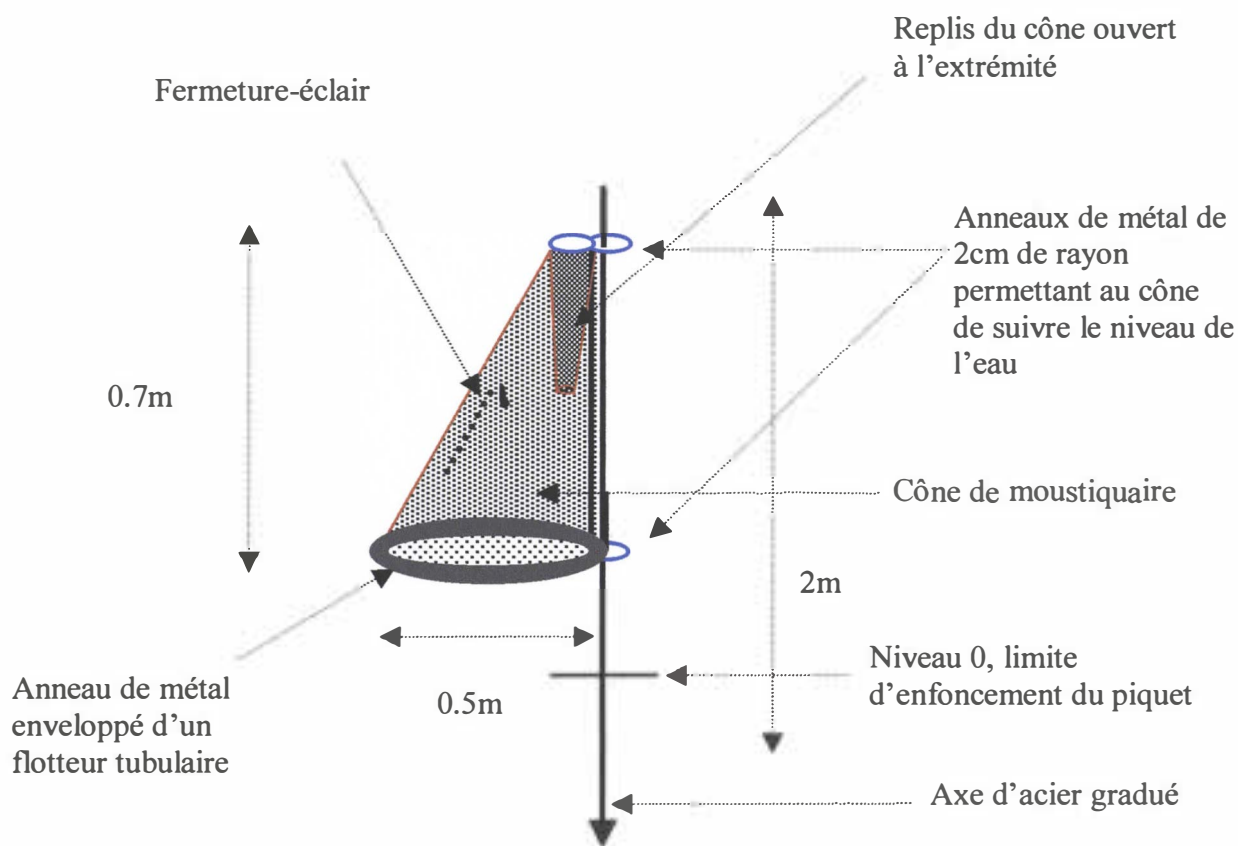


Fig 15) Piège à émergence utilisé dans l'étude de la fièvre de la vallée du Rift, Dakar, juin 2001

##### 4.3.1.1.2 Piégeage des moustiques adultes.

Le piégeage des moustiques adultes a été réalisé avec des pièges CDC simples, les conditions matérielles d'enquête ne nous permettant pas de disposer de neige carbonique.

#### 4.3.1.2 Méthodes de capture

##### 4.3.1.2.1 Récolte des œufs en saison sèche

Afin de préciser la localisation des sites de pontes d'*Aedes Vexans*, une cinquantaine de prélèvements de terre, de débris végétaux (écorce, tiges résiduelles de la végétation herbacée) ont

été effectués en fin de saison sèche à différents niveaux du sol de la mare ainsi qu'au niveau des troncs et souches situées à l'intérieur et en périphérie de la mare.

Ces prélèvements ont été immergés dans de l'eau du robinet à Dakar, et surveillés pendant une dizaine de jours pour l'observation d'éclosions éventuelles.

#### 4.3.1.2.2 Récolte et traitement des moustiques émergents

Les pièges coniques décrits ci-dessus sont disposés à la périphérie, et à différents niveaux des mares, en fonction de l'observation des répartitions larvaires et de la variabilité des biotopes rencontrés. Le nombre moyen de pièges est de cinq par mare.

Ces pièges sont relevés tous les matins entre 8 et 10 h pendant toute la durée de la mise en eau des mares: les moustiques seront prélevés à l'aspirateur, tués à l'éther, identifiés et comptés au moyen d'une loupe binoculaire.

Nous relevons la profondeur de l'eau au niveau des pièges, la diversité spécifique et l'abondance quotidienne des différentes espèces. *Aedes vexans*, *A. ochraceus* et *C. poicilipes* seront identifiés, comptés et stockés séparément des autres espèces, qui seront regroupées par genres. Tous les moustiques collectés et triés seront stockés dans des tubes secs avec dessiccateur pour une vérification ultérieure de leur identification (voir fiche entomologie en annexe).

La photographie (Fig. 16) représente la répartition des pièges à émergence autour d'une mare.

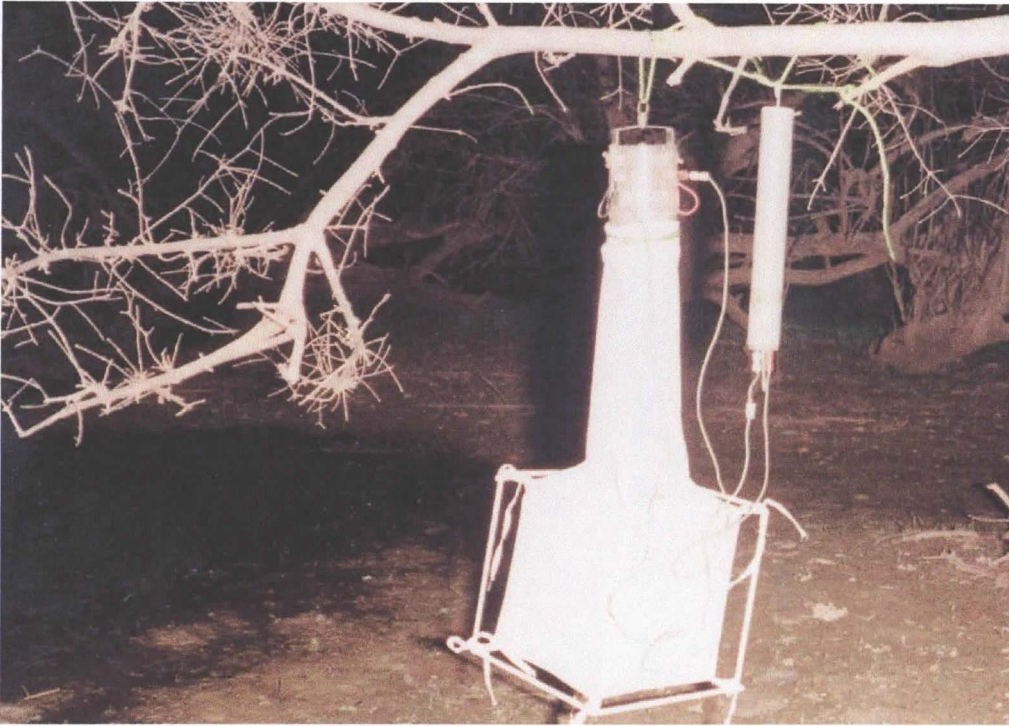


**Fig 16) Disposition des pièges à émergence autour d'une mare.**

#### 4.3.1.2.3 Récolte et traitement des moustiques adultes

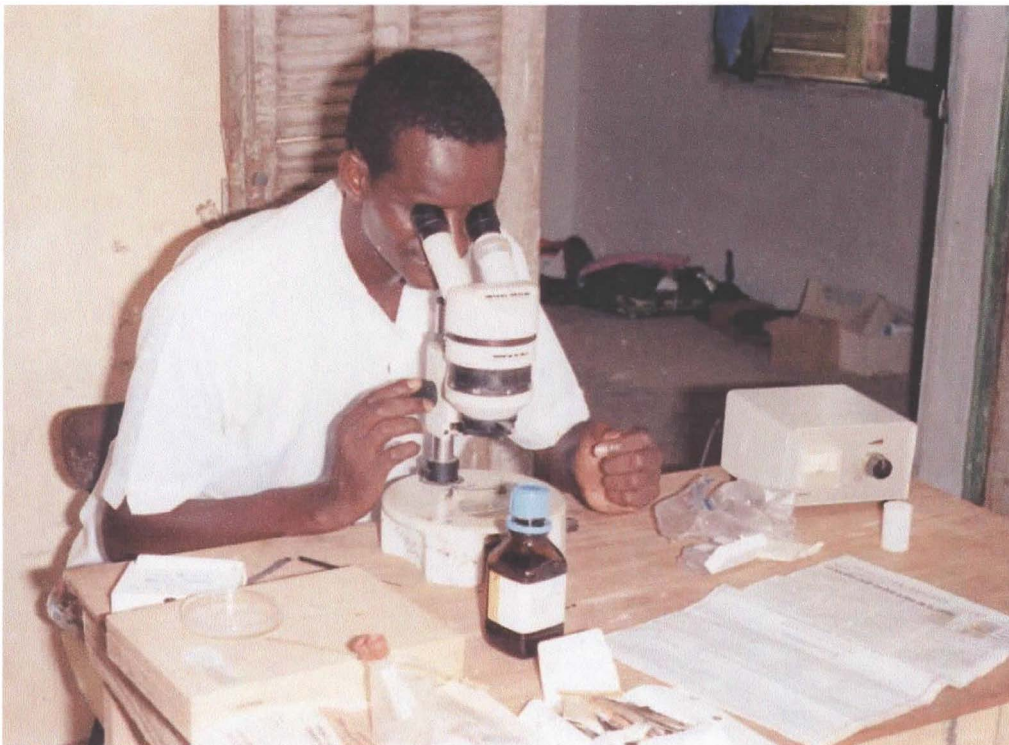
Les moustiques qui nous intéressent sont connus pour exercer leur activité de prédation la nuit, sur les animaux et les humains fréquentant la mare ou séjournant à proximité.

Les pièges CDC sont utilisés couplés ou non à des appâts animaux (petits ruminants) et sont placés simultanément à des distances variables des mares ainsi que dans les campements et parcs de nuits. On les dispose trois jours de suite aux mêmes endroits, de 19 h à 24 h (Fig. 17).



**Fig 17) Pose d'un piège CDC au bord de la mare de Furdu**

Les moustiques sont identifiés, comptés et allotés pour suivre l'évolution de l'activité de prédation et mieux préciser les zones de rencontre vecteur / hôte (Fig. 18).



**Fig 18) Identification et comptage des moustiques capturés**

#### 4.3.1.3 Choix des mares étudiées

##### 4.3.1.3.1 Cas de Barkédji

Un relevé de la situation géographique des mares et de leurs caractéristiques édaphiques et écologiques (durée de mise en eau après chaque pluie, sol, végétation, surface) des principales

mares situées dans un rayon de 20 km autour de Barkédji (130), nous a permis de distinguer 2 grandes catégories de mares :

- les mares à cuvette argileuse, généralement de grande taille (diamètre supérieur à 100 m) qui restent en eau pendant toute la saison des pluies et une partie de la saison sèche et qui présentent une végétation ligneuse dense. Au cours de la saison des pluies, ces mares sont colonisées par une végétation aquatique à vaisseaux aérifères indispensables à l'oxygénation de certaines larves de moustique comme celles du genre *Mansonia* (pistias, nénuphars, lentilles d'eau).

- les mares à sol sableux à sablo-argileux, plus petites (diamètre inférieur à 100 m) et situées à proximité des premières, dont le niveau fluctue beaucoup et dont la végétation ligneuse est faible à absente. Il en est de même pour les plantes aquatiques qui ne peuvent s'y établir à cause des assèchements répétés. En revanche, en raison de ces assèchements, la végétation herbacée colonise la périphérie et une partie de la mare en saison des pluies.

Nous avons donc décidé de piéger deux grandes mares :

- la mare de Barkédji, située dans le lit du Ferlo, est en continuité avec d'autres mares du même lit et collecte donc l'eau de pluie sur une grande surface par gravité (étant donné la grande taille de cette mare, le site d'étude a été baptisé MOUS1, 15°16'54.8''N, 14°51'48.5''W) ;
- la mare de Fourdou, située hors du lit du Ferlo, est remplie uniquement par son bassin versant (15°15'18.9''N et 14°51'37.2''W).

Nous avons également choisi deux petites mares situées à proximité de la première et ayant une durée de vie de 7 à 10 jours (MOUS2, 15°16'19.8''N et 14°51'37.4''W) et de 10 à 15 jours (MOUS3, 15°16'12.8''N et 14°51'28.4''W) après chaque pluie.

Le schéma suivant présente la localisation des mares suivies:

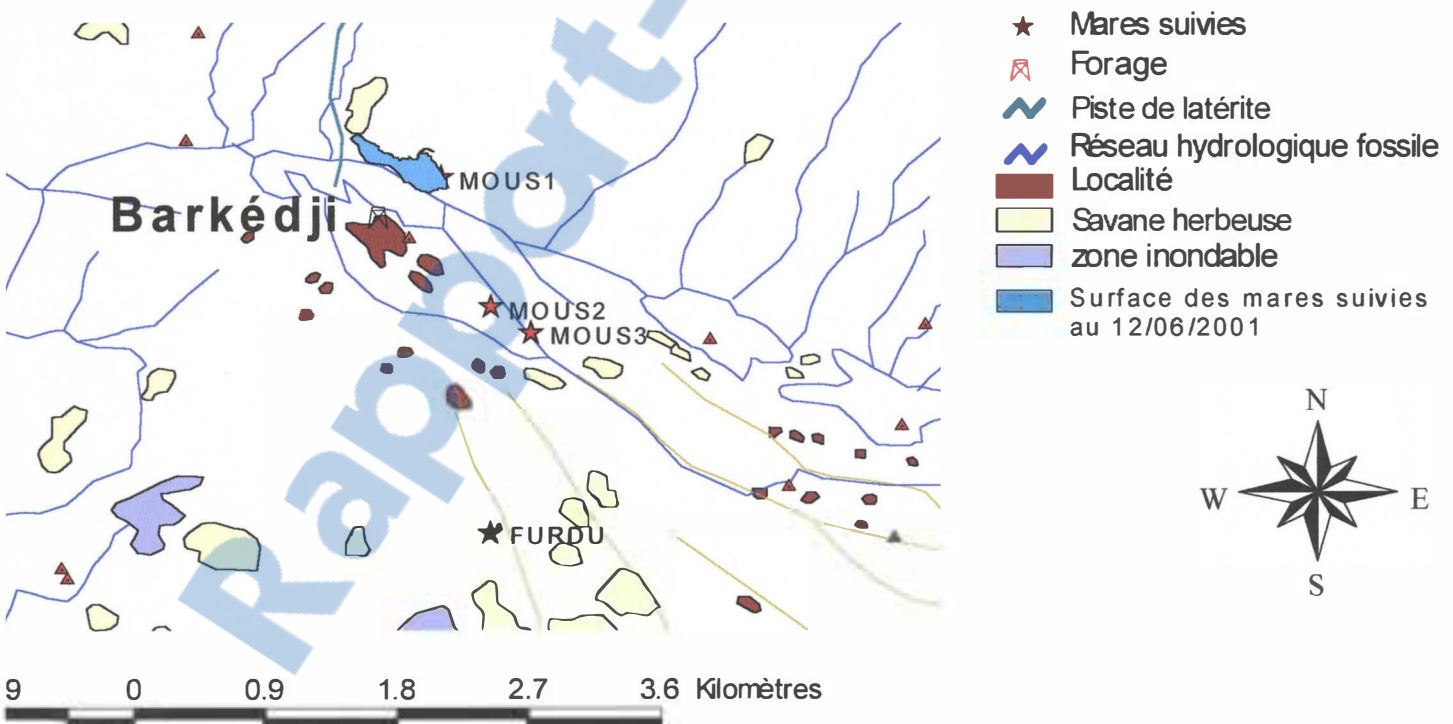


Fig 19) Localisation des mares suivies sur les plans hydrologiques et entomologiques au niveau du site de Barkédji.

#### 4.3.1.3.2 Cas de Ross-Béthio

La situation est ici beaucoup plus complexe de par la dualité de l'origine de l'eau, à la fois pluviale et fluviale.

Les mares reliées au fleuve (situées dans le wallo) sont en général permanentes alors que parmi les mares temporaires, on distingue celles qui ont un remplissage purement pluvial (diéri) de celles qui sont également remplies par gravité lors des crues du fleuve (wallo).

La situation se complique encore par la présence de sel à des concentrations variables dans le wallo.

Le cycle d'amplification de la maladie ayant lieu principalement lors de la saison des pluies, nous avons choisi de restreindre notre étude, au moins dans un premier temps, à la production des mares temporaires.

Nous piègerons donc une mare temporaire salée et une mare temporaire non salée dans le wallo, ainsi qu'une mare de courte durée de vie (2 mois), et de longue durée de vie (5 mois) dans le diéri. Dans chaque cas, nous caractériserons l'association végétale en présence.

### 4.3.2 Cartographie

#### 4.3.2.1 Cas de Ross-Béthio

Nous avons obtenu l'ensemble des couches du SIG réalisé et actualisé régulièrement par la SAED de Saint-Louis, à partir de l'interprétation d'images satellites spot panchromatiques et d'enquêtes de terrain.

Nous prévoyons également l'interprétation d'une photographie panchromatique tirée en octobre 2000 afin d'identifier la répartition des mares temporaires.

#### 4.3.2.2 Cas de Barkédji

Le PPZS (Pôle Pastoral Zones Sèches) a réalisé une carte d'occupation des sols par l'interprétation de photographies aériennes de 1979-90. Ceci a permis de dresser un premier calque de l'occupation du sol autour de Barkédji. Cette maquette a ensuite été scannée et digitalisée à l'écran avant d'être géoréférencée à l'aide d'une dizaine de points amers pris par GPS sur le terrain. Elle a été intégrée dans un système d'information géographique (SIG). Les principaux éléments qui ont pu être discriminés et identifiés sont le réseau hydrographique fossile, les mares, les zones inondables, les cultures, les localités, les pistes principales et secondaires, la savane arbustive et la savane herbeuse.

La carte de l'occupation du sol au 1/50 000<sup>ème</sup> sera actualisée à l'aide d'images multispectrales (XS) du satellite Spot prises en fin d'hivernage 2001.

### 4.3.3 Enquêtes démographiques et zootechniques

#### 4.3.3.1 Enquête préliminaire

##### 4.3.3.1.1 Méthode d'enquête

Cette mission a pour but d'établir la position et de relever un certain nombre d'informations épidémiologiques concernant les mares temporaires, points d'eau souterrains, et campements en balayant systématiquement une zone d'un rayon de 20km autour de Barkédji.

La présence d'un enquêteur d'origine peule (M. Diam Sow) s'est avérée indispensables pour obtenir la collaboration des éleveurs. Nous avons en plus été guidés dans nos déplacements en 4\*4 par plusieurs personnes :

- M. Ibrahima Sow, instituteur et éleveur peul connaissant les principaux campements et mares temporaires sur l'ensemble de la région,
- une personne variant chaque jour, ayant une connaissance exhaustive de chaque secteur étudié et disposant d'une considération avérée par les éleveurs concernés (chefs de villages, chef de poste).

Il faut signaler le caractère indispensable du véhicule tout-terrain dans cette enquête, où nous avons parcouru plus de 80km de piste par jour, et où l'utilisation de deux guides s'est avérée indispensable tenter d'être exhaustifs.

Pour nous repérer, nous disposions également d'une carte de la région au 1/200 000 sur laquelle nous reportions tous les points GPS en fin de journée.

#### *4.3.3.1.2 Nature des informations collectées*

##### **4.3.3.1.2.1 Les mares**

Nous avons choisi de regrouper les mares portant le même nom en prenant la localisation GPS de la plus grande d'entre elles. En effet, elles sont situées à faible distance l'une de l'autre et sont épidémiologiquement indissociables puisque les éleveurs eux même les assimilent et y font boire leur troupeau indifféremment.

De plus, il est impossible de relever la totalité des mares, une grande partie d'entre elles ayant une faible durée de « vie » (quelques heures à quelques jours) et n'étant donc utilisées qu'occasionnellement par les éleveurs, beaucoup plus attachés à repérer les grandes mares qui sont les seules à être fiables pour ces derniers.

En plus de la localisation des mares, nous avons relevé leur nom local, leur niveau d'eau, la nature du sol. Nous avons également relevé la diversité de la végétation en présence / absence. Ce dernier recueil a été possible grâce à une bonne connaissance des noms peuls de la végétation du Ferlo par D. Sow, qui a reçu la confirmation de toutes ses identifications par des éleveurs de la zone. Nous avons enfin récolté les graines et les fruits de toutes les espèces importantes afin de déterminer leur nom scientifique de façon certaine.

##### **4.3.3.1.2.2 Les points d'eau profonde**

Dans notre zone d'étude, nous avons rencontré trois types de points d'eau profonde. Il s'agit des forages, des puits et des céanes.

Pour chacun de ces points d'eau, nous avons relevé la position et la fréquentation en nombre de troupeaux, en différenciant les troupeaux provenant du village situé à proximité de ceux provenant de campements indépendants du village. Ces troupeaux ont été comptabilisés en séparant les troupeaux de bovins et de petits ruminants.

Nous avons pour cela interrogé les gestionnaires de forage, et les chefs de village dans le cas des puits et céanes. La fiabilité des informations obtenues s'est avérée inversement proportionnelle à l'importance de la fréquentation puisque les petits puits sont très contrôlés par les chefs de village, qui nous ont procuré une information très fiable en énumérant nommément chaque éleveur ayant le droit d'utiliser le puit. Au contraire, les forages étant beaucoup plus fréquentés, ils sont gérés par des gestionnaires. La fiabilité des données est alors plus difficile à vérifier, bien que nous disposions parfois de registres.

##### **4.3.3.1.2.3 Les lieux d'habitations**

Ils se distinguent en villages, campements permanents et campements temporaires. La première distinction est simplement liée au nombre de concessions présentes. Dans les cas des campements, nous avons regroupé tous ceux se situant dans un rayon d'environ 500m, en cumulant le nombre total de concessions en un point central. Ceci a été facilité par le fait que ces campements sont regroupés par famille.

Pour chacun de ces lieux d'habitation, nous avons relevé la localisation, le nombre de concessions, le nombre total d'habitants ainsi que le nombre de troupeaux de bovins et de petits ruminants présents à la date de l'enquête. Nous avons en plus relevé la date d'arrivée dans le cas des campements temporaires. Enfin, nous avons relevé les lieux d'abreuvement utilisés par les troupeaux localisés dans ces lieux d'habitation au moment de l'enquête, et dans le cas où ils étaient multiples, la proportion de troupeaux utilisant chacun d'entre eux.

Là encore, l'information a été relativement précise pour tous les lieux d'habitation où nous avons pu citer nommément chaque chef de concession à l'aide des chefs de villages et beaucoup

moins lorsque le nombre de concessions élevé et la multiplicité des chefs de villages rendaient cela impossible. Dans ce dernier cas, nous avons utilisé les chiffres des recensements de populations obtenus à la sous-préfecture de Barkédji.

#### 4.3.3.2 Enquêtes « mouvements de troupeaux »

##### 4.3.3.2.1 Echantillonnage

L'enquête précédente, dont les résultats sont présentés plus loin, nous a permis de recenser les campements d'éleveurs et leurs troupeaux en fin de saison sèche. Ces premières informations ont montré que la région d'étude était trop vaste pour être enquêtée de manière exhaustive. En conséquence, nous avons choisi de travailler par sondage stratifié.

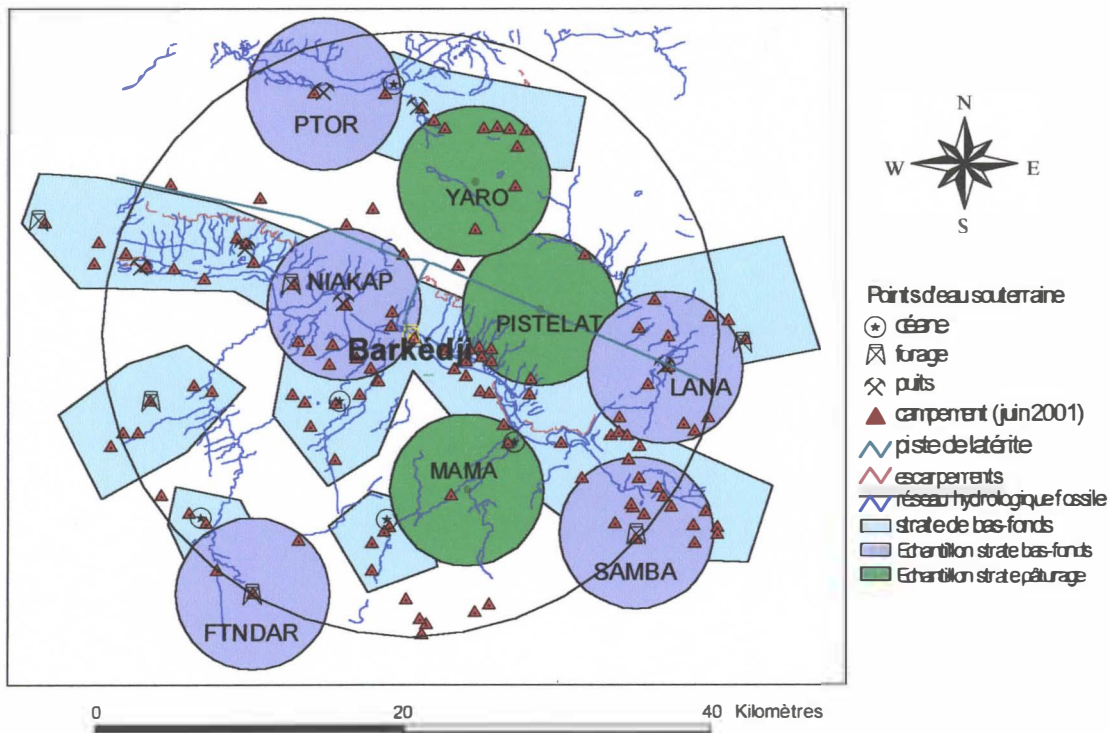
Deux strates ont été définies sur la base de la densité des campements en saison sèche :

- la strate « Ferlo », qui présente une forte densité de campements regroupés autour de points d'eau permanents (forages, puits, céanes) et dont la vallée du Ferlo et ses affluents constituent la majeure partie,
- la strate « Pâturage », plus éloignée du Ferlo et des forages, utilisée principalement comme zones de pâturages et très fréquentées en saison pluvieuse.

Une fraction de sondage globale de 50% est nécessaire car les hétérogénéités spatiales sont fortes. Par exemple, au sein de la strate « Pâturage », les éleveurs nous ont signalé l'existence de lieux peu fréquentés car envahis par les *Zornia spp.*, responsables de météorisations graves pendant la saison pluvieuse.

Nous avons défini des unités d'échantillonnage spatial, par des cercles de 5 km de rayon centrés sur des points tirés au sort dans chacune des strates. Nous n'avons pas exclu les cercles débordant des strates ni de la zone d'étude, mais nous avons imposé un faible recouvrement des cercles échantillonnés (moins de 5% d'intersection).

Nous avons retenu une fraction de sondage plus forte dans la strate « Ferlo », car elle est plus peuplée que la zone « Pâturage » : 5 unités ont été échantillonnées dans la strate « Ferlo » et 3 dans la zone « Pâturage ». Le plan d'échantillonnage est résumé sur la figure suivante :





**Fig 20) Echantillonnage de la zone de Barkédji pour l'étude des mouvements de troupeaux pendant la saison des pluies 2001.**

Le cercle vide représente la zone d'étude, d'un rayon de 20 km centré sur Barkédji. Les zones bleu ciel représentent la strate « Ferlo » et le reste la strate « Pâturage ». Les cercles bleu foncé sont les unités échantillonnées dans la strate « Ferlo » et les cercles verts celles provenant de la strate « Pâturage ».

#### 4.3.3.2.2 Informations récoltées

Chacune de ces unités est visitée une fois par mois (dernière décade), de juillet à décembre, au cours d'une tournée de 10 j faite avec un véhicule 4 x 4. Au cours de ces tournées, l'ensemble des concessions et campements situés à l'intérieur d'un des cercles échantillonnés seront systématiquement enquêtés.

A cet égard, les coordonnées des centres des échantillons sont mémorisées dans les GPS et la fonction « GoTo » est utilisée pour connaître la distance du campement au centre de l'échantillon. Le tableau suivant donne le code de chaque échantillon, sa strate et ses coordonnées géographiques.

Echantillon	Centre (d° décimaux)	
	Latitude N	Longitude W
<i>Strate Ferlo</i>		
PTOR	15.42	-14.92
NIAKAP	15.30	-14.91
FTNDAR	15.12	-14.96
SAMBA	15.16	-14.74
LANA	15.26	-14.72
<i>Strate Pâturage</i>		
YARO	15.37	-14.83
PISTELAT	15.29	-14.79
MAMA	15.19	-14.83

**Tabl.5: Centres des échantillons retenus pour l'étude de la FVR à Barkédji (l'échantillon est défini par un cercle de 5 km de rayon autour du centre).**

Un jeu de fiches (présentées en annexe) sera rempli pour chaque concession possédant au moins un troupeau de grands ou de petits ruminants :

- **Fiche Lieu de résidence**, remplie à chaque passage. En effet, un lieu de campement peut ne pas être habité en début de saison, et très fréquenté quand les pâturages sont installés et réciproquement.
- **Fiche troupeau**, pour caractériser le troupeau enquêté, ses mouvements éventuels de transhumance et l'exploitation du milieu (mares et pâturages fréquentés). En cas de transhumance, les lieux de provenance et de destination seront déterminés au mieux sur les cartes au 1 / 200.000<sup>ème</sup> disponibles ou au minimum par le nom de la communauté rurale et du département. Si un éleveur enquêté possède plusieurs troupeaux (bovins, petits ruminants) et que ces troupeaux ont des modes de conduite différents (mouvements de transhumance, parcours utilisés, points d'eau fréquentés), une fiche doit être remplie pour chaque troupeau.
- **Fiche pâturage**, pour caractériser le pâturage fréquenté par les animaux au moment de l'enquête : localisation, caractères édaphiques, données phytosociologiques. Cette fiche sera remplie sur le lieu de pâturage, comme indiqué par l'éleveur ou le berger s'occupant des animaux.
- **Fiche mare**, pour caractériser le point d'eau fréquenté par les animaux : localisation, type de point d'eau, végétation, etc.

#### 4.3.4 Protocole d'Epidémiosurveillance

Le protocole retenu est basé sur le protocole général d'épidémiosurveillance de la FVR retenu par la Direction de l'élevage, dont nous résumons les étapes ci-dessous. Mis en œuvre par le chef de

poste vétérinaire, il doit permettre de mettre en évidence toute activité virale même silencieuse, par la sérosurveillance d'animaux séronégatifs.

Ces données sont corrélées aux données environnementales et entomologiques, pour mettre en évidence des facteurs de risques parmi les variables mesurées simultanément.

#### 4.3.4.1 Sensibilisation des éleveurs

Il est demandé au chef de poste d'organiser au moins une réunion hebdomadaire pour informer les éleveurs, à l'occasion des marchés ou campagnes de vaccinations. Le chef de poste dispose du matériel pédagogique nécessaire à ces réunions (affiches, cassette vidéo). Les informations concernant ces réunions (date, nombre d'éleveurs présents, événements signalés par les éleveurs, etc.) sont renseignées sur la fiche « Visite » disponible sur les Palm Pilots du réseau FVR et envoyées par modem sur le serveur Domino de la Direction de l'élevage.

#### 4.3.4.2 Surveillance clinique et sérologique

##### 4.3.4.2.1 Fiche foyer

Une suspicion clinique de FVR est rencontrée quand des fréquences anormalement élevées d'avortements et / ou de mortalités néonatales sont rencontrées dans les troupeaux de ruminants pendant la saison pluvieuse (juillet à novembre).

Pour les grands troupeaux, une fréquence élevée est atteinte si les avortements et les mortalités néonatales dépassent 10% des naissances observées pendant la semaine écoulée. Par exemple, si 50 mises bas ont été observées en une semaine, dont 3 avortements et 5 portées où au moins un produit est mort avant l'âge de 15 j, on a une fréquence de 8 / 50, supérieure au seuil de 10%.

Pour les petits troupeaux, on fixe arbitrairement le seuil à 2 avortements ou mortalités néonatales survenant en au plus une semaine.

En cas de suspicion clinique, une fiche « Foyer » doit être remplie et envoyée au plus vite sur le serveur Domino de la Direl.

##### 4.3.4.2.2 Fiche prélèvement

Des prélèvements sanguins (sur tube sec) sont effectués sur les troupeaux atteints (au mieux une trentaine de prélèvements). Les produits d'avortements sont envoyés en l'état s'ils ne sont pas trop souillés, dans des pots prévus à cet effet. Les agneaux ou chevreaux nouveaux nés morts sont autopsiés et des fragments de foie sont placés dans du formol à 10% pour analyses histologiques. Les prélèvements sont placés sur glace dans des glacières fermées hermétiquement et acheminées vers le LNERV. Une fiche prélèvement est envoyée à l'aide du Palm Pilot sur le serveur Domino de la Direl, et une fiche papier comportant les mêmes renseignements accompagne les prélèvements.

#### 4.3.4.3 Surveillance sérologique

Quatre troupeaux sentinelles ont été choisis (soit 2 de plus que dans le protocole de surveillance habituel). Une première série de prélèvements a été effectuée début juillet 2001. Sur la base des résultats sérologiques, les animaux négatifs ont été identifiés à l'aide de boucles auriculaires lors du second passage qui a eu lieu début août 2001. Ce rythme mensuel est maintenu jusqu'à la fin de la saison des pluies.

#### 4.3.5 Relevés climatiques et hydrologiques

Un pluviographe numérique (système (Edipe d'Elsyde) a été posé au niveau du poste vétérinaire de Barkédji par l'équipe du LPASF /ESP- UCAD (Laboratoire de Physique de l'Atmosphère Siméon Fongang / Ecole Supérieure Polytechnique-UCAD). Il fonctionne en enregistrant à la seconde près tous les basculements d'augets à partir de sa mise en fonctionnement. Il permet ainsi un relevé très précis non seulement de l'importance des chutes de pluies mais de leur intensité.

Nous disposerons également des champs de pluies décennales, élaborés au moyen du logiciel Surfer à partir des données recueillies au niveau des stations synoptiques et des postes pluviométriques répartis sur le territoire sénégalais.

L'étude des conditions environnementales d'émergence, déjà commencée de façon rétrospective par M. J.A. Ndione [Ndione, 2001], est menée en collaboration avec l'équipe du LPASF /ESP- UCAD qui assure le relevé et le traitement de toutes les informations climatiques.

Enfin, les échelles de mesure placées dans les 4 mares d'étude seront relevées bi quotidiennement pendant toute la durée de la saison des pluies. Elles ont été placées par M. Noël Guiguin, hydrologue à l'IRD.

La surface des mares est relevée par GPS pour différents niveaux de remplissage afin d'établir une corrélation entre ces deux mesures.

## 4.4 Résultats préliminaires

### 4.4.1 Préambule

Seuls les résultats préliminaires sont présentés ici car le stage s'est situé en début de saison des pluies alors que l'essentiel du protocole repose sur le suivi des hôtes et des vecteurs tout au long de la saison des pluies.

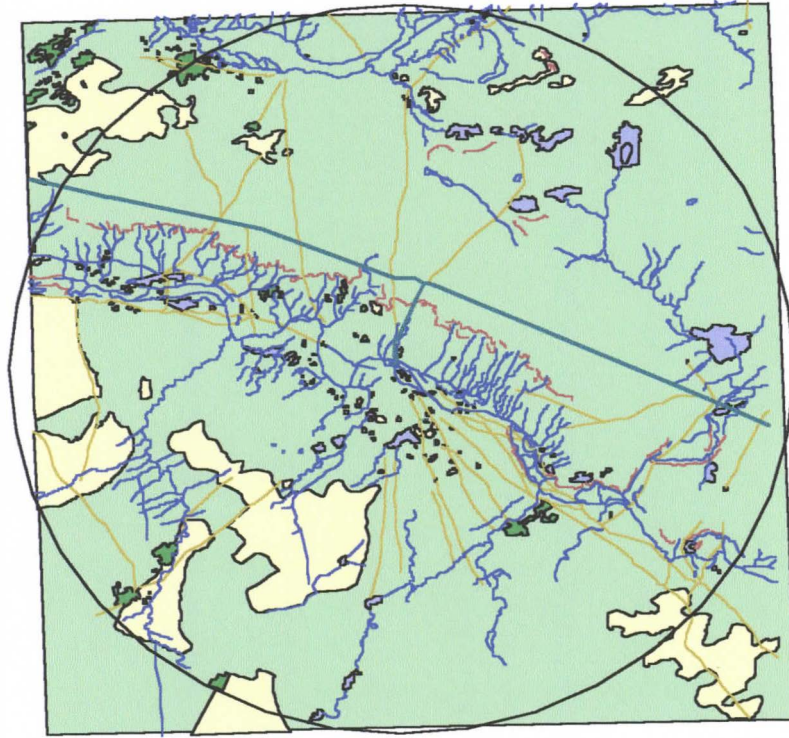
De plus, pour des raisons de contraintes temporelles et matérielles, nous avons dû concentrer nos efforts sur le site de Barkédji et l'étude du site de Ross-Bethiot est donc reportée à l'année prochaine.

### 4.4.2 Cartographie





La carte d'occupation des sols présente les couches thématiques suivantes :

- le réseau hydrographique : mares temporaires ou aménagées, cours d'eau fossiles et leurs affluents, bas-fonds et zones humides;
- les implantations humaines : localités, campements, villages, villes...
- les infrastructures d'aménagement : puits, forages, pare feux, pistes principales et secondaires;
- les formations végétales : typologie des unités de végétation (stratification, recouvrement, production...);
- les zones agricoles : champs cultivés et jachères.

Cette carte est présentée par la figure suivante. Le cercle délimite la zone de 20 km de rayon à l'intérieur de laquelle nous avons travaillé.

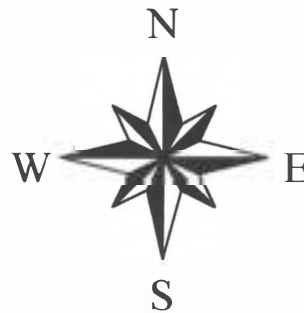


10 0 10 20 Kilometers

-  Piste de latérite
-  Pistes sableuses
-  Réseau hydrographique fossile
-  Escarpements

### Occupation du sol

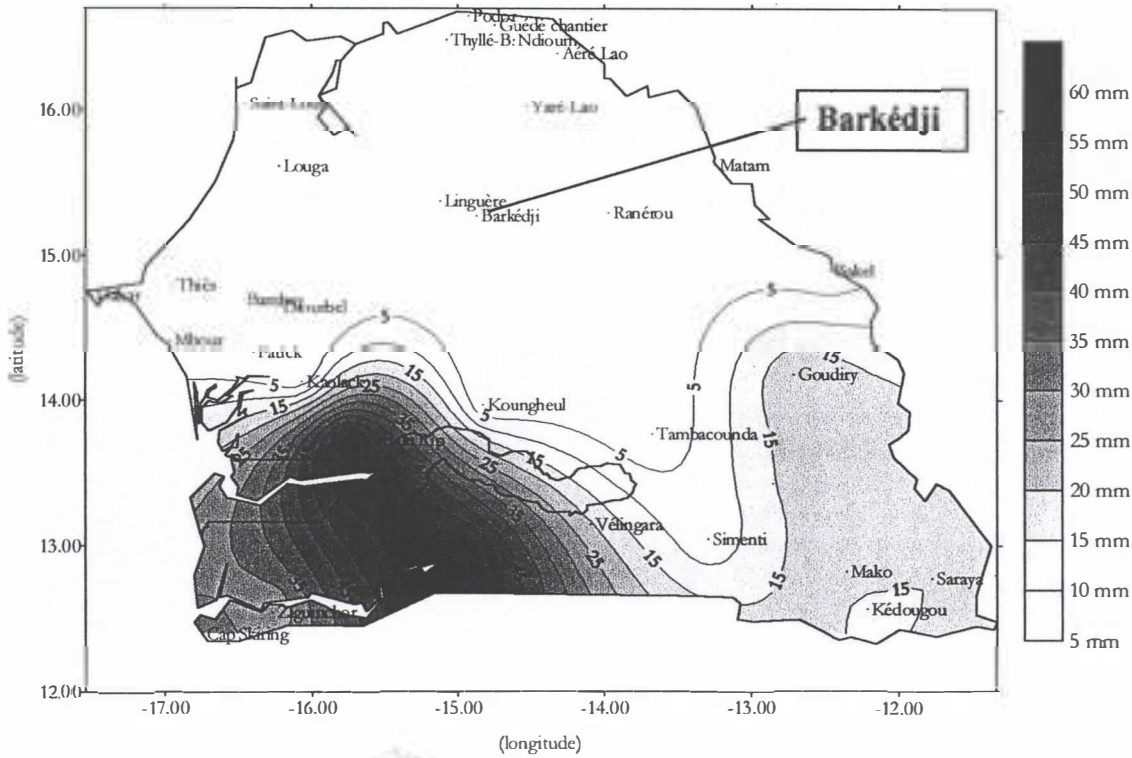
-  Cultures
-  Campements
-  Savane herbeuse
-  Savane arbustive
-  Zone inondable



**Fig 21) Carte d'occupation des sols de la région de Barkédji**

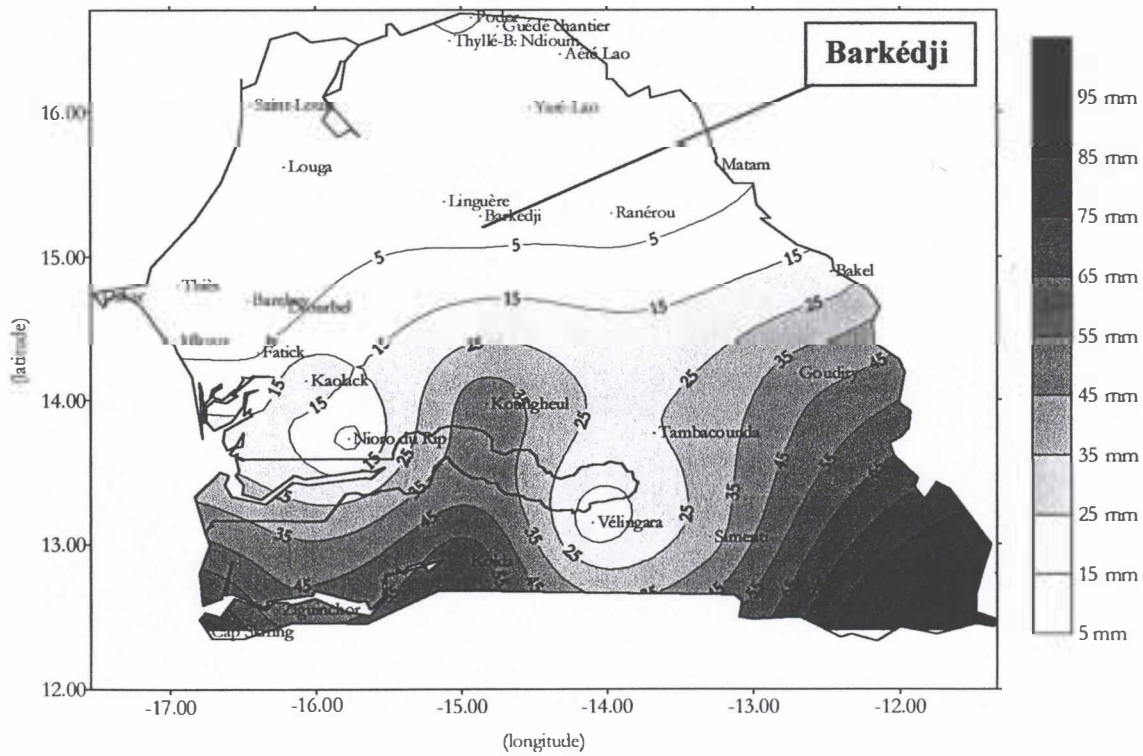
### 4.4.3 Hydrologie et climatologie

Les figures suivantes présentent les champs de pluie décadaires des deux dernières décades de juin, et des trois premières décades de juillet. (Barkédji est encadré.)



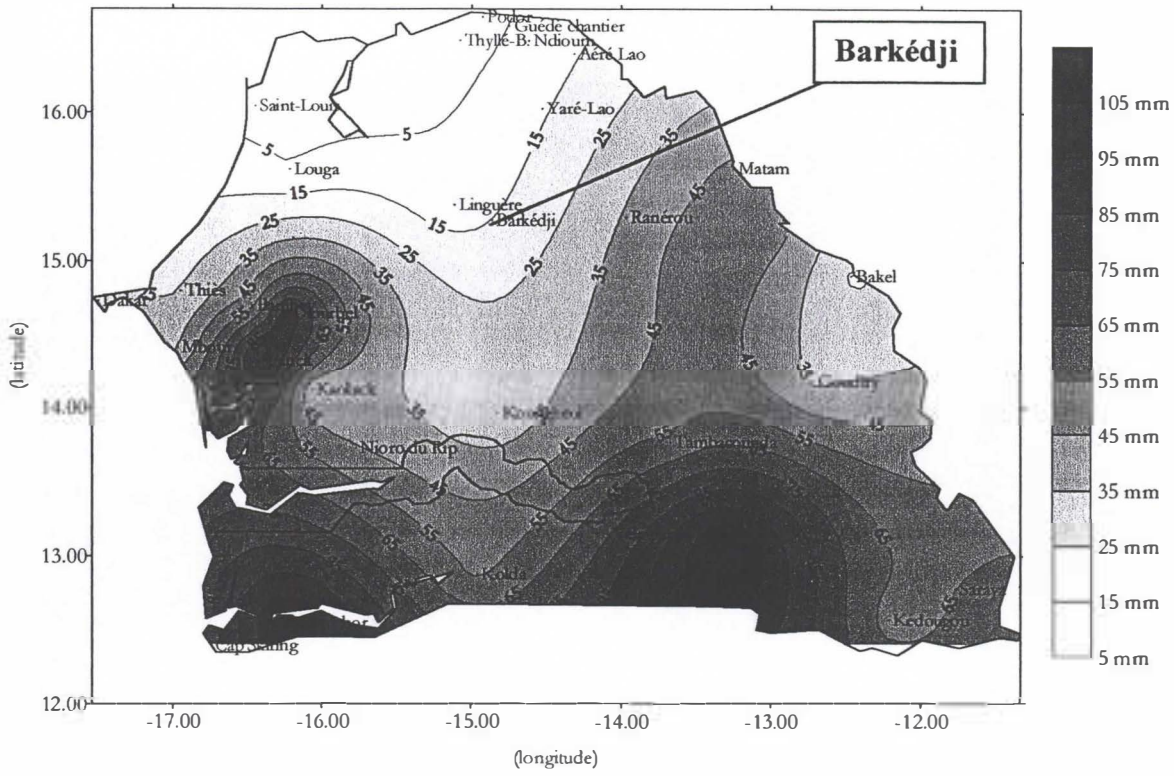
Pluviométrie de la deuxième décade du mois de juin 2001 au Sénégal

**Fig 22) Pluviométrie de la deuxième décade du mois de juin 2001 au Sénégal.**

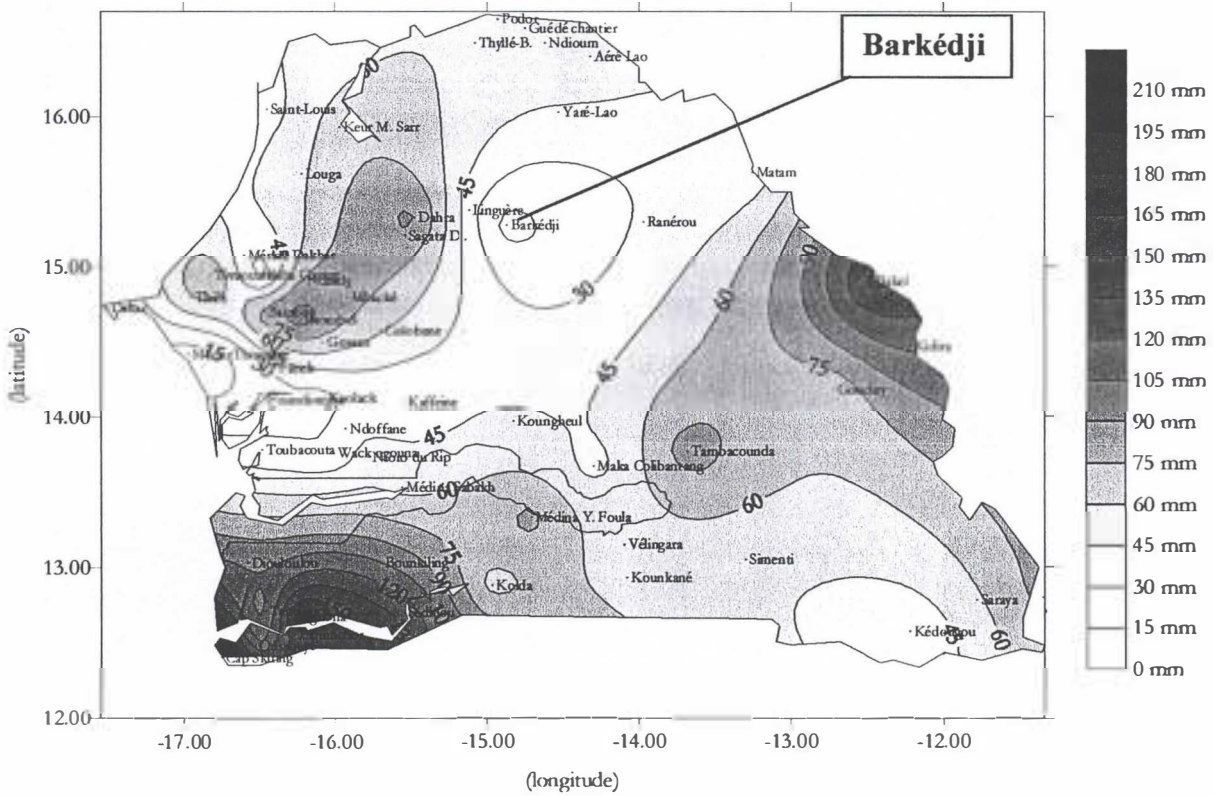


Pluviométrie de la troisième décade du mois de juin 2001 au Sénégal

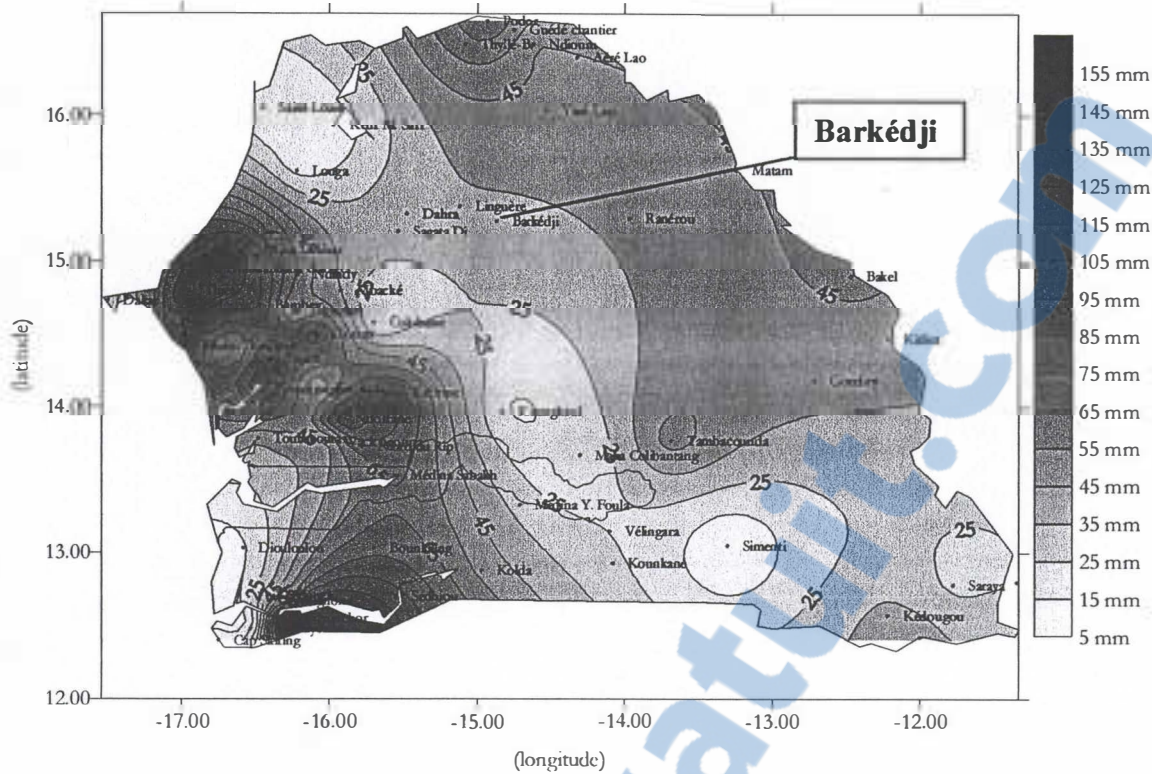
**Fig 23) Pluviométrie de la troisième décade du mois de juin 2001 au Sénégal**



Pluviométrie de la première décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal  
**Fig 24) Pluviométrie de la première décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal**



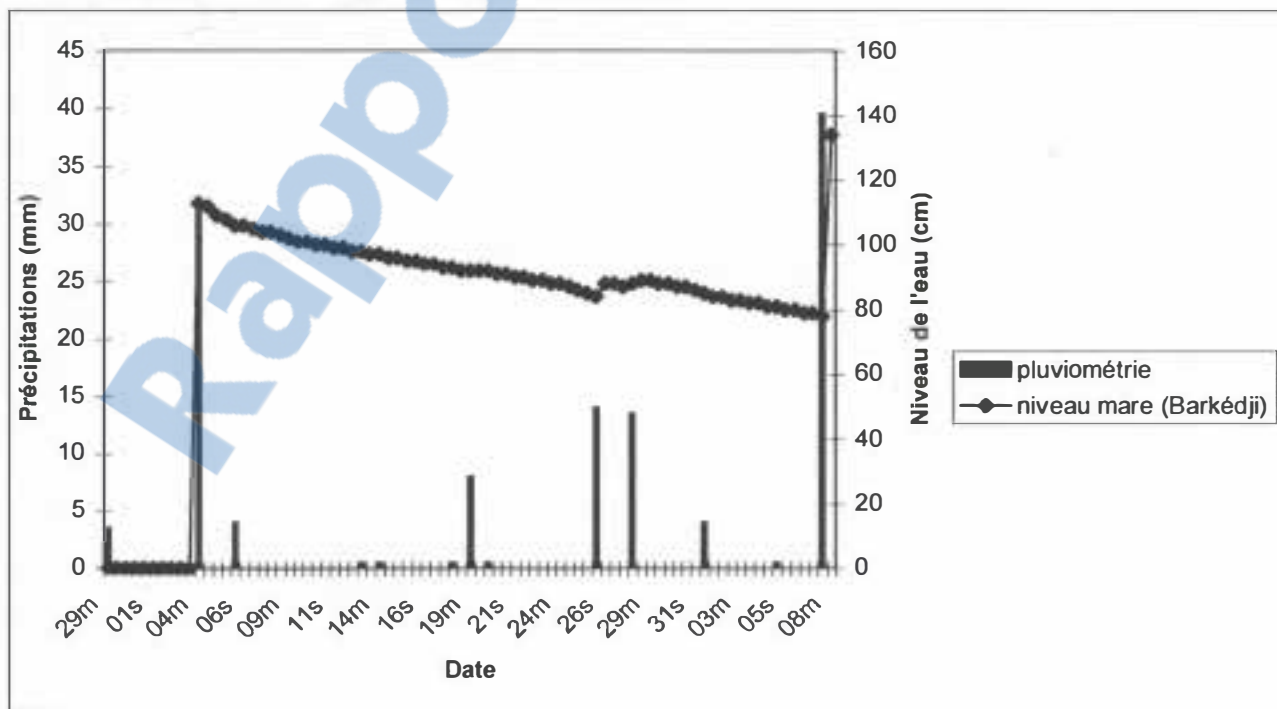
Pluviométrie de la deuxième décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal  
**Fig 25) Pluviométrie de la deuxième décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal**



Pluviométrie de troisième décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal  
**Fig 26) Pluviométrie de la troisième décennie du mois de juillet 2001 au Sénégal.**

Sur ces champs de pluie décadaires, on peut constater qu'en ce début de saisons des pluies, la pluviométrie a été très faible au niveau du site de Barkédji. Ceci s'est observé par ailleurs au niveau des pâturages, où la pousse de l'herbe comme le retour des animaux transhumants ont été très tardifs.

Les figures suivantes présentent l'évolution du niveau des mares en fonction des chutes de pluie. On peut constater que seules deux pluies conséquentes (32 et 39 mm) sont capables de « remplir » les mares, les autres (<15mm) étant seulement capables de retarder leur assèchement ou de remplir les petites mares pendant quelques heures.



**Fig 27) Evolution du niveau de la mare de Barkédji (Mous1) en fonction de la pluviométrie**

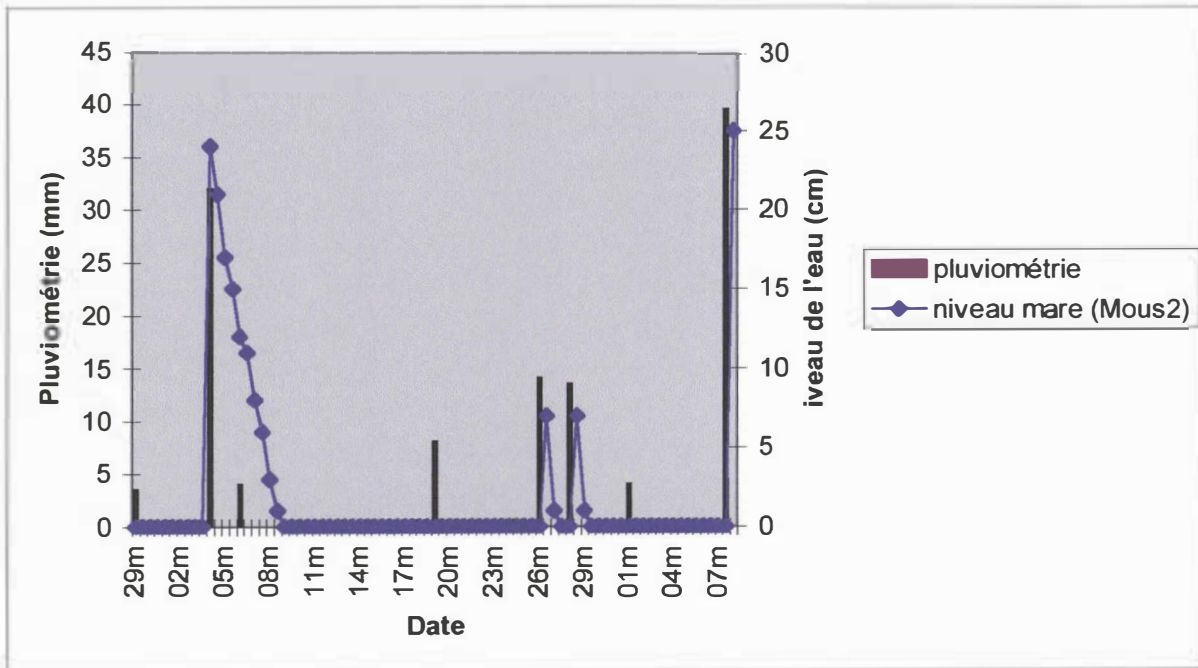


Fig 28) Evolution du niveau de la mare de Mous2 en fonction de la pluviométrie

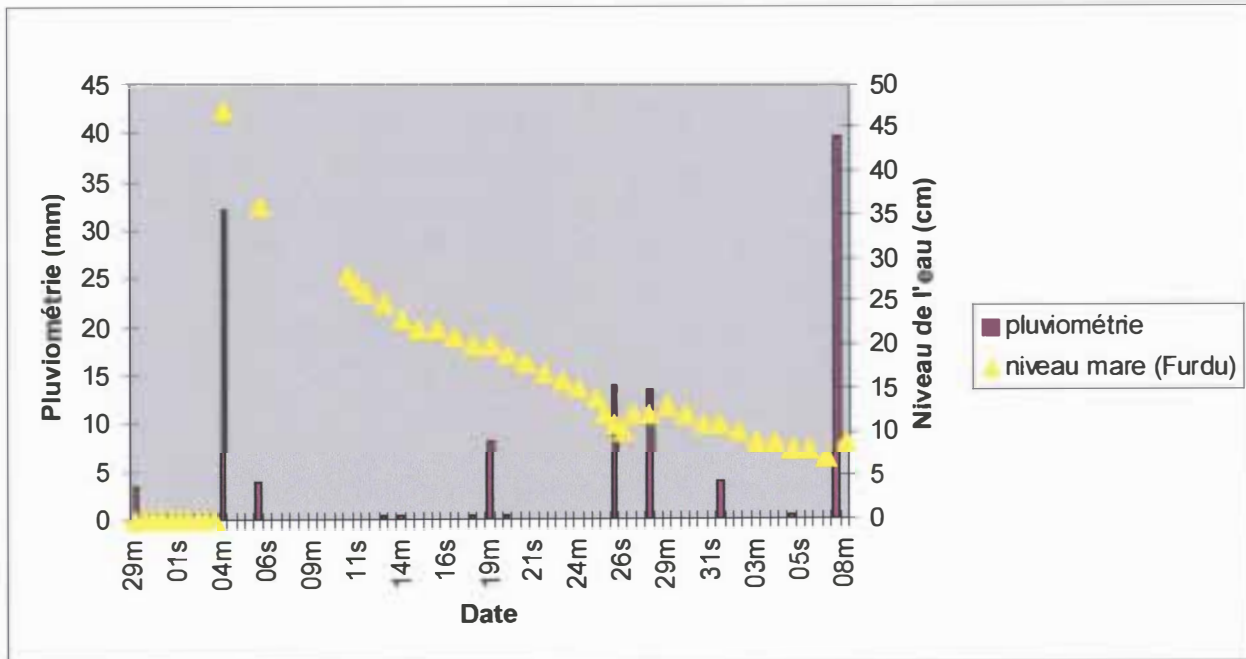
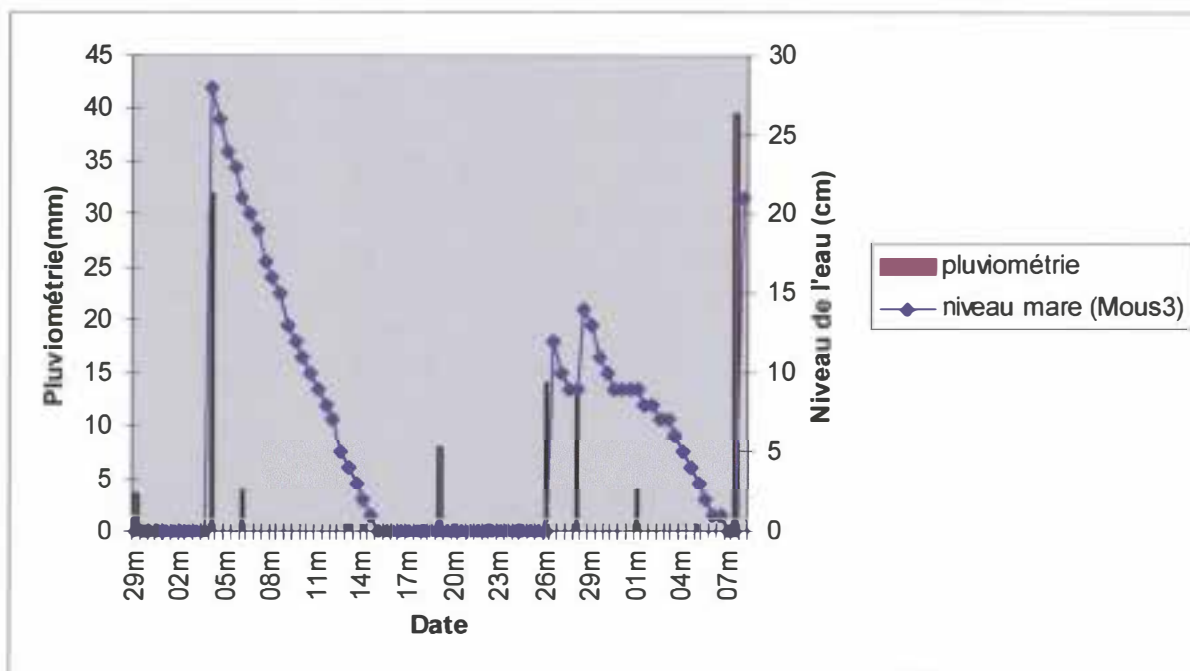


Fig 29) Evolution du niveau de la mare de Furdu en fonction de la pluviométrie





**Fig 30) Evolution du niveau de la mare de Mous3 en fonction de la pluviométrie**

Sur ces figures, on peut constater que la taille des mares conditionne l'évolution de leur niveau : les très grandes mares comme celle de Barkédji et dans une moindre mesure celle de Furdu ont un niveau assez stable, qui descend d'environ un centimètre par jour. En revanche, Mous 3 et encore plus Mous 2, qui sont de petites mares sablo-argileuses, ne restent en eau respectivement que 11 et 5 jours en l'absence de nouvelle pluie et leur niveau est très variable.

Le relevé des surfaces des mares aux GPS permet de comparer celle-ci aux hauteurs d'eau lues sur les échelles limnimétriques et d'établir une relation entre ces deux valeurs, ce qui permettra à posteriori d'étalonner les images satellites.

Les figures suivantes présentent respectivement quatre surfaces de la Mare de Barkédji (Mous1) représentées sous SIG et la relation établie entre surface et hauteur d'eau. Cette relation sera de plus en plus précise au fur et à mesure de la répétition des mesures.

# Evolution de la surface de Mous1

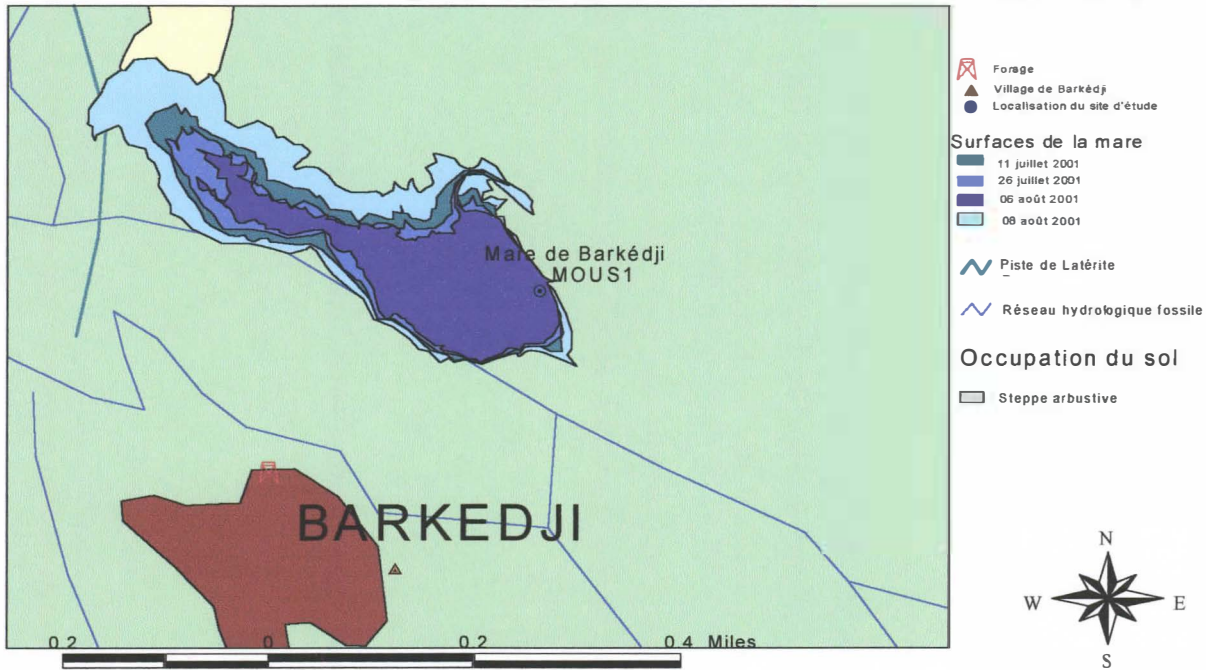


Fig 31) Représentation de quatre surfaces de la même mare prises au GPS (fonction trace) à des dates différentes.

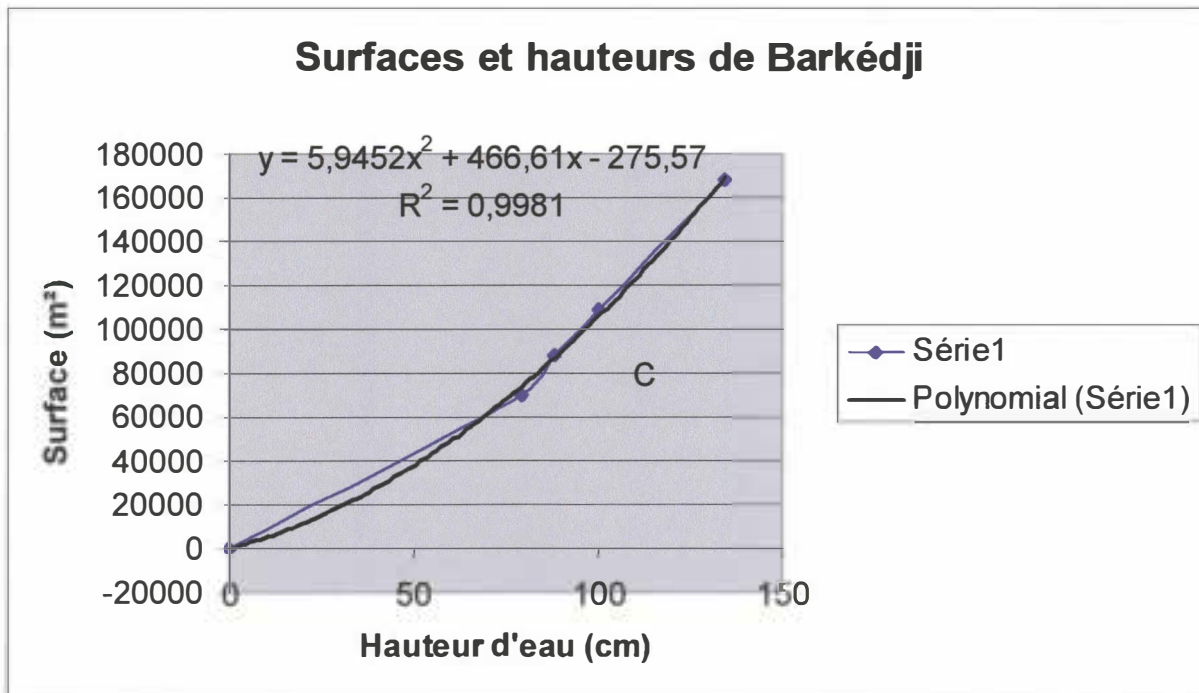


Fig 32) Relation polynomiale de degré 2 de la surface d'une mare en fonction de sa hauteur

#### 4.4.4 Enquêtes « troupeaux »

##### 4.4.4.1 Enquête préliminaire (10 juin 2001)

Cette enquête nous a permis de relever 19 points d'eau souterraine, 104 mares temporaires et 120 lieux d'habitation en 11 jours à temps plein. La visite régulière de la totalité de ces points en une dizaine de jours et surtout pendant la saison des pluies, où les pistes sont beaucoup moins praticables, est donc impossible. Nous avons donc choisi d'effectuer un échantillonnage spatial, comme nous l'avons présenté précédemment.

Mise à part la mare aménagée de Moguéré, toutes les mares étaient asséchées. Il s'est avéré que seules les mares présentant une calotte argileuse sont importantes pour les éleveurs, en raison d'une mise en eau plus longue, alors que les mares sableuses à sablo-argileuses, souvent satellites des premières, sont beaucoup plus éphémères. Cependant, cela ne présage en rien de l'implication respective de ces types de mares dans la production en vecteurs, dont certains, comme *Aedes vexans*, peuvent effectuer un cycle complet en cinq jours.

Le choix de faire des relevés mensuels de la localisation des troupeaux a été déterminé par cette enquête, qui nous a également révélé qu'il est possible d'établir avec précision l'origine et l'appartenance des troupeaux grâce à la collaboration de grands éleveurs locaux, conscients du risque que représentent les troupeaux étrangers, et désireux de nous aider à les identifier.

##### 4.4.4.2 Enquête du 20 au 30 juillet 2001

Comme nous l'avons dit précédemment, cette enquête correspond à un relevé exhaustif de tous les campements permanents (65) et temporaires (38) situés à l'intérieur des échantillons, ainsi que des mares utilisées par les troupeaux et un échantillon de pâturages (41) utilisés dans chaque échantillon.

Nous avons également relevé la densité humaine, la densité de troupeaux de petits ruminants et de bovins.

Les figures suivantes présentent la densité humaine et la densité de troupeaux de petits ruminants et de bovins dans les échantillons d'étude.

## Densité humaine dans les échantillons.

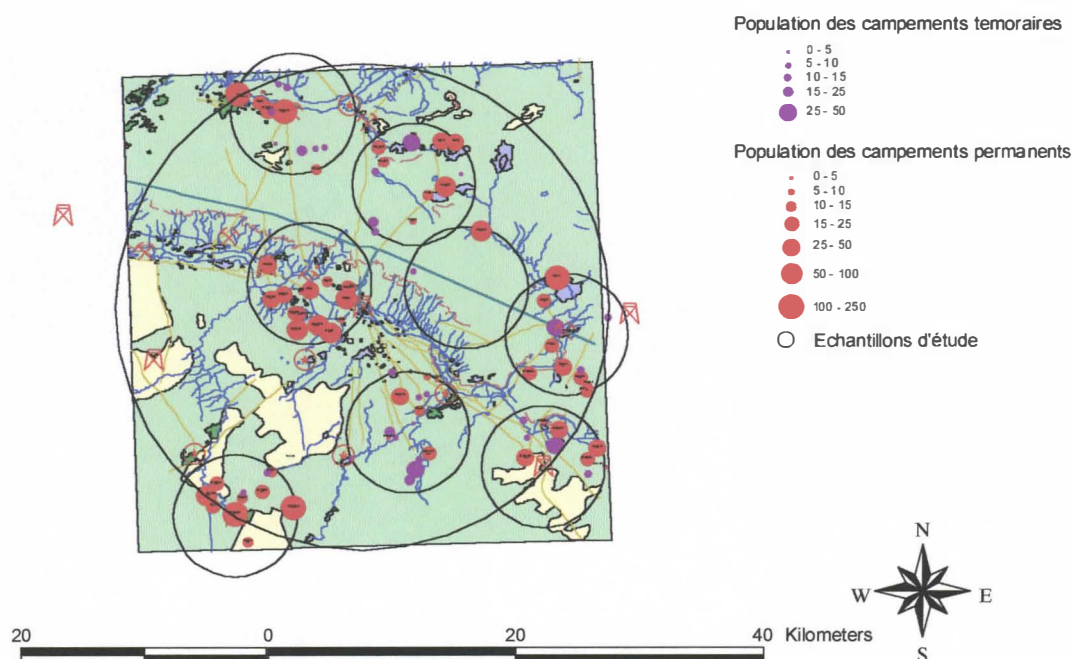
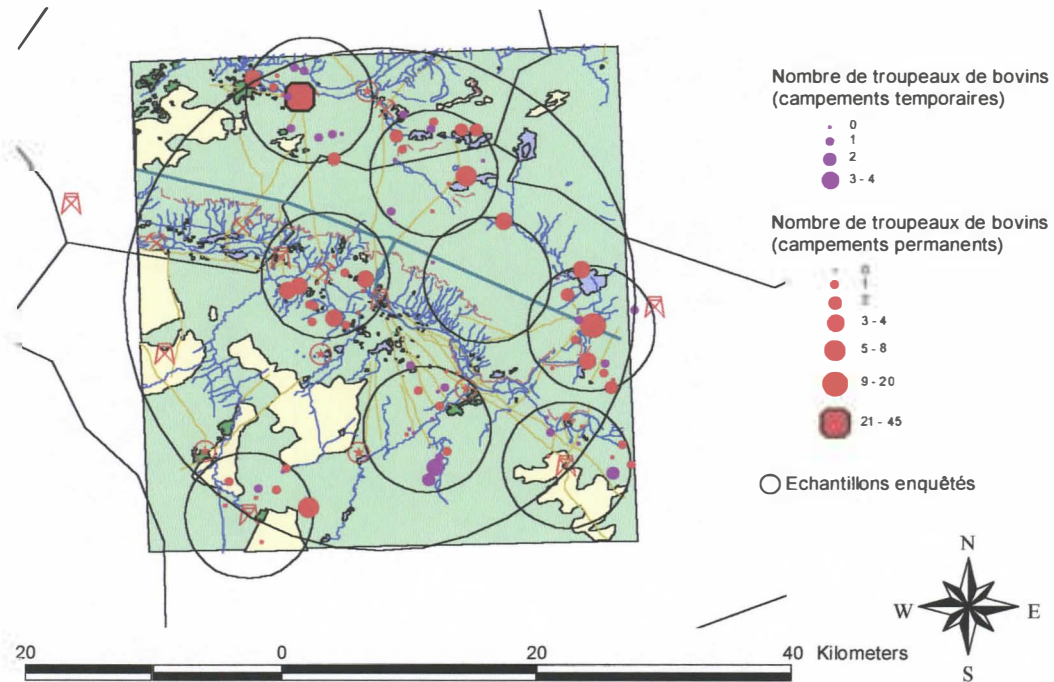


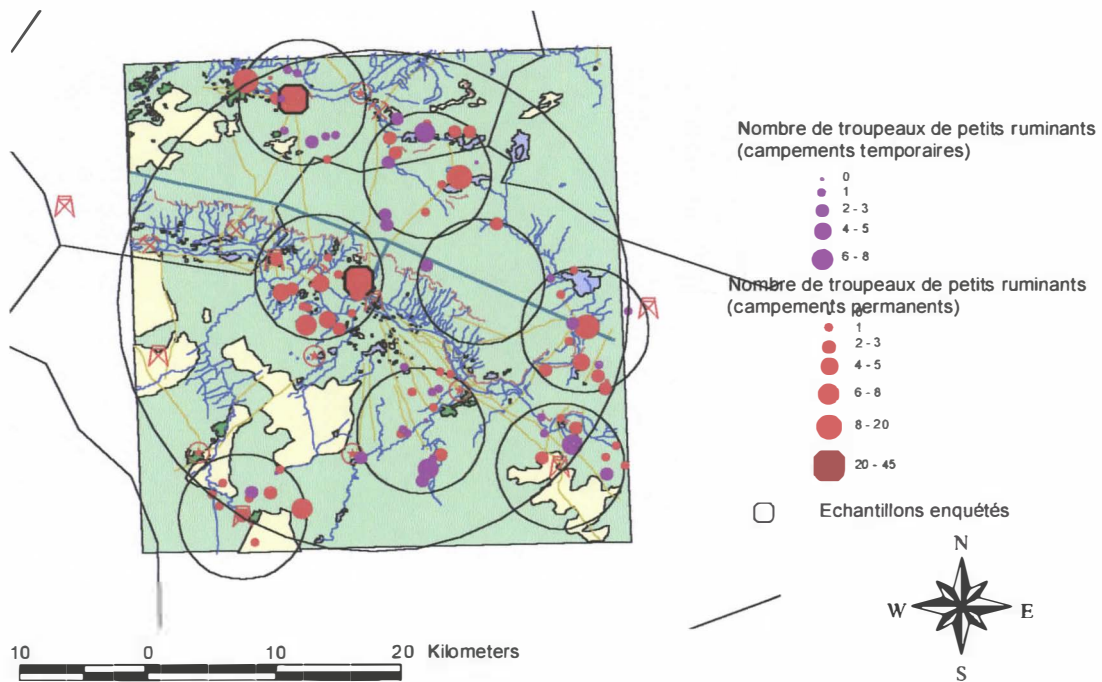
Fig 33) Densité humaine dans les échantillons, enquête du 20 au 30 juillet 2001

## Densité de troupeaux de bovins



**Fig 34) Densité de troupeaux de bovins dans les échantillons, enquête du 20 au 30 juillet 2001.**

## Densité de troupeaux de petits ruminants



**Fig 35) Densité de troupeaux de petits ruminants dans les échantillons, 20 -30 juillet 2001.**

Le nombre d'habitants est bien inférieur dans les campements temporaires (14+-9) que dans les campements permanents (38+-50). A cette période, les campements temporaires (transhumants) regroupent 18% de la population humaine (530 contre 2452) dans nos échantillons.

Ils possèdent 16% des troupeaux de bovins (27 contre 137), et 23% des troupeaux de petits ruminants (69 contre 226).

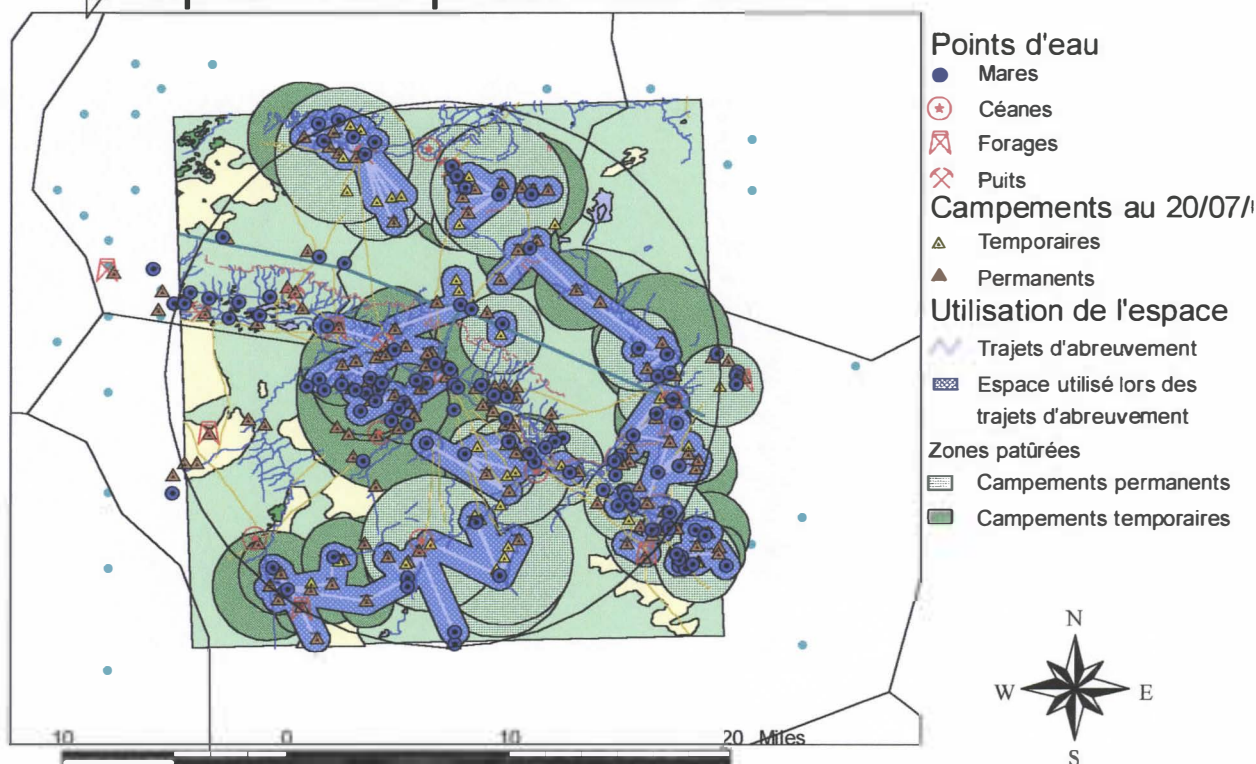
Concernant les mouvements d'animaux, nous avons relevé deux types de mouvements :

- les mouvements à grande échelle (origine et destination),
- les mouvements à petite échelle (distance de pâturage maximale et trajets d'abreuvements).

Ces mouvements peuvent être à l'origine du transport du virus ; cependant, l'abreuvement ayant lieu pendant la journée, le contact hôte / vecteur n'a pas lieu à ce moment là. En revanche, une partie du pâturage est nocturne mais dans ce cas les distances de pâturages sont beaucoup plus faibles (comprises entre 1 et 2 km).

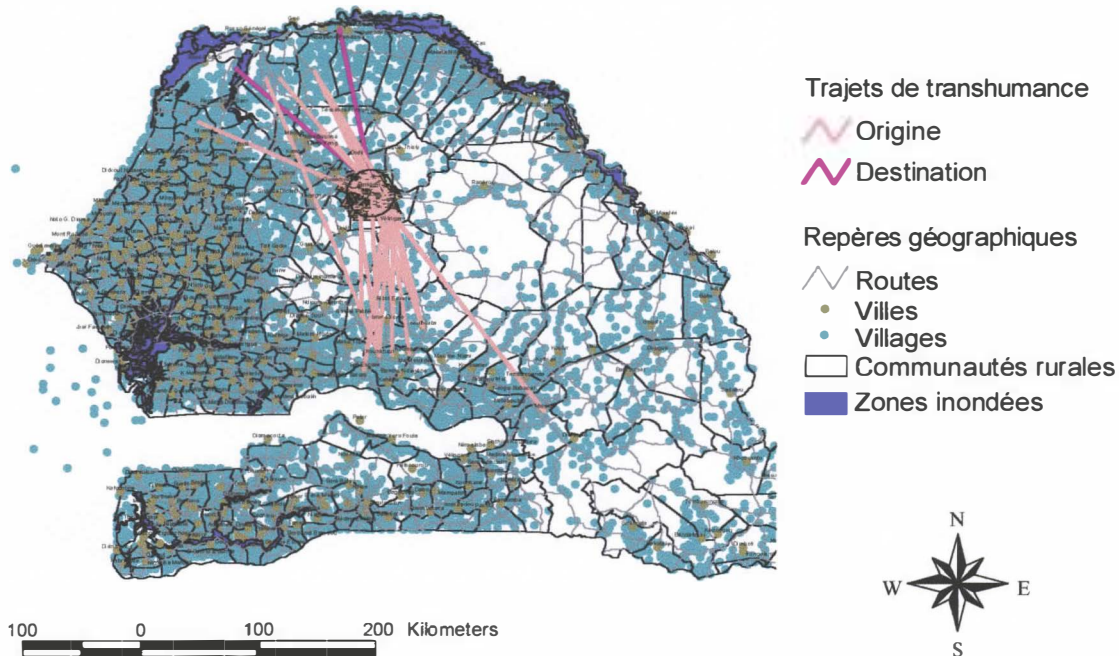
La figure suivante présente les mouvements à petite échelle. Il s'agit d'une part des trajets d'abreuvement entourés d'un tampon d'un kilomètre, qui correspond à la zone d'influence des troupeaux lors de ces trajets et d'autre part des zones pâturées par les troupeaux, aux dires des éleveurs.

## Utilisation de l'espace par les troupeaux de petits ruminants



**Fig 36) Utilisation de l'espace par les troupeaux situés dans les échantillon entre le 20 et le 30 juillet 2001, exemple des petits ruminants.**

# Mouvements de transhumance



**Fig 37) Trajets de transhumance des troupeaux enquêtés dans les échantillon de la zone d'étude de Barkédji, 20 au 30 juillet 2001.**

On constate que les troupeaux transhument selon un axe Nord-Ouest / Sud-Est, dans les deux sens, sur des distances allant jusqu'à 250 km.

## 4.4.5 Entomologie

La mise en eau des échantillons récoltés en saison sèche n'a pas permis d'observer d'éclosion de larves de moustiques. En revanche, des larves de cyclopes et d'artémias ont éclos en grande quantité.

La pluviométrie ayant été très faible, la densité de moustiques l'a été également en début de saison des pluies.

Nous avons observé la présence de larves d'*Aedes* suite aux deux pluies les plus importantes dans des zones sableuses lors de la première pluie, puis envahie par la végétation herbacée lors de la seconde. Toutes les larves ont été observées en zone peu profonde et en périphérie de mare. Dix jours après la première pluie (04 juillet), plus aucune larve n'a été observée jusqu'au lendemain de la seconde (07 août).

Les pièges à émergence ont permis la capture de moustiques entre 7 (premier jour de capture) et 9 jours après la première pluie (du 11 au 13 juillet). Des pièges CDC ont permis de capturer des adultes en activité pendant la même période (du 14 au 16 juillet). Cependant, les captures sont restées très modestes (5 et 10 moustiques par jour et par piège à émergence et CDC respectivement).

La totalité des moustiques capturés et la majorité des larves d'*Aedes* observées l'ont été au niveau de la mare de Furdu.

## 4.5 Perspectives et conclusions

### 4.5.1 Cartographie

La carte d'occupation des sols n'est qu'une étape pour la mise en place rapide des enquêtes préliminaires.

L'interprétation d'images panchromatiques SPOT prises pendant la saison des pluies permettra de préciser et d'actualiser cette carte d'occupation des sols. Elle permettra également de retrouver les mares déjà repérées et de comparer les mesures de surfaces par satellite aux surfaces déduites du suivi des hauteurs d'eau.

### 4.5.2 Enquêtes troupeaux

Les résultats préliminaires montrent des mouvements importants à la fois à petite échelle et à grande échelle. Cependant, la première enquête se situe en tout début de saison des pluies et celle-ci étant assez sèche, la végétation herbacée des pâturages était très peu développée. Cela a entraîné un retard du retour des transhumants, en particulier des troupeaux bovins.

L'intérêt de cette étude repose sur le suivi des mouvements au cours de cette saison des pluies, et la comparaison des cartes de répartition mensuelles. On peut s'attendre à voir une augmentation notable de la proportion des troupeaux transhumants au cours des prochaines enquêtes.

La compréhension du déplacement des animaux est indispensable pour évaluer les paramètres de diffusion à proximité et à distance. Cette étude permettra de mettre en évidence différentes situations et zones qui serviront de base d'échantillonnage pour des études plus fines comme des suivis individuels de troupeaux. Ces suivis pourraient être effectués à l'aide d'une dizaine de balises Argos qui nous permettraient de localiser les troupeaux dans tous leurs déplacements (y compris nocturnes).

Cette étude servira également de base d'échantillonnage pour des études de composition et des mesures d'effectifs des troupeaux.

### 4.5.3 Entomologie

L'étude de la production des mares au cours de cette saison des pluies permettra de préciser la dynamique de population et les conditions écologiques favorables aux vecteurs potentiels.

L'étude de leurs déplacements actifs permettra de définir des zones tampons autour des mares contaminés, à éviter non seulement pour la construction d'enclos, mais aussi pour le pâturage nocturne.

Dans notre modèle,  $O(s,t)$  représente une densité d'œufs : un nombre d'œufs par unité de surface. Une première remarque est que tout le modèle repose sur l'hypothèse que les œufs déposés à un endroit  $y$  restent en majorité, alors que cela n'a pas été démontré et doit donc l'être.

En effet, on pourrait opposer deux arguments à cette hypothèse :

- Les mares temporaires sont piétinées par les animaux en permanence à la fin de la saison des pluies ce qui pourrait les déplacer,
- les œufs sont certainement déposés dans une couche de boue très superficielle qui pourrait être réduite en poussière pendant la saison sèche, et qui serait entièrement entraînée vers le fond de la mare dès la première pluie. Tous les œufs seraient alors immergés systématiquement...

Remarquons que cela simplifierait beaucoup les calculs puisqu'il suffirait de relier directement le niveau initial de la population de l'année  $n+1$  à celle de l'année  $n$  indépendamment du niveau de l'eau.

Le nombre de moustiques adultes atteint un maximum en début de saison des pluies pour diminuer assez rapidement.

Il est important de déterminer si le temps qui sépare la première grosse pluie (qui entraîne une réplétion des mares suffisante pour assurer un premier cycle larvaire) et le moment où la population moustiques est la plus importante est relativement constant en fonction de l'espèce ou si, au contraire, il est plutôt conditionné par l'abondance et la répartition des pluies.

Il est également important de déterminer si *Aedes vexans* est une espèce monocyclique, c'est à dire que tous les œufs de moustiques éclorent l'année n ont été pondus l'année n-1. Cela peut être fait par l'étude de l'âge des moustiques femelles capturés au cours de la saison des pluies (par dissection de l'appareil génital) et par l'étude des cycles d'une souche en élevage.

De même, nous considérons qu'une femelle *Aedes* pond exclusivement à l'interface eau / air au niveau du sol. Il est fondamental de déterminer avec précision l'ensemble des gîtes larvaires potentiels (végétation péri-aquatique, trous d'arbres, flaques) afin de mieux comprendre l'influence de la physionomie des chutes de pluies sur la production en vecteurs. Au cours de notre étude, nous avons pu constater que seule une très faible partie de la mare est colonisée par les larves. Il s'agit de zones peu profondes, puis à végétation herbacée, qui sont présentes uniquement en dehors de la cuvette argileuse de la mare. Ces zones ne sont inondées qu'en cas de fortes pluies, ou de pluies moyennes rapprochées. Il sera intéressant de déterminer avec précision les conditions pluviométriques d'inondation de ces zones (fréquence et abondance des pluies). La plupart des échantillons de sol et de végétaux que nous avons prélevé en saison sèche l'ont été dans les parties argileuses des mares et au niveau de mares où nous n'avons par la suite observé aucune larve. Il serait intéressant de renouveler cette manipulation dans les mares et aux endroits où nous avons observé le maximum de larves pendant la saison des pluies.

#### 4.5.4 Hydrologie et climatologie

Le suivi simultané de la pluviométrie et du niveau de l'eau au cours de la saison des pluies permettra de mesurer précisément les paramètres conditionnant  $h(x)$ , et d'identifier les facteurs climatiques favorables à la production des mares en vecteurs.

La comparaison des masques d'eau obtenus par imagerie satellite aux surfaces et hauteurs d'eau mesurées au sol est fondamentale pour leur étalonnage. Les images satellitaires pourraient alors permettre de dresser une cartographie dynamique des gîtes larvaires. Un modèle d'estimation de la pluviométrie en fonction de la surface (mesurée par satellite) et de l'épaisseur (mesurée par radar) des nuages est actuellement à l'étude par l'équipe du LPASF /ESP-UCAD (Laboratoire de Physique de l'Atmosphère Siméon Fongang / Ecole Supérieure Polytechnique-UCAD). Ce modèle permet d'estimer les chutes de pluies en se passant des mesures au sol.

Aux vues des résultats de cette étude, il est également prévu de compléter une étude rétrospective des conditions climatiques des années à circulation virale. [Ndione, 2001 ; Ndione, 2001]

#### 4.5.5 Intérêts et contraintes de la modélisation

Nous avons pu constater le caractère indispensable d'une approche pluridisciplinaire pour cerner l'ensemble des paramètres influant sur l'épidémiologie de la maladie. Cela nécessite en particulier la réalisation d'une base de données relationnelles permettant le partage de l'information. Cette approche n'est pas sans poser de problème, tant au niveau de la communication entre les équipes que de la propriété et de l'utilisation de l'information née de l'inter-fécondation entre les différentes disciplines. Une telle étude nécessite donc au préalable une définition claire du rôle et des intérêts de chacun.

Un tel modèle peut alors servir à simuler différents types de scénarios en fonction d'hypothèses climatiques (saisonniers, annuelles), mais aussi religieuses (exemple de la fête de la Tabaski) ou sociales (effet de la sédentarisation). Il constitue alors un outil d'aide à la décision, mais ne remplacera jamais les enquêtes de terrain en épidémiologie et en entomologie.

Nous avons déjà vu l'apport de la technologie spatiale avec l'imagerie satellite en terme de modélisation. L'utilisation de balises Argos pour connaître les mouvements du bétail offre de nouvelles perspectives à petite échelle (caractérisation fine des trajets d'abreuvement et de pâturage nocturne) et à grande échelle (itinéraire précis et nombre de kilomètres parcourus quotidiennement lors des mouvements de transhumances).

Le but ultime de la modélisation est de fournir un outil de travail avec une interface conviviale utilisable par des non-spécialistes et qui combine un SIG intégrant des outils de



simulation à des systèmes plus ou moins automatiques d'acquisition de données (météorologiques, d'épidémiologie, entomologiques...).

## 5 Conclusion

La fièvre de la vallée du Rift est une maladie émergente d'importance considérable d'un point de vue des pertes économiques mais aussi du risque sanitaire qu'elle représente. Dans un contexte de bouleversements climatiques et écologiques dus à l'anthropisation de la planète, elle représente un danger réel comme le prouve son extension récente à la péninsule arabique. Il est donc nécessaire de cerner les paramètres environnementaux conditionnant son épidémiologie pour prévenir ce qui peut l'être et disposer de nouveaux outils d'aide à la décision en cas de crise. La modélisation entre dans ce cadre en ouvrant de nouvelles perspectives, en posant de nouvelles questions.

Cette étude a pour but de préciser certaines caractéristiques des vecteurs potentiels et de comprendre l'effet de la répartition spatiale et temporelle du bétail sur la diffusion du virus, dans une zone d'élevage transhumant. En effet, la transhumance est une technique ancienne très bien adaptée au milieu sahélien et son utilisation rationnelle est toujours d'actualité puisqu'elle offre des capacités inattendues d'adaptation au changement. La compréhension de l'effet d'une telle technique d'élevage sur la diffusion d'une maladie à épidémiologie complexe est donc un enjeu majeur pour les pays sahéliens.

La modélisation pourrait en outre permettre de disposer d'un système de surveillance à distance des conditions climatiques d'émergence du virus (images satellitaires) qui, couplé à un réseau d'épidémiologie, permettra la mise en évidence de situations à risque et une meilleure gestion des mesures de lutte face aux situations épidémiques.

## 6 Bibliographie

Abd El-Rahim, I., U. Abd El-Hakim, et al. (1999). "An epizootic of Rift Valley Fever in Egypt in 1997." Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz. **18(3)**: 741-748.

Anderson, R. M. and R. M. May (1979). "Population Biology of infectious diseases : Part I." Nature **280**: 361-367.

CDC. (11/2000). "Outbreak of Rift Valley Fever---Saudi Arabia." MMWR **2000 49(43)**: 982-985.

Davies, F. G., K. J. Linthicum, et al. (1985). "Rainfall and epizootic Rift Valley Fever." Bulletin of World Health Organisation **63(5)**: 941-943.

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

Diallo, M. (2000). Ecologie et transmission d'arbovirus à vecteurs culicidiens au Sénégal. Faculté des Sciences et Techniques. Dakar (Sénégal), Cheikh Anta Diop: 126.

Digoutte, J. P., R. Cordellier, et al. (1974). "Le virus Zinga (ArB 1976) nouveau prototype d'arbovirus isolé en République Centrafricaine." Annls. Inst. Pasteur **125(B)**: 107-118.

Digoutte, J. P. and C. J. Peters (1989). "General aspects of the 1987 Rift Valley fever epidemic in Mauritania." Research In Virology **140(1)**: 27-30.

Diop, G., T. Y., et al. (2000). "The potential role of rodents in the enzootic cycle of Rift Valley fever virus in Senegal." Microbes and infection **2**: 343-346.

- Fontenille, D., M. Traore-Lamizana, et al. (1998). "New vectors of Rift Valley fever in West Africa." Emerg Infect Dis 4(2): 289-93.
- Fontenille, D., M. Traore-Lamizana, et al. (1995). "Short report: Rift Valley fever in western Africa: isolations from *Aedes* mosquitoes during an interepizootic period." Am J Trop Med Hyg 52(5): 403-4.
- Gora, D., Y. Thiongane, et al. (2000). "The potential role of rodents in the enzootic cycle of Rift Valley Fever virus in Senegal." Microbes and infection 2: 343-346.
- IEMVT-CIRAD (12/1990). "La fièvre de la vallée du Rift." Fiches techniques d'élevage tropical: fiche n°10.
- Jacquiet, P., J. Cabaret, et al. (1995). "Experimental study of survival strategy of *Haemonchus contortus* in sheep during the dry season in desert areas of the Mauritania." Journal of Parasitology 81(6): 1013-1015.
- Jacquiet, P., J. Cabaret, et al. (1998). "Host range and the maintenance of *Haemonchus* spp. in an adverse arid climate." International Journal of Parasitology 28: 253-261.
- Jacquiet, P., F. Colas, et al. (1995). "Dry areas : an example of seasonal evolution of helminth infection of sheep en goats in southern Mauritania." Veterinary Parasitology 56: 137-148.
- Jouan, A. (1989). "Les formes cliniques bénignes de la fièvre de la Vallée du Rift pendant l'épidémie de Mauritanie." Bull. Soc. Path. Exot. 82(5): 620-627.
- Jouan, A., I. Coulibaly, et al. (1989). "Analytical study of a Rift Valley fever epidemic." Research In Virology 140(2): 175-86.
- Kermack, W. O. and A. G. McKendrick (1927). "A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics." Proc. R. Soc. A 115: 700-721.
- Lancelot, R., J. P. Gonzalez, et al. (1989). "Epidémiologie descriptive del a fièvre de la vallée du Rift chez les petits ruminants dans le sud de la Mauritanie après l'hivernage 1988." Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 42 (4): 485-491.
- Lefevre, P. C. (1997). "Actualité de la fièvre de la vallée du Rift. Quels enseignements tirer des épidémies de 1977 et 1987?" Med. Trop. 57: 61-64.
- Linthicum, K. J., A. A., et al. (06/99). "Climate and Satellite Indicators to Forecast Rift Valley Fever Epidemics in Kenya." Science 285: 397-400.
- Logan, T. M., K. J. Linthicum, et al. (1991). "Egg hatching of *Aedes* mosquitoes during successive floodings in a Rift Valley fever endemic area in Kenya." Journal Of The American Mosquito Control Association 7(1): 109-112.
- M. W. Service Mosquito Ecology : Field sampling methods.
- May, R. M. and R. M. Anderson (1979). "Population Biology of infectious diseases : Part II." Nature 280: 455-461.
- Morril, J. C., M. C.A., et al. (08/1997). "Safety and efficacy of a mutagen-attenuated Rift Valley Fever virus vaccine in cattle." Am J Vet Res 58(10): 1104-1109.

Morril, J. C., C. A. Mebus, et al. (08/1997). "Safety of a mutagen-attenuated Rift Valley Fever virus vaccine in fetal and neonatal bovids." Am J Vet Res **58**(10): 1110-1114.

Ndione, J. A. (2001). "Climat et arboviroses au Sénégal: le cas de la fièvre de la vallée du Rift. Etudes des conditions climatiques et environnementales d'émergence." données non publiées **2**: 154.

Ndione, J. A. (2001). "Epizootie de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal en 1987 : conditions pluviométriques d'émergence." Actes du colloque de l'Association Internationale de Climatologie, **1**(4).

Prehaud, C. and M. Bouloy (07-08/1998). "Les Bunyaviridae responsables de fièvres hémorragiques." Virologie **2**(4): 297-304.

Sabatier, P., M. Dubois, et al. (2000). "Space and Surveillance of Epidemics : Case of Rift Valley Fever in West Africa." unpublished data.

Sall, A. A., P. M. d. A. Zanotto, et al. (09-10/1998). "Molecular Epidemiologie and Emergence of Rift Valley Fever." Mem Inst Oswaldo Cruz **93**(5): 609-614.

Sall, A. A., P. M. d. A. Zanotto, et al. (10/1999). "Genetic reassortment of Rift Valley Fever Virus in Nature." Jour. Virol. **73**(10): 9196-8200.

Saluzzo, J. F., J. P. Digoutte, et al. (1987). "Focus of Rift Valley fever virus transmission in southern Mauritania [letter]." Lancet **1**(8531): 504.

Schneegans, F. (1999). "La fièvre de la Vallée du Rift en Mauritanie." Centre National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires (CNERV), **Juin 1999**.

Thiongane, Y., e. al., et al. Données récentes de l'épidémiologie de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) au Sénégal." Bull Soc. Med. Afrique Noire de Lang. Franç. Spécial Congrès: 1-5.

Thiongane, Y., J. P. Gonzalez, et al. (1991). "Changes in Rift Valley fever neutralizing antibody prevalence among small domestic ruminants following the 1987 outbreak in the Senegal River basin." Research In Virology **142**(1): 67-70.

Thiongane, Y., H. Zeller, et al. (1994). "Baisse de l'immunité naturelle vis-à-vis de la fièvre de la Vallée du Rift chez les ruminants domestiques du Bassin versant du fleuve Sénégal après l'épizootie de 1987." Bull Soc Pathol Exot **87**(1): 5-6.

Turell, M. J. and C. L. Bailey (1987). "Transmission studies in mosquitoes (Diptera: Culicidae) with disseminated Rift Valley fever virus infections." Journal Of Medical Entomology **24**(1): 8-11.

Walsh, J. (06/1988). "Rift Valley Fever rears its head." Science **247**: 1397-1399.

Wilson, M. L. (1994). "Rift Valley fever virus ecology and the epidemiology of disease emergence." Annals of The New York Academy of Sciences **740**: 169-80.

Zeller, H. G., D. Fontenille, et al. (1997). "Enzootic activity of Rift Valley fever virus in Senegal." American Journal Of Tropical Medicine And Hygiene, **56**(3): 265-72.



## 7 Annexes : fiches d'enquêtes

<p align="center"><b>Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD</b> <b>Fiche Lieu de Résidence</b></p>
---

Date de l'enquête : \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Nom du lieu de résidence : \_\_\_\_\_

Code GPS : \_\_\_\_\_

Localisation géographique:

Latitude Nord : \_\_\_ ° \_\_\_ ' \_\_\_ "  
Longitude Ouest: \_\_\_ ° \_\_\_ ' \_\_\_ "

Code Échantillon spatial : \_\_\_\_\_

Distance au centre (km) : \_\_\_\_\_

Population humaine:

Nombre de concessions: \_\_\_\_\_

Nombre d'habitants: \_\_\_\_\_

Population animale:

Nombre de troupeaux de bovins: \_\_\_\_\_

Nombre de troupeaux de petits ruminants: \_\_\_\_\_

**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD**  
**Fiche Troupeau**

**Identification**

Nom de l'éleveur : \_\_\_\_\_ Ethnie : \_\_\_\_\_  
 Code GPS du lieu de résidence : \_\_\_\_\_  
 Code Échantillon spatial : \_\_\_\_\_

Troupeau enquêté : Bovin / Petits ruminants

**Mobilité du troupeau (mouvements de transhumance)**

Présence sur le lieu d'enquête : Permanente (sédentaire) / Temporaire (transhumant)

Date d'arrivée : \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_ (si transhumance)

Lieu d'origine :

Nom du lieu : \_\_\_\_\_ Code lieu (si dans zone d'enquête) : \_\_\_\_\_  
 Communauté rurale : \_\_\_\_\_ Département : \_\_\_\_\_

**Exploitation du milieu par le troupeau enquêté**

Position géographique du parc de nuit: Latitude Nord : \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ "  
 Longitude Ouest: \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ "

Points d'eau utilisés par ce troupeau:

	Nom	Code	Type <sup>1</sup>	Localisation		Période	
				Latitude Nord	Longitude Ouest	arrivée	départ
1				° ' "	° ' "		
2				° ' "	° ' "		
3				° ' "	° ' "		
4				° ' "	° ' "		
5				° ' "	° ' "		

<sup>1</sup> Puits, mare, forage ou céane

Distance maximale des pâturages exploités par ce troupeau pendant la journée (km) : \_\_\_\_\_

Distance maximale des pâturages exploités par ce troupeau pendant la nuit (km) : \_\_\_\_\_

**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD**  
**Fiche Pâturages**

**Identification**

**Nom:** \_\_\_\_\_ **Date:** \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_ **Code:** \_\_\_\_\_

**Localisation géographique:** Latitude Nord: \_\_\_ ° \_\_\_ ' \_\_\_ "   
 Longitude Ouest: \_\_\_ ° \_\_\_ ' \_\_\_ "

**Code Échantillon spatial :** \_\_\_\_\_

**Topographie**

- dune
- inter dune
- terrain plat
- bas-fond
- haut de pente
- replat
- bas pente
- mi-pente
- butte de cuirasse
- .....

**Substrat**

- argilo-sableux ou *baljol*
- sablo-argileux
- sableux ou *seeno*
- gravillonnaire ou *sangré*
- cuirassé ou *sangré*
- .....

**Anthropisation**

- emprise agricole importante
- emprise agricole faible
- traces de feux de brousse
- ébranchage
- proximité d'une implantation humaine

**Pression pastorale**

- faible
- moyenne
- importante

**Etat apparent de la végétation**

**Type de végétation :**

	herbacée	arbustive	Arborée	boisée	claire	dense
Steppe						
Savane						
Forêt						

**Type de formation :**

**Formation ligneuse**

	LH	LB
Fermé		
Assez ouvert		
Ouvert		
Très ouvert		

LH = ligneux hauts (>2m)  
 LB = ligneux bas (<2m)

### Formation herbacée

1<sup>ère</sup> Espèce herbacée dominante : \_\_\_\_\_

2<sup>ème</sup> Espèce herbacée dominante : \_\_\_\_\_

### Formation arbustive

1<sup>ère</sup> Espèce arbustive dominante : \_\_\_\_\_

2<sup>ème</sup> Espèce arbustive dominante : \_\_\_\_\_

### Analyse phyto-sociologique :

	Espèce					
	Nom Peul	Nom Latin	Appétence	Toxicité	Strate	Côte A-D
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
<b>Appétence</b> - refus +- neutre + appété ++ très appété		<b>*Cote d'Abondance Dominance</b> 5 = recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque 4 = recouvrement de 50 à 75%, abondance quelconque 3 = recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque 2 = très abondant ou recouvrement supérieur à 5% 1 = abondant et recouvrement faible ou assez abondant avec un plus grand recouvrement 0 = simplement présent (recouvrement et abondance très faible)				
<b>Toxicité</b> - non toxique + toxique		<b>Cote de Stratification</b> Strate I    0 - 5 cm                      Strate VI    2 - 4 m Strate II    5 - 25 cm                      Strate VII    4 - 8 m Strate III    25 - 50 cm                      Strate VIII    8 - 16 m Strate IV    50 - 1 m                              Strate IX    16 - 32 m Strate V    1 - 2 m                                      Strate X    32m et plus				

**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Dired / CIRAD  
Fiche Mares**

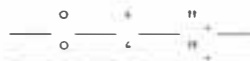
**Identification de la mare**

Date d'enquête : \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_  
 Nom de la mare: \_\_\_\_\_

Code de la mare : \_\_\_\_\_

Localisation géographique:

Latitude Nord: \_\_\_\_\_  
 Longitude Ouest: \_\_\_\_\_



Code Échantillon spatial : \_\_\_\_\_

Type sol : sableux / sablo-argileux / argileux

**Caractéristiques de la mare**

Présence d'eau libre:  O /  N

Si existence d'eau libre, surface (m<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_ Outil de mesure: GPS / Décamètre

Code polygone SIG	M	Année	Mois	jour	Code mare
		01	—	—	_____

Hauteur d'eau lue à l'échelle limnimétrique : \_\_\_\_\_ m

**Analyse phytosociologique :**

		Espèce																									
		Nom Peul	Nom Latin	Type	Situation	Strate	Côte A-D																				
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10																											
		<p><b>Type</b>                      1 aquatique                      2 herbacée                      3 ligneuse</p> <p><b>Situation</b>                      1 pleine eau                      2 bord de mare                      3 hors de la mare</p> <p><b>*Cote d'Abondance Dominance</b>                      5 = recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque                      4 = recouvrement de 50 à 75%, abondance quelconque                      3 = recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque                      2 = très abondant ou recouvrement supérieur à 5%                      1 = abondant et recouvrement faible ou assez abondant avec un plus grand recouvrement                      0 = simplement présent (recouvrement et abondance très faible)</p> <p><b>Cote de Stratification</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Strate I</td><td>0 - 5 cm</td> <td>Strate VI</td><td>2 - 4 m</td> </tr> <tr> <td>Strate II</td><td>5 - 25 cm</td> <td>Strate VII</td><td>4 - 8 m</td> </tr> <tr> <td>Strate III</td><td>25 - 50 cm</td> <td>Strate VIII</td><td>8 - 16 m</td> </tr> <tr> <td>Strate IV</td><td>50 - 1 m</td> <td>Strate IX</td><td>16 - 32 m</td> </tr> <tr> <td>Strate V</td><td>1 - 2 m</td> <td>Strate X</td><td>32m et plus</td> </tr> </table>						Strate I	0 - 5 cm	Strate VI	2 - 4 m	Strate II	5 - 25 cm	Strate VII	4 - 8 m	Strate III	25 - 50 cm	Strate VIII	8 - 16 m	Strate IV	50 - 1 m	Strate IX	16 - 32 m	Strate V	1 - 2 m	Strate X	32m et plus
Strate I	0 - 5 cm	Strate VI	2 - 4 m																								
Strate II	5 - 25 cm	Strate VII	4 - 8 m																								
Strate III	25 - 50 cm	Strate VIII	8 - 16 m																								
Strate IV	50 - 1 m	Strate IX	16 - 32 m																								
Strate V	1 - 2 m	Strate X	32m et plus																								



**Projet Emercase – Modélisation - Collaboration ISRA / Direl / CIRAD**  
**Fiche Entomologie**

**Localisation et identification du piège**

Date: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_      Code lieu: \_\_\_\_\_  
 Nom du site : \_\_\_\_\_      Type : mare / campement / enclos / autre : \_\_\_\_\_  
 Si pas mare,  
 Code de la mare la plus proche : \_\_\_\_\_  
 Distance entre le piège et la rive la plus proche: \_\_\_\_\_ m

Description de la situation précise du piège :

Localisation géographique: Latitude Nord : \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ "  
 Longitude Ouest: \_\_\_\_\_ ° \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ "

Type de piège :      émergence / CDC / CDC+appât

**Moustiques capturés**

	Espèce vecteurs potentiels		
	Nom de l'espèce	Nombre de mâles	Nombre de femelles
1	<i>Aedes vexans</i>		
2	<i>Aedes ochraceus</i>		
3	<i>Culex poicilipes</i>		
	Autres espèces		
	Nom du genre	Nombre de mâles	Nombre de femelles
4	<i>Aedes</i>		
5	<i>Culex</i>		
6	<i>Mimomyia</i>		
7	<i>Mansonia</i>		
8	<i>Anopheles</i>		
9	<i>Aedeomyia</i>		
10	<i>Ficalbia</i>		
11	<i>Uranotaenia</i>		
12	Autre :		
13	Indéterminé		