

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement (ED-SEV)

Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar

Année : 2013

N° d'ordre : 45



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Santé et Biotechnologies Animales

Présentée par :

Nicolas Djighnoum DIOUF

**Potentiel rôle épidémiologique du Delta du fleuve Sénégal et
impact des arboviroses dans la population équine :
cas de la fièvre West Nile et de la peste équine**

Soutenue le 28 juin 2013 devant le jury composé de :

Président : M. Bhen Sikina TOGUEBAYE, Professeur à la FST/UCAD de Dakar

Rapporteurs : M. Ngor FAYE, Professeur à la FST/UCAD de Dakar
M. Louis Joseph PANGUI, Professeur à l'EISMV de Dakar
M. Alioune DIEYE, Professeur à la FMPOS/UCAD de Dakar

Examineur :
Mme Rianatou Bada-ALAMBEDJI, Professeur à l'EISMV de Dakar

Directeurs de thèse :
M. Justin Ayayi AKAKPO, ancien Professeur à l'EISMV de Dakar
M. Eric ETTER, Chercheur au CIRAD UR-AGIRs, Montpellier

« La plus noble conquête que l'homme ait jamais faite est celle de ce fier et fougueux animal, qui partage avec lui les fatigues de la guerre et la gloire des combats ; aussi intrépide que son maître, le cheval voit le péril et l'affronte, il se fait au bruit des armes, il l'aime, il le cherche et s'anime de la même ardeur ; il partage aussi ses plaisirs à la chasse, aux tournois, à la course, il brille, il étincelle ; mais docile autant que courageux, il ne se laisse point emporter à son feu ; il sait réprimer ses mouvements ; non seulement il fléchit sous la main de celui qui le guide, mais il semble consulter ses désirs, et obéissant toujours aux impressions qu'il en reçoit, il se précipite, se modère ou s'arrête, et n'agit que pour y satisfaire ; c'est une créature qui renonce à son être pour exister que par la volonté d'un autre, qui sait même la prévenir, qui par la promptitude et la précision de ses mouvements l'exprime et l'exécute, qui sent autant qu'on le désire, et ne rend qu'autant qu'on veut, qui se livrant sans réserve, ne se refuse à rien, sert de toutes ses forces, s'excède et même meurt pour mieux obéir...»

Buffon, 1753

Histoire naturelle du cheval, Tome IV

REMERCIEMENTS

□ *A Celui qui est au dessus de tout et en qui, rien n'est impossible* □

Je tiens à remercier très sincèrement les personnes qui ont accepté de se réunir pour juger ce travail ; Chers maîtres, au-delà de ce jury, vous avez tous contribué à ma formation.

Professeur Ayayi Justin AKAKPO, vous dirigez ainsi pour la seconde fois ma thèse. Votre disponibilité et votre rigueur font de vous un modèle à suivre pour la jeune génération.

Docteur Eric ETTER, pour avoir conçu et dirigé en partie ces travaux, vos remarques ont significativement amélioré la qualité de ce travail.

Professeur Ngor FAYE, vous nous faites l'honneur de siéger pour la seconde fois dans notre jury. Recevez l'expression de notre profonde gratitude.

Professeur Louis Joseph PANGUI, vos qualités scientifiques, votre générosité et votre disponibilité malgré un calendrier très chargé, font de vous un père pour vos étudiants.

Professeur Alioune DIEYE, la spontanéité avec laquelle vous avez accepté de juger ce travail confirme votre engagement dans la bonne marche de l'Ecole Doctorale, votre courtoisie ne nous a pas laissé indifférent.

Professeur Anta Tal DIA, pour avoir spontanément accepté de juger ce travail malgré un calendrier très chargé, vos compétences et votre rigueur scientifique font de vous une référence dans le domaine de la Santé Publique

Professeur Rianatou Bada-ALAMBEDJI, Vous constituez un maître et un modèle de par votre rigueur scientifique. Merci pour vos conseils et vos encouragements.

Professeur Bhen Sikina TOGUEBAYE, vos qualités scientifiques ne sont plus à démontrer, j'apprécie à sa juste valeur l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce jury.

Au Projet EDEN pour avoir financé en partie ce travail, particulièrement Dr Renaud Lancelot pour l'appui dans l'analyse statistique

Au CIRAD de Montpellier et UR AGIRs 16-22, Dr F. Roger.

A l'équipe de Utrecht University (The Netherlands) : Dr. Don Klinkenberg, Prof Dr. Heesterbeek et Konstantine Kasule pour le stage et l'appui dans la conception du modèle : Thanks a lot for your availability.

A l'Institut Pasteur de Dakar, particulièrement Dr A. A. Sall, Dr O. Faye et Dr M. Diallo pour l'analyse d'une partie des sérums.

A l'ANSES (ex-AFSSA) : Dr S. Lecollinet et Dr S. Zientara, pour le stage et l'analyse de l'autre partie des sérums et au Dr V. JESTIN et l'équipe de Ploufragan.

REMERCIEMENTS

In Memorium

Je dédie ce travail de thèse à mon père Antoine DIOUF, à son frère l'Abbé Joachim DIOUF et au Dr Joseph SARR, virologiste, ☐ Oh Père ! Accorde-leur la joyeuse récompense du serviteur fidèle☐.

A ma maman Elisabeth SENE : ☐ Femme noire, Femme Africaine, Merci ! Merci pour tout ce que tu fis pour moi, ton fils ; si loin, si près de toi☐

A mon frère Capi et à mes sœurs MJ, Suzy et Véro, votre soutien a été déterminant pour la réalisation de thèse. Que DIEU vous le rende au centuple.

A mon épouse Anna : ☐ Sans toi, je n'aurais, peut-être pas achevé ce travail. Merci pour les frais d'inscription que tu as régulièrement payé, pour ne citer que cela. Que le SEIGNEUR réjouisse ton cœur comme tu as réjoui le mien☐

A mes enfants Elisabeth Jacqueline et Antoine Joachim, votre sourire a constitué une véritable source d'énergie pour moi. Prenez soin du flambeau que nous ont légué vos grands-parents :

☐ Le Sénégal a besoin de vous☐

A ma grand-mère Jeanne et à tous ses enfants

A ma belle-mère Jacqueline et à toute la famille TINE : ☐ Merci pour votre soutien ☐

A mes beaux-frères, nièces et neveux

A mes cousines et cousins (Denis, Raph, Charles, André, JB, Alex Diom)

A mes tantes et oncles

A l'Abbé Vincent SENE et à tous les prêtres, religieuses et religieux de la famille

A mes amis et compagnons de route Alex, Thomas, Doudou FALL, André, Assas, Pierre, Mike, Gabtos, etc.

Au Parrain de la 30^{ème} promotion de l'EISMV : Dr Moustapha SALL

Au Gouverneur Léopold WADE (DGAT) et à toute sa famille

A Mesdames les Ministres de l'Elevage Dr Oumou Khaïry Guèye SECK et Madame Aminata Mbengue NDIAYE

A mes collègues du Ministère de l'Elevage

A mes collègues du Service Régional de l'Elevage (SREL) de St-Louis et du CNFTEIA

A mes confrères de l'Ordre des Docteurs Vétérinaires du Sénégal (ODVS)

A tous les Directeurs, Chefs de SREL, de CIMELs et de SDEL

A mes collègues Chefs de service du Comité Régional de Développement (CRD) de St-Louis

Au Personnel du CIMEL de Makhana : Doyen Goudiaby, André, Oumar, Iba, Cissé, Adja, Makhane, Alassane et Yérém

A mes compagnons de terrain Diam Abdou SOW et Rémy MABOUDOU

A Abdou FALL (CPV de Ross-Béthio), Oumar FAYE (SDEL/Diourbel), M. TOURE (SDEL/Birkélane), NDAO (CPV de Paoskoto), Yoro DIAW (SDEL/Podor), Moctar BARRO (SDEL/Dagana), Moussa DIEME (SDEL/SL), Ismaïla SECK (CPV de Mpal), Dr Mame Balla SOW et Moustapha KONARE (CNAG/Dahra), Pape Mbaye DIAW (SDEL/Bakel), I. SEYDI (CPV de Kidira), M. Aliou GUEYE (SDEL/Malèm Hodar)

A Thomas MANGA (CPV de Barkédji) pour ses précieux conseils

Au Dr Assane Guèye FALL, à sa famille et à ses collègues du LNERV

Aux anciens de l'équipe Santé-Environnement du LNERV : Dr O. T. DIAW, Dr Arona GUEYE, Dr Magatte NDIAYE, Dr Yaya THIONGANE, Dr DIAITE, M. SEYE, I. MALL

A Monsieur Abdourahmane GUEYE (ARD/St-Louis) et à sa famille

Aux Dr Sidy FALL, Dr Aboubacar NIANG, Dr Papa Ndéné DIOUF et Dr Boukhary LY

A Marcel NDIONE et Hyacinthe SAMB ainsi que leurs familles respectives

A mes amis du Club-31 d'ici et de la diaspora

Aux familles DIEDHIOU de Thiès, SECK de Keur Massar, NDIAYE de la Patte d'Oie

A mes autres □mamans□ : Rose CISS et NDIAYE, Louise NDONG et NDIAYE, Anne-Françoise DIONE, Marie-Angélique BADIANE, Adèle MBAYE, Anne-Marie TINE, Noelia SAMBOU, Marie-Claire SARR, Célestine NDIONE, Marie-Rose DEVIS ainsi qu'à toutes leurs familles

A David FAYE et Jean-Marie DEMBELE ainsi qu'à leurs familles

A Monsieur Fidèle DIEDHIOU, Marie-Louise BADIANE et à toute leur famille

A Lies et Joeri

Au groupe *Babylone* : □Keep on going guys, you're on the right way□

A mes enseignants à St-Joseph de Cluny, Notre Dame de Lourdes, Didier-Marie, St-Gabriel, de l'EISMV de Dakar, de la faculté des Sciences et Techniques et de l'ED-SEV de l'UCAD et à tous mes camarades de promotion.

A l'ensemble des élèves, en particulier ceux de la filière équine

Aux habitants des villages de Makhana et Mbarigo qui m'ont accueilli et adopté

Au *Joobass*, mon terroir

A *Péléo*, mon village

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont permis d'en arriver là

Vive le Sénégal !

Vive l'Afrique !

Liste des abréviations:

AHSV	: African Horse-Sickness Virus
AIC	: Akaike's Information Criterion
ARN	: Acide Ribonucléique
BHK	: Baby Hamster Kidney
BTV	: Bluetongue Virus
CDC	: Centers for Disease Control and Prevention
CIRAD	: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le Développement
CSS	: Compagnie Sucrière Sénégalaise
DEQUIN	: Direction du Développement Equin
DFS	: Delta du Fleuve Sénégal
DIREL	: Direction de l'Elevage
DL50	: Dose Létale 50
ECP	: Effet Cytopathique
EDTA	: Ethylene Diamine Tetra-acetic Acid
EEEV	: Eastern Equine Encephalitis Virus
EEV	: Equine Encephalosis Virus
EHDV	: Epizootic Hemorrhagic Disease Virus
EIP	: Extrinsic Incubation Period
EISMV	: Ecole inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires
ELISA	: Enzyme Linked Immunosorbent Assay
ESB	: Encéphalopathie Spongiforme Bovine
FAO	: Food and Agricultural Organization
FCFA	: Francs de la Communauté française d'Afrique
FCO	: Fièvre Catarrhale Ovine
FOI	: Force of infection
FVR	: Fièvre de la Vallée du Rift
FWN	: Fièvre West Nile
G	: gauge for needle size
g	: gravity/centrifugal force
IC	: Intervalle de Confiance
IgG	: Immunoglobuline de classe G

IgM	: Immunoglobuline de classe M
IHA	: Inhibition de l'Hémagglutination
MS	: Monkey kidney cells
NS 1	: Non-Structural protein 1
OIE	: Office International des Epizooties
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PCRDT	: Programme-Cadre de Recherche et de Développement Technologique
PFU	: Plaque-forming units
PNOD	: Parc National Ornithologique du Djoudj
prM-E	: Membrane-enveloppe protein
PRODEFE	: Projet de Développement de la Filière Equine
PSL	: Paix et Salut sur Lui
PVS	: Performance of Veterinary et Services
RR	: Risque relatif
RT-PCR	: Reverse-Transcription Polymerase Chain Reaction
SAED	: Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres du delta du fleuve Sénégal et de la Falémé
SEIR	: Susceptible, Exposed (latently infectious), Infectious, Recovered
SNA	: Social Network Analysis
SRAS	: Syndrome Respiratoire Aigu Sévère
SRPS	: Service régional de la prévision et de la statistique
\$ US	: dollar américain
USA	: United States of America
Vero	: African green monkey cells
VP 1	: Virus Protein 1
WAOH	: World Organization for Animal Health
WCS	: Wildlife Conservation Society
WN	: West Nile

Liste des figures :

Figure 1 : Cycle épidémiologique du virus de la West Nile.....	21
Figure 2 : Cycle épidémiologique du virus de la peste équine.....	32
Figure 3 : Aménagements hydro-agricoles dans le DFS.....	43
Figure 4 : Les sites de prélèvements dans le Delta du fleuve Sénégal	59
Figure 5 : Distance séparant les différentes zones écologiques de la mer.....	62
Figure 6 : Représentation schématique du modèle S.E.I.R. vecteur-hôte d'après Backer et Nodelijk (2011).....	64
Figure 7 : Répartition des chevaux sentinelles séroconvertis au virus West Nile.....	79
Figure 8 : Statut sérologique des chevaux sentinelles en fonction de l'âge.....	84
Figure 9 : Importance des mortalités dues à la peste équine en 2007 au Sénégal.....	87
Figure 10 : Probabilité d'infection en fonction de l'âge (années).....	92
Figure 11 : Variation du taux de reproduction de base en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93 °C.....	93
Figure 12 : Variation du ratio vecteur-hôte en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93°C.....	94
Figure 13 : Variation de la fraction critique vaccinale en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93°C.....	95
Figure 14 : Répartition des marchés hebdomadaires et risque de transmission du virus de la peste équine.....	103
Figure 15 : Les composantes de l'estimation du risque.....	104
Figure 16 : Sites d'entrée des chevaux et zone d'épidémiovigilance pour de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine.....	106
Figure 17 : Chronologie de l'apparition des foyers de peste équine par département.....	126
Figure 18 : Potentielles voies d'introduction et de diffusion des sérotypes du virus de la peste équine en 2007.....	129

Liste des tableaux :

Tableau I : Distribution régionale du cheptel équin en 2006.....	9
Tableau II : Paramètres utilisés dans l'analyse.....	67
Tableau III : Combinaison des événements pour la probabilité de survenue.....	72
Tableau IV : Notation pour l'appréciation de chaque critère des conséquences.....	73
Tableau V : Correspondance entre le niveau des conséquences cumulées en santé animale et le qualificatif résultant.....	74
Tableau VI : Estimation qualitative du risque résultant du croisement de l'estimation qualitative de la probabilité de survenue et de l'estimation qualitative des conséquences.....	74
Tableau VII : Répartition des chevaux par zone.....	79
Tableau VIII : Incidence sérologique de la fièvre West Nile selon la zone chez les chevaux du DFS.....	81
Tableau IX : Incidence sérologique de la fièvre West Nile selon la période chez les chevaux du DFS.....	81
Tableau X : Distribution par âge et par zone écologique des chevaux sentinelles positifs en séroneutralisation dans le DFS.....	82
Tableau XI : Distribution par âge et par zone écologique des chevaux séronégatifs en ELISA de compétition dans le DFS.....	83
Tableau XII : L'analyse conditionnelle des facteurs d'exposition associés à la séronégativité au virus WN chez chevaux du DFS.....	84
Tableau XIII : Répartition des résultats sérologiques des chevaux par zone.....	88
Tableau XIV : Sérotypage des chevaux positifs en août 2007.....	89
Tableau XV : Résultats de l'analyse en séroneutralisation des sérums par zone.....	89
Tableau XVI : Nombre de chevaux de positifs à l'ELISA par classe d'âge et par zone.....	90
Tableau XVII : Paramètres estimés dans les modèles 1 à 4.....	91
Tableau XVIII : Résultats du modèle 2B avec un intervalle de confiance de 95%.....	91
Tableau XIX : Variation du taux de reproduction de base, du ratio vecteur-hôte et la fraction critique vaccinale en fonction de la prévalence chez le vecteur pour le modèle 2B.....	93
Tableau XX : Appréciation des conséquences cumulées pour la peste équine au Sénégal...	107
Tableau XXI : Compte d'exploitation pour une calèche et une charrette.....	113
Tableau XXII : Recettes suivant les localités.....	114
Tableau XXIII : Coût total de la vaccination.....	116
Tableau XXIV : Coût du matériel utilisé dans la lutte.....	116
Tableau XXV : Coût total de la maladie.....	117

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique sur l'élevage du cheval, la fièvre West Nile et la peste équine dans le monde et au Sénégal.....	4
CHAPITRE 1 : L'ELEVAGE ET L'IMPORTANCE DU CHEVAL AU SENEGAL	6
A. Rôle historique du cheval	7
B. Effectifs et répartition des chevaux.....	8
C. Importance du cheval.....	9
1. Le cheval dans l'armée.....	10
2. Rôle socio-économique de la traction animale	11
3. Les métiers liés au cheval	11
4. Hippophagie et utilisation thérapeutique du cheval	12
D. Dominantes pathologiques chez les chevaux.....	12
CHAPITRE 2 : LA FIEVRE WEST NILE DANS LE MONDE.....	13
A. Répartition spatio-temporelle de la maladie	14
1. Distribution de la West Nile dans le monde.....	14
2. Circulation du virus au Sénégal	15
B. Le virus de la West Nile	16
C. Epidémiologie de la West Nile	17
1. Vecteurs.....	17
2. Espèces réceptrices non sensibles	18
3. Espèces sensibles	18
4. Importance sanitaire et économique de la fièvre West Nile	20
5. Transmission	21
D. Diagnostic	23
E. Mesures de lutte et de prévention	24
CHAPITRE 3 : LA PESTE EQUINE, UNE CONTRAINTE POUR L'ELEVAGE DU CHEVAL.....	25
A. Historique et répartition géographique du virus	26
1. Le virus équinestique	26
2. Historique et répartition géographique des sérotypes de la peste équine.....	26
3. La maladie au Sénégal	28
B. Epidémiologie de la peste équine	29

1. Espèces réceptives non sensibles	29
2. Espèces sensibles	29
3. Vecteurs.....	30
4. Transmission	32
C. Diagnostic	33
1. Prélèvements	33
2. Diagnostic de laboratoire	33
D. Conséquences sanitaires et économiques	34
E. Prophylaxie sanitaire et médicale	35
1. Mesures sanitaires	35
2. La vaccination	35
F. Traitement.....	36
CHAPITRE 4 : IMPACT ECONOMIQUE ET ANALYSE DU RISQUE D'INFECTION ...	37
A. Approche économique de l'impact des maladies animales.....	38
1. Effets directs.....	39
2. Effets indirects	39
B. Analyse de risque d'infection de la peste équine	40
CHAPITRE 5 : LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET LES SYSTEMES EPIDEMIOLOGIQUES DE LA WEST NILE ET DE LA PESTE EQUINE	41
A. Le Delta du fleuve Sénégal (DFS).....	42
B. Systèmes épidémiologiques	46
1. Système épidémiologique de la fièvre West Nile	47
2. Système épidémiologique de la peste équine.....	48
DEUXIEME PARTIE: Le Delta du fleuve Sénégal, un contexte favorable à la circulation des virus de la West Nile et de la peste équine.....	50
A. Rappel des objectifs et questions de recherche.....	51
B. Hypothèses et stratégie d'étude	52
CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES GENERALES	55
A. Collecte de sérums de chevaux et analyses sérologiques	56
1. Tests immuno-enzymatiques indirects : <i>Enzyme Linked Immunosorbent Assay</i>	57
2. Tests de séroneutralisation	58
B. Suivi de chevaux sentinelles pour la West Nile.....	58
1. Etude longitudinale sérologique et clinique de la cohorte	58

2. Zone d'étude et modalités de surveillance	59
3. Incidence sérologique de la West Nile.....	60
4. Risque relatif (RR)	61
C. Identification des sérotypes circulants du virus de la peste équine	62
D. Mouvements saisonniers de chevaux : analyse de risque d'infection.....	70
E. Enquêtes sur la valeur économique du cheval et sur l'épizootie de peste équine de 2007 dans le DFS	75
F. Méthodes de traitement des données	75
1. Analyses statistiques.....	75
2. Seuils de positivité retenus en sérologie.....	76
CHAPITRE 2 : RESULTATS.....	77
II.1. SUIVI DES CHEVAUX SENTINELLES	78
A. Suivi sérologique de chevaux sentinelles par rapport à la West Nile.....	78
B. Incidence de la West Nile	80
1. Incidence globale	81
2. Incidence par cohorte	81
3. Incidence par période	81
C. Risque relatif (RR) des chevaux par rapport à la West Nile.....	82
II.2.CIRCULATION DES SEROTYPES DU VIRUS DE LA PESTE EQUINE AU SENEGAL.....	86
A. L'épizootie de peste équine au Sénégal en 2007	86
1. La maladie dans le pays	86
2. Evolution de la maladie dans la région de St-Louis.....	87
B. Etat des connaissances sur les sérotypes du virus de la peste équine avant l'utilisation du vaccin polyvalent en 2007.....	88
C. Modélisation de la transmission du virus de la peste équine	90
III. 3. MOUVEMENTS DES CHEVAUX ET ANALYSE DU RISQUE D'INFECTION	96
A. Mouvements des chevaux au Sénégal	96
1. Mouvements saisonniers	96
2. Les mouvements commerciaux des chevaux	98
B. Approche qualitative de l'analyse du risque d'infection de la peste équine.....	104
II. 4. IMPORTANCE DU CHEVAL AU SENEGAL ET PERTES ECONOMIQUES LIEES A L'EPIZOOTIE DE PESTE EQUINE DE 2007	110
A. Le cheval, un animal prestataire de services.....	110

1. Attelages et harnachement	111
2. Le compte d'exploitation	112
3. Les recettes	114
4. Les calèches touristiques de St-Louis	115
B. Enquêtes économiques rétrospectives de la peste équine de 2007 dans le DFS.....	115
1. Coût des pertes par morbidité.....	115
2. Coût des pertes par mortalité	115
3. Coût du contrôle de la maladie	115
TROISIEME PARTIE : Discussion générale et perspectives de recherche	118
III. 1. DISCUSSION GENERALE.....	119
A. Matériel et Méthodes utilisées	120
B. Résultats du suivi du virus West Nile chez les chevaux sentinelles	121
C. Circulation des sérotypes du virus de la peste équine en 2007	123
D. Résultats de l'impact économique de la peste équine.....	123
E. Mouvements des chevaux et l'analyse de risque	125
F. Hypothèses de diffusion du virus de la peste équine à partir du DFS lors de l'épizootie de 2007	126
III. 2. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	130
CONCLUSION GENERALE	132
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	133
ANNEXES	149
MANUSCRIT 1.....	166

INTRODUCTION GENERALE

L'élevage équin ainsi que les activités liées au cheval apparaissent comme une opportunité de création d'activités créatrices de revenus dans un contexte de lutte contre la pauvreté dans certains pays africains. C'est le cas au Sénégal, pays en voie de développement, situé en Afrique de l'Ouest avec une population constituée de 60 % de ruraux. Les systèmes de production à faible niveau d'intrants y sont majoritaires. L'agriculture repose, en partie, sur le cheval qui est un levier économique susceptible de contribuer à l'intégration et à l'intensification des activités agropastorales.

Au Sénégal, l'élevage du cheval revêt un intérêt socio-économique certain. En effet, le cheval est utilisé, en milieu urbain, pour le transport des hommes et des marchandises, dans les courses hippiques et l'équitation de loisir. En milieu rural, en plus de son utilisation pour le transport, il est très sollicité pour les travaux champêtres.

L'effectif national des chevaux est estimé à près de 517 700 têtes en 2006 et celui des ânes à 413 310 têtes. Les chevaux sont élevés dans des systèmes agricoles ruraux à faible niveau d'intrants, dans les zones nord et centre du pays.

Dans la zone sylvopastorale au centre-ouest du pays, un important programme d'amélioration génétique a été conduit au niveau du Centre de recherche zootechnique (CRZ) de Dahra de 1948 à nos jours, avec l'introduction du pur-sang anglais. Dans cette zone, le cheval assure une fonction d'épargne et participe à la lutte contre la pauvreté des populations rurales. La production de poulains demi-sang anglais est devenue une spéculation agricole rentable dans la zone d'implantation du haras de Dahra.

L'important rôle que joue le cheval dans la lutte contre la pauvreté a conduit les pouvoirs publics sénégalais à créer le Projet de Développement de la Filière Equine (PRODEFE) et en 2008, la Direction du Développement Equin (DEQUIN) pour promouvoir toutes les utilisations liées au cheval. De 2004 à nos jours, le PRODEFE a créé trois haras fonctionnels à Thiès, Kaolack et Dahra. L'Etat du Sénégal a construit et équipé un haras national moderne à Kébémér dans la région de Louga. Le haras de Mbacké est en construction.

La vente d'un poulain procure aux paysans des revenus beaucoup plus importants que l'agriculture soumise aux aléas climatiques et aux caprices du cours des matières premières.

L'élevage du cheval fait cependant face à de multiples contraintes dont la plus importante est sanitaire. Les arboviroses telles la peste équine et la fièvre West Nile ont, dans le passé et même récemment, contribué à décimer le cheptel équin dans différentes parties du monde. La peste équine constitue depuis plusieurs siècles, une contrainte majeure au développement de l'élevage équin en Afrique et au Sénégal en particulier.

Si l'effet néfaste de la peste équine n'est plus à démontrer, il n'en est pas de même pour la fièvre West Nile qui est une arbovirose qui affecte de façon plus sournoise les chevaux. Cette dernière affection, méconnue par le personnel technique en charge de l'élevage au Sénégal, constitue une menace pour le cheval et la santé publique mais aussi une contrainte pour la politique d'amélioration génétique mise en oeuvre chez cette espèce. Ainsi aux Etats-Unis, pays précédemment indemne de West Nile, l'apparition du virus s'est faite de manière subite, occasionnant plusieurs milliers de morts chez les chevaux (Ward *et al.*, 2006b) et plusieurs centaines chez les humains (Marfin *et al.*, 2001).

Le Delta du fleuve Sénégal (DFS), riche de ses parcs et de ses aménagements hydro-agricoles offre des conditions écologiques favorables au séjour des oiseaux migrateurs et à la prolifération des moustiques. Il constitue ainsi une entité épidémiologique où s'établit un contact permanent entre les hôtes amplificateurs ou réservoirs et les arthropodes vecteurs de la maladie. D'autre part, le DFS est habitée par une forte population de chevaux généralement utilisés dans le transport urbain ou dans les travaux champêtres. L'ensemble de ces facteurs font du Delta du fleuve Sénégal une zone écologique favorable à la fièvre West Nile et pourrait devenir une porte d'entrée de cette maladie dans le pays. Cependant, à ce jour, aucun cas clinique de West Nile n'a jamais été notifié dans la zone. De ce fait, pour la peste équine comme pour la West Nile des inconnues méritent d'être élucidées.

Questions de recherche :

Q1 : L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile dans le DFS serait-elle liée à un défaut de diagnostic ?

Q2 : Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?

Q3 : Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?

Nous essayerons de donner réponses à ces questions au cours des trois parties d'inégale importance de cette thèse.

La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique sur l'élevage du cheval, la peste équine et la fièvre West Nile dans le monde et au Sénégal. La deuxième partie traitera du Delta du fleuve Sénégal qui constitue un contexte favorable à la circulation des virus West Nile et de la peste équine. Le matériel et les méthodes utilisées ainsi que les résultats seront présentés dans cette partie. La troisième partie sera consacrée à une discussion générale et aux perspectives de recherche.

**PREMIERE PARTIE : SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ELEVAGE DU
CHEVAL, LA FIEVRE WEST NILE ET LA
PESTE EQUINE DANS LE MONDE ET AU
SENEGAL**

La première partie de cette thèse est consacrée une revue bibliographique sur les deux arboviroses que sont la fièvre West Nile et la peste équine associée à une présentation de la zone d'étude et de l'importance du cheval.

Le **chapitre 1** présentera respectivement le rôle historique du cheval au Sénégal, la taille de son cheptel ainsi que sa répartition dans le pays, son importance sur le plan militaire, socio-économique et alimentaire, et enfin les pathologies généralement rencontrées chez le cheval au Sénégal.

Le **chapitre 2** fera la synthèse bibliographique de la fièvre West Nile à travers le monde en insistant sur les différentes épidémies provoquées par cette maladie. Le **chapitre 3**, au même titre que le chapitre 2, présentera les épizooties occasionnées dans le temps et dans l'espace par la peste équine.

Le **chapitre 4** fera le point sur l'étude de l'impact économique d'une maladie, le principe de l'analyse de risque en adoptant une approche qualitative et le principe de précaution. Enfin, dans le **chapitre 5**, nous présenterons la zone d'étude qui est le Delta du fleuve Sénégal (DFS), riche de ses cours d'eau et de ses parcs mais également les systèmes épidémiologiques de la fièvre West Nile et de la peste équine.

Chapitre 1 : L'élevage et l'importance du cheval au Sénégal

A. Rôle historique du cheval

Le cheval est un mammifère ongulé, périssodactyle (quadrupède qui repose sur le sol par un nombre impair de doigts) appartenant à la famille des équidés, au genre *Equus* et à l'espèce *caballus*. L'histoire naturelle du cheval a commencé, il y a 60 millions d'années, bien avant l'apparition de l'homme. L'ancêtre le plus lointain du cheval est *Eohippus*. De la taille d'un chien à l'origine, *Eohippus* a évolué pour s'adapter aux changements du milieu et donné le premier véritable cheval, il y a moins d'un million d'années. A partir de son berceau nord américain, *Equus caballus* s'est répandu en Europe et en Asie pour donner naissance à trois groupes de chevaux primitifs considérés comme les ancêtres de tous les chevaux modernes (Edwards, 1995). Le cheval est considéré comme la plus noble conquête de l'homme. Lorsque l'homme commença sa domestication vers le IV^{ème} millénaire avant Jésus-Christ, probablement en Asie Centrale, la nature l'avait déjà transformé en l'une des créatures les plus robustes, les plus douées et les plus fascinantes du règne animal. Plus tard, c'est un bel animal vif, rapide, robuste, qui retient toute l'attention de l'homme. On le capture, on l'élève, on le dresse, il tire, il porte, et on le monte ! Grâce à lui, les distances s'estompent, les horizons s'élargissent, le monde s'ouvre aux conquérants. C'est le début de la grande aventure des rapports passionnels entre l'homme et le cheval. L'ancêtre du cheval a par la suite atteint l'Afrique et a donné vraisemblablement naissance à l'âne, au zèbre et aux différents types de chevaux dits "autochtones" tels que le cheval Mbayar, le cheval Mpar ou du Cayor¹ et le cheval du Sahel (Kaboret *et al.*, 2004). Ce dernier descend du cheval Barbe qui a donné une variante dite cheval Fleuve, encore appelé *Narou goor*². On le retrouve parmi les chevaux de course et d'équitation (Doutressoulle, 1952). Dès le Moyen Age, le cheval entraînait dans les mœurs des populations ouest-africaines. Le cheval avait donc tôt fait de s'imposer comme signe de l'autorité du chef. Il était même de coutume de collectionner les queues de ses chevaux morts comme témoignage de sa prospérité. Certaines personnes lui prêtent le pouvoir de protéger la famille du mauvais sort et du besoin. C'est sans doute de là que provient la pratique qui consiste à accrocher des fers à cheval à l'entrée des concessions (Ndiaye, 1978).

¹ contrée du centre-ouest du Sénégal

² nom vernaculaire wolof du cheval Fleuve

Chez certaines ethnies, une pratique consistait à exiger du futur mari un cheval pour la dot. De même, la mariée rejoignait le domicile conjugal à dos de cheval. Cette pratique était appelée *Waral gi*³ chez les Wolofs et *Diftoungal*⁴ chez les Toucouleurs pour désigner cette cérémonie qui signifie "monter à cheval". Le cheval devint le cadeau suprême que rien ne pouvait égaler et qui était la preuve irréfutable de la générosité de son donateur.

L'annonce des décès, des naissances, les déclarations de guerre ainsi que toute information à caractère urgent étaient confiées à des cavaliers, pour la plupart des griots.

Toutefois, durant les campagnes de lutte contre les maladies animales telles que la peste bovine ou la péripneumonie contagieuse bovine, les vétérinaires se déplaçaient à dos de cheval.

Avec l'arrivée de l'Islam, les chefs religieux parcouraient les villages à dos de cheval pour prêcher la conversion.

Lors de l'accueil d'hôtes de marque, notamment des chefs religieux, des autorités locales ou coloniales, des cavaliers attendaient l'hôte à l'entrée de la ville ou du village et constituaient une escorte jusqu'à la place où ce dernier devait être accueilli. C'était l'occasion pour les *Gawars*⁵, spécialistes de la montée à cheval, de démontrer leur talent. Cette tradition est toujours d'actualité dans le département de Podor (région de St-Louis) ; elle s'observe à l'occasion de la visite des autorités administratives.

B. Effectifs et répartition des chevaux

En Afrique de l'Ouest, le Sénégal est l'un des pays où l'élevage chevalin est le plus développé. Les races chevalines exploitées au Sénégal sont des races de courte taille (Mpar, Mbayar et Fleuve), dérivés du croisement barbe et arabe. Ces chevaux sont très endurants, sobres et rustiques. Ils sont de petit format avec une hauteur au garrot entre 1,25 et 1,40 m et un poids de 200 et 250 kg (Larrat, 1947). Le **tableau I (page 9)** indique la distribution régionale des effectifs.

³ nom vernaculaire wolof qui signifie la dot

⁴ Montée à cheval en toucouleurs

⁵ jockey en langue wolof

Tableau I : Distribution régionale du cheptel équin en 2006

Régions	Effectif équin	Pourcentage (%)
Dakar	6 910	1,3
Thiès	59 100	11,4
Diourbel	70 570	13,6
Kaolack	117 900	22,8
Fatick	85 000	16,4
Tambacounda	31 800	6,1
Kolda	42 500	8,2
Ziguinchor	3204	0,6
Louga	62 500	12,1
Saint-Louis	11 900	2,3
Matam	26 600	5,1
Total	517 700	100 %

Source : Akakpo *et al.*, 2011

C. Importance du cheval

En règle générale au Sénégal, le cheval est l'animal le plus aimé dans le monde rural, il est souvent considéré comme un membre de la famille. Le chef de famille s'investit personnellement pour son alimentation et le conduit chez le vétérinaire en cas de maladie. La fane d'arachide récoltée lui est exclusivement destinée, et il reçoit un complément en concentré ou en céréales. Il doit son mérite à plusieurs faits. Le Sénégal est un pays majoritairement musulman, ce qui explique que le cheval est un animal sacré car il a été le compagnon du Prophète Mohammed (PSL) et il a contribué au *Jihad*⁶. Cet animal aurait reçu les prières du Saint Homme ; ce qui fait qu'il amène la bénédiction et la prospérité dans la famille qui l'accueille. Cela expliquerait d'ailleurs le fait que les chevaux soient enterrés dans la cour de la maison à leur mort. Dans cette même logique, certaines personnes enterrent des os ou accrochent un fer à cheval dans leur maison.

Le cheval est aussi un animal prestataire de services qui peut assurer la dépense quotidienne par la régularité du revenu : il permet les déplacements d'une localité à une autre, le transport de l'eau et des produits de la récolte, il sert également d'ambulance dans certains villages. Dans certaines localités de Fatick et de Kaolack, à la mort du cheval, les voisins et parents viennent manifester leur compassion et apporter leur soutien à la famille affectée. Ils viennent travailler tour à tour durant une matinée ou un après-midi dans le champ de celui qui a perdu son cheval en guise de solidarité.

⁶ la guerre sainte dans l'Islam

Le cheval est précieux aux yeux de son propriétaire ; il reste le seul animal chez qui l'éleveur ne tente pas de traitement à risque. Contrairement aux ruminants, le cheval ne reçoit jamais d'injection encore moins de médicaments frauduleux de la part de l'éleveur. En revanche, pour être crédible et réussir son installation dans le monde rural, le vétérinaire doit être nécessairement performant en clinique équine. L'ensemble de ces considérations fait que la viande de cheval n'est généralement pas consommée.

D'autre part, l'absence de cheval est un signe de pauvreté. L'état d'embonpoint et la décoration du cheval révèlent le statut social de son propriétaire. Le Sénégal est un pays à tradition équestre où le cheval joue un rôle socioéconomique très important. L'usage de cet animal va favoriser le développement progressif de différents métiers liés au cheval. Grâce à lui, un grand nombre d'emplois formels et informels ont été créés en milieu rural et urbain (Kaboret *et al.*, 2004).

1. Le cheval dans l'armée

Les armées ont pendant longtemps compté sur les chevaux pour remporter leurs combats. C'est ainsi que le cheval a joué un rôle prépondérant dans la résistance à l'occupation du colon par les chefs de tribus et les rois autochtones et autres chefs religieux (Lat Dior, El Hadji Omar, etc.). Par exemple, "l'Escadron de Spahis du Sénégal" a chargé un fort parti de cavaliers toucouleurs au combat de Cascas le 4 août 1843. Dès lors, les spahis sénégalais sont de tous les combats de la conquête coloniale, depuis les sables du Sénégal, de la Mauritanie, du Soudan (Mali actuel), jusqu'aux expéditions du Dahomey (Bénin). Pour poursuivre la conquête vers l'Afrique centrale, alors que le développement des opérations au Soudan nécessitait des renforts de cavalerie, un escadron de spahis soudanais fut créé en 1891. Cet escadron de spahis soudanais prend le nom de 2^e escadron de spahis sénégalais en 1902.

Au bout d'un certain nombre d'années, un abandon progressif de l'utilisation du cheval dans les armées a commencé à se dessiner. L'arme cavalière ne rend plus que de modestes services et elle ne livre plus aucun combat important. L'usure rapide des fers par des étapes avoisinant parfois 100 km handicape les chevaux. Par ailleurs, non dessellés pendant plusieurs jours, il est impossible aux animaux de récupérer. De plus, la rapidité avec laquelle les animaux sont devenus indisponibles et la nécessité de surveiller les dos ont remis progressivement en question leur utilisation au sein des armées. De même au niveau de leur utilisation comme support logistique, l'évolution de l'automobile et des transports favorisèrent leur disparition au sein de l'armée (Epanya Wonje, 2009).

2. Rôle socio-économique de la traction animale

Avec l'introduction au Sénégal vers les années 1955 des voitures hippomobiles par les colons français, une autre forme d'utilisation du cheval s'est développée. La traction hippomobile ainsi que le cheval de trait agricole continuent de jouer un rôle fondamental dans les relations et les échanges en milieu urbain et rural notamment par la commercialisation des produits agricoles, l'approvisionnement en intrants et produits de consommation et le transport des personnes (Ly *et al.*, 1998). Malgré la présence de l'automobile dans les villes, le cheval contribue à l'urbanisation surtout pour le transport des matériaux de construction et de l'eau dans les chantiers souvent inaccessibles aux véhicules à moteur. Le cheval intervient dans le transport des personnes, des marchandises et dans le transport des ordures ménagères (Faye, 1988).

Le développement de l'utilisation des charrettes équines comme moyen intermédiaire de transport est lié au faible coût de l'énergie équine comparée aux coûts de l'utilisation des véhicules à moteur. Dans la plupart des villes et villages, les calèches et charrettes constituent le moyen de transport le plus utilisé par les populations pour effectuer leurs déplacements. Leurs sollicitations augmentent en période d'hivernage du fait des inondations souvent impraticables pour les voitures. Ces véhicules à traction animale représentent une source de revenu importante et un moyen de lutte contre la pauvreté. Par exemple, une charrette équine fait en moyenne un chiffre d'affaire journalier de 10 € soit 6555 FCFA. Par le recouvrement des taxes, les collectivités locales obtiennent ainsi des revenus supplémentaires dus à l'utilisation du cheval comme moyen de transport (Ly, 2003).

En milieu rural, les charrettes équines assurent le transport des personnes vers les marchés hebdomadaires ; parfois elles assurent les évacuations sanitaires vers les centres de santé (Ndao, 2009).

3. Les métiers liés au cheval

En milieu rural, le cheval sert non seulement dans le transport des biens et des personnes mais également dans les travaux champêtres tandis qu'en milieu urbain, il est souvent utilisé pour la traction hippomobile, les courses et l'équitation de loisir. La filière équine revêt ainsi un intérêt socio-économique certain par le développement progressif des métiers qu'elle engendre. On peut citer entre autres : le palefrenier, le maréchal ferrant, le sellier, le cocher ; l'éleveur de cheval de course, de selle et de trait ; l'instructeur, le gestionnaire de manège, l'aide-moniteur, le *lad jockey*, le jockey, l'entraîneur de chevaux, le vétérinaire, l'aide-vétérinaire, les marchands et négociants de chevaux, l'inséminateur dans les haras, le

technicien de reproduction, l'éta lonnier, le commissaire aux courses et le premier garçon d'écurie, le photographe, le journaliste de la presse écrite, etc. (Akpo, 2004).

4. Hippophagie et utilisation thérapeutique du cheval

La viande, le lait et de nombreux produits d'origine équine entrent dans la composition des médicaments utilisés en médecine ou en alimentation humaine et vétérinaire. Le cas de sérums antitétanique et antirabique produits sur les équidés et d'hormones extraites de l'urine de jument gestante l'illustrent parfaitement.

La viande de cheval, de couleur rouge vif, est appréciée dans certains pays occidentaux mais elle est très peu consommée au Sénégal. Cette aversion pourrait résulter de la familiarité de l'homme avec cet animal, des habitudes alimentaires et des tabous religieux. Les chevaux abattus sont utilisés pour l'alimentation des carnivores domestiques ou sauvages des parcs nationaux.

D. Dominantes pathologiques chez les chevaux

Les pathologies fréquemment rencontrées chez les chevaux en Afrique sont la lymphangite épizootique (Fall, 1988), les coliques (Drendel, 2009), la gourme (Mbengue *et al.*, 2011), la trypanosomose équine (Ahmadou Alkai ssou, 2009). A côté de ces maladies, nous citerons deux arboviroses que sont la peste équine et la fièvre West Nile.

La peste équine sévit de façon endémique et constitue une contrainte majeure à l'essor de l'élevage des chevaux et, partant, au développement agricole, au transport et aux sports équestres. La peste équine est une maladie virale à transmission vectorielle affectant les équidés et engendrant des taux de mortalité très élevés (Wombou Toukam, 2008). La fièvre West Nile encore appelée fièvre du Nil Occidental, est une arbovirose transmissible à l'homme considérée jusqu'au début des années 1990 comme une zoonose mineure.

Chapitre 2 : La fièvre West Nile dans le monde

A. Répartition spatio-temporelle de la maladie

1. Distribution de la West Nile dans le monde

La fièvre West Nile (WNF) est une arbovirose (anthropozoonose) due à un virus appartenant au genre *Flavivirus* dont fait partie le virus de la fièvre jaune. Elle a été découverte en Ouganda en 1937 dans une province qui porte le même nom (Smithburn *et al.*, 1940).

Des épidémies de la fièvre West Nile ont été décrites en Israël entre 1950 et 1957 puis entre 1998 et 2000 (Bernkopf *et al.*, 1953, Bin *et al.*, 2001 ; Hindiyeh *et al.*, 2001), en Egypte en 1956 (Taylor *et al.*, 1956 ; Schmidt et El Mansoury, 1963), en France en 1962 (Joubert *et al.*, 1970), en Afrique du Sud en 1974, au Maroc en 1996 (Abdelhaq, 1996), en République Tchèque en 1997 (Hubalek *et al.*, 1999), en Roumanie en 1996 et 1997 (Savage *et al.*, 1999, Tsai *et al.*, 1998), en Italie en 1998 (Cantile *et al.*, 2000), en France en 2000 puis 2003 (Murgue *et al.*, 2002a). En 1999, des cas d'encéphalites virales suivis de décès ont été rapportés à New York (Lanciotti *et al.*, 1999). Ces cas, accompagnés d'encéphalites équine et de la mort de centaines d'oiseaux sauvages ont permis l'isolement du virus West Nile aux Etats-Unis à partir d'oiseaux et d'arthropodes vecteurs. Cette souche américaine du virus était sur le plan phylogénique très proche de la souche isolée en Israël en 1998 ; ce qui laisse supposer une introduction du virus à partir de ce pays. Le virus a ensuite très rapidement diffusé à l'intérieur des Etats-Unis et a provoqué en 2002 la mort de près de 23 000 oiseaux, 10 000 méningo-encéphalites équine dont 3000 mortelles et près de 3000 formes neuroinvasives humaines dont 284 mortelles (CDC, 2004b). L'impact sanitaire de la maladie va ainsi augmenter l'intérêt scientifique pour ce virus jusqu'alors négligé. Ce virus va ensuite gagner le Canada entre 2002 et 2007 (Zeller et Schuffenecker, 2004 ; Del Giudice *et al.*, 2004 ; Corrigan *et al.*, 2006 ; Weese *et al.*, 2003) ; ensuite il sera rapporté chez des oiseaux et des chevaux d'Amérique centrale et latine notamment dans les îles Caraïbes (Komar and Clark, 2006), en Argentine (Morales *et al.*, 2006 ; Adrián Diaz *et al.*, 2008) , au Mexique (Elizondo-Quiroga *et al.*, 2005), en Colombie (Mattar *et al.*, 2005), au Guatemala (Morales-Betoulle *et al.*, 2006) et au Venezuela (Bosch *et al.*, 2007). Il existe tout de même des pays où la circulation du virus West Nile n'a pas été mise en évidence ces dernières années ; c'est le cas de l'Allemagne où une étude a été réalisée entre 2005 et 2009 et portant sur 2700 oiseaux migrateurs comme résidents, appartenant à 72 espèces (Seidowski *et al.*, 2010). Une autre étude réalisée entre 2007 et 2008, dans ce même pays mais portant cette fois-ci sur 11 073

moustiques femelles adultes appartenant à 13 espèces, a confirmé que le virus de la West Nile n'y avait pas encore été introduit (Timmermann et Becker, 2010).

2. Circulation du virus au Sénégal

La Fièvre West Nile est jusqu'à ce jour une maladie très peu connue au Sénégal. Le virus de la West Nile a été pourtant isolé chez les moustiques du genre *Aedes* et *Culex* dans la vallée du fleuve Sénégal et dans le Ferlo entre 1988 et 1995 (Traore-Lamizana *et al.*, 1994). Pas moins de 83 souches du virus ont été isolées au Sénégal chez 12 espèces d'arthropodes. Une étude sérologique chez les humains a aussi montré que l'infection était endémique dans cette région (Murgue *et al.*, 2002a). Lors du foyer de la fièvre de la Vallée du Rift de 1998-1999 dans le sud de la Mauritanie et le nord du Sénégal, 30 souches du virus West Nile (WN) ont été isolées chez *Mansonia uniformis* (Diallo *et al.*, 2005). Cette étude a révélé une circulation du virus WN entre octobre et novembre.

Les travaux réalisés dans le Ferlo en 2003-2004 par Fall (2005) au niveau des mares temporaires de Ngao et Kangalédji sur l'homme, le mouton, la chèvre, le cheval, le poulet et le chien, ont montré que le cheval est l'hôte préférentiel des femelles d'*Aedes vexans arabiensis* avec une préférence trophique de 46,5%. Cette même étude a révélé que les repas de sang mixtes (poulet-cheval) représentaient 46,7% chez les femelles nullipares d'*Aedes vexans arabiensis*. Les repas homme-poulet-cheval-chèvre ne constituaient que 3,3%.

Une enquête sérologique réalisée chez les humains dans le centre-nord du Sénégal en 1989 (Murgue *et al.*, 2002a) a révélé que 45 % des enfants, 80 % des jeunes et 98 % des adultes avaient été infectés par le passé par le virus West Nile.

Durant la saison pluvieuse de 2003, une étude sérologique de Chevalier (2006) a porté sur 120 chevaux à Barkédji (Ferlo) en vue de détecter les anticorps neutralisants anti-West Nile par la technique de la séroneutralisation mais aussi les immunoglobulines M (IgM) par la méthode ELISA. La séroneutralisation a révélé une prévalence de 78,3 % tandis que trois chevaux (19,2 %) ont présenté des IgM. Un autre suivi sérologique a été réalisé dans la même localité au cours de la même période sur six cohortes de poulets sentinelles (Chevalier *et al.*, 2008). Cette étude a révélé un taux d'incidence de 1 % entre juillet et septembre et de 12 % entre octobre et novembre avec un pic de transmission entre septembre et octobre.

Une autre étude a été effectuée à Dakar en 2003 par Cabre *et al.* (2006) qui portait sur un effectif de 25 chevaux dont 23 ont présenté des IgG soit une prévalence de 92 %.

Chevalier (2007) a proposé plusieurs hypothèses sur l'épidémiologie de la West Nile à Barkédji dans le Ferlo. L'introduction du virus pourrait être liée à une recolonisation du

milieu par les *Culex* à partir de la vallée du fleuve Sénégal au début de l'hivernage ou alors, le virus pourrait être transporté par les oiseaux qui quittent la vallée du fleuve Sénégal pour le Ferlo en saison humide. Le maintien du virus serait probablement lié à sa conservation dans les œufs d'*Aedes vexans* durant la saison sèche. En effet, la population des *Aedes* augmente en début d'hivernage alors que celle des *Culex* croît à la fin de cette saison dans cette localité (Mondet *et al.*, 2005). La prévalence de l'infection est élevée en juillet chez les chevaux. Ces mêmes animaux se sont révélés être les hôtes préférentiels d'*Aedes vexans* (Chevalier *et al.*, 2006 ; Fall, 2005). Cela conforte l'hypothèse qui considère *Aedes vexans* comme l'espèce qui est à l'origine de la conservation et de la remise en circulation du virus de la West Nile en début d'hivernage.

Une étude a été réalisée par Chevalier *et al.* (2009) entre septembre et octobre 2003 dans le Delta du fleuve Sénégal au niveau du parc national ornithologique du Djoudj (PNOD) et à Barkédji, dans le Ferlo. Les résultats montrent que parmi les 422 oiseaux, 252 ont été capturés au PNOD et 170 à Barkédji. Ces oiseaux appartenaient à 16 familles et à 49 espèces. 80 % des individus capturés au Djoudj étaient des migrateurs alors que 89 % de ceux étudiés à Barkédji appartenaient à des espèces résidentes. La prévalence globale observée pour la WN était de 5,5 %. Ces anticorps anti-West Nile sont détectés sur 23 oiseaux appartenant à sept familles et à 13 espèces dont cinq étaient migratrices. La prévalence attendue variait de 1 à 39 % chez les espèces résidentes et de 1 à 7 % pour les espèces migratrices. En 2005, une étude sérologique regroupant 367 chevaux a été réalisée dans le Delta du fleuve Sénégal. La prévalence globale observée était de 85 % (Chevalier *et al.*, 2010). Elle concernait 5 zones écologiquement différentes que sont la ville de St-Louis avec 80 chevaux prélevés et un taux de prévalence de 74 %, le PNOD avec un échantillon de 79 chevaux et une prévalence de 82 %, Ross-Béthio avec 68 chevaux et une séroprévalence de 86 %, Richard-Toll avec 79 chevaux et une prévalence de 92 % et le Lac de Guiers avec 61 chevaux dont 95 % de positifs.

L'ensemble de ces travaux montre que la West Nile est endémique dans le Delta du fleuve Sénégal avec une pression d'infection importante mais aucun cas clinique n'a été diagnostiqué ni confirmé à ce jour aussi bien chez l'homme que chez le cheval.

B. Le virus de la West Nile

Il s'agit d'un virus enveloppé à ARN monobrin du genre *Flavivirus* de la famille des *Flaviviridae*. Il appartient au complexe antigénique du virus de l'encéphalite japonaise. Il est donc très proche des virus de l'encéphalite de Murray, de l'encéphalite de St-Louis, des virus Usutu, Kokobera et autrefois Koutango considéré aujourd'hui comme une lignée du virus

West Nile (Hubalek *et al.*, 1999) ainsi que celui de la fièvre jaune et de la dengue (Platonov, 2001). L'analyse phylogénétique des différentes souches du virus West Nile à travers le monde a démontré l'existence de huit lignées différentes (Koné *et al.*, 2003 ; Bakonyi *et al.*, 2006). Les virus de la lignée I ont une distribution mondiale. Ils sont présents de l'Ouest au centre-est de l'Afrique, en Europe de l'Est, en Asie, en Australie (virus Kunjin) et en Amérique du Nord (Campbell *et al.*, 2002). Les virus de la lignée I sont subdivisés en neuf sous-types : 1, 2a, 2b, 2c, 3, 4, 5, Kunv et India. Les virus des sous-types 1, 2a et 2b ont respectivement 78 %, 72 % et 96 % de parenté génétique entre eux (Briese *et al.*, 2002). La souche du virus WN responsable de l'épizootie de 2000 en France appartient à la lignée I et était étroitement lié aux virus isolés chez les chevaux lors des épizooties de West Nile au Maroc en 1996 et en Italie 1998. Elle est également étroitement liée à la souche isolée chez les moustiques en 1993 au Sénégal, au Kenya en 1998 et en Roumanie en 1996. Elle se distingue du groupe comprenant les souches isolées à New York en 1999, en Israël en 1998 (Murgue *et al.*, 2001a). En effet, les souches du virus West Nile isolées au Sénégal en 1979 et 1993 appartiennent à la lignée I alors que celle isolée en 1990 appartient à la lignée II. A l'heure actuelle, quatre lignées du virus WN ont été isolées au Sénégal (I, II, ancien Koutango VIII). Les virus de la lignée II semblent s'être maintenus dans des foyers enzootiques en Afrique et aucun de ses représentants n'avait encore été associé à des cas d'encéphalite chez l'humain (McLean *et al.*, 2002). Venter et Swanepoel (2010) ont décrit l'existence d'un virus West Nile hautement pathogène appartenant à la lignée II, réputée jusque là faiblement pathogène, dans une région d'Afrique du Sud où le virus était supposé avoir une faible virulence. Cette lignée a été à l'origine de mortalités chez les oiseaux en Hongrie (Erdelyi *et al.*, 2007).

C. Epidémiologie de la West Nile

1. Vecteurs

Les moustiques impliqués dans la transmission du virus West Nile, se distinguent en espèces à préférence trophique marquée (oiseaux, mammifères ou batraciens/reptiles) et en espèces opportunistes. Le choix de l'hôte est important dans la transmission vectorielle. Cela nécessite qu'un vecteur s'infecte sur un vertébré en phase de virémie et repique lors d'un repas ultérieur un autre vertébré naïf. Dans le cas de la West Nile, le caractère ornithophile des moustiques transmettant le virus dans les populations d'oiseaux est communément admis. Le virus West Nile est transmis à l'homme ou au cheval par des moustiques piquant à la fois les oiseaux et

les mammifères. Ce rôle est parfois attribué à des espèces opportunistes ou mammophiles qui jouent le rôle de vecteur "pont" ou *bridge vector* en anglais (Turell *et al.*, 2005). D'après Balenghien *et al.*, (2006), les moustiques du genre *Culex* sont les principaux vecteurs du virus de la West Nile. *Culex univittatus* possède les caractéristiques d'un excellent vecteur du virus West Nile avec un faible seuil d'infectiosité et un taux de transmission pouvant atteindre 100 % (Balenghien, 2006). D'autres espèces de *Culex* semblent très compétentes, mais les données disponibles sont moins nombreuses, il s'agit de *Cx. tritaeniorhynchus*, *Cx. antennatus*, *Cx. theileri* et *Cx. neavei*. La plupart des autres *Culex* présentent une compétence vectorielle moyenne, équivalente à celle de *Cx. pipiens* ou de *Cx. quinquefasciatus*. La quasi-totalité des *Aedes* ont une compétence vectorielle faible à très faible, sauf *Ae. albopictus* et *Ae. trivittatus* qui présentent une compétence vectorielle quasiment équivalente à *Cx. pipiens*. Seuls *Ae. atropalpus* et *Ae. japonicus* semblent pouvoir être considérés comme de meilleurs vecteurs expérimentaux que *Cx. pipiens* mais leurs seuils d'infectiosité n'ont pas été déterminés. *Culex neavei* et *Culex tritaeniorhynchus* sont les potentiels vecteurs de la transmission du virus West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal (Fall *et al.*, 2011a).

Le virus WN a été détecté chez des Cératopogonidés (Sabio *et al.*, 2006) et chez divers ectoparasites des oiseaux notamment les tiques considérées comme des vecteurs potentiels. La transmission expérimentale du virus West Nile par les tiques a été également démontrée par plusieurs auteurs (Anderson *et al.*, 2003, Reisen *et al.*, 2007). Cependant, la présence du virus chez ces ectoparasites hématophages ne permet pas de conclure qu'ils sont des vecteurs naturels de l'infection.

2. Espèces réceptrices non sensibles

La plupart des mammifères peuvent héberger le virus de la West Nile. Ce virus a été mis en évidence chez les primates (Ratterree *et al.*, 2003), le chien (Komar *et al.*, 2001), le sanglier (Gibbs *et al.*, 2006). On le retrouve également chez les reptiles tels que les alligators aux Etats-Unis (Jacobson *et al.*, 2005), les oiseaux domestiques comme sauvages (Nemeth *et al.*, 2006) et même les cétacés.

3. Espèces sensibles

3.1. Les oiseaux

Les oiseaux, parfois qualifiés de réservoirs, sont des hôtes amplificateurs du cycle viral (Jourdain *et al.*, 2007b ; Hamer *et al.*, 2008). Ils développent une virémie assez élevée et assez longue pour permettre aux moustiques de s'infester. Ils seraient en général "porteurs

asymptomatiques” et considérés comme des réservoirs. Cependant certains oiseaux sont réceptifs et sensibles. Des manifestations nerveuses avec une forte mortalité ont été observées en Egypte chez les moineaux et les corvidés, en Israël chez les cigognes et les oies (Swayne *et al.*, 2001), aux Etats-Unis chez de nombreuses espèces sauvages sédentaires ou migratrices de la famille des Anatidés, des Charadriidés, des Corvidés, des Passéridés, etc. (Dawson *et al.*, 2007). En Europe, l'infection a été détectée chez au moins 21 espèces d'oiseaux sauvages aquatiques comme terrestres (Hubalek, 2000) dont dix d'entre elles étaient capables de produire l'infection expérimentale chez les moustiques européens (Hubalek et Halouzka, 1999). En Afrique du Sud, 30 espèces aviaires ont été identifiées comme hôtes du virus de la West Nile (Jupp, 2001), pendant qu'aux Etats-Unis, l'infection a été documentée chez 138 espèces différentes d'oiseaux (CDC, 2003). La grande diversité d'hôtes potentiels et de vecteurs peut expliquer la distribution de la maladie et sa capacité de se maintenir dans plusieurs types d'écosystèmes. Une forte association positive statistiquement significative a été réalisée entre la mortalité d'oiseaux positifs au virus West Nile et le risque d'infection des chevaux par ce virus. La sensibilité de la surveillance des mortalités d'oiseaux comme précurseur de l'infection chez les chevaux est de loin supérieure à celle de la surveillance des moustiques (95 % contre 9,5 %) aux Etats-Unis. La surveillance de la mortalité des oiseaux constitue dans certaines zones et en fonction de l'espèce, un véritable outil de surveillance pour la circulation du virus West Nile (Roberts et Foppa, 2006).

3.2. Le cheval

Les chevaux constituent avec l'homme les “révélateurs épidémiologiques” de la circulation du virus. L'infection chez les chevaux est souvent inapparente dans 70 % des cas ou encore caractérisée par des symptômes modérés (20 %) tels qu'un syndrome grippal, une fièvre, de l'ataxie, la faiblesse des membres, une myalgie. Toutefois de sévères manifestations cliniques sont observées dans 1 à 10 % des cas, ainsi que de lourdes pertes enregistrées dans les formes neuro-invasives (Castillo-Olivares et Wood, 2004). Les symptômes généralement observés sont marqués par une méningite, de l'encéphalite, les lèvres pendantes ou paralysées, une contraction de la face ou du museau, un grincement des dents, une hyperesthésie, la cécité et une paralysie flasque (Ostlund *et al.*, 2001).

3.3. L'homme

L'homme et le cheval sont appelés des “culs-de-sac épidémiologiques” parce qu'ils ne développent pas une virémie suffisante pour infecter les moustiques.

Suspectée d'être à l'origine de la mort d'Alexandre Le Grand en 323 avant Jésus-Christ (Marr et Calisher, 2003), la fièvre West Nile présente des formes variées. Les symptômes décrits

chez l'homme sont des troubles neurologiques épileptiformes caractérisés par de la méningite, de la méningoencéphalite, une forte fièvre avec de vives céphalées, une myalgie, une arthralgie, une faiblesse musculaire (Weiss *et al.*, 2001). Quelquefois de l'écoulement nasal, du vomissement, de la conjonctivite, une lymphadénopathie et d'autres complications sont également observées (Tsai *et al.*, 1998 ; Platonov, 2001 ; Rossini *et al.*, 2008). Le ratio mortalité/cas et l'incidence de la maladie augmentent avec l'âge.

4. Importance sanitaire et économique de la fièvre West Nile

La fièvre West Nile est une zoonose, considérée jusqu'au début des années 1990 comme zoonose mineure. Dans les années 1962-1965, 500 cas cliniques équins et 13 cas humains avaient été répertoriés en Camargue (Hannoun *et al.*, 1964 ; Joubert *et al.*, 1970). L'épizootie de 1996 au Maroc qui a affecté 94 chevaux dont 42 sont morts (Abdelhaq, 1996) et celle de 2003 a enregistré neuf cas humains (Schuffenecker *et al.*, 2005). Toujours entre juillet et octobre 1996, 352 cas humains confirmés ont été enregistrés en Roumanie avec 17 décès tous âgés de plus de 50 ans (Tsai *et al.*, 1998). En 1999, 826 cas humains dont 40 décès ont été enregistrés en Russie (Platonov *et al.*, 2001). Trois années après la première apparition du virus aux Etats-Unis, le bilan était de 25 000 oiseaux morts, 10 000 cas cliniques chez les chevaux dont 3000 morts, près de 3000 formes neuroinvasives chez l'homme dont 284 mortelles (CDC, 2004a). Une diffusion particulièrement large et rapide de la maladie a été observée en 2002 avec 9144 cas rapportés chez les équidés dans 38 Etats. Parmi ces cas, on signale : 1116 chevaux en Illinois, 1050 chevaux au Texas, 945 chevaux au Minnesota, 704 chevaux en Indiana, 675 chevaux au Kansas et 653 chevaux au Sud Dakota (CDC, 2002 ; Ward, 2005).

Entre juillet et septembre 2003, 133 chevaux et 947 humains ont été déclarés infectés par le virus de la West Nile au Saskatchewan au Canada (Corrigan *et al.*, 2006). En 2000 en France, 76 cas ont été rapportés chez les chevaux parmi lesquels 21 sont morts (Murgue *et al.*, 2001b), alors qu'en 2003, sept cas humains, trois cas équins ont été rapportés sans qu'un décès ne soit enregistré. En 2004 et 2006, d'autres foyers se sont déclarés en Camargue avec 37 cas équins parmi lesquels huit sont morts (Lecollinet *et al.*, 2008). L'épidémie de méningo-encéphalite humaine due au virus West Nile en Tunisie en 2003 avait révélé 11 cas de méningite, sept cas de méningo-encéphalite et trois cas d'encéphalite (Hachfi *et al.*, 2010). L'ampleur des pertes occasionnées sur le plan économique par la fièvre West Nile mérite d'être intégrée dans la stratégie de surveillance et de lutte contre cette affection (Barber *et al.*, 2010).

5. Transmission

5.1. Mode de transmission

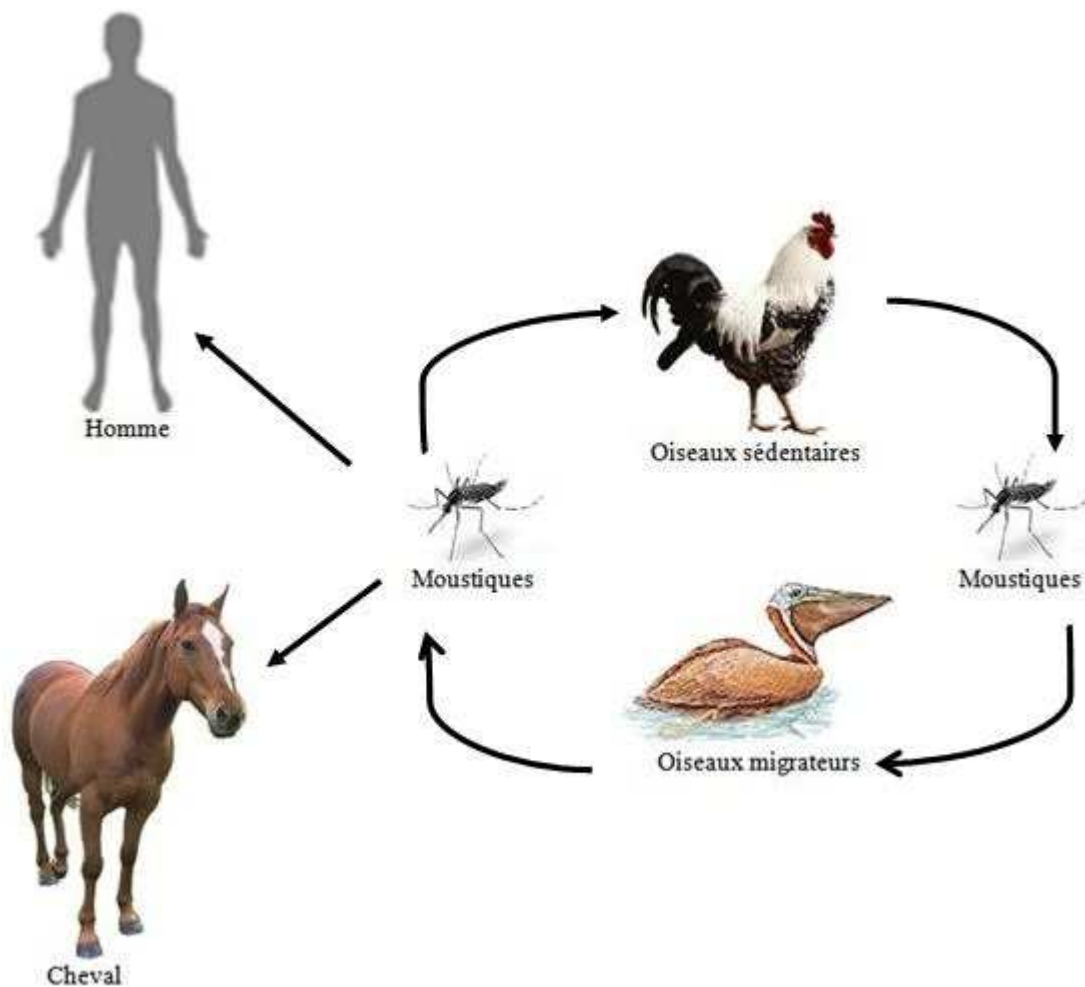


Fig. 1 : Cycle épidémiologique du virus de la West Nile

En 2004, à Séville dans le sud de l'Espagne, une étude a été réalisée au printemps, période coïncidant avec le retour des oiseaux migrateurs, sur une population de 574 oiseaux appartenant à 25 espèces. Elle a montré 18 positifs sur 240 individus chez les espèces migratrices et quatre positifs sur 271 chez les sédentaires (Lopez *et al.*, 2008). Les oiseaux migrateurs sont considérés comme des espèces jouant un grand rôle dans la transmission du virus de la fièvre West Nile (Rappole *et al.*, 2000 ; Jourdain *et al.*, 2007a). La transmission du virus de la West Nile conventionnellement considérée comme vectorielle peut également emprunter d'autres voies. En effet, une transmission directe par contact entre oiseaux sains et porteurs serait possible (Hartemink *et al.*, 2007). La mortalité des corvidés causée par le virus West Nile aux Etats-Unis pendant l'hiver, période pendant laquelle les moustiques ne sont pas actifs, confirme la transmission horizontale via les fèces (Dawson *et al.*, 2007). Une

transmission verticale du virus est également observée chez les moustiques (Turell *et al.*, 2001 ; Miller *et al.*, 2000). Le virus West Nile peut être aussi transmis par des espèces d'oiseaux résidentes après être infecté par des espèces migratrices (Buckley *et al.*, 2003). La dynamique des vecteurs, la compétence vectorielle et les préférences trophiques sont des facteurs importants pour la transmission du virus WN (Fall, 2005 ; Balenghien, 2006). L'homme pourrait se contaminer lors d'une autopsie d'un animal mort de fièvre West Nile (Venter *et al.*, 2010) ou encore lors d'une transfusion sanguine, car des anticorps anti-West Nile ont été retrouvés dans le sang de donneurs au sud de la France (Charrel *et al.*, 2001).

5.2. Conditions écologiques

La sécheresse relative à une baisse de la pluviométrie (Shaman *et al.*, 2005), la température (Ward, 2005 ; Dohm *et al.*, 2002), l'hydrographie et les surfaces irriguées (Ward *et al.*, 2009), la dynamique de la population aviaire (Ward *et al.*, 2006a) et le vent seraient des facteurs favorisant à l'origine de la diffusion du virus de l'encéphalo-myélite équine de l'Est (EEEV) au Québec en 1972 par le transport de moustiques infectés sur une distance de 400 km en 14-16 heures, à une vitesse de 25-30 km/h (Sellers, 1989).

Les facteurs connus qui influencent le choix d'un hôte par le moustique sont : une préférence trophique innée pour certains hôtes, la distribution spatiale des femelles en recherche d'hôte et leur cycle nycthéral, la disponibilité des hôtes qui correspondent à la partie liée à l'attraction du moustique et les réactions de défense de l'hôte qui correspondent à la partie liée au succès du repas sanguin (Clements, 1999 ; Balenghien, 2006). La taille de l'hôte est corrélée positivement au nombre de moustiques attirés. Le succès du repas sanguin est essentiellement lié aux réactions de défense de l'hôte qui dépendent de l'espèce hôte mais également de la densité des vecteurs.

Deux notions sont importantes dans la transmission du virus West Nile : il s'agit de la compétence vectorielle et par analogie, la notion de compétence d'hôte a été suggérée.

- La compétence vectorielle est l'aptitude d'un arthropode à être infecté par un pathogène, à assurer son développement et à le transmettre efficacement à un nouvel hôte sensible ;
- La compétence d'hôte correspond à la capacité d'une espèce hôte à être infectée et à présenter l'agent infectieux à des vecteurs. Tout comme la compétence vectorielle, la compétence d'hôte est évaluée au laboratoire.

Ces deux compétences varient en fonction de divers facteurs intrinsèques et extrinsèques, notamment la température (Ward, 2005). Quelle que soit la virémie, il existe une probabilité pour que le vecteur s'infecte. Cette probabilité peut tendre vers zéro pour les virémies

indétectables et vers 1 pour les virémies fortes, mais la notion de seuil (virémie de 10^3 PFU/mL) n'a pas de sens (Lord *et al.*, 2006).

Pour qu'un cycle d'amplification s'installe, il est nécessaire que vecteurs et hôtes compétents se rencontrent régulièrement en conditions naturelles. La probabilité de ces contacts dépend de plusieurs facteurs tels que : les préférences écologiques ou le partage de la même niche écologique et le cycle d'activité des hôtes et des vecteurs soit diurnes soit nocturnes ; la préférence trophique des vecteurs qui peuvent être ornithophiles ou mammophiles ; le comportement de défense des hôtes avec une protection passive ou active ; la densité suffisamment grande et la diversité des vecteurs et des hôtes (Jourdain, 2006).

La transmission implique que le virus soit excrété par les individus infectés via les fèces, la salive, les sécrétions naso-pharyngées, les fluides oculaires, qu'il survive dans l'environnement et qu'il infecte un nouvel hôte par voie orale, respiratoire, muqueuse ou cutanée. La biodiversité dans l'avifaune est également un facteur influençant la transmission du virus (Ezenwa *et al.*, 2006)

D. Diagnostic

Les manifestations cliniques de la fièvre West Nile chez les chevaux peuvent prêter à confusion avec toutes les pathologies nerveuses ou présentant une fièvre chez cette espèce. Un diagnostic différentiel doit être établi avec toutes les maladies équine ayant une allure épizootique telles que la peste équine (Folorunso *et al.*, 2008), l'influenza équine (Daly *et al.*, 2008), la piroplasmose.

Le diagnostic de laboratoire est indispensable pour confirmer ou infirmer une infection à virus West Nile. Sur les chevaux vivants suspectés d'être atteints par la West Nile, le prélèvement est constitué de sang frais prélevé dans un tube avec anticoagulant. L'EDTA est préféré à l'héparine qui pourrait entraîner des modifications des résultats de la PCR. L'objectif est de rechercher du génome viral par RT-PCR (Johnson *et al.*, 2001). Le liquide céphalo-rachidien permet également d'isoler le virus. La virémie est très courte chez le cheval et est observée généralement 2 à 3 jours avant l'apparition des symptômes. Du sérum peut être également collecté pour la recherche des anticorps en utilisant des tests sérologiques de routine tels que l'ELISA de compétition pour la recherche d'IgG, marqueurs d'une infection ancienne ou l'ELISA de capture des IgM (Johnson *et al.*, 2003), témoins d'une infection récente.

La neutralisation des plages de lyse et des effets cytopathiques constitue le test sérologique de confirmation par rapport à l'ELISA et qui permet de distinguer le sérotype du virus West Nile des autres *Flavivirus* du même complexe. Si les anticorps spécifiques du virus sont présents

dans le sérum testé et à la dilution évaluée, ils pourront neutraliser les particules virales et empêcher l'apparition d'effets cytopathiques (Lvov *et al.*, 2000).

Les prélèvements effectués lors de l'autopsie sont : le cervelet et la partie cervicale de la moelle épinière. Ces organes doivent être conservés à -20°C, puis acheminés au laboratoire pour la recherche du génome viral.

E. Mesures de lutte et de prévention

Il n'existe pas de traitement spécifique pour la West Nile à l'heure actuelle. Cependant l'utilisation d'immunoglobulines par voie intraveineuse, en cours d'exploration chez l'homme, pourrait donner d'assez bons résultats (Shimoni *et al.*, 2001). Un traitement symptomatique avec l'utilisation d'anti-inflammatoires, de sédatifs, de tranquillisants associés à de la vitaminothérapie reste la seule alternative. La prévention des complications en protégeant la tête et les membres de l'animal et en le mettant dans un endroit sécurisé est également pratiquée. L'objectif dans ce cas, est de maintenir l'animal debout et de lui éviter un traumatisme. Dans le cadre de la prophylaxie médicale, plusieurs vaccins n'ont été autorisés et utilisés qu'aux USA (Seino *et al.*, 2007). Leur utilisation a été en revanche interdite en Europe jusqu'en 2009 ; date à laquelle un vaccin inactivé avait été autorisé. La prévention repose sur la sensibilisation des personnes exposées (Averett *et al.*, 2005), mais également la lutte contre les vecteurs et la suppression des gîtes larvaires (Shililu *et al.*, 2007 ; Schleier *et al.*, 2008). La pulvérisation des insecticides de la famille des pyréthrinés a considérablement réduit le nombre de cas humains de West Nile en Californie où 18 cas ont été enregistrés au niveau d'une région non traitée alors qu'aucun cas n'a été rapporté au cours de la même période dans une région traitée (Carney *et al.*, 2008). La surveillance des mortalités d'oiseaux (Eidson *et al.*, 2005 ; Stone *et al.*, 2005 ; Hars *et al.*, 2008) est généralement utilisée comme un système d'alerte précoce aux USA (Mostashari *et al.*, 2003).

Chapitre 3 : La peste équine, une contrainte pour l'élevage du cheval

A. Historique et répartition géographique du virus

1. Le virus équinestique

Le virus de la peste équine appartient au genre *Orbivirus* de la famille des *Reoviridae*. Il est non enveloppé et morphologiquement semblable aux virus de la fièvre catarrhale ovine (BTV), de la maladie épizootique hémorragique (EHDV) et de l'encéphalose équine (EEV). Ils appartiennent tous au même genre. Le virus de la peste équine mesure 70 nm de diamètre et est composé de deux capsides comprenant 32 capsomères. Le génome comprend 10 segments d'ARN double brin dont chacun code pour un polypeptide. Ce virus comprend également : deux protéines majeures que sont la VP3 et la VP7 que l'on retrouve chez tous les sérotypes et trois protéines mineures (VP1, VP4 et VP6). L'ensemble de ces protéines constitue les épitopes spécifiques de groupe. La VP7 est régulièrement utilisée pour le groupage sérologique. Les protéines VP2 et VP5 sont disposées dans la partie périphérique du virus. La VP2 est la protéine qui influe le plus sur la variabilité antigénique et est donc utilisée pour le typage du virus. Les protéines non-structurales sont au nombre de trois au moins : NS 1, 2 et 3/3a (Mellor et Hamblin, 2004).

McIntosh (1958), suite à des tests de séroneutralisation croisée, classe 84 souches de virus en établissant l'existence de sept types immunologiquement distincts. Ces études seront complétées par Howell (1962) qui découvre les sérotypes 8 et 9. Il a été également rapporté l'existence de souches neurotropes et viscérotropes (Goldsmith, 1967).

Dans le milieu extérieur, le virus de la peste équine est thermostable (Polson *et al.*, 1953) et peut être entretenu dans des cadavres, car il résiste au processus de putréfaction et à la dessiccation. Le virus de la peste équine s'inactive en milieu acide, tandis qu'il résiste à l'alcalinisation. Les pH compris entre 6 et 10 lui permettent de conserver son pouvoir infectant. Ainsi, dans l'évolution anormale de la viande caractérisée par une augmentation du pH, suivie de la putréfaction, le virus est conservé et une telle viande peut contaminer le chien.

2. Historique et répartition géographique des sérotypes de la peste équine

La toute première référence à une maladie qui ressemble à la peste équine a été décrite au Yémen en 1327 (MacLachlan et Guthrie, 2010). La peste équine a été également rapportée au XVI^{ème} siècle en Erythrée. En effet, en 1569, des explorateurs portugais décrivent, lors de leur voyage en Afrique de l'Est, une maladie dont les symptômes sont très proches de ceux de la

peste équine chez des chevaux importés d'Inde. La peste équine également appelée *Pestis equorum* ou *Perreziekte* ou *Dikkop* ou *Dunkop* ou encore *Pardeziekte* a été aussi décrite au Cap de Bonne Espérance ; elle avait causé alors la mort de près de 1700 chevaux en 1719. La maladie a été ensuite signalée dans le Tigre en 1867, lors de la campagne anglo-égyptienne contre l'empereur Théodoras. Elle a été à nouveau constatée en Erythrée en 1886 lors de la campagne d'occupation italienne (Leforban *et al.*, 1983). En 1904, une expédition française en Abyssinie rapporte avoir subi de lourdes pertes sur les chevaux et les mulets de passage dans ce pays (MacLachlan et Guthrie, 2010). La peste équine a fait son apparition pour la première fois au Cap Vert en 1918, un an après qu'elle eut été probablement introduite avec des chevaux venus du Sénégal. Depuis lors, plusieurs recrudescences de la maladie ont été rapportées (Palmeiro, 1950). Toujours en 1918, le virus a été retrouvé au Congo Belge, au Congo Français et au Tchad (Doutre et Leclercq, 1962). En 1929, une grave épidémie s'est développée une fois de plus en Erythrée avec des cas observés à Asmara à 2400 mètres d'altitude (Leforban *et al.*, 1983). La peste équine qui sévissait jusque là en Afrique subsaharienne à l'état enzootique et en Egypte de façon sporadique en 1928, 1943, 1953, 1958 et 1971 (MacLachlan et Guthrie, 2010), a gagné pour la première fois le Proche et le Moyen-Orient en l'occurrence le Yémen en 1930 puis la Palestine, la Syrie, le Liban, la Jordanie en 1944. Lors d'une seconde incursion entre 1959-1961, le sérotype 9 du virus a été rapporté en Iran, en Syrie, au Liban, en Jordanie, en Palestine, en Turquie, à Chypre, en Afghanistan, au Pakistan, en Inde et a causé la mort de près de 300 000 équidés (Howell, 1960 ; Maurer et Cully, 1963 ; Parker, 1974). En 1961, deux souches du virus sérologiquement identiques à la souche responsable de la flambée épizootique du Proche-Orient ont été découvertes au Tchad (Maurice et Provost, 1967). Le virus a ensuite fait son apparition en Algérie en 1965 puis s'est étendu en Lybie, en Tunisie et au Maroc où 14 souches de virus appartenant au type 9 ont été isolées (Pilo-Moron *et al.*, 1967). Entre 1962 et 1968, 46 foyers ont été enregistrés à Asmara en Ethiopie et déclarés à l'OIE dont 27 pour la seule année 1967. Ces foyers ont pour la plupart été enregistrés entre les mois de juin et de septembre. Entre 1977 et 1978, le type 9 a été isolé dans 11 foyers en Ethiopie alors que le type 7 n'a été retrouvé que dans un seul foyer en 1981 (Leforban *et al.*, 1983).

Plusieurs années après l'introduction du sérotype 9 du virus de la peste équine en Espagne en 1966 à partir du Maroc (Hazrati, 1967), d'autres foyers de ce même virus y ont été à nouveau rapportés entre 1987 et 1990 mais ces nouveaux foyers ont été causés par le sérotype 4 suite à l'importation de zèbres (*Equus burchelli*) venant de la Namibie (Rodriguez *et al.*, 1992). Ce même sérotype a été confirmé au Portugal en 1989 puis au Maroc entre 1989 et 1991 suite à

l'expansion du foyer espagnol (Portas *et al.*, 1999). En 1989, le sérotype 9 a été rapporté en Arabie Saoudite (Anderson *et al.*, 1989). Une autre épizootie de peste équine a été décrite dans ce même pays et au Yémen en 1997 puis aux îles du Cap Vert en 1999 (MacLachlan et Guthrie, 2010). Les sérotypes 6 et 9 ont été isolés en Ethiopie en 2003 (Zelege *et al.*, 2005) et le sérotype 2 a causé près de 2000 mortalités de chevaux en Ethiopie en 2008. Le sérotype 2 a été respectivement isolé entre 2006 et 2007 en Afrique du Sud, au Botswana, au Nigéria, au Sénégal et en Gambie (Anon, 2010 ; Folorunso *et al.*, 2008). Le sérotype 7 a également été rapporté au Sénégal en 2007 (MacLachlan et Guthrie, 2010). En 2010, le sérotype 2 a été découvert au Ghana.

Neuf sérotypes antigéniquement distincts ont été décrits (McIntosh, 1958 ; Howell, 1962). Il s'agit des sérotypes de 1 à 9. Il existe quelques réactions croisées entre les types 1 et 2, 3 et 7, 5 et 8, 6 et 9 (Anon, 2010). Tous les sérotypes ont été documentés en Afrique de l'Est (Davies *et al.*, 1993) et du Sud (Blackburn et Swanepoel, 1988 ; McIntosh, 1958 ; Howell, 1962). En revanche, le sérotype 9 est le plus largement répandu en Afrique sub-saharienne (Adeyefa et Hamblin, 1995 ; Sailleau *et al.*, 2000) et constituait le seul sérotype rapporté en Afrique de l'Ouest jusqu'en 2006.

3. La maladie au Sénégal

En 1924, le virus rapporté de St-Louis a été inoculé à deux chevaux à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Ces chevaux ont présenté les symptômes de la peste équine (Doutre et Leclercq, 1962). Mornet (1949) décrit une évolution atypique de la peste équine survenue à Dakar sur des animaux appartenant à deux cercles hippiques. Il signale que l'affection sévit dans cette ville presque chaque année avec une plus ou moins grande intensité suivant que les chevaux sont importés très sensibles ou des animaux indigènes plus résistants. Des épizooties dues au type 9 ont été rapportées en 1959, 1960, 1965 et 1966 (Ndiaye, 1978). De nombreux foyers ont été enregistrés au mois de juillet des années 1981, 1982 et 1983, en décembre 1983 et en septembre 1984 et 1985. Les mortalités survenues lors de ces foyers ont été attribuées au type 9 et s'élèvent à 115 chevaux (Sarr *et al.*, 1988). Entre 2004 et 2006, quinze foyers de peste équine due au sérotype 9 ont été rapportés dans le cadre du système national de surveillance épidémiologique avec un total de 23 mortalités.

B. Epidémiologie de la peste équine

1. Espèces réceptives non sensibles

Le furet (*Mustela putorius furo*) est réceptif au virus après inoculation par voie intracardiaque.

Le chat, le porc, le lapin, les oiseaux, le singe et l'homme sont réfractaires.

Le zèbre (*Equus burchelli*) en Afrique du Sud et l'âne (*Equus asinus*) en Afrique de l'Ouest sont généralement considérés comme les hôtes naturels ou les réservoirs de la peste équine.

Ces espèces présentent rarement les signes cliniques de l'infection. Les mulets sont moins sensibles que les chevaux tandis que les ânes d'Afrique et les zèbres font rarement la maladie.

2. Espèces sensibles

2.1. Le cheval

La période d'incubation est en moyenne de 7 à 14 jours. La maladie peut provoquer la mort de plus de 90 % des chevaux atteints en zone précédemment indemne. Les chevaux de races exotiques présentent une plus grande sensibilité que ceux de races locales (Mornet, 1949). On distingue généralement trois formes cliniques.

La forme pulmonaire ou forme centrale se manifeste par une fièvre intense (41 - 42°C) accompagnée d'une dyspnée et d'un jetage spumeux ou mousseux. Elle mène dans la plupart des cas à une mort par asphyxie dans les 24 à 48 heures ;

La forme œdémateuse ou cardiovasculaire ou encore périphérique débute par une fièvre d'évolution progressive (39 - 40° C) en 10 à 12 jours, suivie d'œdèmes sous-cutanés notamment au niveau de la face qui restent assez caractéristiques dans l'établissement du diagnostic de terrain. Par la suite, apparaissent des signes cardiaques avec une évolution mortelle en 3 à 10 jours après développement des œdèmes.

A côté de ces formes cliniques, existent des formes mixtes pulmonaires et cardiaques décelables à l'autopsie et des formes atypiques nerveuses ou strictement fébriles.

2.2. Le chien

La peste équine affecte occasionnellement cette espèce suite à l'ingestion de viande de chevaux morts de la maladie. Le chien est la seule espèce en dehors des équidés qui présente une forme très meurtrière de peste équine (MacLachlan et Guthrie, 2010). En effet, une épizootie a été rapportée à Johannesburg en 1955 sur une meute de chiens nourris avec de la viande de cheval (Haig *et al.*, 1956). En 1981, le sérotype 6 a été isolé sur 13 chiens morts après avoir présenté des symptômes dominés par une gêne respiratoire (Van Rensburg *et al.*, 1981). Le sérotype 9 a été isolé chez des chiens de la rue en Egypte vivant généralement aux

alentours des abattoirs (Salama *et al.*, 1981). Cependant, leur rôle épidémiologique dans la transmission de la peste équine n'a pas été mis en évidence.

3. Vecteurs

Les culicoïdes sont les vecteurs quasi-exclusifs du virus de la peste équine. Ce sont des diptères de petite taille du genre *Culicoides*, de la famille des *Ceratopogonidae* (Mellor *et al.*, 1975). *Culicoides imicola* est la principale espèce responsable de la transmission du virus de la peste équine en Afrique parmi les 1300 espèces décrites par les scientifiques. D'autres arthropodes peuvent être également impliqués expérimentalement dans la transmission de cette maladie, il s'agit de *Lyperosia spp.*, *Tabanus spp.*, *Stomoxys spp.*, *Culex spp.*, *Aedes spp.*, *Anopheles spp.*, etc. (Yasarol, 1962 ; Ozawa et Nakata, 1965). La transmission expérimentale de la peste équine par les tiques notamment *Hyalomma dromedarii* a également été réalisée (Awad *et al.*, 1981).

Très peu d'études ont été réalisées sur les culicoïdes au Sénégal (Cornet, 1969 ; Cornet et Chateau, 1970 ; Cornet et Brunhes, 1994 ; Bourdin et Laurent, 1974). Néanmoins, des travaux effectués en 1994 en Gambie n'ont pas révélé de virus de la peste équine sur 2286 culicoides femelles capturés dont 1070 *C. imicola* (Rawlings *et al.*, 1998). Une récente étude préliminaire a été réalisée au Sénégal en 2011-2012 et durant laquelle 160 412 culicoïdes ont été capturés. 85 % des insectes capturés appartiennent au groupe de *C. schultzei* et 11 % à celui de *C. imicola* (Fall *et al.*, 2012b). Les culicoïdes sont en effet de petits insectes ne pouvant pas dépasser 3 à 4 mm de long au stade adulte. Les mâles culicoides et la plupart des adultes des deux sexes d'un grand nombre d'espèces de *Ceratopogonidae* sont floricoles. Les femelles culicoïdes sont hématophages chez 96 % des espèces. Leurs pièces buccales forment une trompe courte vulnérante qui sert à dilacérer les tissus des hôtes cibles et à former un "lac" sanguin facilitant l'aspiration de sang. Elles s'attaquent à des mammifères, y compris l'homme ou à des oiseaux. Les culicoïdes ont une activité crépusculaire ou nocturne. Pour *C. imicola*, elle est maximale avec une température ambiante comprise entre 18 et 30°C et une humidité relative assez forte. Durant la journée, les adultes ailés se reposent dans des zones ombragées, sous les herbes ou cachés sous les feuilles. Le déplacement actif des adultes par leurs propres mouvements est limité à quelques centaines de mètres autour de l'endroit où ils ont vu le jour. Les femelles ont tendance à voler plus bas que les mâles. Leur déplacement passif est lié au pouvoir de portance des vents chauds et humides. Ces derniers peuvent emporter les ailés au-dessus de la mer à plusieurs centaines de kilomètres (Sellers, 1989). Au-dessus des terres, ce mode de dispersion est supposé plus restreint. La dispersion passive

pourrait jouer un rôle dans la colonisation de nouveaux territoires et la dissémination du virus lorsque les moucheron hémaphages sont infectés.

La longévité des adultes est en moyenne de 10 à 20 jours. Certains individus survivent jusqu'à trois mois. L'accouplement a lieu généralement en plein vol, au sein d'un essaim nuptial. Les spermatozoïdes sont stockés dans une ou plusieurs capsules séminales des femelles appelées spermathèques. Après fécondation, la femelle n'a plus besoin d'autres accouplements pour produire des œufs fertiles. Elle trouve l'énergie nécessaire à son activité reproductrice dans le repas de sang réalisé aux dépens de l'hôte vertébré. C'est au cours de ce repas sanguin que la femelle adulte s'infecte si l'hôte est porteur du virus. Une fois contaminée, elle devient infectante à vie. Une seule piqûre sur un cheval suffit à transmettre le virus et à propager la maladie.

Deux ou quatre jours après le repas sanguin, la femelle gravide dépose 100 à 300 œufs dans un site de ponte choisi. Puis elle cherche un nouvel hôte nourricier avant de pondre à nouveau quelques jours plus tard. L'alternance piqûre/ponte se reproduit jusqu'à sa mort. Les œufs sont généralement pondus dans des sites humides, partiellement immergés et riches en matières organiques diverses comme la boue des rives de mares, les bords d'étang, les excréments frais d'herbivores, les creux d'arbres, les cœurs de bananiers sectionnés ou les tas de feuilles en décomposition. Certaines espèces peuvent être rencontrées à l'intérieur des bâtiments d'élevage tels que les écuries et les étables.

Les œufs allongés mesurent 200 à 500 microns de long. L'éclosion se produit 3 à 5 jours après la ponte dans les conditions les plus favorables. Le développement des larves vermiformes dure 10-15 jours à plusieurs mois selon les espèces et les conditions ambiantes. Il existe une possibilité d'arrêt de développement aux stades I ou II des quatre stades larvaires successifs, qui serait assimilable à une diapause larvaire dont l'intensité pourrait être variable entre les individus d'une même population. Les facteurs déclenchants semblent liés aux baisses de la température et de la durée du jour. Quand un arrêt de développement larvaire s'observe en période de chaleur, il est lié à la sécheresse.

Lorsque les larves sont actives, elles se nourrissent de micro-organismes et de déchets divers, en se déplaçant activement selon un mode serpentiforme sur un substrat solide ou en nageant par saccades en milieu liquide. L'étape biologique suivante est la formation d'une nymphe peu mobile de 1 à 3 mm, dont la durée de vie varie de 2 à 10 jours. Elle est suivie de l'émergence d'un ailé par une fente dorsale longitudinale prévue pour faciliter sa sortie. Généralement, l'émergence des mâles après la mue précède celle des femelles.

4. Transmission

La transmission se fait généralement par voie parentérale par inoculation de sang infecté (**Fig.2**). A la suite d'un repas sanguin infecté, le culicoïde présente un pouvoir infectieux de 10^6 DL50 au 5^{ème} jour. Ce dernier reste infecté pour le reste de sa vie. S'il s'infecte à partir d'un équidé à sa première piqûre, le culicoïde pourra transmettre le virus cinq fois entre le 8^{ème} et le 20^{ème} jour après avoir été infecté. Au-delà du 18^{ème} jour, seul 1,8 % d'une population donnée de culicoïdes survit (Sellers *et al.*, 1977). Le vent a joué un grand rôle dans la diffusion des culicoïdes et par voie de conséquence celle de la peste équine. Ce fut le cas lors de la diffusion de la maladie du Sénégal au Cap-Vert en 1943, de la Turquie à Chypre en 1960 et du Maroc à l'Espagne en 1966 (Diaz Montilla et Panos Marti, 1967).

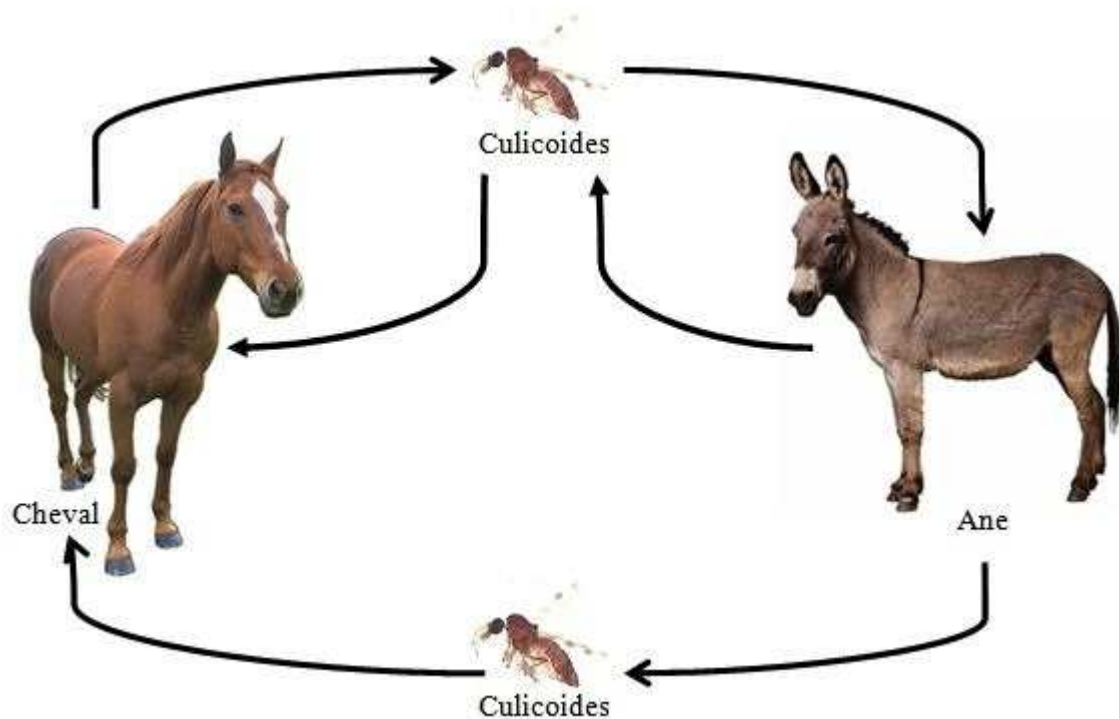


Fig. 2 : Cycle épidémiologique du virus de la peste équine

Les chevaux guéris peuvent être porteurs du virus pendant 90 jours (Yasarol, 1962). Une étude sérologique sur des zèbres dans différentes régions du Kenya montre 48 % de séropositifs mais aucune mortalité n'est signalée (Davies et Lund, 1974). Adeyefa et Hambin (1995) ont trouvé une prévalence sérologique de 60,3 % chez les ânes au Nigéria. Au Sénégal, une séoprévalence de 33,33 % a été observée chez les ânes après l'épizootie de peste équine de 2007 (Ndiaye, 2010).

C. Diagnostic

La présence de signes cliniques de la peste équine associée aux lésions et aux informations épidémiologiques devrait suffire pour établir le diagnostic de la maladie mais puisque la plupart des symptômes et des lésions macroscopiques ne sont pas pathognomoniques, il s'avère nécessaire de confirmer le diagnostic au laboratoire par l'isolement et l'identification du virus.

1. Prélèvements

Le prélèvement est réalisé à partir du sang total prélevé dans un tube avec anticoagulant, de préférence l'EDTA durant la phase fébrile chez les équidés vivants ou à partir de tissus ou d'organes tels que la rate, les poumons, les nœuds lymphatiques et les glandes salivaires. Le prélèvement est acheminé au laboratoire à une température de + 4 °C ou dans du tampon glycérinée 10 % à température ambiante. Après la collecte, le sang total doit être lavé et lysé autant que possible pour éliminer l'anticoagulant ainsi que tout anticorps qui pourrait être présent dans le sérum. Les effets toxiques de celui-ci peuvent être considérablement réduits s'ils ne sont pas éliminés en diluant le sang lysé à 1/10 avant l'inoculation pour l'isolement du virus.

2. Diagnostic de laboratoire

2.1. Isolement du virus

L'isolement peut se faire en inoculant le virus par voie intracérébrale à des souriceaux de deux à quatre jours, cette technique est la méthode préférentielle. Le virus s'adapte également et se développe sur œuf embryonné inoculé par voie intraveineuse ou sur une culture cellulaire d'insectes tels que les moustiques ou les culicoides. L'effet cytopathique (ECP) n'est pas observé dans ce cas, ces cellules sont généralement utilisées pour amplifier le virus en prélude de son isolement dans des cellules de mammifères. Plusieurs lignées cellulaires provenant de mammifères sont disponibles pour l'isolement du virus de la peste équine, il s'agit entre autres des cellules BHK de hamster, des cellules Vero et MS de singe qui révèle l'ECP dans les sept jours.

2.2. Détection d'antigènes

L'ELISA indirect en sandwich permet de détecter les antigènes viraux de la peste équine liés aux lymphocytes ou aux globules rouges (Adeyefa, 1996). L'immunoblot est une technique de diagnostic rapide de la peste équine (Martinez-Torrecuadrada *et al.*, 1997).

La détection d'antigènes peut se faire par la technique ELISA d'immuno-capture à partir de tissu splénique ; avec une réponse en 24 heures.

2.3. Détection d'anticorps

L'ELISA et la séroneutralisation sont de nos jours les tests les plus utilisés. Le test d'inhibition de l'hémagglutination (IHA) peut être utilisé, mais il présente quelques limites (Maurice et Provost, 1966). La fixation du complément est également souvent utilisée (Bernard, 1975). L'immunofluorescence directe et indirecte sur un virus isolé sur culture de cellules BHK donne une réaction de groupe, mais ne fait pas de distinction entre les différents sérotypes (Davies et Lund, 1974). Parker (1974) préfère la séroneutralisation à la fixation du complément chez les chevaux destinés à l'exportation. Le diagnostic différentiel se réalise devant la plupart des pathologies équine dont la piroplasmose, l'influenza équine, l'artérite à virus, la pasteurellose équine (Pavri et Apte, 1967).

2.4. Diagnostic moléculaire

La détection du génome viral peut également être réalisée par amplification génique (RT-PCR) à partir de tissu splénique ou de tissu cardiaque, voire du sang total prélevé sur tube avec EDTA donnant une réponse en deux à trois heures (Rodriguez-Sanchez *et al.*, 2008a). Le diagnostic moléculaire peut se faire par la PCR quantitative qui est un test hautement sensible et spécifique pour la détection du virus. Ce test est largement disponible et permet de confirmer la présence ou l'absence d'infection par le virus de la peste équine chez les équidés (Rodriguez-Sanchez *et al.*, 2008b).

D. Conséquences sanitaires et économiques

La peste équine a causé la mort de près de 300 000 équidés en 1960 lors de l'incursion du virus au Proche et Moyen-Orient (Howell, 1960). Le coût de l'éradication de la peste équine en 1989 au Portugal s'élevait à 1 955 513 \$ US soit 977 756 500 FCFA (Portas *et al.*, 1999) avec 206 équidés morts ou abattus et 170 000 animaux vaccinés. L'épizootie de peste équine de 2007 a coûté au Sénégal 896 800 000 FCFA. Les pertes liées à la mortalité et à la morbidité représentent la part la plus importante de ce coût avec 498 500 000 FCFA, soit 55,58 % du coût économique total. Le reste du coût économique total est dû au coût de contrôle de la maladie (Akakpo *et al.*, 2011).

E. Prophylaxie sanitaire et médicale

1. Mesures sanitaires

Du fait de l'absence d'un traitement spécifique pour les animaux souffrant de la peste équine, les mesures de contrôle et de lutte reposent sur la prévention : la quarantaine à l'importation, la restriction des mouvements d'équidés lors de foyers, l'abattage des animaux présentant une virémie en zone indemne (Portas *et al.*, 1999), la lutte contre les vecteurs à travers la destruction des habitats des culicoides, l'élimination des adultes et/ou des larves (Mellor et Hamblin, 2004).

2. La vaccination

La vaccination a joué un important rôle dans l'éradication lorsque la peste équine est apparue en dehors de l'Afrique (House, 1993 ; Portas *et al.*, 1999) . Elle a significativement contribué à la maîtrise de l'épidémie de 2007 au Sénégal. L'utilisation d'un vaccin monovalent a été notée dans les régions où seul un sérotype circule, mais en zone endémique avec plusieurs sérotypes des vaccins polyvalents sont utilisés.

2.1. Vaccins atténués

Les premiers vaccins étaient fabriqués sur la base de souches atténuées après plusieurs passages sur cerveau de souris. Ils ont conféré une immunité solide, mais ils pouvaient provoquer des effets indésirables très marqués généralement après la primo-vaccination. Ces problèmes ont été minimisés par l'atténuation de la souche virale vaccinale en réalisant des passages sur cultures cellulaires (Ozawa *et al.*, 1965). C'est cette méthode qui est de nos jours utilisée dans la fabrication des vaccins disponibles sur le marché. Les différents vaccins utilisés peuvent être orientés contre un seul sérotype du virus, ils sont dans ce cas monovalents ou contre plusieurs sérotypes présents dans la zone et deviennent des vaccins polyvalents. En Afrique du Sud, deux types de vaccins polyvalents sont utilisés : un premier vaccin contenant les sérotypes 1, 3 et 4 puis un second vaccin avec les sérotypes 2, 6, 7 et 8. Le type 5 avait été retiré du marché en 1993 suite à la notification de sévères réactions et même de mortalités chez les chevaux vaccinés. Le sérotype 9 n'est également pas inclus parce qu'il induit une forte immunité croisée avec le type 6 (et réciproquement) et que le sérotype 9 est rarement présent en Afrique du Sud et est même considéré comme peu virulent (Mellor et Hamblin, 2004). Pour ces mêmes raisons, le sérotype 6 n'est pas inclus dans le vaccin polyvalent actuellement fabriqué au Sénégal ; en revanche, on y retrouve toutes les sept autres valences.

2.2. Vaccins inactivés

Les vaccins inactivés ont l'avantage de ne pas contenir un agent pathogène vivant et potentiellement dangereux, mais ils nécessitent plusieurs inoculations pour conférer et maintenir une bonne immunité. Néanmoins, il a été rapporté par Hassanain *et al.* (1990) des cas de chevaux morts au Qatar quelques jours seulement, après leur vaccination avec un vaccin inactivé au formol. Jusqu'en 2004, aucun vaccin inactivé contre la peste équine n'était disponible sur le marché. Ce type de vaccin inactivé avec du formol a été précédemment fabriqué et commercialisé durant les épizooties de peste équine en Espagne, au Portugal et au Maroc entre 1987 et 1991. Il a été retiré du marché quelques temps après l'éradication de la maladie d'Europe (Mellor et Hamblin, 2004). Les vaccins recombinants sont très peu utilisés (Martinez-Torrecuadrada *et al.*, 1996 ; Chiam *et al.*, 2009).

F. Traitement

Il n'existe pas de traitement spécifique pour la peste équine. Les soins hygiéniques et les traitements symptomatiques peuvent influencer sur l'évolution de la maladie.

Chapitre 4 : Impact économique et analyse du risque d'infection

A. Approche économique de l'impact des maladies animales

L'économie est une science sociale qui traite de la production des biens et par conséquent de celles de la richesse. Il existe deux échelles d'analyse des maladies et de leur prévention. Ce sont l'échelle macroéconomique et l'échelle microéconomique.

- La macroéconomie appréhende l'économie au niveau d'un pays. Elle est l'échelle nationale et donc étudie les quantités globales au sein d'une économie. Elle prend plutôt en compte le point de vue de l'Etat et s'intéresse aux interactions entre les différentes branches de l'économie et, en particulier, aux conséquences des actions de santé sur le commerce national ou international.

Les conséquences des maladies animales sont de nature très différente selon l'infection. Ainsi, en Afrique, le parasitisme constitue l'un des facteurs sanitaires les plus importants en particulier les infestations gastro-intestinales et la trypanosomose.

Les maladies infectieuses sont classées en trois grands groupes :

- ❖ Les maladies qui entraînent des pertes importantes en cas d'épidémie et pour lesquelles la vaccination quand elle existe est la seule alternative possible ;
 - ❖ Les maladies sporadiques ou d'apparition accidentelle qui engendrent des pertes très importantes pour les éleveurs et qui n'ont qu'une faible répercussion sur le plan national ;
 - ❖ Les maladies qui ont des implications importantes sur la santé publique, il s'agit des zoonoses.
- La microéconomie étudie le comportement des unités économiques individuelles (l'éleveur, le groupement d'éleveurs, les consommateurs, etc.). L'approche microéconomique des maladies animales consiste à étudier tous les aspects économiques sur la santé animale du point de vue d'un éleveur ou d'un ensemble d'éleveurs.

La microéconomie est la branche de l'économie qui analyse le comportement économique au niveau d'entités individuelles telles qu'un consommateur ou une entreprise, donc elle va permettre non seulement d'analyser les pertes directes et/ou indirectes dues aux maladies à l'échelle du propriétaire de cheval mais aussi d'estimer le coût de ces pertes chez les autres agents économiques.

Lorsque l'on parle de coût ce n'est pas seulement au sens comptable ; il est important de rappeler qu'un coût est " la valeur des ressources utilisées pour produire un bien ou un service ". En ce qui concerne les maladies, l'établissement du coût consiste donc à traduire sous

forme monétaire les conséquences directes et indirectes de la maladie (Wombou Toukam, 2008).

1. Effets directs

Les effets directs des maladies animales sont des composants directement quantifiables de l'impact de la maladie par les pertes qu'elle entraîne. Ces pertes sont liées à la mortalité, à la morbidité (pertes de production) et aux traitements (contrôle de la maladie). En effet, la quantification monétaire de ces pertes physiques est le premier préalable dans cette estimation.

Les pertes de production dues à la mortalité sont représentées par les pertes associées à la réduction de la durée de vie ou du cycle de production des animaux, l'arrêt des productions et la baisse de l'amélioration génétique. Hormis la mortalité, on note la morbidité qui se mesure par une baisse des performances quantitatives et une baisse de la productivité, telles que le poids de la carcasse, la quantité de viande, de lait, des œufs, de la force de travail etc. (Ly, 1999).

Les coûts de contrôle sont des dépenses liées au traitement, à la prévention ou à la maîtrise de la maladie. Les coûts de traitement sont représentés par les coûts des produits et équipements utilisés, la main-d'œuvre, le service vétérinaire ainsi que le transport. Le coût de la prévention comprend : le coût de la recherche et du diagnostic, le coût de contrôle du vecteur et l'agent causal, le coût de la vaccination et des équipements utilisés, la main d'œuvre, le service vétérinaire et le coût du transport vers les différents sites d'intervention. Pour certaines maladies, comme la peste équine, le coût du contrôle est représenté par les coûts de la prophylaxie et de la lutte anti-vectorielle dans un pays ou une zone géographique donnée.

L'évaluation du coût de la maladie animale revient donc à faire une estimation monétaire des pertes physiques imputables à ladite maladie en tenant compte du prix moyen des produits sur les marchés et, dans notre cas, des gains journaliers des chevaux et du prix moyen d'un cheval.

2. Effets indirects

Les effets indirects sont difficilement quantifiables : ce sont toutes les conséquences autres que les mortalités, les morbidités et le traitement.

B. Analyse de risque d'infection de la peste équine

L'analyse de risque est un outil d'aide à la décision rationnel et cohérent. Chaque module permettant l'estimation du risque (module "émission", module "exposition" et module "conséquences sanitaires et/ou économiques") est traduit en modèle probabiliste. Ces modèles combinent différents paramètres et permettent d'apprécier respectivement la probabilité d'émission du nouveau sérotype, la probabilité d'exposition au nouveau sérotype et les conséquences économiques de cette exposition, car il ne s'agit pas de zoonose. Cet auteur propose que chacun des paramètres soit analysé à l'aide de toutes les informations disponibles et qu'une évaluation de la probabilité de survenue de chacun d'entre eux soit réalisée séparément pour aboutir à l'une des quatre appréciations suivantes : négligeable, faible, modérée et élevée. Cette appréciation du risque doit alors être comparée à un niveau de risque acceptable.

Kourilsky et Viney cités par Dufour (2002) distinguent 2 types de risque : le risque potentiel et le risque avéré et indiquent que la précaution est relative à des risques potentiels alors que la prévention s'applique aux risques avérés.

Chapitre 5 : Le Delta du fleuve Sénégal et les systèmes épidémiologiques de la fièvre West Nile et de la peste équine

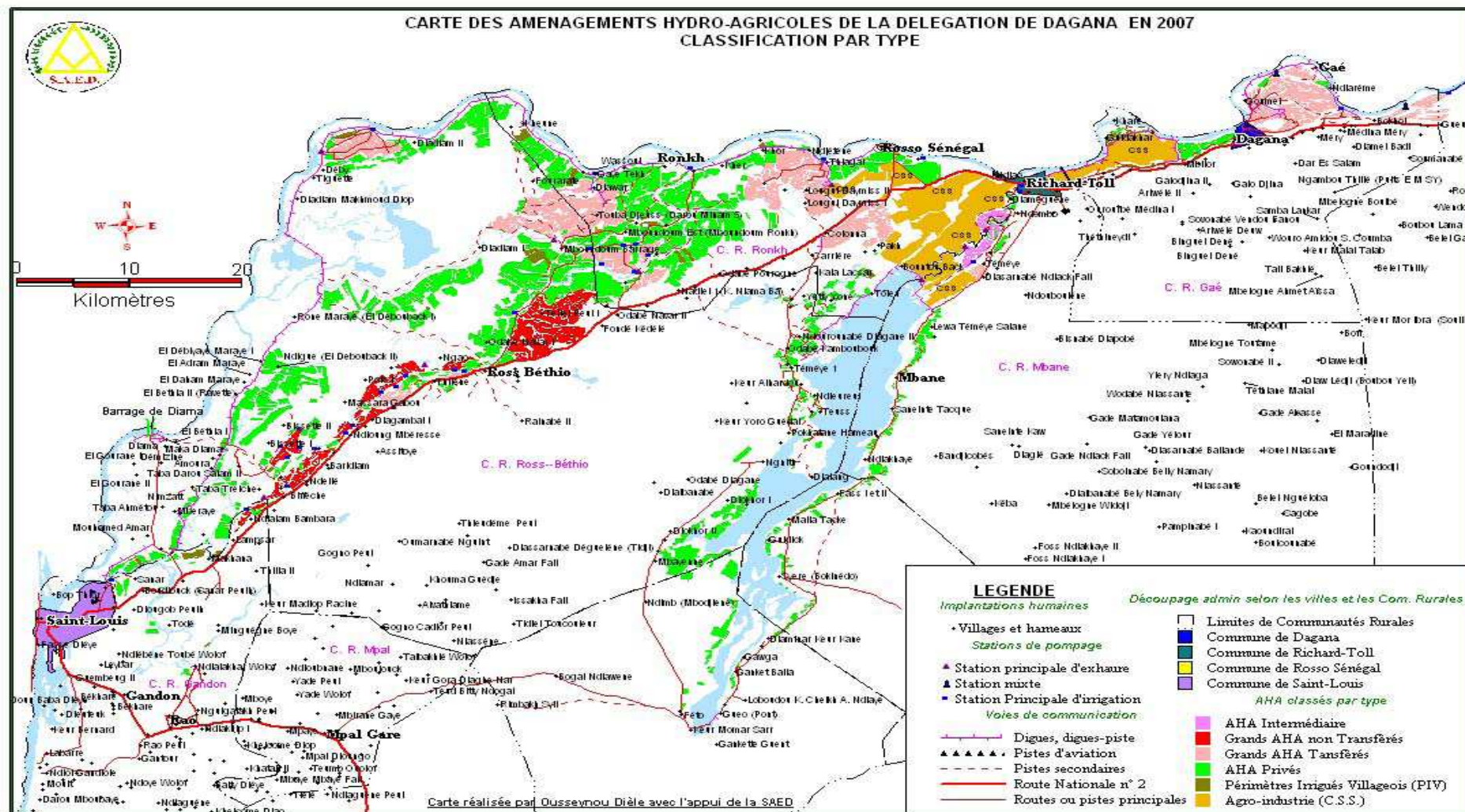
A. Le Delta du fleuve Sénégal (DFS)

Le Delta du Fleuve Sénégal est situé à l'extrême nord-ouest du Sénégal dans la région de St-Louis. Il couvre une superficie de 5000 km² de St-Louis à Richard-Toll. L'originalité du milieu naturel a fait que cette zone a abrité de grands aménagements hydro-agricoles en vue de sa mise en valeur (**Fig. 3, page 43**). Ces derniers ont fortement bouleversé l'écosystème à telle enseigne qu'ils ont fortement "artificialisé" le Delta.

Le DFS correspond à une partie des départements de St-Louis et de Dagana. Il comprend trois zones agro-écologiques :

- Le *Bas delta* qui va de Mpal à Tiléne ;
- Le *delta central* qui va de Ross-Béthio à Kassack ;
- Le *Haut delta* qui va de Kolona à Ndombo-Thiago.

Le DFS favorise la prolifération d'arthropodes vecteurs impliqués dans la transmission de plusieurs pathologies. Il joue aussi un rôle de niche écologique pour plusieurs espèces d'oiseaux migrateurs ; d'où son implication dans l'épidémiologie de certaines maladies. Le Delta du fleuve Sénégal renferme, en effet, plusieurs aires protégées parmi lesquelles le parc ornithologique du Djoudj situé à 20 km au nord-ouest de Ross Béthio et à 50 km au nord-est de St-Louis et le parc de la Langue de Barbarie situé à une vingtaine de kilomètres au sud de St-Louis. Ces aires protégées reçoivent chaque année des milliers d'oiseaux migrateurs d'origines diverses (Van Lavieren et Van Wetten, 1990) qui viennent séjourner en Afrique où le climat est plus clément qu'en zone tempérée entre les mois d'octobre et de mars, et accomplir leur cycle de reproduction. Un grand flux migratoire est observé entre ces parcs et celui de la Camargue en France où le virus West Nile a été décrit à plusieurs reprises (Murgue *et al.*, 2001b ; Charrel *et al.*, 2001 ; Balenghien *et al.*, 2006 ; Jourdain *et al.*, 2008).



Source : Dièye (2007) **Fig. 3 : Aménagements hydro-agricoles dans le DFS**

La riziculture est l'activité dominante de la population dans la zone de Ross Béthio tandis que 12 000 hectares de plantations de canne à sucre couvrent la zone de Richard Toll (Sy, 2005). Ces deux zones bénéficient de nombreux aménagements hydro-agricoles ; ce qui fait qu'elles sont irriguées toute l'année. L'alternance entre les périodes de drainage et d'assèchement correspondant respectivement à la culture et à la récolte du riz, offre des conditions écologiques favorables à la prolifération des moustiques. La présence d'une végétation particulière qui longe le fleuve constitue un écosystème susceptible d'héberger des gîtes larvaires (Fall *et al.*, 2011a). D'autre part, cette zone est habitée par une forte population de chevaux généralement utilisés dans le transport des personnes et du matériel (Ly *et al.*, 1998) ou dans les travaux champêtres. La présence des marchés hebdomadaires à l'occasion desquels les équidés sont utilisés pour le transport des personnes et des marchandises, jouent un rôle considérable dans la dissémination des arboviroses (Ndao, 2009).

Le climat du Delta du fleuve Sénégal est caractérisé par la double influence de l'océan et du continent. Il est conditionné par trois principaux centres d'action ou anticyclones. Ces anticyclones sont ceux des Açores, de Sainte-Hélène et du Sahara communément appelé "anticyclone libyen". Le climat est de type sahélien, "subcanarien" plutôt mixte qui subit des influences sahéliennes et maritimes et est marqué par la prédominance de deux saisons :

- une saison des pluies qui dure trois mois, allant de juillet à septembre ;
- une saison sèche de neuf mois qui va d'octobre à juin.

La pluviométrie y est globalement faible autour de 300 mm entre juillet et septembre, et est caractérisée par une irrégularité inter annuelle très marquée. Les températures sont élevées et liées à la latitude tropicale de la région. Les moyennes annuelles sont comprises entre 20 et 40°C avec des extrêmes variant entre 12°C (novembre - février) et 45°C (mai - juin). Les températures connaissent également des variations dans le temps avec les saisons et dans l'espace avec la proximité ou l'éloignement de la mer.

Le fleuve Sénégal constitue le principal cours d'eau. Il est long de 1700 km et traverse les zones sahélo-soudaniennes et sahéliennes où il constitue le seul cours d'eau permanent.

Le régime naturel du fleuve est caractérisé par une période de hautes eaux de juillet à octobre et de basses eaux de décembre à juin (Ndione *et al.*, 2005). L'eau de la mer remontait le fleuve jusqu'à la hauteur de Dagana en saison sèche. Ce phénomène de remontée de la langue salée n'existe plus suite à la construction, sur le fleuve, du barrage anti-sel de Diama en 1986.

Il existe également un réseau de cours d'eau anastomosés dont certains jouent le rôle d'adducteur et d'autres le rôle d'émissaire de drainage (le Gorom, le Lampsar, le Djeuss, le Kassack, le Diawel, le Natché et le Ngalam).

Les sols halomorphes sont localisés au niveau de certaines cuvettes de décantation et dans les dépressions destinées à recueillir les eaux de drainage et les sols du système dunaire plus connus sous le nom de sols du *Diéri*. Ce sont des sols bruns "subarides" dont la teneur en argile est faible.

Le couvert végétal naturel est souvent bien adapté aux conditions difficiles du milieu. La végétation est discontinue et composée en majorité d'herbes xérophiles.

Du point de vue floristique, les dunes du *Diéri* supportaient des espèces ligneuses comme *Faidherbia albida*, *Acacia radiana*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, etc. ; les strates arbustives et herbacées sont constituées d'Euphorbiacées (*Euphorbia balsamifera*), de Combrétacées (*Guiera senegalensis*) et de Graminées saisonnières (*Cenchrus biflorus*, essentiellement). Ces espèces végétales sont celles de la savane.

Dans les cuvettes argileuses de décantation, autour des défluent du fleuve Sénégal, prospèrent des forêts d'*Acacia nilotica*. A cela s'ajoutent les graminées pérennes telles que *Oryza longistaminata*, *Echinochola stagnina* et *Vossia cuspidata* qui constituent une ressource alimentaire assez importante pour le bétail.

Dans les cuvettes très salées se développaient des plantes halophiles comme *Salsola baryosma*, *Tamarix senegalensis*, etc.

Les levées fluvio-deltaïques constituent le plus souvent le support des aménagements hydro-agricoles. Sous l'effet combiné de facteurs physiques (sécheresses) et humains (création d'aménagements hydro-agricoles), de nombreuses espèces ont disparu ou ne subsistent qu'à l'état résiduel ; d'autre part, de nouvelles espèces telles que *Typha australis*, *Salvinia molesta* ont vu le jour.

Le DFS abrite des milliers d'oiseaux migrateurs chaque année et joue un rôle important pour l'avifaune grâce à ses fonctions de zone de repos, de fourrage et de couvage. En effet, après un long voyage par-dessus la Méditerranée et le Sahara, la vallée du fleuve Sénégal est la première zone où les oiseaux peuvent reprendre des forces avant de continuer leur voyage. Inversement, lors de la migration vers le Nord, elle constitue également la dernière station intermédiaire de fourrage où les oiseaux attendent des circonstances atmosphériques favorables pour reprendre le grand passage du Sahara. Il s'agit généralement de la sarcelle d'été, du pillet, de la souchette, du chevalier combattant, de la barge à queue noire, du busard, et de quelques échasses comme le chevalier sylvain, le chevalier gambette.

Le DFS héberge annuellement des centaines de nids d'espèces d'oiseaux, telles que les grandes aigrettes, les aigrettes garzettes, les hérons cendrés, les tentales, les cormorans africains, les pélicans blancs, les flamants roses, les grands cormorans, les anhingas

d'Afrique, les bihoreaux, les hérons garde-bœufs et grabiers. Les lacs peu profonds et les marais ayant des rives vaseuses et une riche végétation aquatique constituent également d'importantes zones de couvage pour de nombreux pluviers, les canards africains, le vanneau armé, le pluvier patre, l'oie de Gambie, le canard armé, le canard casqué et le dendrocygne fauve (Van Lavieren et Van Wetten, 1990).

L'ensemble de ces facteurs (présence d'oiseaux migrants hôtes amplificateurs, de moustiques et d'hôtes accidentels dans la même région géographique) font que le Delta du fleuve Sénégal pourrait constituer un réservoir écologique de la fièvre West Nile.

B. Systèmes épidémiologiques

Un système épidémiologique résulte de la combinaison entre le complexe pathogène et les facteurs extrinsèques. Le complexe pathogène est constitué de trois composantes que sont : le pathogène, l'hôte et le vecteur. Les facteurs extrinsèques comprennent le paysage, le climat (température, pluviométrie, etc.), la présence de l'eau, les parcs ou réserves naturels, les marchés, la saisonnalité (sèche ou pluvieuse, froide ou chaude), l'effectif d'animaux, le comportement de l'homme, etc. Le système prend également en compte les interactions entre les différentes composantes du complexe pathogène, encore appelées sous-systèmes : vecteur-virus, hôte-vecteur et hôte-virus. C'est ce dernier sous-système qui intéresse nos travaux. Toutefois, il faut nécessairement une connaissance basique des deux autres sous-systèmes. Les deux maladies prises en compte dans cette étude, présentent les mêmes caractéristiques intrinsèques relatives à l'hôte que constitue le cheval et les différences concernant leurs principaux vecteurs qui sont tous des arthropodes hématophages mais appartenant à différentes familles de *Culicidae* (*Culex spp.*) et de *Ceratopogonidae* (*Culicoides spp.*). Il en est de même pour les virus qui appartiennent à la famille des *Flaviviridae* (*Flavivirus*) pour la West Nile et à celle de *Reoviridae* (*Orbivirus*) pour la peste équine. Le cheval, dans les deux cas, reste le révélateur de la maladie. En 2007, une modification du complexe pathogène a été observée au niveau de la nature du type du pathogène par l'introduction au Sénégal de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine contre lesquels les chevaux n'étaient pas immunisés. Cela a entraîné un déséquilibre ou une rupture éco-épidémiologique qui s'est traduite par l'apparition de foyers de peste équine dans différentes parties du pays.

Parmi les facteurs de risque potentiels de ces arboviroses, on note la température (Ward, 2005) qui peut entraîner un stress nutritionnel (Akoda *et al.*, 2009), l'hydrographie notamment le nombre de cours d'eau, la proximité par rapport aux points d'eau (Ward *et al.*, 2009), les mouvements d'animaux associés le plus souvent à la commercialisation (Bajardi *et*

al., 2011, Brennan *et al.*, 2008), l'importation d'équidés (Rodriguez *et al.*, 1992), le vent qui peut transporter des arthropodes vecteurs infectés (Sellers *et al.*, 1977 ; Sellers, 1989), la dynamique des vecteurs (Fall *et al.*, 2011a ; Fall *et al.*, 2011b), les oiseaux migrateurs (Rappole *et al.*, 2000 ; Altizer *et al.*, 2011), la faune sauvage (Siembieda *et al.*, 2011 ; Cook, 2005 ; Smith *et al.*, 2012) incluant la biodiversité (Ezenwa *et al.*, 2006, Keesing *et al.*, 2010) et les changements climatiques (Ezenwa *et al.*, 2007 ; McIntyre *et al.*, 2010 ; Gale *et al.*, 2010).

1. Système épidémiologique de la fièvre West Nile

Dans le DFS, l'élément épidémiologique central pourrait être la riziculture. En effet, l'ensemble des paramètres que sont la dynamique des vecteurs susceptibles de transmettre la West Nile (Fall *et al.*, 2011b ; Fall *et al.*, 2012a), la convergence des hôtes, notamment l'homme et le cheval pour les besoins des travaux de récolte et les oiseaux qui viennent se nourrir des résidus de récolte doivent être pris en compte dans l'étude de la West Nile. Les habitations constituent des entités épidémiologiques, car ce sont de véritables lieux de contact vecteurs-hôtes sensibles, donc révélateurs de l'infection en l'occurrence l'homme et le cheval. Les parcs et réserves naturels constituent d'autres entités épidémiologiques pour la West Nile, puisqu'ils permettent le contact vecteurs-hôtes. L'avifaune est la source de l'infection, car seuls les oiseaux présentent une virémie suffisamment importante pour infecter les moustiques. En outre, le personnel des parcs, les habitants des villages environnants des parcs et les chevaux vivants à l'état sauvage dans le parc du Djoudj sont autant d'éléments pouvant favoriser la manifestation clinique de la maladie. Un effectif d'environ 400 chevaux y séjournent chaque année entre les mois de mars et de juillet. Ces animaux divaguent en troupeaux pouvant dépasser 60 chevaux. On les retrouve généralement dans les zones humides du parc : aux abords du lac Lamantin, du Grand Lac, de Thieugueul et du marigot du Djoudj (Diop, comm. pers). Ces endroits correspondent aux zones de forte concentration d'oiseaux. Ces chevaux ne sont sollicités qu'à un moment de l'année où les villageois organisent des battues pour en capturer quelques uns qu'ils relâchent après utilisation. Ces animaux pourraient constituer de véritables révélateurs en cas d'épizootie.

Il y a lieu de constater dans cet écosystème que la densité des hôtes (hommes, chevaux et oiseaux) augmente avec les périodes de récolte du riz communément appelées *campagne du riz* aux alentours du 30 janvier de chaque année pour la *grande saison* et du 30 juin pour la *campagne de contre saison*. Un rôle important pourrait être joué par les moustiques qui ont une activité diurne. Les rizières sont à sec durant la récolte du riz ; cela pourrait favoriser le

développement des moustiques du genre *Aedes* considérés comme des vecteurs ponts ou *Bridge vector* (Fall *et al.*, 2012a). Contrairement à ce qui se passe dans plusieurs localités du pays, les chevaux de la zone de Ross-Béthio n'effectuent pas la culture attelée ; ils interviennent plutôt dans le transport des personnes, des intrants et du matériel agricole. Au niveau de Richard-Toll, ce sont les champs de cannes à sucre qui constituent l'élément central.

A Mboundoum-Barrage, les rizières sont situées à une distance variant entre 2 et 7 km du village. Le prix du transport en charrette varie entre 1000 et 2000 F CFA pour l'aller simple ; cela dure du 15 juillet au 30 janvier pour la campagne normale ou la *grande saison* et entre le 15 février et le 30 juin pour la campagne de *contre saison*. La plupart des familles se trouvent alors obligées de disposer d'au moins un cheval. Certains producteurs qui proviennent d'autres localités telles que Toubatoul, Mbacké, entre autres, vendent l'ensemble cheval-harnais-charrette entre 250 000 et 350 000 F CFA à la fin de la *campagne du riz*. Leur travail consiste à effectuer la fauche lors de la récolte et à assurer le transport du riz paddy ou décortiqué, de janvier à mars, période qui voit une forte affluence de personnes dans la vallée du fleuve Sénégal.

2. Système épidémiologique de la peste équine

Les équidés dans le DFS sont recensés à St-Louis, Ross-Béthio et Richard-Toll. La commune de St-Louis couvre une superficie de 45 km² où en moyenne 200 chevaux sont vaccinés contre le sérotype 9 de la peste équine annuellement. L'aire protégée qui lui est la plus proche est située à 10 km de la ville. St-Louis est une ville cotière avec la présence à la fois de la mer et du fleuve. La proximité de la mer est un facteur limitant la prolifération des arthropodes vecteurs (Chevalier *et al.*, 2010). D'autre part, Ross-Béthio est une zone plutôt rurale où la riziculture est l'activité principale et abrite le parc national ornithologique du Djoudj qui accueille des milliers d'oiseaux chaque année. Cette zone couvre une superficie de 122 km² avec un cheptel équin inconnu avec exactitude mais qui est estimé supérieur à celui de St-Louis et inférieur à celui de Richard-Toll. Elle compte environ 700 chevaux vaccinés contre le sérotype 9 de la peste équine chaque année (Anon, 2011).

La riziculture offre un écosystème favorable à la prolifération des vecteurs avec l'alternance des périodes de mise en eau et d'assèchement, la présence d'une végétation et d'un sol argileux. Les rizières constituent de véritables gîtes larvaires présentant de bonnes conditions de ponte pour certaines espèces de moustiques. Et enfin, la commune de Richard-Toll qui couvre une superficie de 20 km² et dispose d'une population équine d'environ 1000 chevaux

dont 150 à 200 sont vaccinés avec le vaccin monovalent contre le sérotype 9 de la peste équine annuellement (Anon, 2007). La culture et la transformation de la canne à sucre constituent l'activité principale de la population. Les ânes ne sont pas vaccinés contre la peste équine malgré leur rôle de réservoirs au Sénégal, parce qu'ils ne sont pas sensibles à la maladie. Ils sont utilisés pour le transport de l'eau et des marchandises à Ross-Béthio, mais ils ne sont quasiment pas utilisés à St-Louis et Richard-Toll. Ils sont de plus en plus utilisés dans le pays pour faire les mêmes travaux que le cheval et coûtent beaucoup moins chers que ce dernier. Lors d'une étude de séro-surveillance menée en 2008 dans trois régions du Sénégal y compris St-Louis, 7 ânes sur 21 présentaient des anticorps contre la peste équine en ELISA. Au Sénégal, les chevaux sont en majorité de races locales et sont utilisés pour la traction hippomobile ou la culture attelée. Les chevaux retrouvés à St-Louis proviennent généralement du marché de Mpal situé à 35 km à l'Est de St-Louis. Les chevaux de Richard-Toll ont le plus souvent pour origine Mbane situé au sud de Richard-Toll ou Thillé Boubabcar situé à l'Est. Les chevaux arrivent dans le Delta du fleuve Sénégal au plus tôt à un âge compris entre 3 et 4 ans. Une enquête a révélé que dans cette zone, l'achat de chevaux est de règle chez 99 % des propriétaires tandis que le naissage est estimé à 1 % (Guèye, 2009).

Le nombre de places de rencontre (marchés hebdomadaires, rizières, etc.) détermine le nombre de contacts. Ce facteur de risque dépend de l'âge du cheval.

La période d'incubation est de 7 à 14 jours et la période infectieuse peut atteindre 90 jours.

Nous présenterons dans la deuxième partie la méthodologie utilisée pour étudier la circulation des virus de la West Nile et de la peste équine chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal ainsi que les résultats de cette étude.

**DEUXIEME PARTIE :
LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL, UN
CONTEXTE FAVORABLE A LA
CIRCULATION DES VIRUS DE LA FIEVRE
WEST NILE ET DE LA PESTE EQUINE**

La peste équine constitue depuis plus d'un siècle, une contrainte majeure au développement de l'élevage équin en Afrique et au Sénégal, en particulier.

L'originalité du sujet présenté dans cette thèse réside dans le fait que la fièvre West Nile est jusqu'à ce jour une maladie très peu connue au Sénégal et qu'un faible nombre de publications sont disponibles. Les travaux de recherche ont montré que la West Nile est une infection inapparente mais endémique au Sénégal (Traore-Lamizana *et al.*, 1994 ; Murgue *et al.*, 2002a ; Diallo *et al.*, 2005 ; Chevalier *et al.*, 2006, Chevalier *et al.*, 2009 ; Chevalier *et al.*, 2010). Pourtant, aucun cas clinique n'a été diagnostiqué et confirmé à ce jour aussi bien chez l'homme que chez le cheval.

Par ailleurs, aucune étude sur les mécanismes d'introduction et de circulation du virus de la peste équine avant et après 2007 n'a été, jusque là, réalisée au Sénégal. Seul le sérotype 9 du virus de la peste équine avait été identifié comme circulant dans le pays avant les foyers de 2007.

Cette thèse a été préparée à l'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement (ED-SEV) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, au sein de la formation doctorale Santé et Biotechnologies animales. Notre établissement de rattachement est l'Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (EISMV) de Dakar au sein du laboratoire de Microbiologie Immunologie et Pathologie Infectieuse (MIPI). Dans le cadre de cette thèse, des stages ont été effectués au Centre de coopération internationale pour la recherche en agronomie et le développement (CIRAD) de Montpellier (France), à l'unité de virologie de l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES, ex-AFSSA) de Maisons-Alfort (France), à la faculté de médecine vétérinaire d'Utrecht (Pays-Bas). L'analyse des sérums a été effectuée à l'ANSES de Maisons-Alfort et à l'Institut Pasteur de Dakar. La présente thèse a été en partie financée par le projet *Emerging diseases in a changing european environemnt (EDEN)*, projet intégré du 6^{ième} Programme-Cadre de Recherche et de Développement Technologique (PCRDT 2005-2010) financé par la commission européenne (contrat n°GOCE-CT-2003-010284 EDEN) <http://www.eden-fp6project.net>, et d'autre part, sur les fonds propres du laboratoire de MIPI de l'EISMV.

A. Rappel des objectifs et questions de recherche

L'objectif général de cette thèse est d'étudier le rôle épidémiologique que pourrait jouer le Delta et la vallée du fleuve Sénégal dans la transmission de la fièvre West Nile et de la peste

équine, et de montrer l'impact de ces dernières aussi bien sur le plan sanitaire que sur le plan économique dans le Delta du fleuve Sénégal. Ces deux maladies équine sont, en effet des arboviroses endémiques dans la zone avec des manifestations cliniques enregistrées pour la peste équine et aucun cas rapporté pour la fièvre West Nile.

Pour la peste équine, la présente étude permettra de mieux comprendre les facteurs d'introduction et de diffusion d'un nouveau sérotype du virus lors de la récente épizootie enregistrée au Sénégal en 2007. Elle va permettre également d'apprécier le degré d'impact économique qu'aurait eu la peste équine au Sénégal.

Le virus West Nile a jadis été isolé dans le Delta et des études récentes y ont révélé sa circulation (Traore-Lamizana *et al.*, 1994 ; Chevalier *et al.*, 2010).

Cette étude vise à fournir de plus amples informations sur l'évolution de la fièvre West Nile dans la vallée du fleuve Sénégal grâce à la détermination de la période de transmission, donc période à risque de la maladie. L'approche retenue pour la fièvre West Nile, a été de mener une étude longitudinale sur une cohorte de chevaux sentinelles dans le DFS combinée à un renforcement de la surveillance chez les chevaux et des investigations menées auprès des vétérinaires privés comme ceux du public, et des éleveurs de chevaux.

Nous structurerons l'application de cette approche dans notre étude afin de répondre aux questions de recherche suivantes :

Q1 : L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile serait-elle liée à un défaut de diagnostic ?

Q2 : Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?

Q3 : Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?

B. Hypothèses et stratégie d'étude

Afin de répondre à nos trois questions de recherche (Q1, Q2 et Q3), nous avons vérifié sept hypothèses (H1 à H7) dans le chapitre 2 de la deuxième partie de cette étude.

(Q1) : L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile serait-elle liée à un défaut de diagnostic ?

La deuxième partie est composée de deux **chapitres** : un premier chapitre qui présente le matériel et l'ensemble des méthodes utilisées dans la thèse et un deuxième chapitre consacré aux résultats.

Le **chapitre 2 (II. 1)** s'intéresse au suivi d'un troupeau de chevaux sentinelles qui permettrait de détecter la circulation du virus de West Nile (WN) et la mise en évidence d'éventuels symptômes de la WN chez les chevaux dans le DFS. Nous vérifierons dans ce chapitre les hypothèses suivantes :

H1 : Il n'existe pas de cas clinique de fièvre West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal ;

H2 : Le virus West Nile circule dans la population équine du Delta du fleuve Sénégal mais n'est ni connu par les techniciens vétérinaires ni par les éleveurs de chevaux ;

H3 : La période de séjour des oiseaux migrateurs correspond à celle de la transmission du virus West Nile aux chevaux ;

H4 : L'âge des chevaux et leur zone écologique constituent des facteurs de risque d'infection au virus de la West Nile.

Le **II. 1** permettra de montrer que l'absence de cas clinique de la fièvre West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal n'est pas forcément liée à un défaut de diagnostic, et de répondre ainsi à la question de recherche Q1. La méthodologie utilisée comporte tout de même des limites que nous évoquerons dans la discussion.

Q2 : Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?

Le **II. 2** permet de faire le point sur les différents sérotypes du virus de la peste équine qui circulaient dans le DFS avant l'introduction d'un vaccin polyvalent contre cette pathologie et de fournir de plus amples informations sur la diffusion de ce virus. Nous testons l'hypothèse suivante :

H5 : L'élimination du virus de la peste équine chez les chevaux en vue d'une éradication, est possible au Sénégal ;

Ce chapitre permettrait de répondre en partie à notre deuxième question de recherche Q2 sur la mise en évidence de la présence de trois sérotypes du virus de la peste équine dans le DFS en modélisant la force d'infection (*FOI*) et en déterminant la fraction critique vaccinale contre cette maladie.

Le **II. 3** nous permettra de montrer que les mouvements saisonniers et commerciaux des chevaux à l'occasion des marchés hebdomadaires constituent des facteurs importants de diffusion du virus de la peste équine au Sénégal. Nous vérifierons dans ce chapitre l'hypothèse 6 :

H6 : Les activités humaines jouent un rôle important dans la diffusion des arboviroses en général et particulièrement la peste équine chez les chevaux au Sénégal.

Ce chapitre répondra donc en partie à notre deuxième question de recherche Q2 en montrant que le facteur humain est un élément non négligeable dans la diffusion des maladies animales. Les chapitres **II. 2** et **II. 3** de cette deuxième partie mettent en évidence des mécanismes d'introduction, de diffusion du virus de la peste équine et un modèle de prévention et de lutte contre cette maladie.

Q3 : Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?

Le **II. 4** nous permet de faire l'étude de l'impact économique d'une maladie équine à l'échelle de l'éleveur du DFS par la réalisation de son compte d'exploitation, tout en évoquant sommairement le coût du contrôle de la lutte lors de l'épizootie de 2007 dans cette zone. Nous testerons l'hypothèse 7 suivante :

H7 : Le cheval mérite plus de considération dans le contexte du Delta du fleuve Sénégal par son rôle socio-économique.

Le **II. 4** permet de montrer que des maladies telles que la peste équine peuvent contribuer à accentuer la pauvreté en milieu rural et même urbain.

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

L'étude de la circulation du virus de la fièvre West Nile, nous a amené à faire un suivi longitudinal de chevaux sentinelles dans le DFS. Le signalement des chevaux a été utilisé pour retrouver ces animaux sentinelles durant le suivi. Cela consistait à noter la race, le sexe, la taille, l'âge, la robe, les marques particulières telles que la description des balzanes, d'entête, de liste, la localisation des différents épis, les marques réalisées au fer rouge, les cicatrices pour chaque cheval. A ces informations s'ajoutaient le nom, l'adresse et le numéro de téléphone du propriétaire.

Le suivi d'une cohorte de chevaux sentinelles pour la fièvre West Nile nécessitait des prélèvements de sang répétés alors que les éleveurs sont souvent réticents à ce type d'intervention sur les animaux. Une première mission de sensibilisation a été alors organisée avec des rencontres avec les propriétaires de chevaux au niveau de chacune des trois zones écologiques que sont St-Louis, Ross Béthio et Richard Toll. Les services vétérinaires publics et les vétérinaires privés ont été associés à ces rencontres avec les éleveurs. Les 2 premiers foyers de peste équine, rapportés en mars et mai 2007 dans la région de Dakar et qui ont précédé cette étude, ont facilité l'acceptation de l'enquête dans le DFS. En guise de compensation, des engagements visant à effectuer un retour régulier d'informations sur les résultats ont été pris. Les prises de sang ont rigoureusement respecté les conditions habituelles du bien-être animal et les règles d'éthique. L'agent des services vétérinaires en poste à Ross-Béthio a supervisé l'ensemble des prélèvements effectués au cours de cette étude.

A. Collecte de sérums de chevaux et analyses sérologiques

Les prélèvements de sang se sont déroulés le matin par ponction de la veine jugulaire à l'aide de tubes Vacutainer[®] de type Venoject, stériles de 5 ml avec aiguille de 20 G (**Annexe 1. F**). Pour chaque prélèvement, du coton imbibé d'alcool à 70° a été utilisé pour la désinfection de la zone de ponction. Le sang prélevé est ensuite gardé à la température ambiante et les sérums sont récoltés le soir avec des micropipettes à embout de 1 ml après une centrifugation à 1500 tours par minute pendant 5 minutes. Ils sont versés dans des tubes Nunc[®] de 1,8 ml et sont immédiatement mis au congélateur à -20° C jusqu'à leur analyse.

Les analyses sérologiques visent dans cette présente étude à détecter des anticorps dirigés contre les virus West Nile et peste équine. La présence des immunoglobulines de classe M (IgM) chez les équidés met en évidence une infection récente : la sécrétion d'IgM dirigées spécifiquement contre le virus West Nile est maximale environ deux semaines après

l'infection, puis elle diminue de façon rapide dans les semaines qui suivent (persistance jusqu'à 1 à 2 mois après l'infection).

La présence des immunoglobulines de classe G (IgG) témoigne d'une vaccination ou d'une infection ancienne. Les IgG peuvent persister pendant plusieurs années.

1. Tests immuno-enzymatiques indirects : *Enzyme Linked Immunosorbent Assay* (ELISA)

1.1. ELISA de compétition pour la détection des anticorps anti-WN

Il s'agit de la détection et de l'identification des anticorps IgG spécifiques, dirigés contre le virus West Nile par un ELISA de blocage.

Les cupules des plaques ELISA ont été sensibilisées (saturées) avec un antigène purifié du virus West Nile. Le test est réalisé en ajoutant les échantillons de sérums à tester, dilués au demi, dans les cupules. Les anticorps dirigés contre la protéine d'enveloppe (prM-E) qui seraient présents dans le sérum, forment un complexe antigène-anticorps. Après incubation puis lavage, le conjugué est distribué dans les cupules et se fixe aux sites antigéniques libres pour former un complexe antigène-anticorps.

Après incubation puis lavage, le chromogène substrat de la peroxydase est ajouté. L'apparition de couleur traduit l'attachement du conjugué à l'antigène, donc l'absence d'anticorps spécifiques anti- prM-E.

Au contraire, si l'attachement du conjugué à l'antigène est bloqué par la présence d'anticorps spécifiques dans l'échantillon à tester, le conjugué non attaché aura été éliminé au lavage et la couleur n'apparaîtra pas. L'absence de coloration signe une réponse positive ; la dégradation du substrat suivie d'une coloration signe une réponse négative.

1. 2. ELISA pour la détection des anticorps anti- peste équine

L'ELISA pour la détection des anticorps spécifiques dirigés contre le virus de la peste équine est également un ELISA de blocage. L'antigène utilisé est la protéine recombinante VP7 du sérotype 4 du virus de la peste équine.

Les cupules des plaques ELISA ont été sensibilisées (saturées) avec l'antigène recombinant. Le test est réalisé en ajoutant les échantillons à tester, dilués au 1/5, dans les cupules. Les anticorps dirigés contre la protéine VP7 (tous sérotypes) qui seraient présents forment un complexe antigène-anticorps. Après incubation puis lavage, le conjugué est distribué dans les cupules et se fixe aux sites antigéniques libres pour former un complexe antigène-anticorps.

Après incubation puis lavage, le chromogène substrat de la peroxydase est ajouté. L'apparition de couleur traduit l'attachement du conjugué à l'antigène, donc l'absence d'anticorps spécifiques anti- VP7.

Au contraire, si l'attachement du conjugué à l'antigène est bloqué par la présence d'anticorps spécifiques dans l'échantillon à tester, le conjugué non attaché aura été éliminé au lavage et la couleur n'apparaîtra pas, traduisant ainsi la présence d'anticorps spécifiques dirigés contre la protéine VP7 dans l'échantillon. Ce test a été réalisé avec le kit INGENASA[®] d'un laboratoire espagnol.

2. Tests de séroneutralisation

2.1. West Nile

La souche du virus de West Nile utilisée pour les tests de séroneutralisation (SN) est la souche égyptienne Eg101. La technique est basée sur l'effet cytopathique du virus WN sur certaines lignées cellulaires et sur l'effet neutralisant des anticorps éventuellement présents dans les sérums à tester vis-à-vis du virus. Les cellules utilisées sont des cellules épithéliales de rein de porc. Le protocole suivi est celui décrit par Chevalier et *al.* (2010) pour la séroneutralisation.

2.2. Peste équine

Un échantillon de sérums de chevaux positifs a été analysé par séroneutralisation contre la peste équine pour déterminer les sérotypes circulants selon la méthode décrite dans le chapitre 2.5.1 du Manuel des tests de diagnostic et des vaccins pour les animaux terrestres (OIE, 2008).

B. Suivi de chevaux sentinelles pour la West Nile

Il comporte trois volets que constituent la surveillance des signes cliniques chez les chevaux séroconvertis, le calcul de l'incidence sérologique pendant la période de suivi et le calcul du risque relatif par une étude exposés/non-exposés.

1. Etude longitudinale sérologique et clinique de la cohorte

D'août 2007 à juillet 2008, nous avons travaillé sur un effectif de 570 chevaux dans le Delta du fleuve Sénégal au niveau des trois différentes zones écologiques que sont St-Louis, Ross Béthio et Richard Toll (**Fig. 4, page 59**). Un échantillon de 138 chevaux (prévalence attendue de 90 % et précision absolue de 5 %) a été retenu dans le but d'avoir 13 à 14 chevaux négatifs dans chacune des trois zones pour pouvoir les suivre sur une année. La taille de l'échantillon prévu pour les chevaux négatifs n'ayant été atteinte qu'à St-Louis, nous avons procédé à un

second screening en octobre 2007. Celui-ci a porté sur 150 autres chevaux à raison de 50 à Ross Béthio et 100 à Richard Toll ; ce qui a amené le nombre d'animaux prélevés à 570. L'estimation de l'âge des chevaux s'est faite par le questionnement du propriétaire, suivi d'une vérification de la dentition selon la méthode décrite dans le manuel vétérinaire technique des agents d'élevage (IEMVT, 1988).

Après les étapes de prélèvement de sang, de collecte des sérums et de leur analyse par la méthode ELISA, les animaux ne présentant pas d'IgG anti WN, ont constitué les chevaux sentinelles et ont fait l'objet du suivi sérologique jusqu'en juillet 2008. Ils ont été prélevés en moyenne tous les deux mois pendant 11 mois. Pour éliminer les possibilités de réactions croisées, les sérums positifs ont à la fois été testés en séroneutralisation contre les virus West Nile et Usutu (Crill et Chang, 2004 ; Nikolay *et al.*, 2011).

2. Zone d'étude et modalités de surveillance

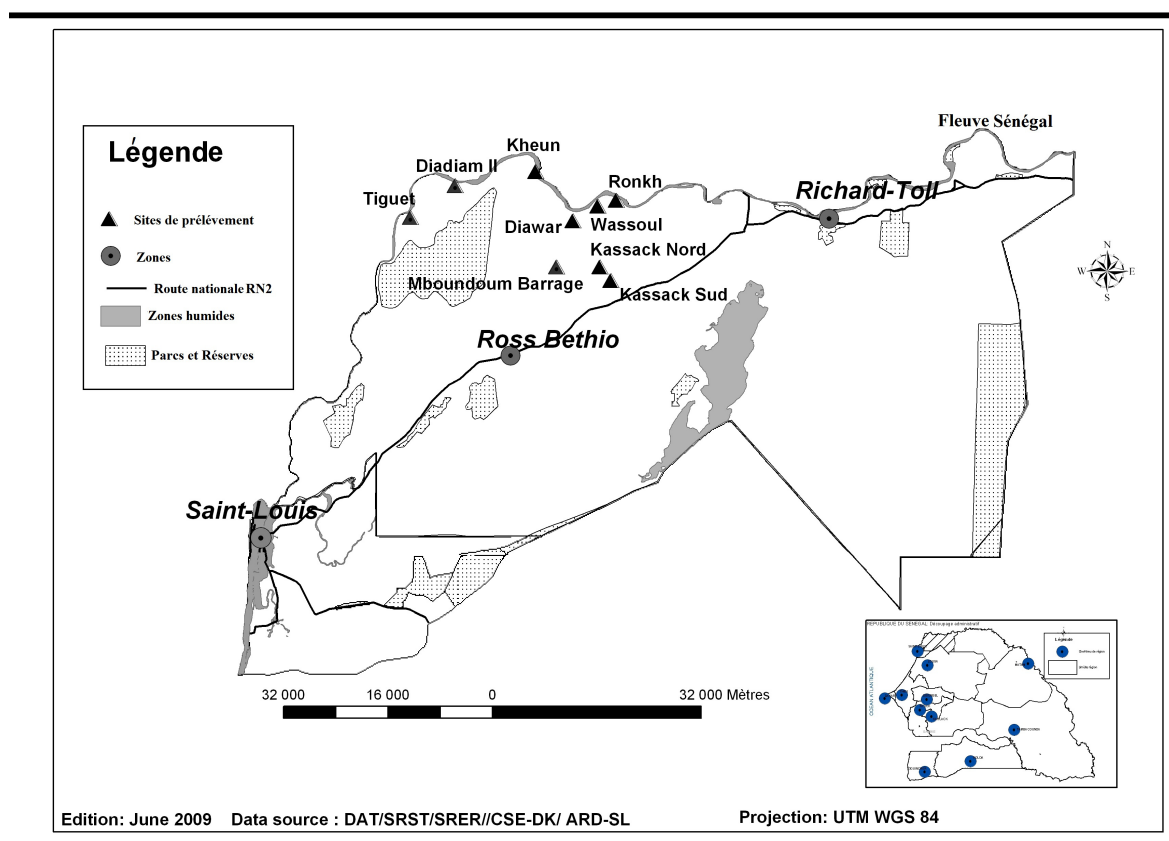


Fig. 4 : Les sites de prélèvements dans le Delta du fleuve Sénégal

La **figure 4** présente les aires protégées de la zone d'étude en l'occurrence les parcs du Djoudj et de la Langue de Barbarie ainsi que la réserve de Gueumbeul. D'autre part, elle schématise les différentes zones de prélèvements notamment la commune de St-Louis, celle de Richard-

Toll et les différents villages appartenant à la zone de Ross-Béthio. Il s'agit de Diawar, Kassack Sud et Nord, Kheun, Mboudoum Barrage, Ronkh, Wassoul et Tiguet.

Pour chaque zone, un vétérinaire privé était chargé du suivi sanitaire des chevaux séronégatifs. Son travail consistait à visiter régulièrement les chevaux sentinelles résidant dans sa zone. Il n'a pas d'information sur le statut sérologique des chevaux pendant le suivi pour éviter les biais. Les animaux qui présentaient une fièvre et/ou des signes nerveux devaient faire l'objet de prélèvements, de même que les chevaux morts. Ces vétérinaires ont également reçu une fiche technique pour le diagnostic de la West Nile afin de les sensibiliser à la maladie et de les inciter à envoyer des prélèvements en cas de troubles locomoteurs chez les chevaux qui viennent en consultation. Une enquête a été commanditée auprès des propriétaires de chevaux pour voir s'ils ont une fois rencontré des signes similaires aux symptômes de la WN.

3. Incidence sérologique de la West Nile

Les données de suivi des chevaux sentinelles sont utilisées pour le calcul de l'incidence sérologique pour la West Nile. L'objectif était de déterminer la période à laquelle se produit la transmission du virus West Nile chez les chevaux sentinelles dans le Delta du fleuve Sénégal.

On ne connaît pas la date exacte de la séroconversion qui est encadrée par la dernière date à laquelle l'animal était encore négatif, et la première à laquelle il a été trouvé positif. Il en va de même pour les dates de mortalité et plus généralement de sortie du suivi qui doivent être prises en compte pour le calcul des effectifs exposés au risque de séroconversion.

Dans ces conditions, il est préférable d'adopter une approche en temps discret, basée sur le calcul de probabilité d'incidence utilisant des diagrammes de Lexis. Les modalités pratiques sont données dans Lesnoff et *al.* (2007).

- **Définition des cas :**

Le cas représente l'unité statistique de la présente étude. Un cas probable est un cheval chez qui des IgG ont été identifiés par le test ELISA alors qu'un cas certain est un cheval présentant des anticorps neutralisants anti-WN lors du test de séroneutralisation. Le taux d'incidence a été déterminé par rapport aux cas certains. Les prélèvements ont été effectués aux six périodes suivantes :

- t_0 entre le 12 et le 19/08/2007 ;
- t_1 entre le 04 et le 10/10/2007 ;
- t_2 entre le 04 et le 09/01/2008 ;
- t_3 entre le 19 et le 21/02/2008 ;

- t_4 entre le 22 et le 24/04/2008 ;
- t_5 entre le 30/06 et le 02/07/2008.

Les dates supérieures de chaque période de prélèvement t_0 à t_5 ont été retenues pour définir les intervalles de calcul de l'incidence sérologique.

Pour une cohorte de chevaux donnée $i = \{1,2,3\}$, et à une date $t_j, j = \{0, \dots, 4\}$, on compte le nombre d'animaux présents n_{i,t_j} et encore séronégatifs.

A la date suivante t_k de prélèvements, $k = \{1, \dots, 5\}$, on compte :

- $s_{i,jk}$ animaux présents à t_j et sortis (mortalité, disparition, etc.) de la cohorte i pendant l'intervalle $[t_j, t_k)$. Chacun de ces animaux est compté pour 0,5 dans les effectifs initiaux à risque :

$$n_{i,t_j} - \frac{s_{i,jk}}{2}$$

- $m_{i,jk}$ animaux présents à j et qui ont présenté une séroconversion pendant $[t_j, t_k)$.

Ces animaux sont exclus des effectifs à risque pour l'intervalle suivant.

Le taux d'incidence $I_{i,jk}$ observé pendant l'intervalle $[t_j, t_k)$ est alors :

$$I_{i,jk} = \frac{m_{i,jk}}{n_{i,t_j} - \frac{s_{i,jk}}{2}}$$

Le taux d'incidence totale I_i observée dans la cohorte i sur l'ensemble de l'étude est :

$$I_i = 1 - \prod_{jk} (1 - I_{i,jk})$$

4. Risque relatif (RR)

Il s'agit d'une enquête à visée étiologique et plus précisément d'une enquête cohorte ou étude exposés/non-exposés qui a pour but d'établir des relations entre d'une part, l'entrée en contact des chevaux avec le virus West Nile (WN) et la zone écologique, et d'autre part, entre la séronégativité et l'âge des chevaux ; ce qui aboutira à la détermination du risque relatif (RR). De façon plus précise, la zone écologique est définie par la proximité de la mer. La proximité de la mer est un facteur limitant la prolifération des arthropodes vecteurs (Chevalier *et al.*, 2010).

St-Louis est une ville cotière, de ce fait, la cohorte des chevaux qui y réside, sera considérée comme le groupe de référence (**Fig. 5, page 62**). Richard-Toll est situé à 84 km de la mer et Ross-Béthio à 43 km de celle-ci, nous aurons une cohorte à plusieurs niveaux d'exposition incluant deux facteurs à étudier : la proximité de la mer et l'âge des chevaux.

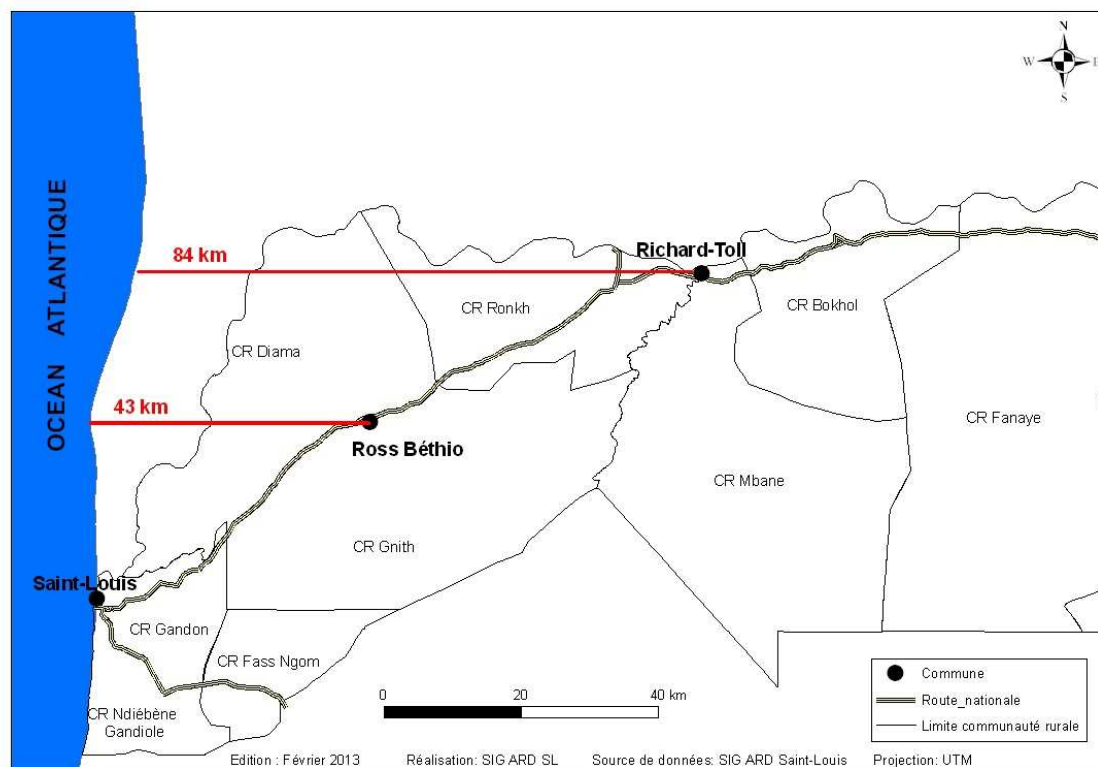


Fig. 5 : Distance séparant les différentes zones écologiques de la mer

Cette cohorte est dynamique, car un certain nombre de chevaux a été rajouté à l'effectif de départ, deux mois après le début du suivi. L'événement est l'entrée en contact des chevaux avec le virus de la West Nile qui se traduit par la présence d'anticorps, donc un statut sérologique positif. Le vaccin contre la WN n'est pas utilisé au Sénégal, par conséquent toute présence d'anticorps anti-WN révèle un contact avec le virus sauvage. Le statut sérologique est une variable dichotomique qui prend les valeurs 0 et 1 pour respectivement l'absence et la présence d'anticorps.

L'intérêt du calcul du risque relatif et de son intervalle de confiance est de donner la force, le sens et le degré de signification de l'association, alors que le test de chi-deux ne donne que le degré de signification de l'association.

C. Identification des sérotypes circulants du virus de la peste équine

1. Etude sérologique transversale

A la mi-août 2007, des prélèvements de sang ont été effectués sur 420 chevaux, selon les méthodes précitées pour la collecte de sérums et les analyses sérologiques. Des effectifs de 142, 139 et de 139 autres chevaux ont été respectivement prélevés dans la commune de St-Louis, la zone de Ross-Béthio et la commune de Richard-Toll. Nous retiendrons donc 142

animaux dans le département de St-Louis et 278 dans le département de Dagana. Un échantillon de 71 chevaux a été choisi de façon aléatoire parmi les positifs à l'ELISA pour être à nouveau testé en séroneutralisation pour un typage dans le but de connaître les sérotypes du virus de la peste équine circulant dans le Delta du fleuve Sénégal.

2. Modélisation de la transmission du virus de la peste équine dans le DFS

4.1. Notion du R_0 dans le contexte des foyers de 2007

On désigne par R_0 le taux de reproduction de base. C'est un concept clé de l'épidémiologie. Il est défini comme le nombre moyen attendu de nouveaux cas d'infection, engendrés par un individu infectieux moyen (au cours de sa période d'infectiosité) dans une population entièrement constituée de susceptibles.

Le taux de reproduction de base joue le rôle d'un coefficient multiplicatif. En effet, si on introduit un petit nombre d'infectés n , on obtiendra tout d'abord $R_0 n$ nouveaux infectés, puis $R_0^k n$ au bout de k étapes. Il s'agit d'une approximation au voisinage d'une situation où il y a peu d'infectieux, par rapport à la population totale. Ainsi si $R_0 > 1$, alors on observera une augmentation des cas, donc une épidémie, et si $R_0 < 1$, alors les cas disparaîtront. Le taux de reproduction de base apparaît donc comme susceptible de jouer le rôle d'un seuil pour les apparitions d'épidémie.

4.2. Modélisation de la transmission du virus de la peste équine

Le but de cette étude est de :

- Vérifier si la force d'infection est fonction de l'âge ;
- Mettre en évidence le taux auquel les chevaux naïfs s'infectent par le virus de la peste équine ;
- Calculer la probabilité à laquelle un cheval, naïf à la naissance, le reste à un âge t ;
- Examiner la sensibilité d'importants paramètres épidémiologiques estimés, comme l'âge moyen à l'infection, ainsi que les suppositions variées lors de l'interprétation des données fournies dans ces modèles ;
- Voir si l'âge d'infection sera déterminant pour la mise en œuvre des mesures de contrôle intégrées et l'analyse de risque des maladies.

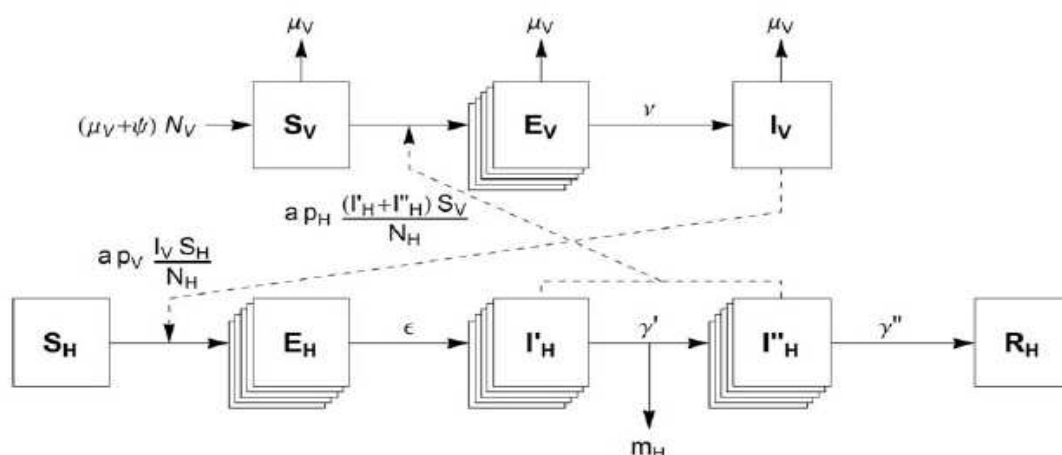


Fig. 6 : Représentation schématique du modèle S.E.I.R. vecteur-hôte d'après Backer et Nodelijk (2011)

Les animaux peuvent être susceptibles (S), exposés (E) ou infectés latents (Tucker et *al.*, 1985), infectieux (I) ou guéris (R), avec les indices V ou H qui indiquent le vecteur ou hôte. I' et I'' sont les nombres d'hôtes infectieux dans les première et deuxième classes des infectés. Les carrés empilés montrent que ce compartiment est divisé en plusieurs sous-ensembles. μ_V est le taux de la mortalité chez les vecteurs, $1/\mu_V$ est la durée de vie moyenne du vecteur, m_H la mortalité due à la maladie chez l'hôte, ψ est le taux d'adaptation de la population des vecteurs, p_H et p_V les probabilités de transmission hôte-vecteur et vecteur-hôte, N_H et N_V l'effectif d'hôtes et la taille de la population de vecteurs, ϵ et ν le taux d'infectiosité pour les hôtes et les vecteurs, $\square\square$ et $\square\square\square$ le taux du départ de la première et de la deuxième classes des hôtes infectés.

Le modèle de la transmission de Backer et Nodelijk (2011) a été adapté pour étudier la peste équine en zone endémique. La force d'infection (FOI) est le nombre de fois qu'un animal est exposé à l'infection par unité de temps. Elle a été estimée avec les données de séroprévalence en fonction de l'âge des chevaux prélevés en 2007 à St-Louis, Ross-Béthio et Richard-Toll. Le modèle a été utilisé pour dériver une expression mathématique mettant en relation la force d'infection (FOI) et les paramètres du modèle où le ratio vecteur-hôte joue un rôle important. Cela a été utilisé pour montrer comment le ratio vecteur-hôte varie en fonction de la prévalence chez le vecteur dans la zone d'étude. La différence principale entre la situation hollandaise pour laquelle le modèle a été conçu à l'origine et la situation sénégalaise est la présence d'ânes.

Dans le cycle de la transmission de la peste équine (**Fig. 2, page 32**) une fois infectés, les individus susceptibles (S) deviennent des infectés latents (Tucker *et al.*, 1985), ensuite ils passent au stade infectieux (I) avant de mourir de la maladie ou de guérir (R). Le modèle S.E.I.R. (**Fig. 6, page 64**) représente le nombre de susceptibles, d'infectés latents, d'infectieux et d'individus guéris dans chaque compartiment du modèle.

Les individus peuvent être des hôtes ou vecteurs avec respectivement les indices H et V. Pendant l'activité hématophage d'un vecteur infectieux (I_v), l'hôte susceptible (S_H) peut devenir un infecté latent (E_H), c'est-à-dire infecté mais pas encore infectant. La phase d'incubation de la maladie est caractérisée par une multiplication et une dissémination du virus dans l'organisme de l'hôte, cela aboutira à une virémie et aux symptômes cliniques associés lorsque l'hôte deviendra infectieux (I'_H).

Dans le modèle original, (m_H) est la proportion des chevaux qui meurent de l'infection dans ce compartiment et le reste évolue vers le deuxième compartiment infectieux. Dans notre cas, compte tenu de la séroprévalence élevée et de la faible mortalité enregistrées chez les chevaux de races locales dans les trois zones étudiées, la fraction (m_H) des hôtes infectieux avec la forme aiguë de la maladie qui meurent de l'infection après le premier compartiment infectieux (I'_H) est négligeable et est supposée égale à zéro. Par conséquent, tous les hôtes infectieux arrivent au deuxième compartiment infectieux du modèle (I''_H) et finalement ils se remettent de l'infection (R_H). La mortalité naturelle de l'hôte n'est pas estimée dans le modèle original, parce que la durée de vie moyenne de l'hôte compense largement la durée d'infection.

Dans notre modèle, pour la situation endémique, on suppose que tous les chevaux atteignent 20 ans, pour que la mortalité dans les compartiments S, E, I'_H et I''_H puisse être négligeables. Les hôtes peuvent être par conséquent susceptibles (S_H), infectés latents (E_H), infectieux (I_H) ou guéris (R_H) et le nombre total d'hôtes est exprimé comme suit :

$$N_H = S_H + E_H + I'_H + I''_H + R_H$$

Pour compléter le cycle de la transmission et propager la maladie, le virus doit être transmis aux vecteurs non infectés, donc susceptibles, par un hôte infectieux. Du fait de la présence d'une population de vecteurs et d'hôtes dans notre zone d'étude et chaque vecteur réalisant un nombre moyen de piqûres par jour (a), le nombre de piqûres journalières reçues par un hôte doit prendre en considération le ratio hôte-vecteur (ρ) et est exprimé de la façon suivante :

$$a * \rho$$

Considérant que tous les vecteurs ne sont pas susceptibles ou naïfs à tout moment, la probabilité qu'un repas de sang soit infectant pour le vecteur (P_V) doit prendre en considération la probabilité de transmission du virus de l'hôte au vecteur (P_H) et le ratio des susceptibles dans la population totale des vecteurs (S_V / N_V). La probabilité (P_V) est exprimée par la relation suivante :

$$P_V = P_H * \frac{S_V}{N_V}$$

N_V : population des vecteurs

La transmission du virus de l'hôte au vecteur (T_{HV}) est aussi limitée par la durée moyenne de la période infectieuse chez l'hôte exprimée comme suit :

$$T_{HV} = (m_H * T'_{\text{inf}, H} + (1 - m_H) T''_{\text{inf}, H}) \quad (\text{Keeling et Rohani, 2008}).$$

Dans notre cas, ($T''_{\text{inf}, H}$) est la durée moyenne de la période infectieuse chez l'hôte. L'expression du nombre moyen de vecteurs susceptibles, infectés par un même hôte infectieux

est :

$$V_{\text{inf}} = a * P_H * \rho * T'_{\text{inf}, H} * \frac{S_V}{N_V}$$

(1)

Un vecteur susceptible (S_V) devient infecté pendant le repas sanguin. Après infection, le vecteur infecté latent (E_V) entre dans sa période d'incubation (EIP) qui correspond au temps entre l'ingestion du virus et l'infectiosité du vecteur. La période d'incubation ($1/\nu$) est caractérisée par la multiplication et la dissémination du virus dans les glandes salivaires du vecteur (Bishop *et al.*, 2006).

La probabilité de survie des vecteurs durant leur période d'incubation $(k\nu/(k\nu + \mu_\nu))^k$ est exprimée en fonction de l'étape de l'incubation chez le vecteur et du taux de mortalité du vecteur (μ_ν). La température ambiante est le facteur principal qui détermine le taux de piqûres (a), le taux d'incubation (ν) et le taux de mortalité du vecteur (μ_ν), d'après les relations mathématiques exprimées dans les paramètres du **tableau II (page 67)**. Une approche stochastique a été utilisée pour la détermination de la FOI.

Tableau II : Paramètres utilisés dans l'analyse

Paramètres	Symbole	Valeurs par défaut	Fonction de distribution
Période infectieuse moyenne pour un hôte guéris (jours)	$T''_{inf, H}$	6	Normale
Mortalité chez l'hôte	m_H	0,7	Uniforme
Température minimale (moyenne)	T1	20,45	Normale
Température moyenne (moyenne)	T2	26,93	Normale
Température maximale (moyenne)	T3	33,42	Normale
Fréquence des repas sanguins	a	0,015T-0,125	
Taux d'incubation	v	0,0085*T-0,0821	
# d'étapes au cours de l'incubation chez le vecteur	k	10	
Taux de mortalité chez le vecteur	μ_v	0,015*exp(0,063*T)	
Probabilité transmission Hôte-vecteur	P_H	0,04	Gamma
Probabilité transmission Vecteur-hôte	P_v	0,77	Beta

La durée de vie moyenne d'un vecteur adulte dans des conditions climatiques favorables est approximativement de deux semaines et que les vecteurs restent infectés et infectieux pour la vie (Borkent, 2005). Le taux de la mortalité naturel du vecteur (μ_v) est inclus dans le modèle parce que nous supposons que chaque vecteur a la même probabilité de mourir indépendamment de son âge et/ou de sa classe. Chaque vecteur réalise un nombre moyen de repas sanguins par jour (a) pendant sa durée de vie moyenne ($1/\mu_v$). Le nombre de repas de sang par vecteur (n_r) pendant la période infectieuse est exprimé par la relation suivante :

$$n_r = a * \frac{1}{\mu_v}$$

Compte tenu du fait que tous les repas de sang n'entraînent pas la transmission du virus et que tous les hôtes sont susceptibles, pour dériver la formule selon laquelle la probabilité qu'une piqûre de culicoïde entraîne la transmission du virus à l'hôte, on doit tenir compte non seulement de la probabilité de transmission du virus du vecteur à l'hôte (P_v) mais encore du nombre de susceptibles dans la population des hôtes (S_H / N_H). La probabilité qu'un repas de sang entraîne une transmission du virus à l'hôte (P_H) est exprimée par la relation :

$$P_H = P_v * \frac{S_H}{N_H} \quad (\text{Keeling et Rohani, 2008})$$

N_H : population des hôtes.

Le nombre estimé d'hôtes susceptibles d'être infectés par le même vecteur infecté est :

$$a * P_v (K_v / (K_v + \mu_v))^K (1 / \mu_v) (S_H / N_H) \quad (2)$$

Chez les vecteurs, on ne notera que les compartiments des susceptibles (S_v), des infectés latents (E_v), et des infectieux (I_v), alors $N_v = S_v + E_v + I_v$

Dans les études concernant les arboviroses, R_0 est calculé comme une moyenne géométrique des deux étapes de transmission (1) et (2) (Backer et Nodelijk, 2011).

$$R_0 = \sqrt{a^2 * P_H * P_v * \rho * T_{inf H} (K_v / (K_v + \mu_v))^k (1 / \mu_v)} \quad (3)$$

Pour lier les paramètres du modèle à la force d'infection (λ), nous avons dérivé dans un premier temps une expression qui traduit le nombre de fois qu'un hôte est piqué par un culicoïde durant sa vie. Dans une population donnée de vecteurs et d'hôtes au niveau de notre zone d'étude, chaque vecteur réalise un nombre moyen de repas de sang par jour (a), le nombre de fois qu'un hôte est piqué par un vecteur durant sa vie (L) se traduit par la formule suivante: $a * \rho * L$. En revanche, comme toutes les piqûres ne proviennent pas de culicoïdes infectieux (I_v), en dérivant l'expression sur le nombre de fois que l'hôte est piqué par un vecteur infectieux durant sa vie, on prend en considération le ratio des culicoïdes infectieux sur toute la population de culicoïdes ou alors la prévalence dans la population de culicoïdes (I_v / N_v). Ce qui donne la formule suivante: $a * \rho * L * \frac{I_v}{N_v}$

En résumé, en tenant compte du fait que toutes les piqûres de culicoïdes infectieux n'entraînent pas la transmission du virus, la fréquence avec laquelle un culicoïde infectieux transmet efficacement le virus à l'hôte pendant sa durée de vie doit prendre en compte la probabilité qu'une piqûre de culicoïde infectieux sur un hôte susceptible soit infectante (P_v).

L'expression finale de la fréquence avec laquelle un culicoïde infectieux transmet le virus à un hôte susceptible pendant sa durée de vie est la suivante: $a * \rho * L * \frac{I_v}{N_v} * P_v$ (4)

Cette formule est équivalente au produit entre la force d'infection (λ) et la durée de vie de l'hôte (L);

$$a * \rho * L * \frac{I_v}{N_v} * P_v = \lambda * L.$$

Il en résulte que le ratio vecteur-hôte (ρ) est :

$$\rho = \frac{\lambda}{a * P_v} * \frac{N_v}{I_v} \quad (5)$$

Où $\frac{N_v}{I_v}$, correspond à $\frac{1}{prevalence}$ dans la population des vecteurs. Ce paramètre est

beaucoup plus facile à mesurer que le ratio vecteur-hôte (ρ) mais n'est également pas connu

dans notre zone d'étude. Dans les situations où la vaccination est systématique, une formule du taux de reproduction de base réel (R_v) doit être dérivée. (R_v) est défini comme étant le nombre moyen de nouveaux cas infectieux qui résultent d'un seul individu infectieux introduit dans une population dans laquelle l'étendue de l'infection est influencée par la vaccination et l'immunité acquise naturellement. Nous dérivons alors une formule de (R_v) dans le cas de notre zone d'étude puisque R_0 est la moyenne géométrique des deux étapes de la transmission (1) et (2). Dans ce cas, l'étape (1) de la transmission reste inchangée alors que l'étape (2) est modifiée pour faire apparaître la fraction critique de la vaccination (V_H). V_H est définie comme étant la fraction de chaque sous-groupe d'une population hétérogène qui doit être vaccinée pour éliminer la maladie de la population entière. L'étape (2) de la transmission devient alors :

$$a * P_v(K_v / (K_v + \mu_v))^K (1 / \mu_v) * (1 - V_H) \quad (6)$$

Le taux de reproduction de base réel devient :

$$R_v = R_0 * \sqrt{1 - V_H} \quad (7)$$

Etant donné que dans le cas où $R_v \leq 1$, seuls quelques foyers localisés pourront être observés mais pas d'épidémie, la couverture minimale requise pour la vaccination ou la fraction

critique de la vaccination est exprimée par cette formule : $V_H = 1 - \frac{1}{R_0^2}$ (8)

4.3. Les modèles utilisés

Les données de la séroprévalence de la peste équine en fonction de l'âge pour les différentes classes d'âge ont été analysées avec le logiciel R[®] (package Bhat) en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance ou *the Maximum Likelihood Estimation (MLE)* pour estimer la force d'infection (FOI). Le nombre de chevaux appartenant à une classe d'âge spécifique est noté (n_a), alors que le nombre de chevaux infectés dans une classe d'âge spécifique est (x_a). La probabilité d'être infecté selon l'âge a est donc $P_{inf}(a)$. La formule générale du modèle

est:
$$\log lik = \sum_a \left(\log\left(\frac{n_a}{x_a}\right) * (P_{inf}(a)^{x_a}) * (1 - P_{inf}(a))^{n_a - x_a} \right) \quad (9)$$

La probabilité d'être infecté selon l'âge est fonction de la force d'infection (FOI) qui est différente pour les hypothèses testées dans le modèle qui sont basées sur la dépendance ou l'indépendance par rapport à la force d'infection. Pour tous les modèles, l'analyse des données a été faite en premier sur l'ensemble de la zone d'étude, c'est-à-dire en combinant les trois zones pour le modèle (A) puis en les séparant pour étudier chaque zone ; c'est le modèle B.

Dans nos premiers modèles A et B, nous supposons que la force d'infection (λ) est constante, l'infection est indépendante de l'âge et que chaque cheval naît susceptible. La probabilité d'être infecté à l'âge (a) :

$$(P_{\text{inf}}(a)) = (1 - e^{-\lambda a})$$

La probabilité de n'être pas infecté à l'âge (a) :

$$(e^{-\lambda a}) = (1 - P_{\text{inf}}(a))$$

Nos deuxièmes modèles A et B, ont considéré que l'infection est indépendante de l'âge et que la force d'infection est une constante, comme dans les premiers modèles, mais avec une proportion de la population de chevaux qui ne sont pas exposés aux piqûres des culicoïdes. Etant donné que la proportion des chevaux non exposés est notée pne , la probabilité d'être infecté à l'âge (a) :

$$(P_{\text{inf}}(a)) = (1 - e^{-\lambda a}) * (1 - pne).$$

Nos troisièmes modèles A et B considèrent que l'infection est dépendante de l'âge et que la force d'infection est linéaire. Etant donné que la force d'infection à la naissance est $\lambda(0)$ et l'infection en fonction de l'âge est représentée par la pente (b), la force d'infection devient

$$\lambda(a) = \lambda(0) - b * a \text{ et } (P_{\text{inf}}(a)) = (1 - e^{-(\lambda(0)*a - 0.5*b*a^2)})$$

Nos quatrièmes modèles A et B, considèrent également que l'infection est dépendante de l'âge et que la force d'infection est linéaire, mais avec une proportion de la population de chevaux qui ne sont pas exposés aux piqûres des culicoïdes (pne). C'est donc une combinaison de modèles 2 et 3. L'infection en fonction de l'âge est représentée par la pente (b), alors que la proportion des chevaux non exposés est notée pne pour ce modèle, $(P_{\text{inf}}(a)) = (1 - pne) * (1 - e^{-(\lambda(0)*a - 0.5*b*a^2)})$.

La méthode d'Akaike (*Akaike's Information Criterion AIC*) a été utilisée pour comparer les différents modèles. Plus la valeur d'AIC est faible, meilleur est le modèle pour la description des données. Si la différence entre les valeurs d'AIC obtenues pour les différents modèles est inférieure à 2, cela veut dire que ces modèles décrivent de la même façon les données ; une variation d'AIC entre 2 et 5 montrent de légères différences entre les modèles, alors qu'une variation d'AIC supérieure ou égale à 5 montre de réelles différences entre les modèles.

D. Mouvements saisonniers de chevaux : analyse de risque d'infection

Les informations ont été recueillies entre janvier et décembre 2009 au niveau des Services régionaux d'Elevage (SREL), de la Direction des services vétérinaires (DSV), de la Direction de l'Elevage (DIREL), de la Direction de l'Elevage Equin (DEQUIN) et des grands marchés de commercialisation des chevaux, en l'occurrence celui de Mpal, de Dahra, de Dinguiraye, de Birkélane, de Sagatta Guét, de Toubatoul, de Payar et Touba. Ces différents marchés ont été choisis suite à une enquête préliminaire réalisée chez les vendeurs de chevaux des marchés de Mpal et de Dahra, et à la suite d'un entretien téléphonique avec les différents chefs des SREL. Il s'agit d'une étude qualitative dont le but est de décrire les mouvements des chevaux à l'intérieur du pays et d'établir des relations ou connexions entre les différents marchés hebdomadaires. Une grille d'entretien a été conçue à cet effet et des entretiens semi-dirigés suivis de discussions avec les chefs de *daral* ont été effectuées pour de plus amples informations sur les marchés respectifs. Un questionnaire a également été soumis aux vendeurs de chevaux de chaque marché. La présente étude qualitative n'a donc pas besoin de représentativité, la taille de l'échantillon n'est pas importante. Une approche qualitative de l'analyse de risque selon la méthode de Zepeda (Dufour et Pouillot, 2002) actualisée par l'Agence française de sécurité sanitaire (AFSSA, 2008) devrait générer des hypothèses sur l'introduction et la diffusion du virus de la peste équine. Les qualificatifs utilisés pour l'estimation de la probabilité de survenue sont les suivants :

- 0 : Nulle (N) ;
- 1 : Quasi-nulle (QN) ;
- 2 : Minime (M) ;
- 3 : Extrêmement faible (EF) ;
- 4 : Très faible (TF) ;
- 5 : Faible (F) ;
- 6 : Peu élevée (PE) ;
- 7 : Assez élevée (AE) ;
- 8 : Elevée (E) ;
- 9 : Très élevée (TE).

La probabilité de survenue de l'évènement correspond à la combinaison entre la probabilité d'émission et la probabilité d'exposition, il est donc nécessaire de définir des modalités de

combinaison entre les qualificatifs résultant de l'émission et ceux résultant de l'exposition. Les règles utilisées dans cette méthode sont les suivantes :

- une probabilité qualifiée de « nulle » combinée avec n'importe quelle autre probabilité conduit la probabilité résultante à être également « nulle » ;
- en dehors de toute combinaison avec une probabilité qualifiée de « nulle », la plus faible probabilité possible est « quasi-nulle » ;
- le croisement de deux qualificatifs conduit à un résultat identique ou, le plus souvent, inférieur au qualificatif le plus faible des deux ;
- le tableau de croisement est strictement symétrique suivant une diagonale ;
- il respecte la logique de progression des qualificatifs au sein d'une même ligne et d'une même colonne ;
- en appréciation qualitative, si les possibilités estimées sont de niveau différent, on retiendra que la probabilité résultante correspond au niveau le plus élevé de chacune des probabilités la composant, et non pas à l'addition de chacun des niveaux.

La combinaison de ces qualificatifs donne le tableau suivant (**Tableau III**):

Tableau III : Combinaison des événements pour la probabilité de survenue du risque

		<u>Probabilité d’émission</u>										
			N	QN	M	EF	TF	F	PE	AE	E	TE
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>Probabilité d’exposition</u>	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	QN	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	M	2	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	EF	3	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3
	TF	4	0	1	1	2	2	3	3	3	4	4
	F	5	0	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	PE	6	0	1	2	2	3	4	5	5	6	6
	AE	7	0	1	2	3	3	4	5	6	7	7
	E	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8
	TE	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Source : AFSSA, 2008

L'événement 1 est l'émission donc la probabilité d'introduction d'un cheval infecté par un sérotype du virus de la peste équine. L'appréciation de cet événement tient compte de la

prévalence dans le pays d'importation, de la vaccination contre la peste équine, du nombre de chevaux importés, de la durée d'infection.

L'événement 2 est l'exposition donc la probabilité d'apparition de cas dans le pays importateur. L'appréciation de l'événement 2 prend en compte le lieu d'introduction des animaux (Ex : postes vétérinaires frontaliers), leur destination, la densité des espèces réceptives (ânes et chevaux) et sensibles (chevaux), la présence de vecteurs.

L'estimation du risque est la résultante entre la probabilité de survenue et les conséquences liées au risque.

Les conséquences comportent deux parties :

- les conséquences en santé animale ;
- les conséquences en santé publique.

L'appréciation des conséquences doit distinguer les maladies non zoonotiques pour lesquelles l'appréciation des conséquences se limite à l'aspect santé animale, des maladies zoonotiques pour lesquelles cette appréciation intègre la dimension santé humaine, ou même les deux.

La peste équine n'étant pas une zoonose, seul l'aspect santé animale sera pris en compte dans cette étude. Il convient donc de distinguer :

- les conséquences sanitaires et économiques à l'échelle de l'éleveur (note de 0 à 3): elles correspondent aux conséquences micro-économiques directes et indirectes de la présence de la maladie chez l'éleveur et peuvent être modulées par l'existence de moyens de prévention ou de lutte efficaces, de leur coût, etc. ;
- la « diffusibilité » de la maladie dans la zone (note de 0 à 3) : il s'agit ici d'estimer la forme de la maladie (maladie épizootique dans le cas de la peste équine) ;
- les conséquences nationales et internationales de la maladie pour le Sénégal et surtout pour la filière équine (note de 0 à 3) : ces conséquences correspondent à des répercussions macro-économiques, notamment en termes de contraintes commerciales et du coût de la lutte et du contrôle de la maladie au niveau national. Elles sont influencées par la taille de la population et la valeur commerciale de la production soumises à ces contraintes.

Tableau IV : Notation pour l'appréciation de chaque critère des conséquences

Note	Correspondance qualitative
0	Les conséquences sont estimées nulles
1	Les conséquences sont estimées faibles
2	Les conséquences sont estimées moyennes
3	Les conséquences sont estimées élevées

Source : AFSSA, 2008

Tableau V : Correspondance entre le niveau des conséquences cumulées en santé animale et le qualificatif résultant

Niveau des conséquences cumulées	Qualificatif
0	Nul (N)
1	Quasi-nul (QN)
2	Minime (M)
3	Extrêmement faible (EF)
4	Très faible (TF)
5	Faible (F)
6	Peu élevé (PE)
7	Assez élevé (AE)
8	Elevé (E)
9	Très élevé (TE)

Source : AFSSA, 2008

Tableau VI : Estimation qualitative du risque résultant du croisement de l'estimation qualitative de la probabilité de survenue et de l'estimation qualitative des conséquences (N=Nulle, QN=Quasi-nulle, M=Minime, EF=Extrêmement faible, TF=Très faible, F=Faible, PE=Peu élevée, AE=Assez élevée, E=Elevée, TE= Très élevée)

		<u>Probabilité de survenue</u>										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			N	QN	M	EF	TF	F	PE	AE	E	TE
<u>Conséquences</u>	0	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	1-3	QN	N	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN
		M	N	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN	M
		EF	N	QN	QN	QN	QN	QN	QN	QN	M	EF
	4-6	TF	N	QN	QN	QN	M	M	EF	EF	TF	TF
		F	N	QN	M	M	EF	EF	TF	TF	F	F
		PE	N	M	EF	EF	TF	TF	F	F	PE	PE
	7-9	AE	N	F	F	F	PE	PE	PE	AE	AE	AE
		E	N	PE	PE	PE	AE	AE	AE	E	E	E
		TE	N	AE	AE	AE	E	E	E	TE	TE	TE

Source : AFSSA, 2008

E. Enquêtes sur la valeur économique du cheval et sur l'épizootie de peste équine de 2007 dans le DFS

L'étude a été réalisée entre janvier 2008 et décembre 2009 dans les zones de St-Louis, Ross-Béthio et Richard-Toll. Nous avons jugé possible de procéder à une estimation réaliste des données économiques nécessaires à l'élaboration de comptes d'exploitation pour les propriétaires de véhicules hippomobiles. Pour ce faire, la méthodologie utilisée par Ly et *al.*, (1998) a été utilisée. Les entretiens avec les charrettiens ont porté sur :

- le profil des charrettiens et propriétaires ;
- caractéristiques des animaux (âge, sexe, race, état général) ;
- élevage (rations alimentaires, hygiène de travail, maréchalerie et matériel de pansage) ;
- pathologies (maladies et affections courantes, moyens de couverture sanitaire et prophylaxie) ;
- attelages (types, état, harnachement, coûts d'investissement, d'entretien et de renouvellement, pneumatiques, durée de vie du matériel, types de chargement transportés).

Ensuite, nous avons recueilli des informations au niveau du service régional de l'Elevage (SREL) de St-Louis, des services départementaux (SDEL) et des grands marchés de commercialisation de chevaux susceptibles d'approvisionner le DFS, en l'occurrence ceux de Mpal et de Dahra pour estimer les pertes directes et indirectes engendrées par l'épizootie de peste équine à l'échelle du Delta du fleuve Sénégal. Le découpage administratif du Sénégal a subi des changements en 2008. Le nombre de régions est passé à 14 contre 11 en 2007. Nous avons voulu conserver les 11 régions pour une meilleure représentation cartographique. Rappelons que chaque région regroupe plusieurs départements, arrondissements, communes et communautés rurales.

F. Méthodes de traitement des données

1. Analyses statistiques

L'estimation de la prévalence chez les chevaux séronégatifs ainsi que les facteurs influençant la prévalence ont été déterminés par une approche de modélisation à deux étapes. Tout d'abord, une analyse inconditionnelle a été réalisée en utilisant le test de chi-deux ou le test Exact de Fisher (pour les effectifs < 5) pour étudier l'association entre chaque facteur et la prévalence des chevaux séronégatifs. A l'issue de cette analyse, seuls les facteurs présentant

une $p\text{-value} < 0,10$ ont été considérés comme des facteurs potentiels à inclure dans le modèle conditionnel de régression logistique (Rabe-Heskett et Everitt, 2004). Toutes les interactions entre les différentes variables du modèle final ont été étudiées pour vérifier si les différences observées étaient significatives. L'adaptabilité du modèle a été testée en utilisant le test de Hosmer-Lemeshow. La même approche de modélisation a été utilisée pour estimer la prévalence chez les chevaux sentinelles et pour déterminer parmi les facteurs âge, zone ou leurs interaction ; lequel influence la séroconversion des chevaux.

Les logiciels SPSS, R[®] et STATA ont été utilisés pour les statistiques descriptives, la régression logistique et le calcul de la force d'infection. Les données de la séroprévalence de la peste équine en fonction de l'âge pour les différentes classes d'âge ont été analysées avec le logiciel R[®] (R Core Team, 2010) en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance ou *the Maximum Likelihood Estimation (MLE)* pour estimer la force d'infection (FOI). ArcGIS 9.3 a été utilisé pour la confection des cartes.

2. Seuils de positivité retenus en sérologie

Pour l'ELISA West Nile, le sérum est considéré comme positif en IgG quand la différence entre la densité optique (DO) de l'antigène positif et de l'antigène négatif est supérieure à 0,200.

Le test est positif en séroneutralisation West Nile lorsque la réduction du nombre de plaques (PFU) est supérieure ou égale à 90 % à la dilution au 1/10. Dans ce cas, les plages de lyse (environ 3) doivent être parfaitement dénombrables à la dilution de 1/90. Les cupules de contrôle avec le sérum positif de référence, ainsi que le contrôle avec des cellules sans virus ne doivent pas comporter de plages de lyse et le tapis cellulaire doit être de couleur bleu et confluent.

En séroneutralisation de la peste équine, le seuil de positivité de la technique est au moins un titre de 1/32.

Nous présenterons dans les prochains chapitres les différents résultats de cette étude. Nous nous intéresserons dans le **chapitre 2 (II. 1)** à la circulation du virus de la West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal pour répondre à notre première question de recherche (Q1).

Chapitre 2 : Résultats

II.1. SUIVI DES CHEVAUX SENTINELLES

Cette étude doit nous permettre de répondre à notre première question de recherche Q1: *L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile serait-elle liée à une absence de diagnostic ?*

Pour répondre à cette question de recherche, nous vérifierons les trois hypothèses suivantes :

H1 : Il n'existe pas de cas clinique de fièvre West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal ;

H2 : Le virus West Nile circule dans la population équine du Delta du fleuve Sénégal mais n'est ni connu par les techniciens vétérinaires ni par les éleveurs de chevaux ;

H3 : La période de séjour des oiseaux migrateurs correspond à celle de la transmission du virus West Nile aux chevaux.

H4 : L'âge des chevaux et leur zone écologique constituent des facteurs de risque d'infection au virus de la West Nile.

Le suivi de cohortes de chevaux sentinelles, le calcul des incidences et du risque relatif, et les enquêtes menées auprès des propriétaires et vendeurs de chevaux, et des services vétérinaires nous permettront de vérifier ces quatre hypothèses.

A. Suivi sérologique de chevaux sentinelles par rapport à la fièvre West Nile

Ce travail fait suite à une étude transversale réalisée par Chevalier et *al.* (2010) pour déterminer la prévalence sérologique du virus West Nile (VWN) dans le Delta du fleuve Sénégal. L'absence de cas clinique diagnostiqué nous amène à entreprendre une étude longitudinale par le suivi d'une cohorte unique.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'incidence, la période de circulation ainsi que le risque d'entrée en contact avec le virus de la fièvre West Nile (FWN) au sein de trois cohortes de chevaux dans le Delta du fleuve Sénégal, et de surveiller d'éventuelles manifestations cliniques de la maladie chez les équidés qui, jusqu'à ce jour, n'ont jamais été rapportées au Sénégal.

Un premier screening au mois d'août 2007 a révélé 35 séronégatifs sur 420 chevaux alors que celui d'octobre 2007 n'en a détecté que 3 sur 150. Sur 570 sérums, 38 étaient négatifs soit 6,7 % à raison de 14,8 % à St-Louis, 5,8 % à Ross Béthio et 2,5 % à Richard-Toll (**tableau VII, page 79**).

Tableau VII : Répartition des chevaux par zone

Zone	ELISA West Nile		Total
	Non infectés	Infectés	
St-Louis	21 (14,8 %)	121 (85,2 %)	142
Ross-Béthio	11 (5,8 %)	178 (94,2 %)	189
Richard-Toll	6 (2,5 %)	233 (97,5 %)	239
Total	38	532	570

Le **tableau VII** présente le statut sérologique des chevaux dans les trois différentes zones vis-à-vis du virus de la fièvre West Nile au début de l'étude. Les animaux non infectés ont constitué les cohortes de chevaux séronégatifs représentées par la portion blanche des camemberts de la **figure 7**. Cette figure présente les parcs, les réserves et les cours d'eau du DFS et met en évidence par le symbole du cheval, les localités où des reconversions ont été enregistrées parmi les chevaux initialement séronégatifs.

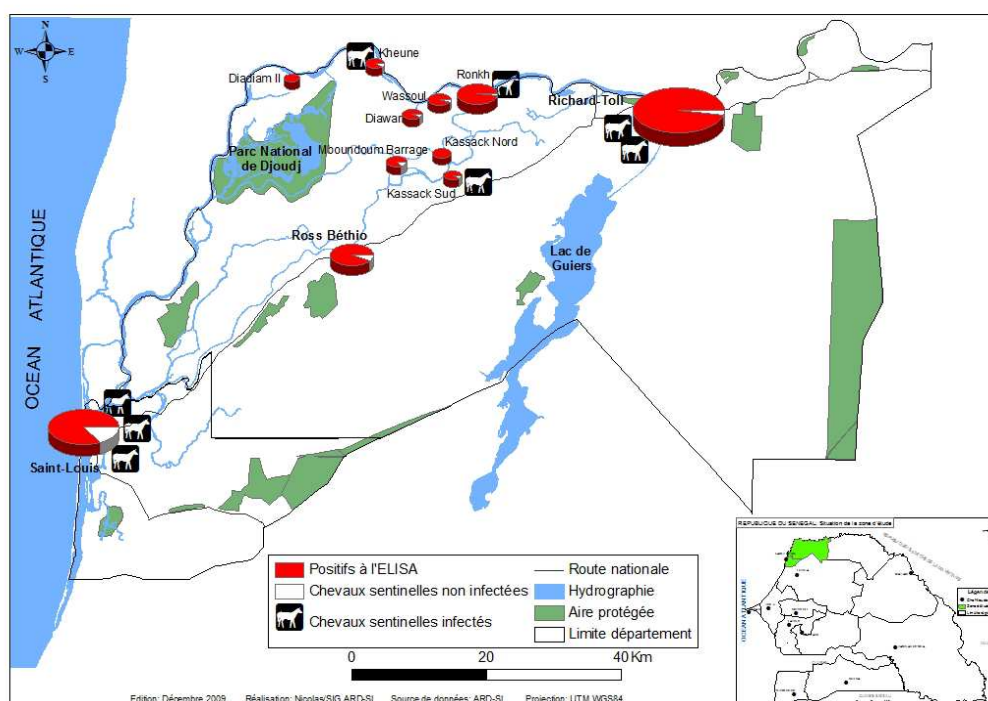


Fig. 7 : Répartition des chevaux sentinelles séroconvertis au virus West Nile

Les résultats des analyses de sérums en ELISA montrent que la prévalence sérologique contre le virus WN était différente dans les trois zones ($\chi^2 = 21,9076$, $df = 2$, $p\text{-value} = 1,749e-05$).

La prévalence est plus élevée à Richard-Toll qu'à Ross-Béthio et à St-Louis. Cette prévalence très élevée a rendu difficile l'identification d'animaux séronégatifs pour le suivi de l'incidence. Ce gradient de prévalence suit un axe Ouest-Est en s'éloignant de la mer.

Lors du suivi des 38 chevaux sentinelles, un premier sérum a été confirmé positif par séroneutralisation dès octobre 2007 puis sept autres séroconvertis sont détectés à l'ELISA en janvier 2008 avec des densités optiques (DO) supérieures à 0,900 pour les immunoglobulines G (IgG).

Les pics en IgG ont été observés en février chez sept animaux ayant présenté des anticorps neutralisants. La plupart des chevaux positifs confirmés ont un âge compris entre 5 et 8 ans.

A la date du 2 juillet 2008, 7 chevaux sur les 8 positifs confirmés par la séroneutralisation ont été retrouvés, mais aucun d'entre eux n'a présenté de symptômes de la fièvre West Nile.

Deux chevaux sont morts durant le suivi. La cause des décès n'a pas été déterminée. Le premier décès a été enregistré à Ross-Béthio après notre visite d'octobre 2007, tandis que le second a eu lieu à Richard-Toll après notre visite d'avril 2008.

L'enquête réalisée auprès de 244 propriétaires de chevaux a révélé que 47 % d'entre eux savent que les moustiques peuvent transmettre des maladies aux animaux mais tous ignorent la fièvre West Nile et n'ont pas constaté des symptômes qui lui sont similaires chez les chevaux de la zone. Aucun vétérinaire praticien et aucun chef de poste vétérinaire ne connaissaient la fièvre West Nile au début de cette étude.

B. Incidence de la fièvre West Nile

- Taux d'incidence observé

Pour les intervalles de confiance, on adopte une méthode de ré-échantillonnage stratifié non paramétrique (Davison et Hinkley, 1997). Les strates sont constituées par les cohortes de chevaux (sites). A chaque itération du ré-échantillonnage, on tire au sort avec remise dans chaque cohorte un échantillon de chevaux (identificateurs) de même taille que l'échantillon initial, et on prend toutes les données sérologiques relatives à ce nouvel échantillon. On calcule ensuite les incidences de la même manière que sur l'échantillon initial et on stocke les résultats. On répète l'opération un grand nombre de fois ($B=1000$). On calcule l'intervalle de confiance de chaque incidence ou de toute combinaison de ces incidences (différence, etc.),

en utilisant les quantiles empiriques de la distribution obtenue, par exemple quantiles 2,5 % et 97,5 % pour un intervalle de confiance à 95 %.

1. Incidence globale

L'incidence globale est de $I = 0,19$ soit 19 % sur les trois cohortes et pour l'ensemble de la période d'étude, avec un intervalle de confiance à 95 % [0,06 ; 0,32].

2. Incidence par cohorte

Tableau VIII : Incidence sérologique de la West Nile selon la zone chez les chevaux du DFS

	I_C	$B_{2,5\%}$	$B_{97,5\%}$
Richard-Toll	0,47	0,00	1,00
Ross-Béthio	0,28	0,00	0,58
St-Louis	0,10	0,00	0,25

Le test global de comparaison de proportions (test de Fisher) fournit une probabilité de 9,7 % pour que la distribution d'incidence observée dans les cohortes soit due au hasard ; ce qui signifie qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse que la différence d'incidence entre les cohortes soit due au hasard (**Tableau VIII**).

3. Incidence par période

Deux pics d'incidence ont été observés d'une part entre le 11 octobre 2007 et le 9 janvier 2008, et d'autre part entre le 22 février et le 24 avril 2008 (**Tableau IX**). Les effectifs de chevaux prélevés sont cependant trop faibles (10 et 7, respectivement) pour que des conclusions fiables puissent être tirées, car les tests statistiques associés manquent de puissance.

Tableau IX : Incidence sérologique de la West Nile selon la période chez les chevaux du DFS

Période	$I_{\text{période}}$	$B_{2,5\%}$	$B_{97,5\%}$
19 août-10 oct. 2007	0,00	0,00	0,00
11 oct. 2007-09 janv. 2008	0,38	0,05	0,66
10 janv.-21 févr. 2008	0,05	0,00	0,16
22 févr.-24 avr. 2008	0,42	0,00	1,00
25 avr.-02 juil. 2008	0,00	0,00	0,00

Le test global de comparaison de proportions sur la période d'étude (test de Fisher) fournit une probabilité de 5,8 % pour que la distribution d'incidence observée dans le temps soit due au hasard ; cela signifie que la différence d'incidence entre les différentes périodes est quasi significative et que l'infection des chevaux se déroule prioritairement en saison sèche (octobre à avril).

C. Risque relatif (RR) des chevaux par rapport à la West Nile

Le tableau X présente les chevaux séroconvertis donc devenus positifs, dans le groupe des animaux sentinelles au cours des 11 mois de suivi. Il montre un gradient croissant des prévalences sérologiques vis-à-vis de la West Nile de St-Louis à Richard-Toll (Ouest-Est). Les résultats présentés dans ce tableau ont fait respectivement, l'objet de tests ELISA et séroneutralisation pour écarter les possibilités de réactions croisées avec d'autres *Flavivirus*.

Tableau X : Distribution selon l'âge et la zone écologique des chevaux sentinelles positifs en séroneutralisation dans le DFS

Facteurs	Niveaux d'exposition	Population à risque	Séropositifs en SN (%)	IC à 95 %
Zone	Richard Toll	5	2 (40,0 %)	(5,3-85,3)
	Ross Béthio	11	3 (27,3 %)	(6,0-61,0)
	St-Louis	21	3 (14,3 %)	(3,0-36,3)
Age (années)	≥ 8	7	1 (14,3 %)	(0,4-57,9)
	≥ 5 et < 8	23	7 (30,4 %)	(13,4-52,9)
	< 5	7	0 (0 %)	(0,0-34,8)
Total		37	8 (21,6 %)	(9,8-38,2)

Les données obtenues durant le suivi des chevaux sentinelles étant très faibles et par conséquent, donnant une faible puissance aux calculs statistiques (**tableau X**), l'option a été prise de traiter les données obtenues lors du screening (**tableau XI, page 83**) selon la même méthodologie. Ces résultats présentent le même gradient croissant des prévalences sérologiques vis-à-vis de la West Nile de St-Louis à Richard-Toll (Ouest-Est), en tenant compte du nombre de chevaux séronégatifs.

Tableau XI : Distribution selon l'âge et la zone écologique des chevaux séronégatifs en ELISA de compétition dans le DFS

Facteurs	Niveaux d'exposition	Population à risque	Séronégatif (%)	IC à 95%
Zone*	Richard Toll	193	5 (2,6 %)	(0,8-5,9)
	Ross Béthio	174	11 (6,3 %)	(3,2-11,0)
	St-Louis	113	21 (18,6 %)	(11,9-27,0)
Age (années) +	≥ 8	139	7 (5,0 %)	(2,0-10,1)
	≥ 5 et <8	296	23 (7,8 %)	(5,0-11,4)
	< 5	45	7 (15,6 %)	(6,5-29,5)
Total		480	37 (7,7 %)	(5,4-10,5)

*Significatif à 5 % ($p < 0,05$)

+Significatif à 10 % mais pas à 5 % donc considéré comme une variable indicateur potentielle et incluse dans le modèle de régression logistique.

IC, intervalle de confiance.

La **figure 8 (page 84)** montre que plus les chevaux avancent en âge, moins ils ont de chance de rester séronégatifs. Elle montre également que le nombre de chevaux séronégatifs vis-à-vis de la West Nile est plus élevé à St-Louis, qu'à Ross-Béthio et Richard-Toll. La plupart des chevaux séronégatifs dont l'âge dépasse 8 ans résident à St-Louis.

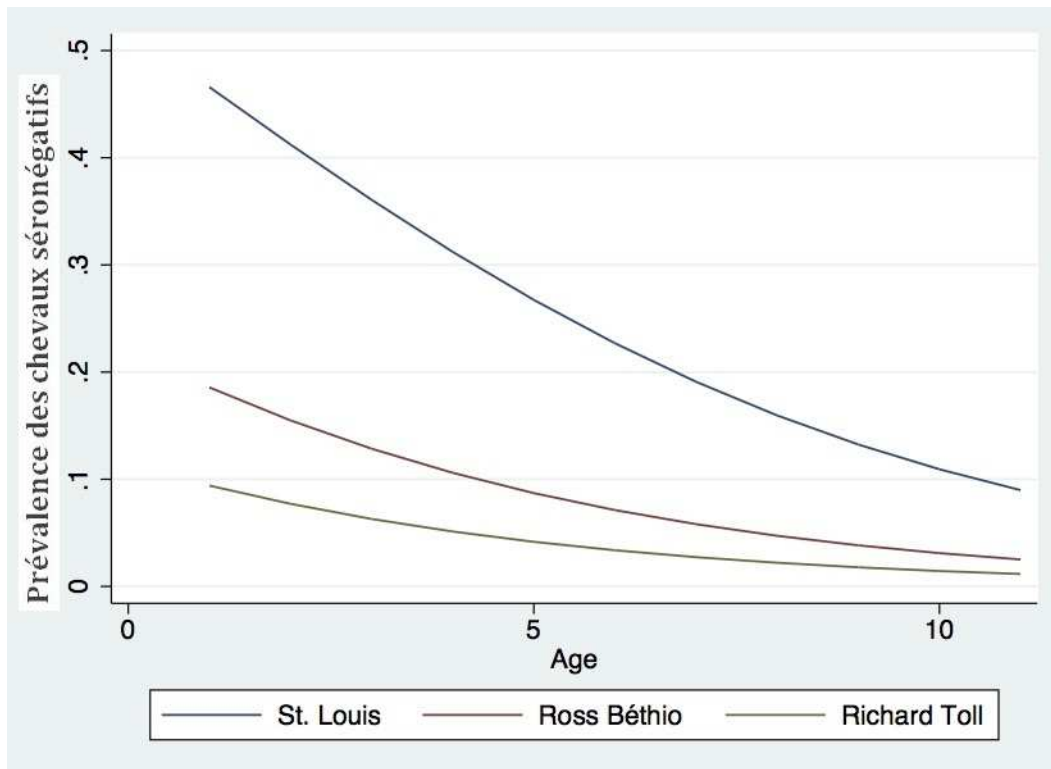


Fig. 8 : Statut sérologique des chevaux sentinelles en fonction de l'âge

L'analyse conditionnelle par la regression logistique montre que l'âge et la zone sont significativement associés à la séronégativité de la WN. Le test d'adaptabilité de Hosmer-Lemeshow indique que le modèle est bien adapté aux données (*chi-deux* = 5,15 ; *p-value* = 0,5247). Les risques relatifs estimés et leurs intervalles de confiance à 95 % sont présentés dans le **tableau XII**.

Tableau XII : Analyse conditionnelle des facteurs d'exposition associés à la séronégativité au virus WN chez chevaux du DFS

Facteurs	Niveaux d'exposition	Risque Relatif	95% C.I.	<i>p-value</i>
Zone	Richard Toll	0,11	0,04-0,30	< 0,001
	Ross Béthio	0,26	0,12-0,57	0,001
	St-Louis	1	ref	
Age (années)	≥ 8	0,24	0,07-0,77	0,016
	≥ 5 et < 8	0,33	0,13-0,88	0,027
	< 5	1	ref	

CI: Intervalle de confiance; ref: groupe de référence

L'analyse conditionnelle par la regression logistique a permis de détecter un risque relatif (RR) de 0,11 à Richard-Toll et de 0,26 à Ross-Béthio qui sont très inférieurs à 1, donc l'association entre l'entrée en contact des chevaux avec le virus WN et la proximité de la mer est forte (**Tableau XII, page 84**). Le même tableau montre que les différents intervalles de confiance du risque relatif à 95 % ne contiennent pas la valeur 1 ($p\text{-value} < 0,05$), cela veut dire que le test est significatif. Le fait que la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % soit inférieure à 1, signifie qu'il existe un risque moindre d'entrer en contact avec le virus de la WN lorsque le cheval est dans une zone située à proximité de la mer. Ce facteur peut être considéré comme un **facteur protecteur**. Un RR de 0,26 et 0,11 pour un facteur protecteur est l'équivalent d'un RR de **26** et **11** pour un facteur de risque. En résumé, pour un cheval résident dans la zone de Ross-Béthio, le risque d'entrée en contact avec le virus de la West Nile est 26 fois supérieur à celui d'un cheval vivant à St-Louis. Ce risque est 11 fois supérieur pour un cheval vivant à Richard-Toll. Il en est de même pour l'âge, le risque d'entrée en contact avec le virus de la West Nile serait 33 fois supérieur pour les chevaux ayant entre 5 ans et 8 ans par rapport à celui d'un cheval de moins de 5 ans. Ce risque serait 24 fois supérieur pour un cheval de plus de 8 ans. Les facteurs d'exposition que sont l'âge des chevaux et la zone écologique, pourraient être considérés comme des facteurs de risque.

L'enquête exposés/non-exposés ne peut pas démontrer une relation causale mais elle offre un maximum de présomptions.

Nous nous intéresserons dans la suite du chapitre 2 (**II. 2**) à la circulation du virus de la peste équine chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal.

II.2. CIRCULATION DES SÉROTYPES DU VIRUS DE LA PESTE EQUINE AU SENEGAL

Ces travaux devraient nous permettre de répondre à notre deuxième question de recherche Q2 : *Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?*

Nous testerons dans ce chapitre l'hypothèse suivante :

H5 : L'élimination du virus de la peste équine chez les chevaux en vue d'une éradication, est possible au Sénégal.

Pour tester cette hypothèse, nous ferons d'abord la situation des sérotypes du virus de la peste équine qui circulent dans le DFS, par la suite nous déterminerons le taux de reproduction de base (R_0) et la fraction critique vacinale (V_H) à partir de la force d'infection (λ).

A. L'épizootie de peste équine au Sénégal en 2007

1. La maladie dans le pays

Apparu le 15 mars 2007 dans le département de Rufisque, le premier foyer de peste équine s'est étendu, à partir du 21 mai 2007, au département de Pikine, faisant 23 morts parmi les chevaux des haras privés de Niaga et de Petit Mbao. Ces foyers furent rapidement éteints à la faveur de l'intervention des services vétérinaires qui ont procédé à la vaccination gratuite de plus de 6000 chevaux dans la région de Dakar, ainsi qu'à la désinsectisation et à la désinfection de l'ensemble des écuries touchées.

Le diagnostic et le sérotypage réalisés par les laboratoires de Pirbright au Royaume-Uni et de Onderstepoort en Afrique du Sud ont révélé la circulation d'un nouveau type de virus : le sérotype 2. Il s'agit donc d'un nouvel événement épizootique au sein d'une situation endémique, notifiable auprès de l'Organisation mondiale pour la santé animale (OIE).

C'est avec l'installation de la saison des pluies à partir de juin 2007, période favorable à la prolifération et à la dissémination des arthropodes vecteurs mais aussi aux mouvements des chevaux, que d'autres foyers ont éclaté dans 23 autres départements du pays dont 21 ont enregistré des mortalités (**Fig. 9, page 87**) ; ce qui ramène à 25 le nombre de départements infectés.

Le cumul des mortalités enregistrées par les services vétérinaires s'élève à 1137 chevaux, ce qui donne un taux de mortalité global estimé de 0,21 %.

La peste équine est une maladie à déclaration et à vaccination obligatoires. Le vaccin jusqu'alors utilisé au Sénégal est un vaccin vivant, atténué qui immunise contre le sérotype 9.

Suite à l'apparition de l'épizootie, un vaccin polyvalent immunisant contre les sérotypes 1 à 9 a été utilisé. Toutefois, malgré l'augmentation du nombre d'animaux vaccinés, la couverture vaccinale était insuffisante pour permettre un impact durable sur le contrôle de cette maladie.

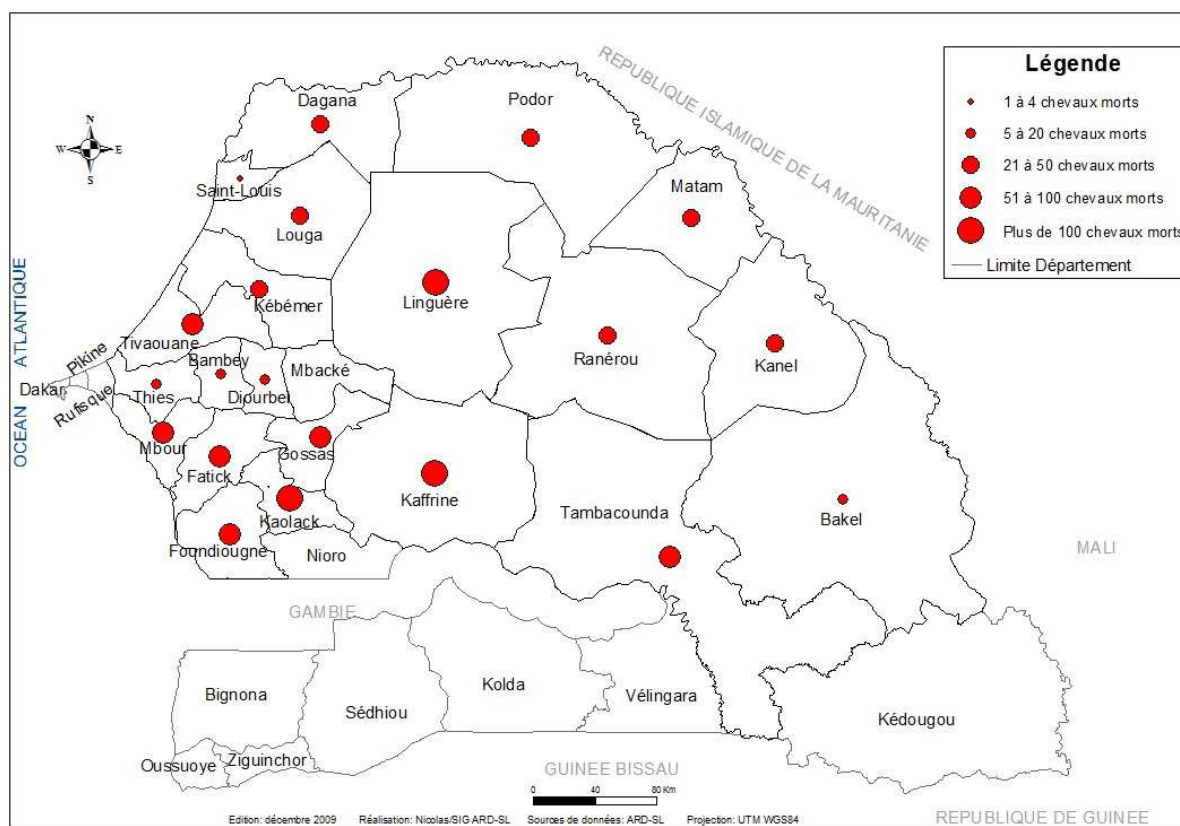


Fig. 9 : Importance des mortalités dues à la peste équine en 2007 au Sénégal

2. Evolution de la maladie dans la région de St-Louis

Le département de Podor a enregistré un total de 42 mortalités. Les premiers foyers ont été signalés à Namarel et Dodel au début du mois de septembre 2007, ensuite la maladie s'est répandue à Mbiddi, Pété, Niandane, Diatar, Galoya, Tarédji, Aéré Lao et Ndioum. Ndioum fut la dernière localité où une mortalité a été rapportée le 1^{er} octobre 2007. Dès l'apparition de la maladie, une vaccination d'urgence a été effectuée dans le but de réaliser un cordon de sécurité pour limiter l'évolution de la maladie. Une vaccination de masse a été conjointement effectuée dans le département de Podor entre le 11 septembre et le 12 décembre 2007 par les vétérinaires privés et les agents du service public. Signalons que sur le seul prélèvement de sang qui a pu être acheminé au laboratoire, le sérotype 9 a été diagnostiqué.

Les premiers cas de peste équine dans le DFS lors de l'épizootie de 2007 ont été enregistrés le 11 septembre pour le département de Dagana et le 24 septembre pour celui de St-Louis. La

dernière mortalité a été rapportée le 18 octobre 2007 à Dagana. On peut donc constater que l'évolution de la maladie dans le DFS a été plus longue qu'à Podor, en revanche, un nombre inférieur de mortalités a été enregistré. Les trois zones d'étude en l'occurrence St-Louis, Ross Béthio et Richard Toll ont connu 10 foyers qui totalisent 32 mortalités parmi lesquelles deux à St-Louis et 30 dans le département de Dagana. Dix huit mortalités sont survenues en septembre et 14 en octobre. Des deux chevaux morts à St-Louis, le sérotype 9 a été isolé dans l'un des prélèvements et les sérotypes 2 et 9 dans l'autre.

B. Etat des connaissances sur les sérotypes du virus de la peste équine avant l'utilisation du vaccin polyvalent en 2007

Cette étude a été réalisée avant l'introduction et l'utilisation pour la première fois au Sénégal du vaccin polyvalent contre la peste équine le 24/08/2007.

L'ELISA de blocage a révélé 381 positifs sur 415 chevaux car quatre sérums dont les résultats sont douteux n'ont pas été pris en compte. Trente quatre sérums se sont révélés négatifs, car ne présentant pas d'anticorps anti-virus de la peste équine (**Tableau XIII**). La prévalence sérologique globale est de 91,81% ainsi répartie : 89,85% à St.-Louis ; 86,13% à Ross-Béthio et 99,28% à Richard-Toll.

Tableau XIII : Répartition des résultats sérologiques des chevaux par zone

Zone	ELISA peste équine		Total
	Non infectés	Infectés	
St-Louis	14 (10,14 %)	124 (89,85 %)	138
Ross-Béthio	19 (13,87 %)	118 (86,13 %)	137
Richard-Toll	1 (0,72 %)	139 (99,28 %)	140
Total	34	381	415

Un échantillon de 71 chevaux choisis de façon aléatoire parmi les positifs à l'ELISA a révélé une polyinfection en séroneutralisation. Tous les sérums présentaient une positivité vis-à-vis du sérotype 9 parmi lesquels 48 (67,6 %) l'étaient vis-à-vis du sérotype 2 et 66 (92,96 %) vis-à-vis du sérotype 7 (**tableau XIV, page 89**).

Tableau XIV : Sérotypage des chevaux positifs en août 2007

Zone	Nbre de sérums testés	Séroneutralisation peste équine		
		Sérotype 2	Sérotype 7	Sérotype 9
St-Louis	22	13 (59,09 %)	21 (95,45 %)	22 (100 %)
Ross-Béthio	21	8 (38,09 %)	17 (80,95 %)	21 (100 %)
Richard-Toll	28	27 (96,43 %)	28 (100 %)	28 (100 %)
Total		48 (67,6 %)	66 (92,96 %)	71 (100 %)

A St-Louis, 59,09 % des chevaux sont positifs vis-à-vis du sérotype 2 tandis que le sérotype 7 a été retrouvé chez 95,45 % d'entre eux. La totalité des chevaux infectés (100 %) ont révélé le sérotype 9.

A Ross-Béthio, le type 2 a pu être observé chez 38,09 % des positifs, le type 7 chez 80,95 % d'infectés et le type 9 sur la totalité des sérums testés (100 %).

A Richard-Toll, 96,43 % des positifs présentent le type 2, 100 % pour le type 7 et 100 % pour le type 9.

Tableau XV : Résultats de l'analyse en séroneutralisation des sérums par zone

		Nombre de sérotypes positifs			
Sérotypes		St-Louis	Ross-Béthio	Richard-Toll	Total
Infection unique	Sérotype 2	0	0	0	0
	Sérotype 7	0	0	0	0
	Sérotype 9	1	3	0	4
	Sous-total 1	1	3	0	4
Infection multiple	Sérotype 2-7	0	0	0	0
	Sérotype 2-9	0	1	0	1
	Sérotype 7-9	8	10	1	19
	Sérotype 2-7-9	13	7	27	47
	Sous-total 2	21	18	28	67
Total		22	21	28	71

Le **tableau XV** montre qu'il n'existe pas de cheval infecté uniquement par le sérotype 2 ou le sérotype 7. Seul le sérotype 9 a été retrouvé en infection unique. En revanche, des infections multiples, caractérisées par la présence simultanée de plusieurs sérotypes chez le même individu, ont été observées dans la plupart des cas. Un seul cheval a été infecté à la fois par les sérotypes 2 et 9. Les sérotypes 7 et 9 ont été simultanément retrouvés chez 19 chevaux alors que les sérotypes 2, 7 et 9 ont été observés chez 47 chevaux.

C. Modélisation de la transmission du virus de la peste équine

Le **tableau XVI** montre que tous les chevaux prélevés à Richard-Toll sont positifs à l'ELISA quelle que soit la classe d'âge à laquelle ils appartiennent. Les animaux âgés de 6, 7 et 8 ans ont constitué 56,7 % de l'échantillon de chevaux prélevés dont l'âge a été obtenu.

Tableau XVI : Nombre de chevaux de positifs à l'ELISA par classe d'âge et par zone

		CLASSES D'AGE (années)												
Zones		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	Age manquant	Total
# d'animaux prélevés	St-Louis	1	0	1	5	6	29	20	18	12	5	13	28	138
	Ross-Béthio	1	3	5	11	15	22	29	25	2	9	4	11	137
	Richard-Toll	0	0	1	7	7	17	21	9	11	2	24	41	140
	Total/classe d'âge	2	3	7	23	28	68	70	52	25	16	41	80	415
# de positifs à l'ELISA	St-Louis	1	0	1	3	4	22	19	17	12	5	13	26	123
	Ross-Béthio	1	1	5	9	14	18	27	22	1	9	3	9	119
	Richard-Toll	0	0	1	7	7	17	21	9	11	2	24	40	139
	Total/classe d'âge	2	1	7	19	25	57	67	48	24	16	40	75	381

#: Nombre

L'estimation du risque qu'un individu susceptible devienne infecté en l'espace de peu de temps (λ) prend en compte l'hypothèse que l'infection est dépendante de l'âge et que la force d'infection est linéaire, mais avec une proportion de la population de chevaux qui n'est pas exposée aux piqûres des culicoïdes (*pne*). Cette estimation a été réalisée par la méthode des vraisemblances (*MLE*) et a donné lieu aux quatre modèles utilisés dans cette étude (**Tableau XVII, page 91**). Dans la zone de Richard-Toll, tous les chevaux ont été infectés avec un ou plusieurs sérotypes du virus de la peste équine et par conséquent la force d'infection a été estimée infiniment élevée (*) pour tous les modèles en considérant les trois zones séparément (modèle B).

Tableau XVII : Paramètres estimés dans les modèles 1 à 4

Modèles	Force d'infection (λ)				Proportion non exposée (pne)				Infection/Age- Linéaire (Pente)				AIC
	Toutes les zones	Zones séparées			Toutes les zones	Zones séparées			Toutes les zones	Zones séparées			
		SL	RB	RT		SL	RB	RT		SL	RB	RT	
Modèle 1-A	0,37												79,813
Modèle 1-B		0,32	0,32	*									65,168
Modèle 2-A	0,44				0,03								79,17204
Modèle 2-B		0,32	0,83	*		0,00	0,11	0,00					62,66578
Modèle 3-A	0,49								0,03				78,580
Modèle 3-B		0,17	0,55	*						-0,05	0,06	0,00	61,501
Modèle 4-A	0,49				0,00				0,03				80,580
Modèle 4-B		0,17	0,72	*		0,00	0,11	0,00		-0,05	-0,08	0,00	67,524

*:- Tous les chevaux étaient positifs ; par conséquent la force d'infection est infiniment élevée

Dans cette étude, plus de 86 % des chevaux de races locales ont présenté des anticorps contre le virus de la peste équine, l'exposition au virus est légitimement élevée en ne tenant pas compte des paramètres zones groupées (modèle A) ou zones séparées (Modèle B). Les modèles A, qui combinent les trois zones distinctes, ont une plus grande valeur AIC que le modèle B dans lequel les trois zones ont été considérées séparément.

Si l'on se base sur le critère de la méthode AIC pour comparer les modèles, les modèles 2B et 3B ont les valeurs AIC les plus basses et ne peuvent pas être considérés comme différents, ils décrivent donc le mieux les données disponibles. Le modèle 3B n'a pas été choisi comme le meilleur modèle, parce que la valeur de l'infection en fonction de l'âge est différente pour chaque zone et par conséquent l'absence d'uniformisation de l'âge fait que ce paramètre devient moins fiable. Le modèle 2B a été de ce fait, choisi pour la suite de l'étude (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Résultats du modèle 2B avec un intervalle de confiance de 95%

Zones	λ	Intervalle confiance 95%		pne	Intervalle confiance 95%		AIC
		Faible	Elevé		Faible	Elevé	
St-Louis	0,320	0,247	0,414	0,001	0,0010	0,0011	62,66578
Ross-Béthio	0,827	0,296	2,307	0,110	0,059	0,198	
Richard-Toll	Infini	1,695	Infini	0,000	0,000	0,000	

La **figure 10** de la **page 92** présente la probabilité de l'infection en fonction de l'âge ($P_{inf}(a)$) à l'image du tableau **XVI**, **page 90**. Richard-Toll n'est pas représenté sur cette figure car la probabilité de l'infection y tend vers 1 pour toutes les classes d'âge parce que tous les sérums étaient positifs.

On constate qu'à Ross-Béthio, cette probabilité ($P_{\text{inf}}(a)$) augmente à 0,88 à partir de 5 ans, se stabilise par la suite à 0,89 pour les animaux âgés de 7 ans, alors qu'à St-Louis ($P_{\text{inf}}(a)$) atteint 0,92 pour les chevaux de 8 ans, et plafonne progressivement à 0,99 entre 10 et 15 ans.

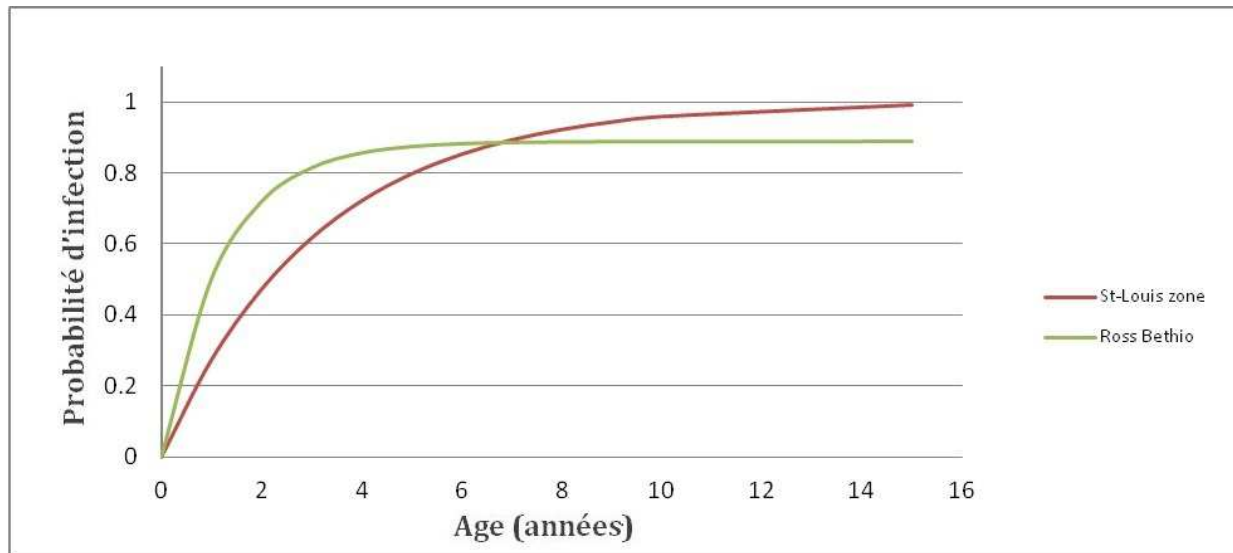


Fig. 10 : Probabilité d'infection en fonction de l'âge (années)

La prévalence du virus de la peste équine chez le vecteur (I_V / N_V) pour notre zone d'étude n'est pas connue, mais elle reste un paramètre indispensable pour la détermination de R_0 , ρ et V_H . Pour les besoins de cette étude, nous avons fait varier I_V / N_V entre 0,003 % et 0,3 % pour étudier sa relation avec R_0 , ρ et V_H (Lord *et al.*, 1998 ; Venter *et al.*, 2006). Logiquement et comme représenté dans les formules mathématiques (3), (4), (5) et (8), la prévalence chez le vecteur est inversement proportionnelle à R_0 et ρ parce que plus I_V / N_V est bas, plus grand sera ρ pour atteindre une force d'infection donnée, compte tenu du fait que la fréquence des repas sanguins et la probabilité de transmission du virus du vecteur à l'hôte est constante à une température donnée.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de R_0 , ρ et V_H décroissent généralement avec l'augmentation de la température et avec l'augmentation de la prévalence chez le vecteur. R_0 est moins sensible aux variations de température, comparé à ρ . R_0 varie de moins de 10 % pour les valeurs moyennes de la température, alors que V_H reste insensible aux variations de température.

Tableau XIX : Variation du taux de reproduction de base, du ratio vecteur-hôte et la fraction critique vaccinale en fonction de la prévalence chez le vecteur pour le modèle 2B

Modèle 2 B:					
Prévalence (%)	Zone	Température	R_0	ρ	V_H
0,003	St-Louis	Min	69	7,61E+04	1,00
		Moy	71	4,96E+04	1,00
		Max	66	3,68E+04	1,00
	Ross-Béthio	Min	112	1,97E+05	0,98
		Moy	114	1,28E+05	0,99
		Max	106	9,51E+04	0,98
0,3	St-Louis	Min	7	7,61E+02	0,98
		Moy	7	4,95E+02	0,98
		Max	6,5	3,67E+02	0,98
	Ross-Béthio	Min	11	1,97E+03	0,99
		Moy	11	1,28E+03	0,99
		Max	10,6	9,51E+02	0,99

On constate que R_0 est très sensible si la prévalence chez le vecteur est comprise entre 0,003 % et 0,075 % et est moins sensible par la suite (**Fig. 11**). A St-Louis, R_0 descend en-dessous de 10 si la prévalence chez le vecteur dépasse 0,2 %, alors qu'à Ross-Béthio, R_0 n'est jamais inférieur à 10.

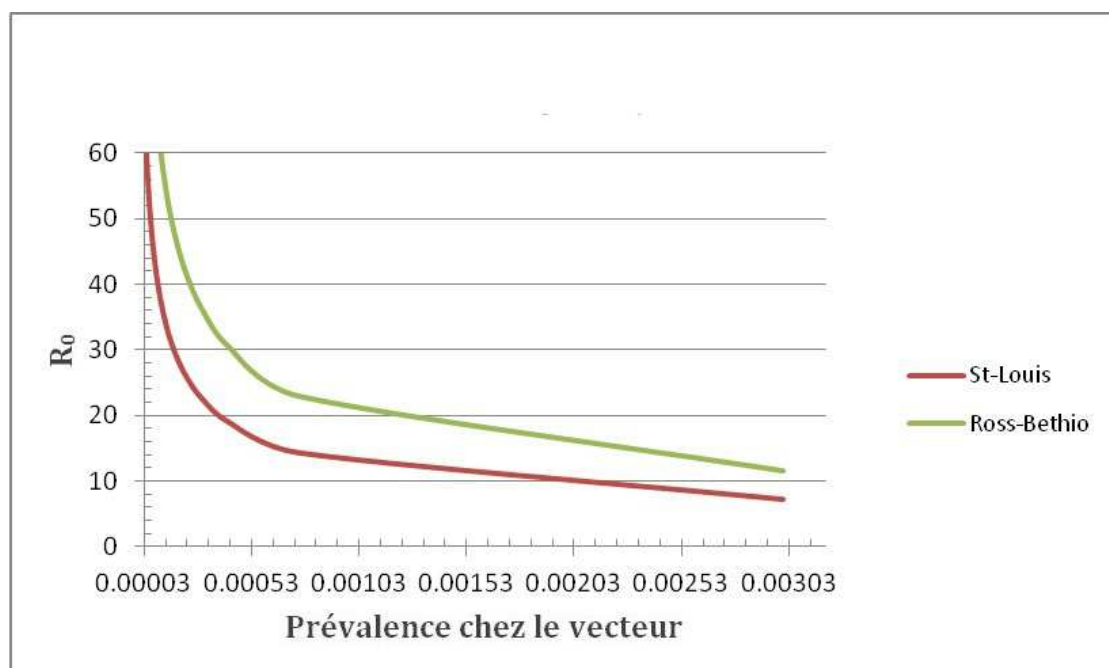


Fig. 11 : Variation du taux de reproduction de base en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93 °C

Le ratio vecteur-hôte (ρ) est très sensible quand la prévalence chez le vecteur augmente de 0,003 % à 0,053 % et devient moins sensible par la suite (**Fig. 12**). Pour St-Louis, ρ descend en dessous 5000 quand la prévalence chez le vecteur est comprise entre 0,003 % et 0,053 %, alors qu'à Ross-Béthio, la même situation est observée si la prévalence chez le vecteur est comprise entre 0,053 % et 0,103 %.

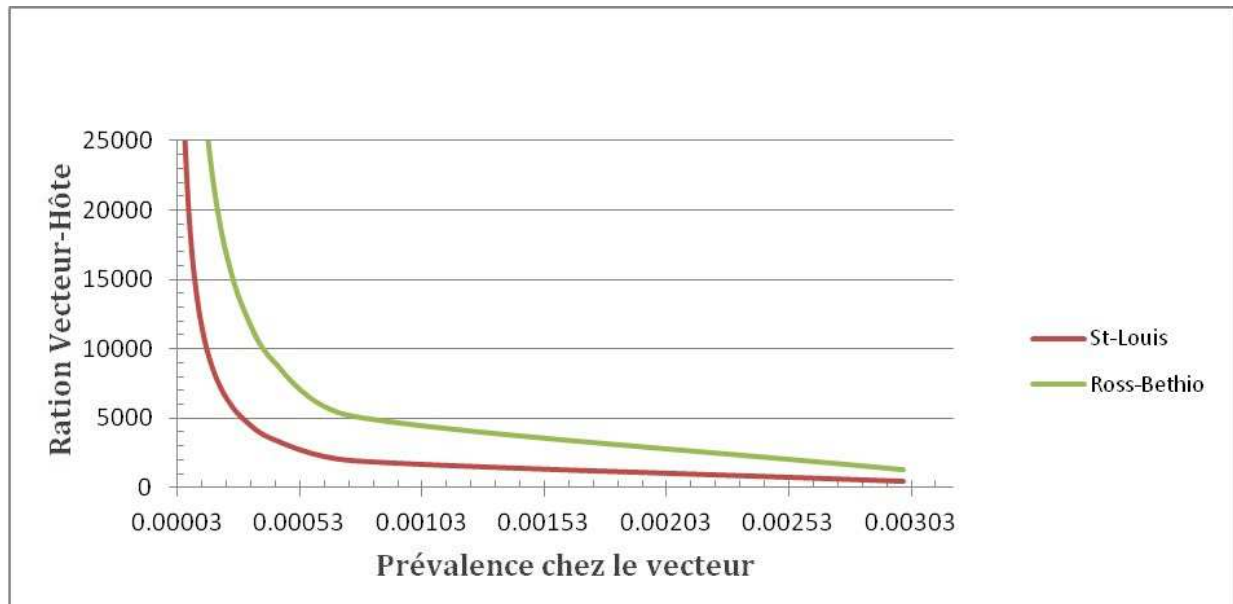


Fig. 12 : Variation du ratio vecteur-hôte en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93°C

La fraction critique vaccinale (V_H), est beaucoup moins sensible aux variations de prévalence, et descend seulement de 2 % et même à moins de 1 % si la prévalence chez le vecteur augmente de 0,003 % à 0,3 % respectivement à St-Louis et à Ross-Béthio (**Fig. 13, page 95**).

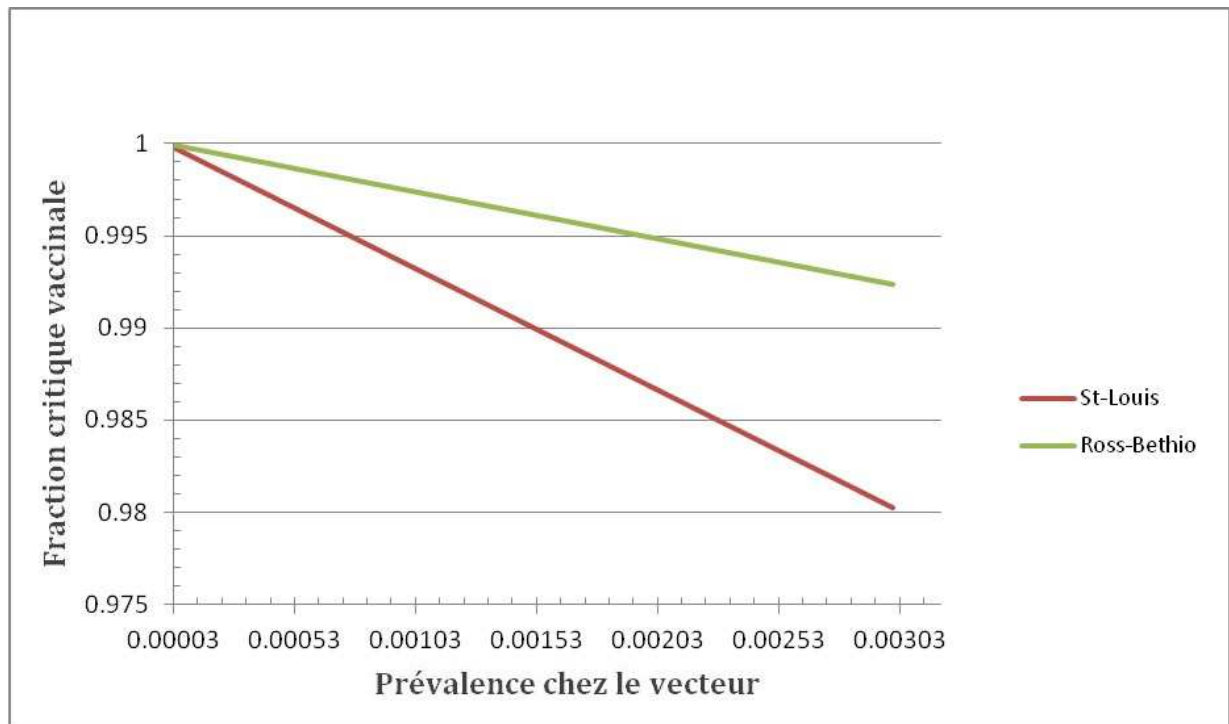


Fig. 13 : Variation de la fraction critique vaccinale en fonction de la prévalence chez le vecteur pour la température moyenne de 26,93°C

Nous nous intéresserons dans la suite du chapitre 2 (II. 3) aux mouvements saisonniers et commerciaux des chevaux au Sénégal et à une approche qualitative de l'analyse du risque de réintroduction d'un sérotype du virus de la peste équine.

III. 3. MOUVEMENTS DES CHEVAUX ET ANALYSE DU RISQUE D'INFECTION

Ces travaux constituent le second élément devant nous permettre de répondre à notre deuxième question de recherche Q2 : *Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?*

Nous testerons dans ce chapitre l'hypothèse suivante :

H6 : Les activités humaines jouent un rôle important dans la diffusion des arboviroses en général et particulièrement la peste équine chez les chevaux au Sénégal.

Les mouvements des chevaux ont d'une manière générale une connotation économique, certains sont considérés en fonction de la période et constituent les mouvements saisonniers alors que d'autres sont considérés en fonction du motif principal du déplacement et sont appelés mouvements commerciaux. 101 personnes ont été enquêtées dans huit marchés hebdomadaires du pays, essentiellement des vendeurs de chevaux et des chefs de *daral*.

Nous émettrons ensuite des hypothèses d'introduction et de diffusion de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine lors de l'épizootie de 2007 au Sénégal et présenterons une approche qualitative de l'analyse du risque de réintroduction d'un sérotype du virus de la peste équine.

A. Mouvements des chevaux au Sénégal

1. Mouvements saisonniers

Au Sénégal, des mouvements saisonniers sont annuellement observés chez les chevaux. Ces mouvements seront considérés comme unidirectionnels dans la mesure où ils se font généralement dans un seul sens. En effet, un flux de chevaux se déplace avec leurs attelages de Dakar vers l'intérieur du pays à la veille de l'hivernage entre les mois de juin et juillet, période dite *Thiorone*⁷. Plusieurs axes de déplacement ont été observés pour ces mouvements. Les cochers quittent Dakar pour se rendre dans leurs régions d'origine que sont généralement les régions de Thiès, de Fatick, de Kaolack, de Diourbel et dans une moindre mesure la région de Louga. Ces mouvements se font pour la culture du mil et de l'arachide. Ils s'observent vers les régions où ces cultures sont effectuées. Un flux inverse est observé vers Dakar chaque année à

⁷ nom vernaculaire wolof qui signifie la veille de l'hivernage

la fin des récoltes entre les mois de décembre et janvier. Ce phénomène est appelé *Norane*⁸ et consiste au retour des cochers dans leurs villages pour cultiver. Ces mêmes chevaux sont utilisés comme chevaux de trait dans les travaux champêtres et dans la traction hippomobile. Ils parcourent plus d'une centaine de kilomètres avec leur attelage au début et à la fin de l'hivernage. En plus du *Norane* national, le phénomène existe à l'échelle régionale et même départementale car les charretiers quittent leurs villages d'origine pour s'installer dans les centres urbains ; ils ne rentrent qu'à la veille de l'hivernage.

D'autres types de mouvements saisonniers sont également observés. Certains convergent vers la région de St-Louis plus précisément vers Ross-Béthio et Richard-Toll. Des charretiers arrivent des régions de Louga, Thiès, Diourbel, Fatick et Kaolack entre les mois de novembre et janvier pour prendre part à la « campagne du riz » dans la zone de Ross-Béthio. Cette période correspond à la récolte et à la commercialisation du riz produit dans le Delta du fleuve Sénégal. Le transport du riz des rizières vers les lieux de décorticage ou de commercialisation est essentiellement assuré par les charrettes tirées par les chevaux. Il en est de même à Richard-Toll où la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS) recrute des charretiers pour le transport de la canne à sucre entre les mois de novembre et décembre. Ces acteurs interviennent dans le transport urbain durant leurs heures libres. A la fin de ces différentes campagnes la plupart des chevaux sont vendus sur place.

Il existe également un mouvement des éleveurs transhumants durant les mois de janvier, février et mars qui quittent différentes localités du pays avec leurs troupeaux pour se rendre dans la région de Tambacounda. Ces éleveurs se déplacent sur des charrettes avec tous leurs biens. Ils n'ont que les marchés hebdomadaires pour se ravitailler.

Un autre phénomène particulier est observé à la veille de la fête de l'*Aïd El Kebir*⁹ communément appelée Tabaski au Sénégal, des caravanes de charrettes quittent Dakar vers les villages du Bassin arachidier en général, de la région de Kaolack en particulier. Ces charrettes transportent les jeunes hommes qui étaient partis chercher du travail à Dakar et les femmes qui travaillent généralement comme femmes de ménage dans les maisons de Dakar. Cette fête constitue l'une des rares occasions de retour de la plupart des jeunes dans leur localité d'origine.

En résumé, quatre types de mouvements saisonniers de chevaux ont été recensés dans cette étude. Il s'agit d'un mouvement de l'ouest vers le centre du pays entre juin et juillet pour les

⁸ nom vernaculaire wolof qui décrit le fait de séjourner à Dakar en saison sèche et de revenir dans sa localité d'origine à la veille de l'hivernage

⁹ fête religieuse musulmane du sacrifice du mouton

cultures du mil et de l'arachide ; du Centre vers le Nord de novembre à janvier pour la récolte du riz et de la canne à sucre ; du Centre vers l'Ouest en novembre, décembre et janvier dû à l'exode rural ; du Nord et du Centre vers l'Est en janvier et février, à la recherche de pâturage. L'ensemble des mouvements de chevaux est induit par l'homme.

2. Les mouvements commerciaux des chevaux

Ce type de mouvements est considéré comme bidirectionnel, car il s'effectue du monde rural vers les centres urbains et inversement, ou entre les marchés hebdomadaires. Certains chevaux attelés rallient les centres urbains quotidiennement pour le transport de personnes et regagnent les villages environnants tous les soirs. D'autres mouvements bidirectionnels sont observés entre les villages par le canal des marchés hebdomadaires ou *louma*¹⁰. Ces derniers ont été catégorisés en grands et petits marchés, de par le nombre de connexions entrantes ou sortantes qu'ils ont avec les autres marchés, mais aussi de par leur taille et leur rôle dans la commercialisation de chevaux. Notons que les marchés hebdomadaires répertoriés sur la **figure 14 (page 103)** ne sont pas exhaustifs, mais cette étude a pris en considération les plus représentatifs.

2.1. Les grands marchés

Ce sont des marchés où le cheval se vend et s'achète. Ils drainent tous plusieurs centaines de personnes et sont divisés en plusieurs compartiments ou *daral*¹¹ pour les petits ruminants, les grands ruminants, les chevaux, etc. Cette étude n'a cependant pris en compte que le compartiment du cheval sous la responsabilité d'un chef de *daral*. Tous les vendeurs de chevaux qui ne sont en réalité que des facilitateurs ou *Téfanké*¹² fréquentant ce marché sont connus du chef de *daral*. Les *Téfankés* résident dans la localité du marché et récupèrent les chevaux des mains de leur propriétaire qui viennent des villages environnants pour les vendre et reverser la somme à ces derniers. Aussi bien l'acheteur que le propriétaire doit verser au *Téfanké* un montant qui diffère d'un marché à l'autre et qui lui permet de garantir la transaction en cas de litiges généralement causés par la vente des chevaux volés. Les *dioula*¹³, quant à eux, sont à la fois vendeurs et acheteurs. Ils achètent dans le but de vendre et font le tour de plusieurs grands marchés. Ils sont également connus par la plupart des chefs de *daral* qui acceptent de garantir leurs transactions. La particularité des *dioula* est qu'ils se déplacent sur de très longue distance - et même quelquefois ils viennent des pays voisins - pour acheter des chevaux qu'ils revendent

¹⁰ nom vernaculaire en wolof qui signifie marché hebdomadaire

¹¹ nom vernaculaire en wolof qui signifie un compartiment du marché

¹² nom vernaculaire en pulaar

¹³ idem

dans les *louma*. Ils peuvent donc par ce mécanisme introduire dans le pays des chevaux infectés latents, car la quarantaine n'est pas respectée. Les *dioula* peuvent être un facteur de connexions entre les différents grands marchés quelquefois très éloignés les uns des autres. Ces derniers seront ensuite responsables de la diffusion de l'agent pathogène dans les petits marchés que polarise le grand marché.

2.1.1. Le marché hebdomadaire de Dahra

Il se situe dans la région de Louga plus précisément dans le département de Linguère. Il se tient le dimanche. L'essentiel des chevaux fournis au marché de Dahra provient du département de Linguère, donc des villages alentours de Dahra. Il s'agit d'une zone de naissance pour les chevaux métis issus du croisement entre les juments de races locales et les étalons pur-sangs anglais ou arabes importés et élevés dans le haras au sein du Centre de recherche zootechnique (CRZ). Dahra constitue également une zone de naissance pour les chevaux de races locales. Les chevaux métis ne sont pas acheminés au marché pour leur commercialisation ; c'est au niveau du marché où l'information circule avant que les deux parties acheteurs comme facilitateurs ne s'orientent vers le domicile du véritable propriétaire pour conclure les transactions. A l'inverse, on rencontre des chevaux adultes mâles comme femelles de races locales au marché hebdomadaire. Leurs principales destinations sont les marchés de Dinguiraye, Birkélane et Mbar à la veille de l'hivernage mais aussi les villes de Louga, Dagana et Touba. D'autres localités, telles que Thillé Boubacar, Richard-Toll, Podor, St-Louis, Thiès et Dakar reçoivent des chevaux provenant de ce marché. Cette répartition tient compte de l'activité du cheval qui est essentiellement utilisé pour la culture attelée dans la région de Kaolack et la traction hippomobile urbaine à Louga. A Touba, le cheval est généralement vendu vers d'autres zones.

Les chevaux acheminés vers les marchés des régions de Fatick et Kaolack à l'approche de l'hivernage sont généralement des femelles adultes. Elles sont vendues à des prix relativement élevés à cette période, mais elles perdent leur valeur aussitôt après la fin de l'hivernage. Le prix des étalons est généralement constant durant toute l'année, car ils sont le plus souvent utilisés pour le transport. Dans ce marché, aussi bien l'acheteur que le propriétaire doit verser au *Téfanké* un minimum de 3000 F CFA pour qu'il garantisse la transaction en cas de litiges généralement causés par la vente des chevaux volés. Il arrive que le cheval soit vendu à un prix supérieur à la valeur proposée par le propriétaire, dans ce cas le *Téfanké* encaisse la différence et reçoit l'indemnité que lui doit ce dernier. Contrairement aux *Téfankés* qui sont des résidents, les vendeurs d'accessoires, tels que les harnais, voyagent de marché en marché et vendent eux-mêmes leurs produits.

2.1.2. Le marché hebdomadaire de Dinguiraye

Dinguiraye se situe dans le département de Nioro et appartient donc à la région de Kaolack. Son marché hebdomadaire se tient le samedi. La quasi-totalité des chevaux fournis au marché de Dinguiraye provient des villages du département de Nioro. C'est une zone de naissage pour les chevaux de races locales. Dans ce marché, on rencontre exclusivement des chevaux de races locales notamment des poulains et pouliches de moins de deux ans. Ils sont généralement vendus entre 200 000 et 300 000 FCFA pour les mâles et entre 100 000 et 200 000 FCFA pour les femelles (**Annexe 1.C.**). La vente des poulains est assez spécifique aux marchés des régions de Kaolack et Fatick, car le prix de l'animal est fonction du temps que pourrait durer la force de travail du cheval donc de son avenir et non de son état physique au moment de l'achat. Les prix de ces poulains sont les mêmes que ceux proposés au marché de Dahra pour les chevaux adultes. Les principales destinations sont les marchés de Birkélane, de Mbar, de Ndiébel, de Mbafaye, de Diouroup et de Touba. Néanmoins, quelques départs pour Keur Momar Sarr, Mpal, Sandiara, Sagatta Guét et Diourbel ont été notés.

D'une manière générale, les acheteurs de chevaux à la veille de l'hivernage préfèrent les chevaux adultes mâles comme femelles pouvant effectuer les travaux champêtres. Ces animaux proviennent des marchés de Dahra, de Sagatta Guét, de Toubatoul, de Touba, mais également ceux de Diawbé, de Touba Mouride et de Saré Yoba au sud-est du pays. En effet, l'activité du cheval est essentiellement la culture attelée dans cette zone. Le marché est composé de *dioula* venus de la zone de Dinguiraye ou de Touba et de *Téfanké* originaires de l'arrondissement de Paoskoto. Dans ce marché, le montant versé au *Téfanké* est le même qu'à Dahra. Les chevaux achetés par les *dioula* sont généralement convoyés à pied vers Birkélane et Mbar.

2.1.3. Le marché hebdomadaire de Birkélane

Dans l'ancien découpage administratif retenu pour cette étude, Birkélane appartient au département de Kaffrine et à la région de Kaolack. Ce marché se tient le dimanche et présente les mêmes caractéristiques que celui de Dinguiraye, notamment la vente des poulains. Birkélane est une zone de naissage, mais en plus des chevaux provenant des villages environnants, ce marché reçoit des animaux de Dinguiraye, Mbar, Porokhane, Mabo, Ndoeffane et dans une moindre mesure de Passy, Nioro, Mboss, Toubatoul, Touba, Ndiba Ndiayène, Wack Ngouna et Keur Madiabel. Les principales destinations des chevaux qui arrivent dans le marché de Birkélane sont les villages environnants mais aussi d'autres localités comme Touba, Dakar, Mbar, Toubatoul, Ndiébel quelquefois Dinguiraye, Diouroup, Diourbel, Mabo, Porokhane, Farafénié, Mbafaye, Sandiara, Mbour, Nguéniène, Dioly, Thiès, Louga, Ndoeffane, Wack

Ngouna et Keur Madiabel (**Annexe 2**). L'acheteur verse un montant de 500 F CFA alors que le vendeur dépose 700 F CFA dans la caisse gérée par le chef du *daral*.

2.1.4. Le marché hebdomadaire de Mbar

Mbar est situé dans la région de Fatick et appartient au département de Gossas. Le *louma* s'y tient tous les lundis. A l'image des marchés de Dinguiraye et de Birkélane, on y retrouve des poulains. Le marché de Mbar présente beaucoup de similitudes avec ces derniers ; les courtes distances qui les séparent ainsi que la succession de leurs jours de marché (samedi, dimanche et lundi) en fait un véritable triangle à surveiller sur le plan épidémiologique. Les chevaux que l'on retrouve sur ce marché sont généralement vendus aux habitants des villages environnants et dans d'autres localités comme Touba, Mbafaye, Toubatoul, Diourbel, Sagatta Guét et, parfois de Ndiéné Lagane, Thiès, Louga, Dinguiraye, Birkélane et Diakhao.

2.1.5. Le marché hebdomadaire de Mpal

Mpal fait partie de la région et du département de St-Louis. Ce marché est le principal fournisseur du Delta du fleuve Sénégal en chevaux en l'occurrence les zones de St-Louis, Ross Béthio et Richard-Toll et dans une moindre mesure Keur Momar Sarr et Ndiakhar. On y rencontre essentiellement des mâles adultes. En effet, sur l'ensemble des chevaux que compte cette étude, seules deux juments ont été retrouvées dans le Delta du fleuve Sénégal, ce qui témoigne de la faiblesse, voire de l'absence de reproduction à St-Louis, Ross Béthio et Richard-Toll. L'enquête économique qui y a été menée montre que la quasi-totalité des chevaux qui vivent dans ces trois zones ont été achetés. A l'inverse, les villages alentours de Mpal regorgent de femelles. La plupart des propriétaires de chevaux enquêtés dans le Delta durant cette étude se sont approvisionnés à Mpal. Ce marché reçoit aussi des chevaux venus de Birkélane, Mbar et quelquefois de Dahra, Thilmakha, Ndiagne, Sagatta Guét et Podor.

2.1.6. Le marché hebdomadaire de Payar

Le marché de Payar se situe dans la région de Tambacounda, plus précisément dans le département de Koumpentoum. Il se tient le jeudi et reçoit des chevaux en provenance des villages environnants de Payar, du *Djolo*¹⁴, du *Ferlo*¹⁴, de Thionokh, de Kong-Kong, de Ribo-Escale, de Kounghoul, de Darou Minam, de Boki Sada, de Gaïndé Paté, de Lour-Escale, de Mbar, de Mbourlogne et de Bélel Babou. Il dessert les villages environnants et les marchés de la *Casamance*¹⁵, de Thionokh, de Kong-Kong, de Ribo-Escale, de Sinthiou Malèm, de Bélel Babou,

¹⁴contrée située au centre du Sénégal

¹⁵ contrée située au sud du pays

de Méréto, de Koumpentoum, de Kouthiaba, de Thionokh, de Altoufass, de Touba Aly, du *Fouta*¹⁶, de Dara Serigne Mbaye et en Gambie.

2.1.7. Le marché hebdomadaire de Sagatta Guét

Le marché se tient le mercredi dans cette localité appartenant à la région de Louga et au département de Kébémér. La plupart des chevaux qu'on y trouve sont adultes et proviennent des villages voisins et, parfois de Ndiagne, Darou Mousty, Ndande et Kébémér. Ces chevaux sont généralement achetés soit dans la localité soit par des *dioula* soit par des particuliers venus de Ndande, Pékesse, Ndiagne, Kébémér, Sakal, St-Louis, Tivaouane, Darou Mousty, Touba, Thiès, Dakar et Mbar. L'acheteur comme le vendeur versent un montant de 1000 F CFA dans la caisse gérée par le chef du *daral*.

2.1.8. Le marché hebdomadaire de Toubatoul

Le marché de Toubatoul a lieu le samedi. Cette localité est située dans la région et le département de Thiès. On y rencontre toutes les catégories de chevaux jeunes comme adultes. Ils proviennent de Mbafaye, Birkélane, Missirah, Dioly, des villages alentours et, parfois de Dinguiraye, Bambey, Pafa, Méréto, Ndrané Escalé, Altoufass, Bamba, Ndiapto, Dioka Tine, Thieytou, Ngoudiane, Gawane, Ndiapto, Bélel Babou, Nakhé, Ndiébel et Lagar. Les principales destinations sont d'abord les villages environnants et les localités comme Dakar, Mbafaye, Thiès, Bambey, Diourbel, Tivaouane, Kébémér, Louga et quelquefois Sandiara, Ndiébel, Pout, Ngaye, Touba et Géoul.

2.1.9. Le marché de Touba

La ville de Touba se situe dans la région de Diourbel, plus précisément dans le département de Mbacké. On considère ce marché comme un marché hebdomadaire, car la forte affluence pour les chevaux s'observe les mardis. Les *dioula* originaires de Touba sont rencontrés dans la plupart des grands marchés. En fait, le marché de Touba est la principale destination des chevaux vendus dans les grands marchés. En réalité, Touba n'absorbe qu'une faible partie de ces chevaux et n'est pas une zone de naissage. Ce marché constitue une plaque tournante, car un nombre important de chevaux convergent vers Touba pour ensuite être vendus dans les différentes localités du pays. Les *dioula* convoient les chevaux de marchés en marchés à pied pour les marchés situés dans la même zone (Dinguiraye, Birkélane et Mbar) et par véhicule pour les marchés éloignés (Toubatoul-Birkélane). Ils peuvent acheter un cheval et le revendre dans le même marché.

¹⁶ contrée située au nord du Sénégal

2.2. Les petits marchés

Même si la vente des chevaux n'est pas très développée dans certains marchés, ils constituent de grands lieux de rassemblement des chevaux qui assurent le transport des personnes venant des villages voisins. Ces marchés peuvent être considérés comme des entités épidémiologiques compte tenu du rôle important qu'ils peuvent jouer dans la transmission des maladies du cheval. Certains acteurs de ces marchés viennent de villages très éloignés ; ce qui les oblige à passer la nuit dans le village qui accueille le marché. Cela crée des possibilités de contact entre arthropodes vecteurs (*Culex spp.*, *Culicoides spp.*) dont l'activité est généralement nocturne ou crépusculaire et le cheval. Plus les villages sont éloignés des marchés qui les polarisent (20 km de rayon), plus leurs chevaux sont associés au risque de transmission des virus de la West Nile et de la peste équine, car ils arrivent la veille du jour du marché (**Fig. 14**). Compte tenu du fait que la majorité du cheptel équin sénégalais se situe dans le nord et le centre-ouest du pays à cause de la trypanosomose animale qui sévit dans le Sud ; les marchés du sud du pays n'ont pas été pris en considération malgré une infiltration timide de chevaux dans le département de Bignona.

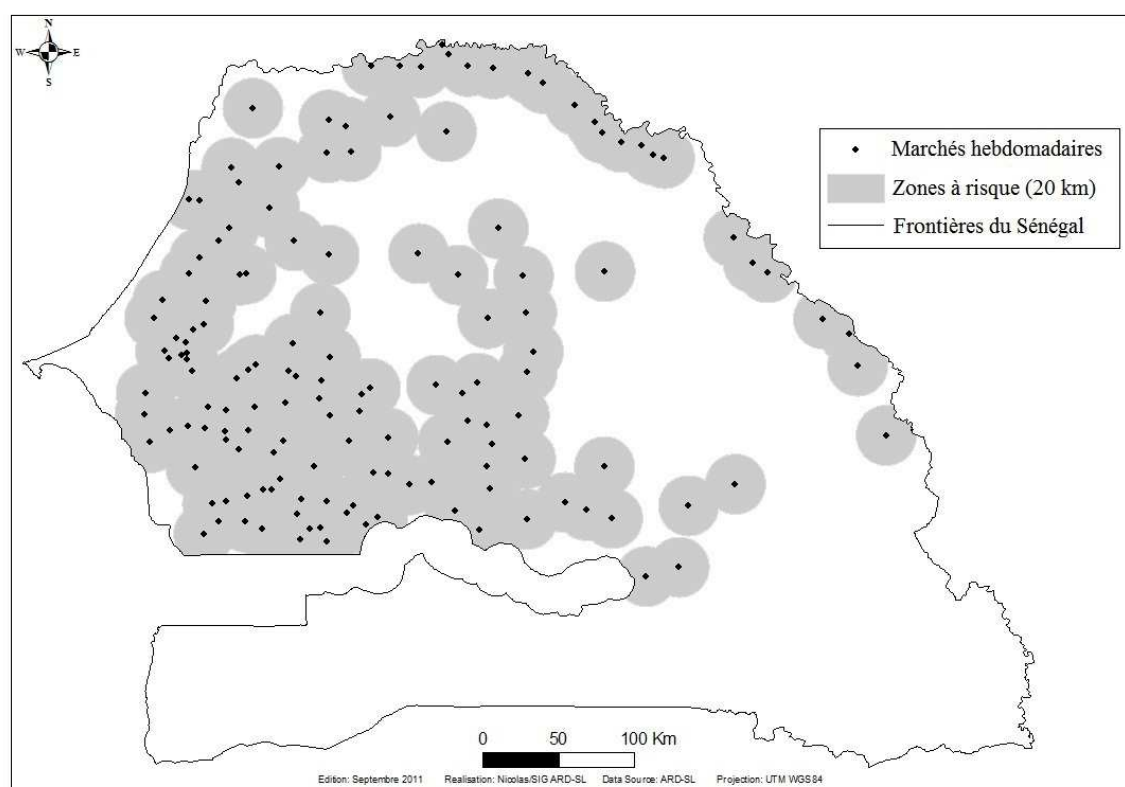
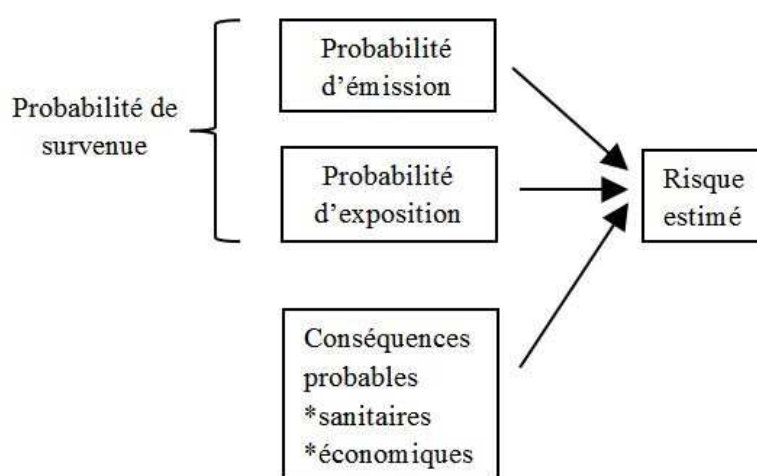


Fig. 14 : Répartition des marchés hebdomadaires et risque de transmission du virus de la peste équine

B. Approche qualitative de l'analyse du risque d'infection de la peste équine

La méthode d'appréciation du risque de réintroduction d'un nouveau sérotype du virus de la peste équine adoptée dans cette étude, est celle présentée dans le **tableau III** de la **page 72**.

L'estimation qualitative de la probabilité de survenue d'un nouveau sérotype, telle que présentée par la **figure 15**, s'obtient en combinant la probabilité d'émission à celle de l'exposition. L'estimation qualitative des conséquences est la résultante de la combinaison de l'impact sanitaire et de l'impact économique.



Source : Dufour et Pouillot (2002)

Fig. 15 : Les composantes de l'estimation du risque

- **Appréciation de l'émission :**

Les effectifs de chevaux au Mali sont estimés entre 2007 et 2010 à plus 800 000 chevaux avec une densité de 1,31 à 2,87 à Kayes qui fait frontière avec Kidira au Sénégal (OIE, 2011a ; www.oie.int). Le poste vétérinaire de Kidira a enregistré 2459 chevaux importés du Mali en 2011 contre 2346 chevaux en 2012. La vaccination contre la peste équine n'a été effectuée durant toute cette période (OIE, 2011b) ; ce qui montre qu'il n'existe quasiment pas de mesures de gestion visant à réduire la probabilité d'émission de ce virus. On ne dispose pas d'informations sur les culicoïdes au Mali.

S'agissant de la Mauritanie, aucune information n'est disponible aussi bien pour l'effectif des chevaux que pour la vaccination contre la peste équine (OIE, 2011b).

Le rapport de performances des services vétérinaires (PVS) du Sénégal révèle qu'il y a un grand effort de protection des frontières à faire vis-à-vis des menaces externes par les services vétérinaires et le Gouvernement du Sénégal (OIE, 2010). Cela a forcément un impact sur la

qualité du système de surveillance épidémiologique des maladies. Les rapports PVS du Mali et de la Mauritanie n'ont pas pu être consultés sur le site de l'Organisation mondiale de la santé animale (WOAH) mais la recommandation portant sur l'amélioration de la qualité des systèmes épidémiologiques de surveillance reste valable pour tous les pays de la sous-région. L'ensemble de ces éléments auxquels s'ajoute la présence du virus qui a été rapportée en 2007 au Mali et en Mauritanie (Wilson *et al.*, 2009) ont conduit à considérer la probabilité d'introduction d'un sérotype autre que le 9 comme **élevé (niveau 8)** dans le **tableau III** de la **page 72**.

- **Appréciation de l'exposition :**

Les postes vétérinaires de Diawara, de Thillé Boubacar, de Ndioum, Aéré Lao et de Médian Ndiathbé ont enregistré un grand nombre de chevaux importés de la Mauritanie entre 2009 et 2012. La mortalité d'un peu plus d'un millier de chevaux en 2007 pourrait être à l'origine de l'introduction des chevaux venant de pays frontaliers, ce qui présente un risque d'introduction de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine. Ce phénomène d'introduction de chevaux n'avait pas été observé avant l'épizootie de 2007 par les agents des postes vétérinaires frontaliers. En effet, entre 2011 et 2012, 90 % des chevaux enregistrés à Diawara et à Kidira en provenance de la Mauritanie et du Mali, étaient destinés aux régions de Kaolack et Fatick particulièrement aux départements de Birkélane et de Kounguel (**figure 16, page 106**). Les autres 10 % étaient convoyés vers Dakar pour tracter des charrettes. Ce même phénomène a également été observé entre 2009 et 2012 dans les postes vétérinaires frontaliers de Thillé Boubacar, de Ndioum, de Médina Ndiathbé, de Aéré Lao pour des chevaux venus de la Mauritanie.

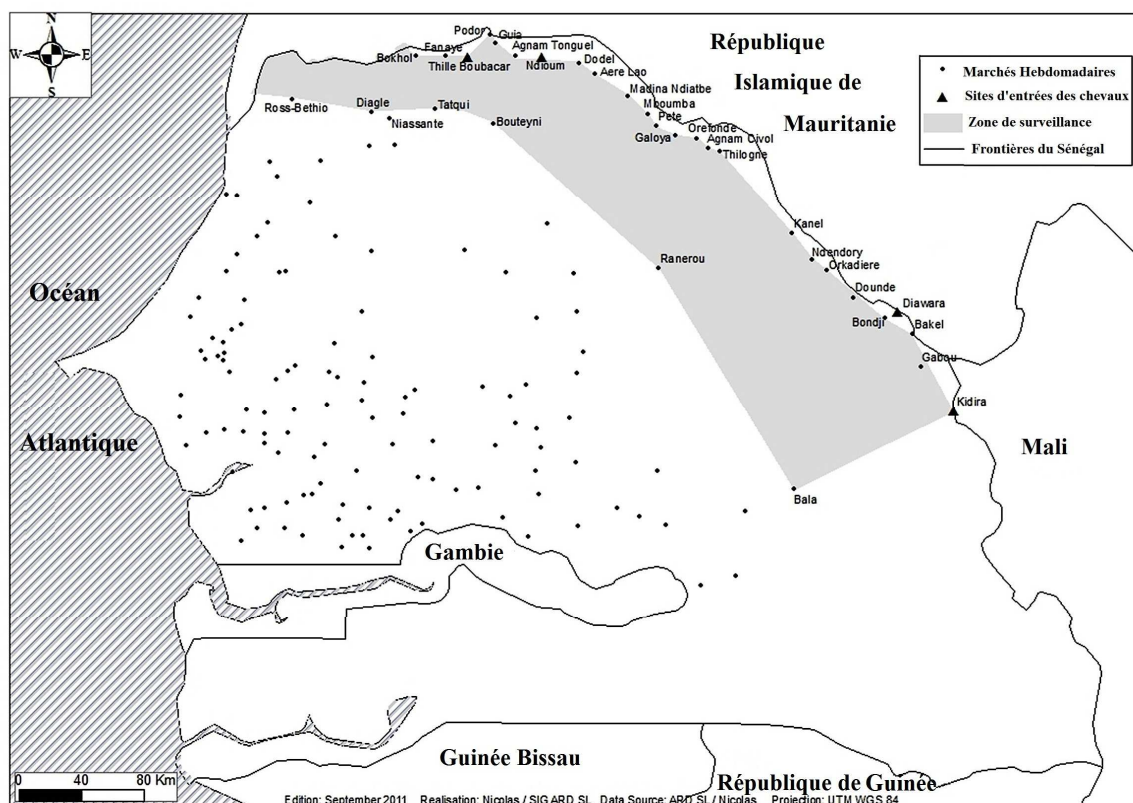


Fig. 16 : Sites d'entrée des chevaux et zone d'épidémiologie pour de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine

Le Sénégal compte un peu plus de 500 000 chevaux et plus de 400 000 ânes. Une récente étude a montré la présence d'une population de culicoïdes vecteurs de peste équine (Fall *et al.*, 2012b). Le facteur humain en l'occurrence le rôle que joue les *dioula* et *Téfankés* dans l'introduction et la commercialisation des chevaux pourrait être un important facteur de diffusion de la maladie.

La probabilité de diffusion d'un nouveau sérotype du virus en cas de contamination d'un cheval sénégalais tiendrait de l'inter-connectivité entre les marchés hebdomadaires, d'une couverture vaccinale qui varie entre 8 et 25 % du cheptel, de la présence des culicoïdes vecteurs, des mouvements saisonniers tels que le *Norane*.

Pour ce qui est de la survie et de la pérennisation d'un nouveau sérotype au Sénégal compte tenu du niveau de la surveillance épidémiologique du pays et de la qualité des services vétérinaires (OIE, 2010), la conservation du sérotype pourrait bien se faire grâce aux culicoïdes vecteurs contre lesquels la lutte est difficile et aux ânes considérés comme des réservoirs de la maladie. De ce fait, la probabilité d'exposition à un nouveau sérotype du virus de la peste équine aux chevaux du Sénégal est donc considérée comme **élevée (niveau 8** du

tableau III, page 72). La probabilité de survenue d'une épizootie de peste équine au Sénégal est qualifiée d'**élevée (niveau 8)** : élevée x élevée.

- **Appréciation des conséquences économiques :**

La peste équine n'étant pas une zoonose, seules les conséquences économiques sont à prendre en compte. Du fait de la gravité de la maladie (mortalité pouvant aller jusqu'à 100%), il est noté des pertes à l'échelle du propriétaire matérialisées non seulement par les coûts directs (prix du cheval), mais encore par les coûts indirects, car au Sénégal le cheval est un animal prestataire de services (voir **chapitre 2, II. 4**) et des pertes à l'échelle du pays caractérisées par les coûts de la lutte (prix du vaccin, du matériel de froid, de la logistique, etc.). A cela s'ajoutent les conséquences internationales d'une épizootie. Les conséquences d'une épizootie de peste équine au Sénégal, représentées dans le **tableau XX**, ont été considérées comme **élevée**.

Tableau XX : Appréciation des conséquences cumulées pour la peste équine au Sénégal

	Conséquences sanitaires et économiques à l'échelle de l'éleveur	Diffusibilité de la maladie	Répercussions économiques nationales et/ou internationales	Conséquences cumulées pour la santé animale
	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 9
Peste équine	3	3	2	8

- **L'estimation qualitative du risque**

Elle est la combinaison de la probabilité de survenue et des conséquences (**élevée x élevée**) ; ce qui veut dire que le risque d'une épizootie de peste équine est **élevé (tableau VI, page 74)**. Une fois l'introduction du virus avérée, les conséquences restent une dimension à prendre sérieusement en considération à l'image de l'épizootie de 2007.

L'analyse qualitative du risque permet de préconiser qu'un ensemble de mesures de réduction du risque soit mis en œuvre dans les domaines de la circulation des chevaux, de la vaccination contre la peste équine et de la surveillance épidémiologique.

- **Le risque acceptable dans le cas de la peste équine**

Le risque acceptable correspond au niveau de risque jugé compatible avec la santé au niveau de l'ensemble de la population équine, compte tenu d'un ensemble de données épidémiologiques, sociales et économiques. Le risque acceptable ne signifie pas tout de même un risque nul. Le risque acceptable pour les chevaux importés devrait être d'autant plus élevé

que les avantages liés à l'importation (rapport avantages/risque). Par ailleurs, plus les caractéristiques d'une maladie sont intenses (très contagieuse, forte mortalité), plus le niveau acceptable du risque doit être faible. La détermination du niveau de probabilité d'introduction acceptable doit tenir compte de la gravité économique (pertes directes et indirectes) de la maladie et de la situation épidémiologique de la peste équine au Sénégal. Autrement dit, un pays importateur indemne d'une maladie donnée peut avoir légitimement des exigences supérieures à celles d'un pays où la maladie est enzootique. Eu égard à ces facteurs, le niveau de risque acceptable d'importation de chevaux à partir de pays infectés par le virus de la peste équine devrait être estimé comme **faible** au Sénégal.

- **Evaluation du risque**

L'évaluation du risque est le processus de comparaison du risque estimé avec le niveau de risque jugé acceptable, en vue du jugement d'acceptabilité du risque considéré ou de la mise en place de mesures de diminution de ce risque (Toma *et al.*, 2002). Si le risque estimé est supérieur ou égal au risque acceptable, ce qui est le cas dans cette analyse (risque estimé : **élevé** et risque acceptable : **faible**), le décideur doit donner suite à l'analyse de risque et passer à la phase de gestion du risque en commençant par fournir une réponse négative à l'importation de chevaux à partir de pays infectés jusqu'à ce que les mesures de réduction du risque aient prouvé que celui-ci était devenu négligeable (inférieur au niveau de risque acceptable).

- **La gestion du risque**

La gestion du risque est le processus d'identification, de sélection et de mise en œuvre de mesures permettant de réduire le risque (Toma *et al.*, 2002). La définition des options de réduction du risque consiste à établir la liste de toutes les méthodes permettant de contrôler le risque. Lors d'importation de chevaux, il peut s'agir du contrôle des animaux eux-mêmes avant l'importation ou à l'arrivée, de leur mise en quarantaine, etc. Si dans l'appréciation du risque c'est le risque d'exposition qui est le plus élevé - ce qui est le cas de cette étude - les mesures devront se concentrer sur le contrôle de ce risque.

- **La communication relative au risque**

La communication des risques est l'échange interactif d'informations et d'opinions sur les risques et les facteurs liés aux risques entre les responsables de leur évaluation et de leur gestion, les consommateurs et les autres parties intéressées (FAO, 1998).

La communication relative au risque est la démarche par laquelle l'information et les avis concernant les dangers et les risques sont sollicités auprès des différents secteurs impliqués ou intéressés tout au long d'une analyse de risque, et par laquelle les résultats de cette

appréciation ainsi que les mesures proposées pour la gestion du risque sont communiquées aux détenteurs du pouvoir de décision et aux autres parties intéressées du pays importateur et du pays exportateur. Il s'agit d'un processus multidimensionnel et itératif, qui, dans l'idéal, devrait commencer dès le début de la démarche d'analyse des risques et se poursuivre tout au long de son déroulement (OIE, Code terrestre 12.2.7 Article 1.4.2.7 - Principes de la communication relative au risque).

Dans le cadre de la gestion du risque, la communication pourra être utilisée afin de sensibiliser les parties intéressées. Ainsi l'information des propriétaires et vendeurs de chevaux par rapport au risque de diffusion de la maladie en période d'épizootie peut permettre de réduire le risque.

Nous évoquerons dans la suite du chapitre 2 (**II. 4**) le rôle économique des chevaux et donc l'impact économique de la peste équine dans le Delta du fleuve Sénégal.

II. 4. IMPORTANCE DU CHEVAL AU SENEGAL ET PERTES ECONOMIQUES LIEES A L'EPIZOOTIE DE PESTE EQUINE DE 2007

La gestion de la santé animale exige de prendre en compte les situations complexes et d'intégrer les notions d'efficacités techniques et économiques des actions de maîtrise des phénomènes pathologiques. Il existe deux niveaux d'analyse des maladies et de leur prévention.

Le **II. 4** nous permet de répondre à notre troisième question de recherche Q3 : *Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?*

Nous testerons dans ce chapitre l'hypothèse suivante :

H7 : Le cheval mérite plus de considération dans le contexte du Delta du fleuve Sénégal par son rôle socio-économique.

Ce chapitre sera consacré à une étude microéconomique relative aux pertes enregistrées par les propriétaires des chevaux et abordera également l'aspect macroéconomique sur les moyens déployés par l'Etat pour enrayer l'épizootie. Il permettra de montrer que des maladies telles que la peste équine peuvent contribuer à accentuer la pauvreté en milieu rural et même urbain.

Dans le cadre de notre étude, on s'intéresse d'abord à l'économie du cheval dans le Delta avant d'estimer l'impact économique de l'épizootie de peste équine de 2007 au niveau macro et microéconomique.

A. Le cheval, un animal prestataire de services

Deux catégories de chevaux ont été identifiées : les chevaux de races exotiques qui peuvent être soit des pur-sangs soit des produits de croisements et les chevaux de races locales. Les prix des chevaux de races locales ont été obtenus par une enquête au niveau des marchés hebdomadaires de Mpal et de Dahra. Un échantillon de 18 marchands avait ainsi été enquêté dont 7 à Mpal et 11 à Dahra.

Soixante deux propriétaires de chevaux ont été enquêtés à St-Louis parmi lesquels 36 ont des calèches et 26 des charrettes ; 41 propriétaires de charrettes à Ross-Béthio et 141 propriétaires de chevaux à Richard-Toll. Parmi ces derniers, 98 possèdent des calèches et 43, des charrettes ; soit un total de 244 propriétaires de chevaux dont 134 ont des calèches et 110 des charrettes. Le terme de calèche désigne le □fiacre□.

La charrette est spécialisée dans le transport de personnes, de marchandises, d'ordures, de matériaux de construction, bouteilles de gaz, d'intrants et de produits agricoles. 100 % des calèches font du transport de personnes et 87 % d'entre eux font en plus, du transport de marchandises. Certaines personnes utilisent leurs chevaux dans les travaux champêtres.

Concernant les charrettes, 41,8 % font du transport de personnes, 32 % font du transport de marchandises, 20 % font du transport de matériel de construction ; le transport d'ordures et de bouteilles de gaz est pratiqué par 1 % des charretiers enquêtés. Il faudra noter que 51 % des chevaux de charrettes sont utilisés dans les travaux champêtres. Les cochers travaillent 7 j/7 et $6 \pm 1,4$ heure par jour avec un maximum de 12 heures et un minimum de deux heures.

Notons, tout de même que les propriétaires et cochers enquêtés sont pour l'essentiel des hommes (99,9 % contre seulement 0,01 % de femmes) et que 73 % des enquêtés sont âgés de 15 à 45 ans donc relativement jeunes.

1. Attelages et harnachement

• Calèches

Les calèches sont acquises neuves ou en occasion avec un coût moyen de $117\,031 \pm 36\,717$ F CFA avec un maximum de 250 000 F CFA et un minimum de 25 000 F CFA (**Annexe 1.B.**).

Elles sont individuelles et peuvent être prêtées ou louées à $352 \pm 83,25$ F CFA par jour. La durée moyenne d'utilisation des calèches est de $7 \pm 2,89$ ans, mais le parc est très vieux avec des coûts de réparations élevés chez les ferronniers.

• Charrettes

Les charrettes sont des plates-formes à ridelles aménagées pour le transport des récoltes et accessoirement pour le transport de personnes. Les charrettes sont acquises neuves ou en occasion avec un prix moyen de $112\,831 \pm 43\,225$ F CFA (**Annexes 1.A et 1.D.**). Leur durée d'utilisation est de $10 \pm 2,93$ ans avec un maximum de 15 ans et un minimum de 3 ans. Elles peuvent être louées à $420 \pm 121,9$ F CFA par jour.

• Harnachement et les accessoires

Le harnachement est essentiellement composé d'une bricole, des sangles (dossier et sous-ventrière) avec la sellette fixée sur la sangle dossière, des gardes (haut et bas). Dans certains cas le harnachement est complété par une croupière généralement appelée □arrière□ et une fessière qui est très utile dans la marche arrière de l'attelage.

Les prix des harnais sont variables suivant la qualité car il existe deux types :

- ❖ les harnais en cuir qui coûtent en moyenne $2361 \pm 816,01$ F CFA avec un maximum de 4000 F CFA et un minimum de 1000 F CFA.

- ❖ les harnais en matière synthétique dont le prix moyen est de $1045 \pm 429,34$ F CFA avec un maximum de 2000 F CFA et un minimum de 500 F CFA ont une durée de vie plus courte mais demeurent plus accessibles pour les cochers.

La durée de vie moyenne des harnais est de $13 \pm 6,5$ mois avec maximum de 20 mois et un minimum de deux mois ($n=165$).

Les accessoires sont généralement les pneus, les fers, les cravaches, les avertisseurs sonores, les signalisations.

Les pneus sont toujours d'occasion et achetés à 8238 ± 2696 F CFA pour une durée d'utilisation de $7 \pm 4,43$ mois. Les fers et les cravaches sont achetés à 500 F CFA pour une durée respective de 15 jours et de 30 jours. Les avertisseurs sonores sont achetés à 2000 F CFA l'unité pour une durée d'utilisation de $15 \pm 5,5$ mois seuls 20 % des cochers ont un klaxon qui est du reste obligatoire. A l'exception de 3 % d'entre eux qui ont des lampes pour le travail de nuit, ils arrêtent tous le travail avant la tombée de la nuit.

2. Le compte d'exploitation

Un compte d'exploitation permet d'avoir une vue d'ensemble sur les entrées et les sorties monétaires (**tableau XXI, page 113**). Les résultats moyens sont pris et rapportés à un exercice d'un an pour un propriétaire de cheval.

Tableau XXI : Compte d'exploitation pour une calèche et une charrette

Rubriques	Calèche		Charrette	
	Montant F CFA	% du Chiffre d'affaire.	Montant F CFA	% du Chiffre d'affaire
1. Alimentation	848 015	41,07	848 015	27,62
Abreuvement et bain	18 250	0,88	18 250	0,59
Sous-Total 1	866 265	41,95	866 265	28,21
2. Frais annuels				
Taxe communale	30 000	1,453	18 000	0,586
Pneus (2 paires /an)	16 480	0,798	16 480	0,537
Fer (4 fers tous les 15 j)	48 000	2,324	48 000	1,563
Frais vétérinaires	9 390	0,455	9 390	0,306
Cravache (1 par mois)	6 000	0,290	6 000	0,195
Sous-Total 2	109 870	5,32	97 870	3,187
3. Amortissement				
Cheval (sur 6 ans)	40 510	1,96	40 510	1,32
Charrette ou Calèche (sur 6 ans)	19 505	0,94	18 805	0,61
Harnais (sur 2ans)	850	0,04	850	0,03
Mangeoire (sur 2ans)	2 000	0,10	2 000	0,06
Klaxon (sur 2 ans)	1 000	0,05	1 000	0,03
Sous-Total 3	63 865	3,09	63 165	2,05
4. Recettes (chiffres d'affaires 7 j de travail)	2 064 805	100	3 070 380	100
5. Marge brute annuelle	1 088 670	52,7	2 106 245	68,6
6. Marge nette annuelle	1 024 805	49,6	2 043 080	66,5
7. Recette journalière	5 657	100	8 412	100
8. Marge brute journalière	2 983	52,7	5 770	68,6
9. Marge nette journalière	2 808	49,6	5 597	66,5

Avec des chiffres d'affaires moyens quotidiens de 5 657 F CFA et 8 412 F CFA, les calèches et les charrettes ont respectivement généré une marge brute quotidienne de 2 983 F CFA et 5 770 F CFA soit 52,7 et 68,6 % de leurs chiffres d'affaires quotidiens. Les charrettes sont apparues deux fois plus rentables, car leurs tarifs sont plus élevés et elles n'ont pas beaucoup de concurrents pour le transport de marchandises. Les calèches, quant à elles, sont concurrencées par les taxis dans les villes de Saint-Louis et de Richard-Toll.

3. Les recettes

Le gain moyen quotidien est de 6865 ± 3295 F CFA mais il est variable suivant le type d'attelage et suivant la localité. Ainsi à travers ce **tableau XXII**, les recettes des charrettes et des calèches ont été comparées suivant les localités.

Tableau XXII : Recettes suivant les localités

Type	Zone	Catégorie de recettes	Valeur	Nbre
Charrette	St-Louis	Recette minimum	3 000	25
		Recette moyenne	8 940	
		Ecart Type	± 5113,95	
		Recette maximum	20 000	
	Ross Béthio	Recette minimum	4 000	41
		Recette moyenne	8 488	
		Ecart Type	± 2 855,88	
		Recette maximum	20 000	
	Richard-Toll	Recette minimum	1 500	39
		Recette moyenne	7 808	
		Ecart Type	± 3 680,70	
		Recette maximum	20 000	
Calèche	St-Louis	Recette minimum	2 500	36
		Recette moyenne	5 569	
		Ecart Type	± 2 615,62	
		Recette maximum	15 000	
	Richard-Toll	Recette minimum	2 000	97
		Recette moyenne	5 745	
		Ecart Type	± 2 126,91	
		Recette maximum	15 000	

L'activité du cheval dans la zone de Ross-Béthio est essentiellement dominée par le transport de personnes, d'intrants, de matériel au niveau des rizières. Dans les communes de St-Louis et de Richard-Toll, le cheval est le plus souvent utilisé dans la traction de véhicules hippomobiles. Il est également utilisé dans le transport de la canne à sucre à Richard-Toll.

4. Les calèches touristiques de St-Louis

Les propriétaires de calèches touristiques n'ont pas été pris en compte dans le calcul du compte d'exploitation, car leurs marges sont nettement différentes de celles des propriétaires de charrettes ou de calèches simples (**Annexe 1.E**). Leur clientèle est exclusivement constituée de touristes venus visiter la ville de St-Louis. Leur itinéraire consiste à faire le tour de l'île en calèche allant de la pointe Sud à la pointe Nord. Une enquête réalisée auprès de 10 d'entre eux a révélé que leur revenu journalier est compris entre 15 000 et 30 000 F CFA à raison de 1000 F CFA par personne. Ces calèches peuvent prendre sept personnes par course. C'est également dans cette catégorie que nous avons enregistré un cheval acheté au prix de 525 000 F CFA.

B. Enquêtes économiques rétrospectives de la peste équine de 2007 dans le DFS

1. Coût des pertes par morbidité

L'épizootie a entraîné un total de 34 malades sur un effectif régional de 11 900 chevaux soit un taux de morbidité régional de 0,28 % chez les chevaux locaux.

Pour le propriétaire de cheval, il y'a une perte de deux jours de travail estimée à 13 730 F CFA (2 x 6865 F CFA). Cette perte en force de travail est estimée à l'échelle des 34 chevaux malades, à 466 820 F CFA.

2. Coût des pertes par mortalité

Le nombre de chevaux morts est de 29 et sont tous de races locales. Le coût lié à la mortalité s'élève à 7 048 740 F CFA. La perte au niveau de l'éleveur est estimée au prix moyen d'un cheval, soit 243 060 F CFA.

3. Coût du contrôle de la maladie

3.1. Coût de la vaccination

Avant la survenue de l'épizootie les vétérinaires privés avaient commencé à vacciner avec un vaccin monovalent. C'est ainsi que 1727 chevaux ont été vaccinés avec un vaccin monovalent

pour un coût de 1 554 300 F CFA. Le nombre total de chevaux vaccinés avec le vaccin polyvalent durant l'épizootie est de 2747 têtes, pour un coût 3 845 800 F CFA. La vaccination était gratuite pour l'éleveur pendant l'épizootie, il n'a cependant pas été estimé le coût du déplacement et du temps de travail des vétérinaires privés mais également celui de l'immobilisation des chevaux. La vaccination des chevaux a donc coûté 5 400 100 F CFA comme le montre le **tableau XXIII**.

Tableau XXIII : Coût de la vaccination

Vaccins	Prix unitaire	Effectif vacciné	Total
Monovalent	900	1727	1 554 300
Polyvalent	1400	2747	3 845 800
Total			5 400 100

3.2. Coût de la coordination

- **Coût du matériel**

Le coût du matériel n'est pas facile à évaluer, car l'amortissement du matériel utilisé pendant les cinq mois de la lutte doit être pris en compte. Le matériel acheté à l'occasion est uniquement pris en compte et son coût total est de 4 056 500 F CFA (**tableau XXIV**). L'évaluation a été faite à minima car des postes de dépenses n'ont pas pu être évalués ; c'est le cas par exemple des coûts de la main d'œuvre, les coûts d'opportunité, etc.

Tableau XXIV : Coût du matériel utilisé dans la lutte

Immobilisation	Nombre	Prix unitaire	Total
Moto	2	1 200 000	2 400 000
Congélateur	2	298 540	597 080
Réfrigérateur	3	292 640	877 920
Glacière	11	16 500	181 500
Total			4 056 500

- **Coût du carburant**

La coordination est assurée par le SREL et les SDEL ; mais dans le cas qui nous concerne seules les SDEL de St-Louis et de Dagana sont prises en compte. Ainsi le coût total du carburant qui leur a été distribué en guise d'appui pour faire face à leurs différents déplacements lors de l'épizootie, est de 740 000 F CFA.

3.3. Coût de la maladie

Selon le **tableau XXV (page 117)**, le coût total de l'épizootie de 2007 de la peste équine dans le DFS est estimé à 17 712 160 F CFA. 39,79 % de ce coût économique est dû aux pertes survenant par mortalité et 2,63 % par morbidité, tandis que le reste, environ 58 %, est dû au coût de contrôle de la maladie.

Au niveau éleveur la perte d'un cheval est estimée à 389 790 F CFA qui correspond à la somme du prix estimé du cheval et des coûts d'opportunité équivalents à deux jours de travail.

Tableau XXV : Coût de la maladie

Rubrique	Coût	Pourcentage
Morbidité	466 820	2,63
Mortalité	7 048 740	39,79
Vaccination	5 400 100	30,48
Matériel	4 056 500	22,90
Carburant	740 000	4,17
Total	17 712 160	100

A la suite de ce chapitre, nous procéderons à la **discussion générale** des résultats présentés dans les quatre sous-chapitres (**II.1** à **II.4**).

TROISIEME PARTIE : DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

III.1. DISCUSSION GENERALE

Très peu de travaux ont été effectués sur le virus de la fièvre West Nile au Sénégal. Cependant, la circulation virale a été mise en évidence chez les humains (Murgue *et al.*, 2002b), les oiseaux (Chevalier, 2007 ; Chevalier *et al.*, 2009), les arthropodes vecteurs (Traore-Lamizana *et al.*, 1994 ; Diallo *et al.*, 2005) et les chevaux (Cabre *et al.*, 2006 ; Chevalier *et al.*, 2006 ; Chevalier *et al.*, 2010).

Durant ces dernières décennies, très peu d'articles ont également été publiés sur la peste équine au Sénégal. Depuis la note de Bourdin et Laurent publiée en 1974, Sarr *et al.* (1988) ont décrit des foyers de peste équine au début des années 1980, Rawlings *et al.* (1998) ont, à leur tour, étudié les culicoïdes en relation avec la peste équine en Gambie, pays frontalier du Sénégal, et qui partage les mêmes conditions écologiques. Les dernières études sur les culicoïdes au Sénégal datent de la fin des années 1960 (Cornet, 1969 ; Cornet et Chateau, 1970). Ce n'est qu'en 2011 que d'autres travaux ont été entamés (Fall *et al.*, 2012b). A ces différentes publications s'ajoute l'étude sur le sérotypage et le séquençage du virus (Sailleau *et al.*, 2000). Au niveau de la littérature à diffusion plus restreinte, notamment les thèses vétérinaires, quatre d'entre elles ont porté sur la peste équine (Mande, 1990 ; Bazarusanga, 1995 ; Wombou Toukam, 2008 ; Ndiaye, 2010) ; au moins sept autres thèses soutenues à l'EISMV ont concerné le cheval, son élevage, sa commercialisation, les métiers y afférents ainsi que d'autres pathologies (Ndiaye, 1978 ; Fall, 1988 ; Ndoeye, 1988 ; Akpo, 2004 ; Drendel, 2009 ; Epanya Wonje, 2009 ; Ndao, 2009).

L'objectif général de cette thèse est d'étudier le rôle épidémiologique que pourrait jouer le Delta du fleuve Sénégal dans la transmission de la fièvre West Nile et de la peste équine et de montrer leur impact aussi bien sur le plan sanitaire qu'économique dans le Delta du fleuve Sénégal. Pour se faire, trois questions de recherche ont été énoncées :

Q1 : L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile dans le DFS serait-elle liée à un défaut de diagnostic ?

Q2 : Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?

Q3 : Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?

Pour y répondre, sept hypothèses ont été testées dans les résultats (chapitre 2, II. 1 à II. 4) de la deuxième partie. Le II. 1 a permis de montrer que l'absence de cas clinique de la fièvre West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal n'est pas forcément liée à un défaut de

diagnostic ; le virus West Nile circule dans la population équine du Delta du fleuve Sénégal. Cependant, il reste ignoré par les techniciens vétérinaires et les éleveurs de chevaux. La période de séjour des oiseaux migrateurs correspond au premier pic de transmission du virus West Nile aux chevaux. La validation de ces quatre hypothèses a ainsi permis de répondre à la question de recherche Q1.

Les **II. 2** et **II. 3** du **chapitre 2** de la deuxième partie de cette thèse ont permis de répondre à notre deuxième question de recherche Q2 en mettant en évidence trois sérotypes du virus de la peste équine dans le DFS en l'occurrence le 2, le 7 et le 9 et en déterminant la fraction critique vaccinale à atteindre pour arrêter la circulation virale au sein de la population de chevaux. Il a été montré dans le **II. 3** que le facteur humain est un élément non négligeable dans la diffusion des maladies animales. La synthèse de ces deux chapitres a mis en évidence non seulement des mécanismes de diffusion du virus de la peste équine mais aussi un modèle de prévention et de lutte contre cette maladie.

Le **II. 4** a permis de valider l'hypothèse selon laquelle le rôle socio-économique du cheval **mérite plus de considération** et de répondre ainsi à notre dernière question de recherche Q3.

Les différents chapitres de la deuxième partie ont permis une meilleure compréhension de l'épidémiologie des arboviroses que sont la fièvre West Nile et la peste équine dans la population équine du Delta du fleuve Sénégal, mais également une appréciation objective des risques aussi bien sanitaire qu'économique, d'introduction de ces pathogènes à travers le Delta et la vallée du fleuve Sénégal.

La présente discussion nous permettra de montrer dans quelle mesure la combinaison des différents éléments ressortis de cette thèse, pourra contribuer à la prise de décision de l'autorité. Nous évoquerons également les limites de cette étude.

A. Matériel et Méthodes utilisées

Dans la méthodologie utilisée dans cette thèse, quelques limites ont été observées, notamment la faiblesse des effectifs des chevaux sentinelles ; ce qui fait que les tests statistiques ont manqué de puissance. Cela s'explique par la séroprévalence élevée pour la West Nile dans la population équine du DFS et des coûts très élevés des prélèvements et de l'analyse des sérums, pour l'obtention d'un nouveau cheval séronégatif dans la zone. Notons que l'ELISA West Nile est très sensible, mais il ne présente pas une très bonne spécificité. C'est la raison pour laquelle, il a été utilisé pour la sélection des chevaux séronégatifs, mais il ne constitue pas un test de certitude pour les chevaux séropositifs du fait de la possibilité des réactions croisées avec d'autres virus (fièvre jaune, Usutu, etc.). Le nombre de faux positifs

éventuellement généré par l'ELISA a pu contribuer à réduire l'effectif des chevaux sentinelles. Le nombre de chevaux perdus de vue met en évidence la mobilité des chevaux et quelquefois l'absence de possibilité de contacter le propriétaire. L'absence de prélèvements chez les chevaux morts lors du suivi est due au fait que les éleveurs ne perçoivent pas les enjeux et l'intérêt de connaître la véritable raison de la mort de leur cheval et n'ont pas jugé utile de contacter le vétérinaire de la zone à temps, ce qui n'a pas permis d'investiguer d'éventuelles mortalités causée par le virus de la WN.

La taille de l'échantillon choisi pour la détection des sérotypes du virus de la peste équine n'a pas permis d'estimer la force d'infection et le R_0 à Richard-Toll, car 100 % des chevaux de la zone étaient positifs. L'âge de certains chevaux n'a pu être noté, compte tenu du nombre d'informations qui devaient être recueillies en peu de temps pour chaque cheval prélevé et du fait que certains propriétaires devaient honorer d'autres engagements.

Dans cette étude, les grands marchés ont été fixés en amont en considérant le nombre de connexions entrantes ou sortantes, ou encore la taille, mais le choix pourrait être automatisé en intégrant ces différents paramètres.

B. Résultats du suivi du virus West Nile chez les chevaux sentinelles

Le choix du cheval comme espèce sentinelle pour étudier la West Nile est un choix judicieux, puisqu'il est avec l'homme l'une des espèces les plus réceptives et sensibles à la maladie. Plus une espèce est réceptive et, surtout sensible, plus elle permet une détection exhaustive et rapide de tout cas. Disposer d'une population sentinelle de grande taille n'est pas toujours indispensable ; le plus important est d'avoir une taille de population adaptée à l'objectif, ce qui doit être jugé au cas par cas (Hendrikx et Dufour, 2009). Les mouvements observés chez certains chevaux sentinelles pourraient rendre difficile l'interprétation des résultats. Cependant, seul un cheval est devenu positif après avoir quitté sa zone initiale.

L'intervalle entre les visites, qui était en moyenne de deux mois aurait pu être réduit pour une meilleure détection des IgM. Cependant les coûts des visites d'investigation liés à la prise en charge des déplacements, la rétribution du personnel impliqué et l'acquisition du matériel de prélèvements rendaient le suivi onéreux. D'autre part, l'augmentation de la fréquence des prélèvements pourrait compromettre l'acceptabilité au niveau de l'éleveur.

Dans le Delta du fleuve Sénégal, le cheval vit dans la même concession que l'homme. On estime qu'avant l'apparition des premiers symptômes de la fièvre West Nile chez l'homme, des séroconversions peuvent être mises en évidence sur les chevaux.

La plupart des chevaux confirmés ont fait l'objet d'une séroconversion entre les mois d'octobre et de janvier, période qui coïncide avec le séjour des oiseaux migrateurs dans les parcs de la région mais aussi avec la circulation du virus dans la zone (Diallo *et al.*, 2005 ; Chevalier, 2007).

Deux chevaux sont morts durant le suivi. Ils étaient restés séronégatifs lors des derniers passages précédant leur mort. Richard-Toll présente la plus forte prévalence alors que les conditions d'entretien et de transmission du virus West Nile semblent plus favorables dans la zone de Ross-Béthio avec la présence du parc ornithologique du Djoudj. En effet, le parc présente une végétation et une hydrographie propice au développement des arthropodes vecteurs, il accueille une forte population d'oiseaux migrateurs et résidents ainsi qu'une population équine. La prévalence élevée dans la zone de Richard-Toll pourrait être due à une activité plus accrue des moustiques qui serait liée aux conditions environnementales.

L'absence de signes cliniques chez les chevaux pourrait s'expliquer par le fait que les différences entre pouvoir pathogène ou neuro-invasif du virus West Nile sont fonction du génotype des individus et non de la lignée à laquelle appartient le virus (Venter et Swanepoel, 2010). En effet, les virus WN appartenant aux lignées isolées au Sénégal dont la lignée II (Sen 1979 et Sen 1990) ont rarement été décrits comme cause d'épidémies. Cependant, cette lignée considérée comme peu virulente aurait été à l'origine de cas mortels chez les chevaux avec des signes neurologiques en Afrique du Sud (Venter *et al.*, 2009). En fait, les deux appartiennent à la même lignée mais la souche sudafricaine diffère de la souche sénégalaise par les sites de glycosilation de la protéine d'enveloppe ; ce qui expliquerait sa plus forte virulence.

Les travaux de Ward *et al.*, (2009) montrent que les facteurs environnementaux les plus déterminants dans le risque de propagation des cas équins de West Nile au Texas sont le nombre de lacs, la présence de végétation, la présence de superficies cultivées, la distance par rapport au fleuve, le statut positif des moustiques vis-à-vis du virus de la West Nile et la température moyenne. Les cas de West Nile observés chez les chevaux à New York en 1999 et 2000 ont été diagnostiqués après les cas humains (Trock *et al.*, 2001) d'où la nécessité d'augmenter la vigilance sur les maladies humaines dont la symptomatologie serait proche de la fièvre West Nile. Roberts et Foppa (2006) ont observé une forte association positive entre

la mortalité des oiseaux par le virus WN et celle des chevaux aux Etats-Unis. La surveillance des oiseaux morts serait beaucoup plus sensible que celle des moustiques pour la WN.

C. Circulation des sérotypes du virus de la peste équine en 2007

Les prélèvements de sang effectués entre le 12 et le 19 août 2007 ont eu lieu avant l'apparition du premier foyer de peste équine dans la région de St-Louis où les premiers cas n'ont été rapportés qu'à la date du 11 septembre. Par ailleurs, ces sérums ont été collectés avant l'importation et la première utilisation du vaccin polyvalent contre la peste équine au Sénégal le 24 août 2007.

Seuls les anticorps contre le sérotype 9 du virus de la peste équine pourraient entraîner une confusion puisque le vaccin monovalent contre ce sérotype était annuellement utilisé au Sénégal. Chez la plupart des animaux pour lesquels ces sérotypes nouvellement introduits ont été observés, ils sont associés tous les trois 2, 7 et 9 ce qui laisse supposer qu'ils ont été introduits et disséminés par un même mécanisme.

Le sérotype 7 n'a été retrouvé dans aucun des prélèvements analysés par le LNERV alors qu'une forte séroprévalence de ce type a été observée (Ndiaye, 2010). En effet, sur les 71 chevaux choisis de façon aléatoire parmi les positifs à l'ELISA, 66 chevaux ont présenté des anticorps contre le sérotype 7 soit 92,96 %. Ce sérotype a été isolé par le laboratoire de référence de l'OIE de Pirbright dans un prélèvement effectué dans la région de Diourbel (Mertens *et al.*, 2010).

Le taux de reproduction de base R_0 obtenu à partir des sérums collectés entre le 12 et le 19 août 2007 dont les résultats ont été utilisés dans le modèle 2B, est estimé à une valeur supérieure à 8 et donc nettement supérieur à 1 ; ce qui est confirmé par la survenue d'une épizootie de peste équine à la date du 11 septembre 2007 dans le DFS. La détermination du taux de reproduction de base (R_0) pourrait donc constituer un outil important dans la prévention de cette maladie. En revanche, cette étude a permis de constater que le R_0 (**Fig. 11**) ainsi que le ratio vecteur-hôte (ρ) (**Fig. 12**) sont très sensibles à la prévalence chez le vecteur.

D. Résultats de l'impact économique de la peste équine

A la suite des pertes directes engendrées par la peste équine, d'autres pertes dites indirectes n'ont pas été évaluées. Il s'agit de pertes d'opportunités de commercialisation, car le commerce du cheval au niveau des marchés hebdomadaires, est une activité économique non

négligeable. Une perte du patrimoine génétique a également été observée : dans les petits marchés où les chevaux ne sont pas vendus, seuls les mâles attelés s'y retrouvent pour le transport des personnes et des biens. Cela a dû contribuer à les exposer à la maladie ; d'où une mortalité très élevée, estimée à 418 chevaux mâles lors de l'épizootie de 2007 (Akakpo *et al.*, 2011). L'une des conséquences pourrait être la baisse de la fertilité ou l'arrêt momentané de la reproduction ou encore le besoin d'introduire du sang neuf par l'importation à partir des pays frontaliers tels que le Mali et la Mauritanie ; ce qui expose le pays à l'introduction de nouveaux pathogènes ou de nouveaux sérotypes dans le cas des virus endémiques. Le phénomène récent d'importation des chevaux à partir du Mali via Kidira et de la Mauritanie via Diawara, Thillé Boubacar, Ndioum, Aéré Lao et Médina Ndiathbé, en est la parfaite illustration. La diminution de la force de travail dans le cadre de la culture attelée ou de la traction hippomobile reste lourde de conséquences dans le monde rural. A toutes ces pertes s'ajoutent la diminution des opportunités d'emplois en prenant en compte les métiers du cheval. Ils sont, tout de même, pour l'essentiel occupés par le secteur informel généralement sans formation. Cet état de fait est un handicap certain pour une meilleure lisibilité de l'importance économique du cheval et pour l'identification des niches d'emplois que cette filière est susceptible de développer (Kaboret *et al.*, 2004). L'éradication de la peste équine par une campagne de vaccination conjointe à l'échelle sous-régionale visant un seuil de 98 % et cumuler à une lutte contre les vecteurs devrait présenter plusieurs avantages (Portas *et al.*, 1999). Néanmoins, il faudrait réaliser une analyse économique qui consisterait à comparer les coûts d'un programme de lutte contre la maladie, aux conséquences ou avantages apportés par la lutte avant la mise en place d'un tel programme.

Rappelons que la peste équine fait partie de la liste des maladies notifiables à l'OIE. C'est une maladie non contagieuse, une virulente arbovirose avec une forte capacité de diffusion. Elle est considérée comme une maladie transfrontalière. Sa mise en évidence entraîne l'interdiction d'exporter des chevaux qui engendre de fortes répercussions économiques.

Une analyse prospective de l'impact de la fièvre West Nile devrait avoir, en plus des conséquences économiques de la peste équine, des implications importantes sur la santé publique du fait qu'il s'agit d'une zoonose. Dans ce cas, il faudra intégrer dans les effets indirects de la maladie, la morbidité humaine et la perte de travail, la souffrance, l'inconfort ou le décès, les dépenses liées à la prévention et aux essais de traitement de la maladie chez l'homme. L'évaluation monétaire des coûts indirects est difficile à chiffrer.

E. Mouvements des chevaux et l'analyse de risque

Cette étude a permis de constater que lorsqu'une localité est régulièrement citée comme zone de destination de chevaux et que l'on trouve un faible effectif dans son marché, cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il s'agisse d'une zone de consommation, c'est-à-dire que le cheval y est utilisé pour sa prestation. C'est le cas des différents marchés du Delta du fleuve Sénégal.

Lorsqu'une zone est régulièrement citée et qu'on trouve dans son marché un grand effectif mais très peu de chevaux dans la zone, cela pourrait caractériser une zone exclusivement commerciale, c'est-à-dire que le cheval y est commercialisé et non utilisé. C'est le cas du marché du Touba.

En 2007, compte tenu de la durée d'incubation de la peste équine qui est de 7 à 14 jours, les foyers qui ont eu lieu à partir du 24 août 2007 sont probablement liés au phénomène de commercialisation et non à celui du *Norane* car les charretiers rejoignent leur localité d'origine au plus tard le 1^{er} août.

Il n'est pas souvent noté de mouvement de charretiers entre départements durant l'hivernage : ils sont occupés par les travaux champêtres. Les principaux mouvements sont d'ordre commercial d'où le rôle important des marchés hebdomadaires.

Le triangle formé par les marchés de Dinguiraye, Birkélane et Mbar a joué un rôle non négligeable dans la circulation du virus dans les départements Kaolack, Nioro, Kaffrine et Gossas. Les relations commerciales qu'entretiennent les marchés précités avec ceux de Mbafaye, Ndiébel et même Toubatoul pourraient expliquer le fait que Bambey soit le premier département infecté dans sa zone. C'est probablement à partir de ces marchés que le virus a été retrouvé durant la même période à Mbour, Thiès, Tivaouane et Diourbel.

Le département de Ranérou appartient à une région où le phénomène de *Norane* ne s'observe pas. Il a enregistré des foyers avant Linguère ; ce qui conforte l'hypothèse que l'infection lui vient de Kaffrine. Les foyers de Matam ont certainement pour origine Ranérou, par la suite des mortalités de chevaux ont été rapportées au cours de la même période à Kanel et Podor. Le virus a ensuite été retrouvé à Dagana via les marchés hebdomadaires qui le relie à Podor ou à Louga notamment celui de Keur Momar Sarr. Le département de St-Louis n'a enregistré que deux cas isolés qui proviendraient d'achat à partir du marché de Mpal.

L'apparition des premiers foyers dans les régions de Kaolack, Fatick et Louga pourrait être attribuée au phénomène de *Norane*. En revanche, le circuit de commercialisation serait probablement à l'origine de l'infection des régions de Diourbel, Thiès, Matam, Tambacounda et St-Louis (**Fig. 17, page 126**).

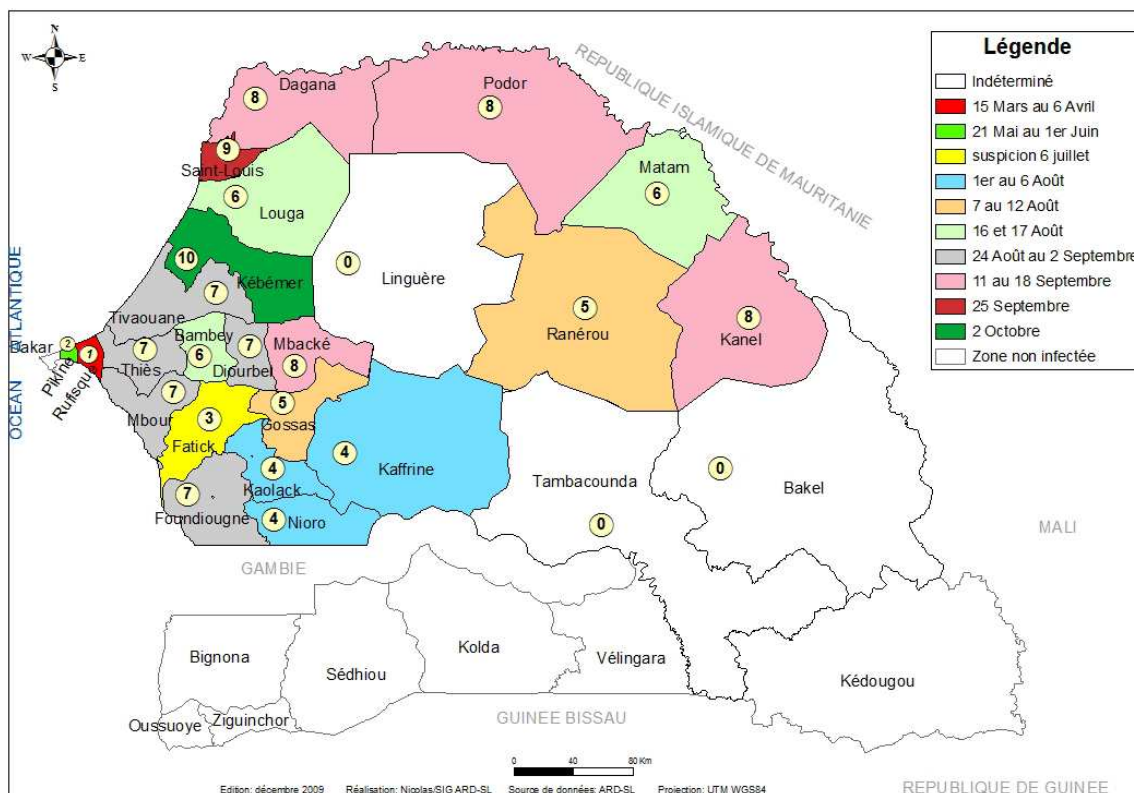


Fig. 17 : Chronologie de l'apparition des foyers de peste équine par département
(Début des foyers indéterminé dans les départements de Linguère, Tambacounda et Bakel)

L'absence de données chiffrées dans cette étude n'a pas permis l'appréciation quantitative du risque qui devrait aboutir à une estimation quantifiée du risque notamment par la construction d'arbres de probabilité, accompagnés de leur degré d'incertitude. En effet, une analyse déterministe ou stochastique aurait permis d'estimer la probabilité d'introduction du virus de la peste équine à partir des frontières ainsi que celle de l'exposition.

F. Hypothèses de diffusion du virus de la peste équine à partir du DFS lors de l'épizootie de 2007

L'analyse phylogénique du virus de type 2 de la peste équine isolé au Sénégal en 2007 montre une forte similitude avec celui qui a circulé au Nigéria et en Afrique du Sud en 2006 (Anon, 2010). Avant l'année 2006, jamais le type 2 n'avait circulé en Afrique occidentale. Sur la base de ces informations, trois hypothèses ont été formulées.

La première **hypothèse** considère une importation frauduleuse de chevaux à partir d'un pays infecté par le type 2 notamment l'Afrique du Sud, le Nigéria ou un pays d'Afrique de l'Est, vers le Sénégal.

Dans ce cas, le cheval infecté serait directement à l'origine des foyers enregistrés dans la région de Dakar, en particulier celui de Niaga en mars 2007.

Durant la période précédant les foyers de Niaga et Mbao, aucune importation de chevaux en provenance de l'Afrique du Sud, du Nigéria ou de l'Afrique de l'Est, n'a été enregistrée par les services vétérinaires du port et de l'aéroport de Dakar. Entre 2005 et 2008, ces services ont répertorié 57 chevaux importés, en provenance de la France et du Brésil.

La seconde **hypothèse** considère une importation de chevaux infectés par le type 2 à partir de l'Afrique du Sud, du Nigéria ou d'un pays d'Afrique de l'Est, vers un des pays limitrophes du Sénégal.

Compte tenu du fait que les sérotypes 2 et 7 ont été retrouvés dans le Delta du fleuve Sénégal entre le 12 et le 19 août 2007 (**cf. II. 2 du chapitre 2** de la deuxième partie), donc avant l'introduction du vaccin polyvalent contre la peste équine au Sénégal, ces sérotypes ont probablement circulé à bas bruit avant l'éclatement des foyers de Niaga et de Mbao dans la région de Dakar. Ce cas s'est présenté en Corse durant l'épizootie de fièvre catarrhale ovine (FCO) en 2003 (Gerbier *et al.*, 2008). Ce phénomène pourrait s'expliquer par le scénario suivant : un des pays limitrophes du Sénégal en l'occurrence le Mali ou la Mauritanie (Wilson *et al.*, 2009) aurait pu importer des chevaux avant 2007 à partir d'un pays où sévit le sérotype 2. Ce sérotype aurait vraisemblablement circulé dans la population équine de ce pays notamment chez les chevaux de races locales. A la suite de transactions commerciales au niveau d'un ou de plusieurs marchés hebdomadaires frontaliers de ce pays, des chevaux infectés par ce sérotype pourrait être acheminés vers l'un des grands marchés de chevaux. Le nouveau sérotype pourrait alors se retrouver dans l'une des régions où les charretiers effectuent les mouvements saisonniers vers Dakar à la fin de l'hivernage en l'occurrence Thiès, Kaolack, Fatick, Diourbel ou Louga. Avec ce phénomène, le sérotype 2 a probablement circulé à bas bruit à partir du mois de décembre 2006 à Dakar chez les chevaux de races locales. Ce n'est qu'au mois de mars 2007 que les premiers foyers ont été enregistrés chez les chevaux de races importées dans la banlieue dakaroise. Après plusieurs passages chez ces animaux, le virus a probablement acquis plus de virulence ou subi une mutation, et serait devenu mortel pour les chevaux de races locales. Le mouvement inverse des charretiers à la veille de l'hivernage de Dakar vers les régions précitées, aurait été en grande partie à l'origine de la diffusion de ce nouveau sérotype à l'intérieur du pays.

Les chevaux de races locales, vivant dans les environs des haras infectés dans les départements de Rufisque et Pikine, ont probablement voyagé de Dakar vers les régions pendant la période d'incubation. En effet, l'éclatement du foyer de Mbao coïncide avec la

veille de l'hivernage, période durant laquelle un grand nombre de charretiers quittent Dakar pour regagner leurs localités d'origine pour les besoins des travaux champêtres. Cela pourrait expliquer l'éclatement de plusieurs foyers dans différentes zones. Cette pratique des conducteurs de charrettes, communément appelée «*Norane*», est plus marquée dans certaines régions que dans d'autres. En effet, les premières suspicions de peste équine hors de Dakar ont été enregistrées le 5 juillet 2007 dans la région de Fatick à Diarère, village où des propriétaires de charrettes avaient séjourné à Dakar durant la saison sèche et venaient d'arriver (moins d'un mois) pour les besoins des travaux champêtres.

Les chevaux de races exotiques morts entre mars et mai 2007 dans la banlieue dakaroise n'ont probablement constitué que la «*partie visible de l'iceberg*» et ont donc été les révélateurs de la circulation virale, car étant plus sensibles que ceux de races locales.

Une troisième **hypothèse** considère que les sérotype 2 et 7 ont été introduits dans le pays par des vecteurs infectés probablement des culicoïdes qui auraient pu voyager par avion, bateau ou d'autres moyens de transport.

La seconde **hypothèse** paraît la plus probable, car pour la première **hypothèse**, le temps écoulé entre l'importation de chevaux et l'éclatement du premier foyer serait trop long surtout en considérant qu'il s'agirait d'importation de races exotiques. Les signes cliniques de la peste équine sont généralement observés dans les 7 à 14 jours qui suivent l'infection alors qu'aucune importation n'a été enregistrée durant les semaines qui ont précédé le début de l'épizootie. A moins que ce ne soit une importation frauduleuse de chevaux à partir du Nigéria (Folorunso *et al.*, 2008), introduits par les vendeurs ou propriétaires de chevaux Sénégalais qui peuvent utiliser un véhicule pour le transport.

La troisième **hypothèse** semble peu évidente dans la mesure où d'une part, des mesures strictes de désinfection sont appliquées dans les avions et d'autre part, le trajet en bateau ou en véhicule à partir des pays où ces sérotypes existent notamment l'Afrique du Sud, risque d'être long par rapport à la durée de survie des culicoïdes. Néanmoins, l'introduction par le vent de vecteurs infectés par un nouveau sérotype pourrait être considérée dans le cas où la source d'infection serait l'un des pays frontaliers. D'autre part, si le Nigéria est considéré comme la source de l'infection, donc la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest situés entre le Nigéria et le Sénégal devrait être infecté avant l'éclatement de l'épizootie de 2007.

Il a été constaté deux phases dans la circulation du virus de la peste équine en 2007 : une première phase de circulation à bas bruit et une seconde phase marquée par l'apparition des manifestations cliniques dans la plupart des régions du pays (**Fig. 18, page 129**).

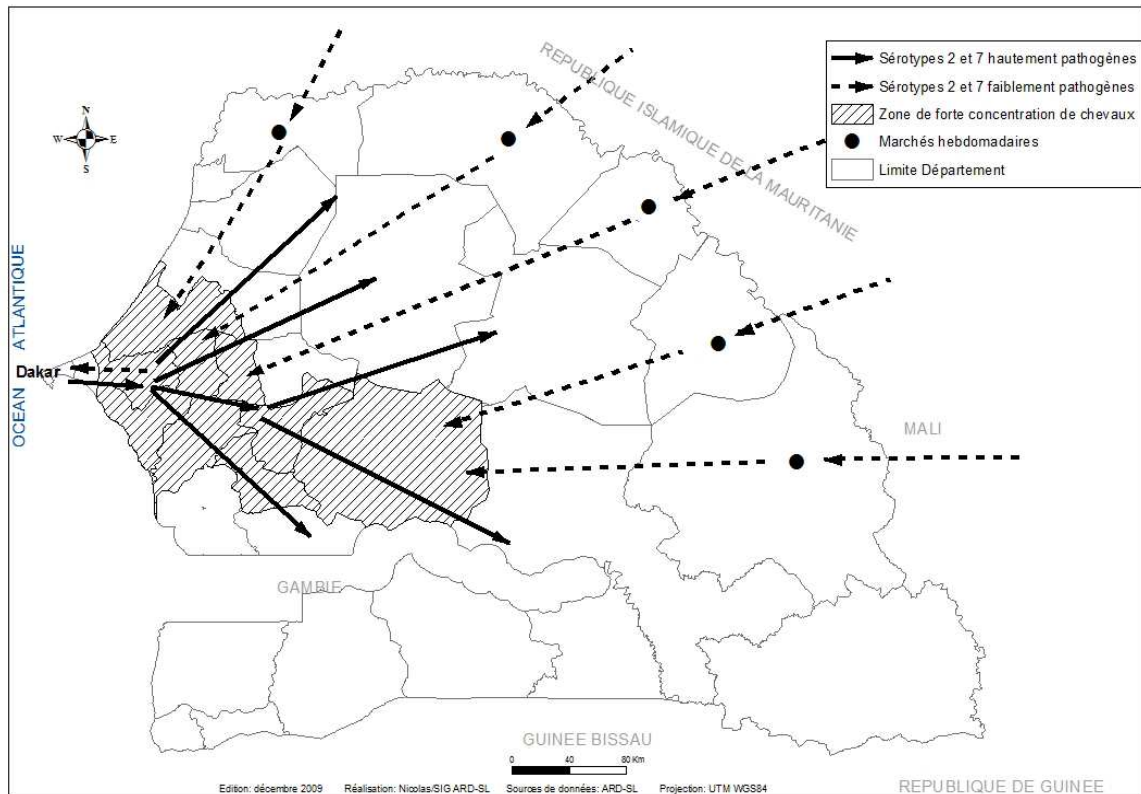


Fig. 18 : Potentielles voies d'introduction et de diffusion des sérotypes du virus de la peste équine en 2007

Manuscrit 1

Diouf N. D., Etter E., Lo. M. M., Lo M., Akakpo A. J. (2012). Outbreaks of African horse sickness in Senegal, and methods of control of the 2007 epidemic, *Veterinary Record*, doi:10.1136/vr.101083.

III. 2. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Quelques leçons à tirer de l'épizootie de peste équine de 2007 au Sénégal :

- Elaborer une stratégie de communication du risque, hors crise, qui permette au système d'affronter sereinement une nouvelle épizootie ;
- Renforcer la communication interne existante en vue d'une gestion plus efficace des flux d'informations par une communication à la verticale et horizontale ;
- Privilégier le partage d'informations permanent avec les acteurs de la filière équine : propriétaires de chevaux, propriétaires d'écuries, vendeurs de chevaux, responsables de *daral* au niveau des marchés hebdomadaires, entre autres, pour une meilleure connaissance du risque et en vue de la réduction des mouvements des chevaux ;
- Prévoir la formation et la gestion d'une cellule de crise dont la mission essentielle consistera, non pas à gérer une épizootie, mais à la prévenir ;
- Mettre en place une stratégie de veille, de détection et d'échange d'informations, permettant d'anticiper le risque d'épizootie ou de l'éviter dans la mesure du possible ;
- Avoir des spécialistes en Système d'Information Géographique (SIG) dans les services vétérinaires et disposer périodiquement (par semaine) des données météorologiques au niveau des frontières (vent, pluies, températures, végétation, etc.) afin de les entrer dans des modèles spatialisés permettant d'obtenir des cartes de risque ;
- Mettre en place un projet sous-régional d'éradication de la peste équine ;
- Mettre en place une base de données et des équipes *One Health* regroupant des Médecins, des Vétérinaires et des Environnementalistes qui travaillent en étroite collaboration avec les structures de recherche, en particulier dans les zones frontalières ou celles abritant des aires protégées afin d'explorer l'éventuelle présence de zoonose et/ou de prévenir leur apparition et d'élaborer des plans de lutte et de prévention plus efficace (financièrement et techniquement).

Une carte précise de tous les sérotypes de peste équine circulant dans la sous-région doit être établie. Ensuite, une vaccination de masse conjointe entre le Sénégal, le Mali, la Mauritanie, la Gambie et même le Ghana avec des vaccins adaptés aux sérotypes présents doit être programmée et exécutée avec la plus grande rigueur pour l'éradication de la peste équine, à l'image de celle qui a été menée au Portugal (Portas *et al.*, 1999).

Il est urgent d'arrêter l'utilisation des souches non identifiées au Sénégal dans la fabrication des vaccins utilisés lors de la campagne nationale de vaccination, car nous ne sommes pas, à l'heure actuelle, en mesure de distinguer les anticorps vaccinaux de ceux

induits par les souches sauvages ; ce qui pose un sérieux problème d'épidémiologie. Le contexte dans lequel le vaccin polyvalent avec les neuf sérotypes a été utilisé se justifiait : les autorités tenaient à éteindre les foyers de peste équine de 2007 le plus rapidement possible. Dès l'annonce de la présence du sérotype 2 jusque là inconnu au Sénégal ce vaccin polyvalent a été utilisé. Cela a eu le mérite de couvrir le sérotype 7 que nous avons découvert au cours de cette étude qui n'avait pas été évoqué comme un nouveau sérotype introduit lors de l'épizootie de 2007.

Cette étude qualitative mérite d'être complétée par une étude quantitative suivie d'une analyse des réseaux sociaux (SNA). La méthode des réseaux sociaux basée sur la théorie des grappes en mathématique a été empruntée à la sociologie. Elle devra permettre dans notre cas, de décrire la topologie de la structure des contacts des chevaux. L'impact de la structure des réseaux sur les routes potentielles peut être évalué si les liens entre les nœuds (marchés hebdomadaires) du réseau sont associés à des facteurs de risque connus de transmission de la maladie.

CONCLUSION GENERALE

Le Sénégal, comme la plupart des pays du continent africain est confronté à un problème lié à sa démographie galopante. Pour faire face à ce phénomène, il est urgent de répondre favorablement à la demande croissante d'emplois pour les jeunes et au développement de l'agriculture et de l'agro-business en particulier, pour une meilleure prise en charge de l'alimentation des populations. Le secteur de l'agriculture peut, en effet, jouer un rôle stratégique dans ce domaine grâce à une bonne intégration de l'élevage dans la mise en œuvre des projets et programmes. Cela passe nécessairement par une meilleure connaissance du cheval, de la filière équine et des emplois qu'elle peut générer, mais aussi du rôle socio-économique que joue cet animal prestataire de services dans la lutte contre la pauvreté en Afrique.

Cette approche nécessite une attention particulière pour la santé du cheval. C'est dans ce cadre que nous nous sommes intéressés dans cette thèse à la peste équine et à la fièvre West Nile, deux arboviroses qui affectent les chevaux.

Pour répondre à notre première question de recherche (Q1: *L'absence de cas rapportés de fièvre West Nile serait-elle liée à un défaut de diagnostic ?*), quatre hypothèses ont été émises ; les deux premières hypothèses (H1 et H2) ont été validées dans le chapitre 2 (**II. 1**) de la deuxième partie de cette thèse ; elles ont montré qu'il n'y avait pas de manifestations cliniques de la fièvre West Nile chez les chevaux du Delta du fleuve Sénégal au moment de cette étude. La troisième hypothèse a été partiellement validée, car deux pics d'incidence ont été observés d'une part entre octobre et janvier, et d'autre part entre février et avril. Le premier pic correspond au séjour des oiseaux migrateurs qui arrivent à partir du mois de septembre, et le second pic a lieu quelques temps après que les premiers départs ont été enregistrés au mois de mars. La quatrième hypothèse a été également validée car la zone écologique et l'âge des chevaux ont été considérés comme des facteurs de risque d'infection du virus de la West Nile. Pour apporter les premiers éléments de réponse à notre deuxième question de recherche (Q2 : *Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?*), il a été montré au chapitre 2 (**II. 2**) qu'en plus du sérotype 9, que les sérotypes 2 et 7 du virus de la peste équine ont circulé chez les chevaux du DFS. A partir de la prévalence sérologique des chevaux puis de la force d'infection (λ), le taux de reproduction de base R_0 a été estimé à une valeur supérieure à 8 et la fraction critique vaccinale (V_H) à 98 % ; ceci grâce au modèle 2B choisi selon la méthode Akaike's Information Criterion (AIC). L'estimation de la fraction critique vaccinale (V_H) a

permis de vérifier l'hypothèse (H5 : L'élimination du virus de la peste équine chez les chevaux en vue d'une éradication, est possible au Sénégal).

Précisons que l'atteinte de la fraction critique vaccinale permet d'éliminer le virus dans la population équine mais que l'éradication de la maladie se fera grâce à des mesures sanitaires offensives intégrant l'abattage des porteurs de virus ou *stamping out*, la lutte contre le vecteurs, etc. Ce même travail devrait être également fait dans les pays limitrophes.

Pour compléter la réponse à notre deuxième question de recherche (Q2 : *Quels sont les sérotypes du virus de la peste équine présents dans le DFS, leurs mécanismes de diffusion et quel modèle de prévention mettre en œuvre ?*), l'hypothèse H6 a été vérifiée dans le chapitre 2 (II. 3), c'est-à-dire que les activités humaines jouent un rôle dans la diffusion des arboviroses chez les chevaux au Sénégal, comme nous l'avons vu dans le cas de la peste équine.

Nous avons d'abord montré que les mouvements saisonniers et commerciaux des chevaux peuvent contribuer à répandre le virus de la peste équine ; ensuite, nous avons émis des hypothèses d'introduction et de diffusion de nouveaux sérotypes du virus de la peste équine lors de l'épizootie de 2007 au Sénégal. Enfin, nous avons présenté une approche qualitative de l'analyse du risque de réintroduction d'un sérotype du virus de la peste équine.

Ces éléments ont permis de mettre en évidence le facteur humain dans la propagation des maladies animales par le rôle des *dioula* dans la commercialisation des chevaux mais aussi celui des charretiers lors des mouvements saisonniers. Le chapitre 2 (II. 2 et II. 3) de la deuxième partie a permis de répondre à notre deuxième question de recherche Q2.

Pour répondre de notre troisième question de recherche (Q3 : *Quelle est l'importance économique et/ou médicale de la présence de la peste équine et de la West Nile dans le Delta du fleuve Sénégal ?*), nous avons vérifié dans ce chapitre l'hypothèse H7 à savoir que le cheval mérite plus de considération dans le contexte du Delta du fleuve Sénégal par son rôle socio-économique.

Nous avons montré dans le chapitre 2 (II. 4) qu'en plus de la valeur économique du cheval, ce dernier est un animal prestataire de service au Sénégal et qu'il joue un rôle important dans la lutte contre la pauvreté aussi bien en milieu rural et qu'urbain. L'évaluation des pertes économiques directes et indirectes enregistrées par les propriétaires de chevaux du Delta du fleuve Sénégal après le passage de la maladie a permis la vérification de l'hypothèse H7.

Cette étude a également permis d'estimer les moyens déployés par l'Etat pour enrayer l'épizootie au niveau du DFS en 2007.

Les éléments de réponse apportés à nos trois questions de recherche ont contribué à mettre en évidence le rôle épidémiologique que pourrait jouer le Delta du fleuve Sénégal dans la transmission de la fièvre West Nile et de la peste équine.

Comme l'ont souligné Chevalier *et al.*, (2010), nous estimons que, compte tenu du fait que les chevaux et l'homme partagent le même habitat dans le DFS, le taux de contact avec le virus West Nile observé chez les chevaux doit être considéré comme un bon indicateur du degré d'exposition de la population humaine. En effet, ce taux élevé de transmission devrait justifier la mise en place d'un système de surveillance de la circulation du virus de la West Nile pouvant anticiper de potentielles mutations du virus ou une perturbation de l'équilibre enzootique ou endémique de cette maladie.

La récente augmentation du nombre de sérotypes de peste équine dans la partie nord de l'Afrique sub-saharienne, qui est passé d'un sérotype, en l'occurrence le type 9 à trois sérotypes (2, 7 et 9), ainsi que la récente expérience de la diffusion de la fièvre catarrhale ovine en Europe constituent une sérieuse menace pour la Méditerranée une fois que ces virus vont atteindre le Maghreb (Gale *et al.*, 2010). Les différentes incursions du virus de la peste équine par le passé en Europe, au Proche et Moyen-Orient, la possibilité d'une diffusion des culicoides infectés par le vent laissent imaginer l'impact économique que pourrait avoir la réintroduction du virus de la peste équine en Europe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelhaq, A. T.** (1996). West Nile fever in horses in Morocco. *Bull. Off. Int. Epizoot.*, **108**: 867-869.
- Adeyefa, C. A.** (1996). Rapid diagnosis of Africa horse sickness. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **49** (4): 295-298.
- Adeyefa, C. A. and Hamblin, C.** (1995). Continuing prevalence of African horse-sickness in Nigeria. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **48**: 31-33.
- Adrián Diaz, L., Komar, N., Visintin, A., Dantur Juri, M. J., Stein, M., Lobo Allende, R., Spinsanti, L., Konigheim, B., Aguilar, J., Laurito, M., Almirón, W. and Contigiani, M.** (2008). West Nile Virus in Birds, Argentina. *Emerg Infect Dis*, **14** (4): 689-691.
- AFSSA** (2008). Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale. AFSSA. 47 p.
- Ahmadou Alkassou, H.** (2009). Contribution à l'étude de la trypanosomose équine au Cameroun. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 87 p.
- Akakpo, A. J., Wombou Toukam, C. M., Mankor, A. and Ly, C.** (2011). Impact économique de l'épizootie de peste équine de 2007 au Sénégal. *Bull. Anim. Hith. Prod. Afr.*, **59**: 1-16.
- Akpo, Y.** (2004). Contribution à l'identification des métiers du cheval dans la région de Dakar et comparaison avec la situation au Maroc. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 87 p.
- Altizer, S., Bartel, R. and Han, B. A.** (2011). Animal migration and infectious disease risk. *Science*, **331**: 296-302.
- Anderson, E. C., Mellor, P. S. and Hamblin, C.** (1989). African horse sickness in Saudi Arabia. *Vet. Rec.*, **125**: 489.
- Anderson, J. F., Main, A. J., Andreadis, T. G., Wikel, S. K. and Vossbrinck, C. R.** (2003). Transstadial transfer of West Nile virus by three species of Ixodid ticks (Acari: Ixodidae). *J Med Entomol*, **40**: 528-533.
- Anon** (2007). Plan d'investissement communal 2007-2011. *Commune Richard-Toll*, 123 p
- Anon** (2010). African horse sickness - serotype 2 ProMED-mail archive numbers: 20070131.0399, 20070308.0815, 20070623.2031, 20070627.2074, 20080916.2898, 20080930.3087. 2010 (Accessed June 23, 2010).
- Anon** (2011). Plan d'investissement communal 2011-2016. *Commune Ross-Béthio*, 73 p
- Averett, E., Neuberger, J. S., Hansen, G. and Fox, M. H.** (2005). Evaluation of West Nile virus education campaign. *Emerg. Infect. Dis*, **11** (11): 1751-1753.
- Awad, F. I., Amin, M. M., Salama, S. A. and Khide, S.** (1981). The role played by *Hyalomma dromedarii* in the transmission of African horse-sickness virus in Egypt. *Bulletin of Animal Health and Production in Africa*, **29** (4): 337-340.
- Backer, J. A. and Nodelijk, G.** (2011). Transmission and control of African horse sickness in The Netherlands: a model analysis. *PloS One*, **6** (8): doi:10.1371/journal.pone.0023066.
- Bajardi, P., Barrat, A., Natale, F., Savini, L. and Colizza, V.** (2011). Dynamical Patterns of Cattle Trade Movements. *PloS One*, **6** (5): doi:10.1371/journal.pone.0019869.
- Bakonyi, T., Ivanics, E., Erdélyi, K., Ursu, K., Ferenczi, E., Weissenböck, H. and Nowotny, N.** (2006). Lineage 1 and 2 strains of encephalitic West Nile virus, Central Europe. *Emerg. Infect. Dis*, **12** (4): 618-623.
- Balenghien, T.** (2006a). De l'identification des vecteurs du virus West Nile à la modélisation du risque d'infection dans le sud de la France. *ED-ISCE, Grenoble. Thèse univ.*, 206 p.
- Balenghien, T., Fouque, F., Sabatier, P. and Bicout, D. J.** (2006b). Horse-, bird-, and human-seeking behavior and seasonal abundance of mosquitoes in a West Nile virus focus of southern France. *J Med Entomol*, **43** (5): 936-946.
- Barber, L. M., Schleier, J. J. and Peterson, R. K. D.** (2010). Economic cost analysis of West Nile virus outbreak, Sacramento County, California, USA, 2005. *Emerg. Infect. Dis*, **16** (3): 480-486.
- Bazarusanga, T.** (1995). Contribution à l'étude de l'épidémiosurveillance de la peste équine au Sénégal: Enquêtes sérologiques dans les zones de Rufisque, Kaffrine et Dahra. *Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires. Thèse en Médecine Vétérinaire*, 104 p.
- Bernard, G.** (1975). Adaptation de la microtechnique de fixation du complément au diagnostic de la peste équine. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **28** (4): 451-457.
- Bernkopf, H., Levine, S. and Nerson, R.** (1953). Isolation of West Nile virus in Israel. *J. Infect. Dis.*, **93**: 207-218.

- Bin, H., Grossman, Z., Pokamunski, S., Malkinson, M., Weiss, L., Duvdevani, P., Banet, C., Weisman, Y., Annis, E., Gandaku, D., Yahalom, V., Hindiye, M., Shulman, L. and Mendelson, E.** (2001). West Nile fever in Israel 1999-2000: from geese to humans. *Ann N Y Acad Sci*, **951**: 127-142.
- Bishop, J. V., Mejia, J. S., Perez de Leon, A. A., Tabachnick, W. J. and Titus, R. G.** (2006). Salivary gland extracts of *Culicoides sonorensis* inhibit murine lymphocyte proliferation and no production by macrophages. *Am. J. Trop. Med. Hyg*, **75**: 532-536.
- Blackburn, N. K. and Swanepoel, R.** (1988). African horse-sickness in Zimbabwe: 1972 to 1981. *Trop Anim Health Prod* **20**: 169-176.
- Borkent, A.** (2005). The biting midges, the *Ceratopogonidae* (Diptera). Biology of disease vectors. 113-126.
- Bosch, I., Herrera, F., Navarro, J. C., Lentino, M., Dupuis, A., Maffei, J., Jones, M., Fernández, E., Pérez, N., Pérez-Emán, J., Guimarães, A. E., Barrera, R., Valero, N., Ruiz, J., Velásquez, G., Martínez, J., Comach, G., Komar, N., Spielman, A. and Kramer, L.** (2007). West Nile virus, Venezuela. *Emerg Infect Dis*, **13** (4): 651-653.
- Bourdin, P. and Laurent, A.** (1974). Note sur l'écologie de la peste équine africaine. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **27**: 163-168.
- Brennan, M. L., Kemp, R. and Christley, R. M.** (2008). Direct and indirect contacts between cattle farms in north-west England. *Prev. Vet. Med.*, **84**: 242-260.
- Briese, T., Rambaut, A., Pathmajeyan, M., Bishara, J., Weinberger, M., Pitlik, S. and Lipkin, W. I.** (2002). Phylogenetic analysis of a human isolate from the 2000 Israel West Nile virus epidemic. *Emerg. Infect. Dis*, **8** (5): 528-531.
- Buckley, A., Dawson, A., Moss, S. R., Hinsley, S. A., Bellamy, P. E. and Gould, E. A.** (2003). Serological evidence of West Nile virus, Usutu virus and Sindbis virus infection of birds in the UK. *J Gen Virol*, **84**: 2807-2817.
- Cabre, O., Grandadam, M., Marié, J. L., Gravier, P., Prangé, A., Santinelli, Y., Rous, V., Bourry, O., Durand, J. P., Tolou, H. and Davoust, B.** (2006). West Nile Virus in horses, sub-Saharan Africa. *Emerg Infect Dis*, **12**: 1958-1960.
- Campbell, G. L., Marfin, A. A., Lanciotti, R. S. and Gubler, D. J.** (2002). West Nile virus. *Lancet Infect Dis*, **2**: 519-529.
- Cantile, C., Di Guardo, G., Eleni, C. and Arispici, M.** (2000). Clinical and neuropathological features of West Nile virus equine encephalomyelitis in Italy. *Equine Vet J*, **32** (1): 31-35.
- Carney, R. M., Husted, S., Jean, C., Glaser, C. and Kramer, V.** (2008). Efficacy of aerial spraying of mosquito adulticide in reducing incidence of West Nile virus, California, 2005. *Emerg. Infect. Dis*, **14** (5): 747-754.
- Castillo-Olivares, J. and Wood, J.** (2004). West Nile virus infection of horses. *Vet. Res.*, **35**: 467-483.
- CDC** (2002). West Nile virus activity- United States. *Morb Mortal Wkly Rep*, **51** (23): 497-501.
- CDC** (2003). West Nile virus : vertebrate ecology. (Accessed April 24, 2013).
- CDC** (2004a). 2003 West Nile Virus Activity in the United States. 2013 (Accessed April 24, 2013).
- CDC** (2004b). 2003 West Nile virus activity in the United States. 2013 (Accessed April 24, 2013).
- Charrel, R. N., de Lamballerie, X., Durand, J. P., Gallian, P., Attoui, H., Biagini, P. and De Micco, P.** (2001). Prevalence of antibody against West Nile virus in volunteer blood donors living in southeastern France. *Transfusion*, **41** (10): 1320-1321.
- Chevalier, V.** (2007). Fièvre de la Vallée du Rift et Fièvre West Nile : risques sanitaires liés à l'exploitation des mares temporaires du Ferlo (Sénégal). *ED-SCBS, Montpellier I. Thèse univ.*, 201 p.
- Chevalier, V., Dupressoir, A., Tran, A., Diop, O. M., Gottland, C., Diallo, M., Etter, E., Ndiaye, M., Grosbois, V., Dia, M., Gaidet, N., Sall, A. A., Soti, V. and Niang, M.** (2010). Environmental risk factors of West Nile virus infection of horses in the Senegal River basin. *Epidemiol Infect*, **23**: 1-9.
- Chevalier, V., Lancelot, R., Diaïte, A., Mondet, B. and De Lamballerie, X.** (2008). Use of sentinel chickens to study the transmission dynamics of West Nile virus in a Sahelian ecosystem. *Epidemiol Infect*, **136**: 525-528.

- Chevalier, V., Lancelot, R., Diaité, A., Mondet, B., Sall, B. and De Lamballerie, X.** (2006). Serological assessment of West Nile fever virus activity in the pastoral system of Ferlo, Senegal. *Ann N Y Acad Sci*, **1081** (1): 216-225.
- Chevalier, V., Reynaud, P., Lefrançois, T., Durand, B., Baillon, F., Balança, G., Gaidet, N., Mondet, B. and Lancelot, R.** (2009). Predicting West Nile Virus Seroprevalence in Wild Birds in Senegal. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **9** (6): 589-596.
- Chiam, R., Sharp, E., Maan, S., Rao, S., Mertens, P. P. C., Blacklaws, B., Davis-Poynter, N., Wood, J. and Castillo-Olivares, J.** (2009). Induction of Antibody Responses to African Horse Sickness Virus (AHSV) in Ponies after Vaccination with Recombinant Modified Vaccinia Ankara (MVA). *PloS One*, **4** (6):
- Clements, A. N.** (1999). The biology of mosquitoes. **Sensory reception and behaviour**. *Chapman & Hall*, 740 p.
- Cook, R. A.** (2005). Emerging diseases at the interface of people, domestic animals, and wildlife. The role of wildlife in our understanding of Highly Pathogenic Avian Influenza. *Yale J. Biol. Med.*, **78**: 339-349.
- Cornet, M.** (1969). Les Culicoides (Diptera, Ceratopogonidae) de l'Ouest africain (1ère note). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. Parasitol.*, **VII** (4): 24.
- Cornet, M. and Chateau, R.** (1970). Les Culicoides de l'Ouest africain (2e note) : Espèces apparentées à *C. similis* Carter, Ingram et Macfie, 1920 (Diptera, Ceratopogonidae). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. méd. Parasitol.*, **VIII** (2): 33.
- Cornet, M. and Brunhes, J.** (1994). Révision des espèces de Culicoides apparentées à *C. schultzei* (Enderlein, 1908) dans la région afrotropicale (Diptera, Ceratopogonidae). *Bull. Soc. entomol. Fr.*, **99** (2): 149-164.
- Corrigan, R. L. A., Waldner, C., Epp, T., Wright, J., Whitehead, S. M., Bangura, H., Young, E. and Townsend, H. G. G.** (2006). Prediction of human cases of West Nile virus by equine cases, Saskatchewan, Canada, 2003. *Prev. Vet. Med.*, **76**: 263-272.
- Crill, W. D. and Chang, G. J. J.** (2004). Localization and characterization of *Flavivirus* envelope glucoprotein cross-reactive epitopes. *J. Virol*, **78** (24): DOI:10.1128/JVI.1178.1124.13975-13986.12004.
- Daly, J. M., Blunden, A. S., MacRae, S., Miller, J., Bowman, S. J., Kolodziejek, J., Nowotny, N. and Smith, K. C.** (2008). Transmission of Equine Influenza Virus to English foxhounds. *Emerg. Infect. Dis*, **14** (3): 461-464.
- Davies, F. G. and Lund, L. J.** (1974). The application of fluorescent antibody techniques to the virus of African horse-sickness. *Res Vet Sci*, **17** (1): 128-130.
- Davies, F. G., Soi, R. K. and Binepal, V. S.** (1993). African horse sickness viruses isolated in Kenya. *Vet. Rec.*, **132**: 440.
- Davison, A. C. and Hinkley, D. V.** (1997). Bootstrap methods and their application.
- Dawson, J. R., Stone, W. B., Ebel, G. D., Young, D. S., Galinski, D. S., Pensabene, J. P., Franke, M. A., Eidson, M. and kramer, L. D.** (2007). Crow deaths caused by West Nile virus during winter. *Emerg. Infect. Dis*, **13** (12): 1912-1914.
- Del Giudice, P., Schuffenecker, I., Vandenbos, F., Counillon, E. and Zeller, H. G.** (2004). Human West Nile virus, France. *Emerg. Infect. Dis*, **10**: 1885-1886.
- Diallo, M., Nabeth, P., Ba, K., Sall, A. A., Ba, Y., Mondo, M., Girault, L., Abdalahi, M. O. and Mathiot, C.** (2005). Mosquito vectors of the 1998-1999 outbreak of Rift Valley Fever and other arboviruses (Bagaza, Sanar, Wesselsbron and West Nile) in Mauritania and Senegal. *Med Vet Entomol*, **19**: 119-126.
- Diaz Montilla, R. and Panos Marti, P.** (1967). Epizootiologia de la peste equina en Espana. *Bulletin de l'Office International des Epizooties*, **68**: 705-714.
- Dièle, O.** (2007). La maintenance des aménagements hydro agricoles dans le Delta du fleuve Sénégal : Le cas du périmètre de Boundoum. *Géographie. Master*, 103 p.
- Dohm, D. J., O'Guinn, M. L. and Turell, M. J.** (2002). Effect of environmental temperature on the ability of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) to transmit West Nile virus. *J Med Entomol*, **39** : 221-225.
- Doutre, M. P. and Leclercq, A.** (1962). Existence du type 9 du virus de la peste équine au Tchad. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **15**: 241-245.

- Doutressoulle, G.** (1952). Le cheval au Soudan Français et ses origines. L'élevage au Soudan Français. Son économie, 374 p.
- Drendel, T.** (2009). Les coliques digestives du cheval: étiologie, examen clinique et prise en charge en pratique ambulatoire. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 163 p.
- Dufour, B.** (2002). Le principe de précaution. *Epidémiologie et santé animale*, **41**: 27-34.
- Dufour, B. and Pouillot, R.** (2002). Approche qualitative du risque. *Epidémiologie et Santé Animale*, **41**: 35-43.
- Edwards, E. H.** (1995) L'encyclopédie du cheval et du poney, 399 p.
- Eidson, M., Schmit, K., Hagiwara, Y., Anand, M., Backenson, P. B., Gotham, I. and Kramer, L.** (2005). Dead Crow Density and West Nile Virus Monitoring, New York. *Emerg Infect Dis*, **11** (9): 1370–1375.
- Elizondo-Quiroga, D., Davis, C. T., Fernandez-Salas, I., Escobar-Lopez, R., Olmos, D. V., Gastalum, L. C. S., Acosta, M. A., Elizondo-Quiroga, A., Gonzalez-Rojas, J. I., Cordero, J. F. C., Hilda, G., Rosa, A. T., Blitvich, B. J., Barrett, A. D. T., Beaty, B. J. and Tesh, R. B.** (2005). West Nile Virus Isolation in Human and Mosquitoes, Mexico. *Emerg Infect Dis*, **11** (9): 1449-1452.
- Epanya Wonje, L. N.** (2009). Gestion des unités animalières militaires. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 109 p.
- Erdelyi, K., Ursu, K., Ferenczi, E., Szeredi, L., Ratz, F., Skare, J. and Bakonyi, T.** (2007). Clinical and pathologic features of lineage 2 West Nile virus infections in birds of prey in Hungary. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **7** (2): 181-188.
- Ezenwa, V. O., Godsey, M. S., King, R. J. and Gupitill, S. C.** (2006). Avian diversity and West Nile virus: testing associations between biodiversity and infectious disease risk. *Proc. R. Soc. B*, **273**: 109-117.
- Ezenwa, V. O., Milhein, L. E., Coffey, M. F., Godsey, M. S., King, R. J. and Gupitill, S. C.** (2007). Land cover variation and West Nile virus prevalence: patterns, processes and implications for disease control. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **7** (2): 173-180.
- Fall, A. B.** (1988). Lymphangites équine au Sénégal: épidémiologie et étiologie. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 93 p.
- Fall, A. G.** (2005). Parité et préférences trophiques chez *Aedes vexans* arabiens,. Implications dans l'épidémiologie de la Fièvre de la Vallée du Rift. *Biol. Anim. Mém. DEA*, 46 p.
- Fall, A. G., Diaité, A., Etter, E., Bouyer, J., Ndiaye, T. D. and Konaté, L.** (2011a). *Aedes vexans* arabiensis (Diptera, Culicidae) as a probable vector bridging West Nile virus between birds and horses in Barkedji (Ferlo, Senegal). *Medical and Veterinary Entomology*, **26**:106 -111.
- Fall, A. G., Diaité, A., Lancelot, R., Tran, A., Soti, V., Etter, E., Konaté, L., Faye, O. and Bouyer, J.** (2011b). Feeding behaviour of potential vectors of West Nile virus in Senegal. *Parasit Vectors*, **4**: 99.
- Fall, A. G., Diaité, A., Etter, E., Bouyer, J., Ndiaye, T. D. and Konaté, L.** (2012a). The mosquito *Aedes (Aedimorphus) vexans arabiensis* as a probable vector bridging West Nile virus between birds and horses in Barkedji (Ferlo, Senegal). *Med Vet Entomol*, **26** (1): 106-111.
- Fall, M., Bakhom, T., Garros, C., Diouf, N. D., Seck, M. T., Bouyer, J., Ndao, M., Dusom, A. M., Allène, X., Rakotoarivony, I., Diarra, M., Baldet, T., Balenghien, T., Delécolle, J.-C. and Fall, A. G.** (2012b). The Culicoides species (Diptera : Ceratopogonidae) of Senegal: towards identifying the vectors of African horse sickness virus, 40 years after the first studies. *From biology to integrated control in a changing world*, 268 p.
- FAO** (1998). L'application de la communication des risques aux normes alimentaires et à la sécurité sanitaire des aliments.
- Faye, A.** (1988). Le rôle des équidés dans le développement rural en zone sahélo-soudanienne du Sénégal : le cas du cheval dans le sud du bassin arachidier. *CIRAD/MESRU*, 12 p
- Folorunso, F., Potgieter, A. C., Ibironke, A., Bako, B., Bwala, D. and Kumbish, P.** (2008). First Report of an Outbreak of African Horsesickness Virus Serotype 2 in the Northern Hemisphere. *J. Equine Vet Sci.*, **28** (3): 167-170.
- Gale, P., Brouwer, A., Ramnial, V., Kelly, L., Kosmider, R., Fooks, A. R. and Snary, E. L.** (2010). Assessing the impact of climate change on vector-borne viruses in the EU through the elicitation of expert opinion. *Epidemiol Infect*, **138**: 214-225.

- Gerbier, G., Biteau-Coroller, F., Grillet, C., Parodi, J., Zientara, S., Baldet, T., Guis, H. and Roger, F.** (2008). Description of the outbreak of bluetongue in Corsica in 2003, and lessons for surveillance. *Vet. Rec.*, **162**: 173-176.
- Gibbs, S. E. J., Marlenee, N. L., Romines, J., Kavanaugh, D., Corn, J. L. and Stallknecht, D. E.** (2006). Antibodies to West Nile virus in feral swine from Florida, Georgia, and Texas, USA. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **6** (3): 261-265.
- Goldsmith, L.** (1967). Growth characteristics of six neurotropic and viscerotropic African horse-sickness virus strains in fertilized eggs. *Am. J. Vet. Res.*, **28** (122): 19-24.
- Guèye, A.** (2009). Impact économique de l'épizootie de peste équine de 2007 sur le transport hippomobile dans le Delta du fleuve Sénégal. *ISFAR. Mém.*, 58 pp.
- Hachfi, W., Bougmiza, I., Bellazreg, F., Bahri, O., Kaabia, N., Bahri, F. and Letaief, A.** (2010). Une deuxième épidémie de méningo-encéphalite à virus West Nile en Tunisie. *Médecine et maladies infectieuses*, **40**: 456-461.
- Haig, D. A., McIntosh, B. M., Cumming, R. B. and Hempstead, J. F. D.** (1956). An outbreak of horse-sickness, complicated by Distemper, in a pack of Fox Hounds. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, **27**: 245-249.
- Hamer, G. L., Walker, E. D., Brawn, J. D., Loss, S. R., Ruiz, M. O., Goldberg, T. L., Schotthoefer, A. M., Brown, W. M., Wheeler, E. and Kitron, U. D.** (2008). Rapid amplification of West Nile virus: the role of Hatch-Year birds. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **8** (1): 57-67.
- Hannoun, C., Panthier, R., Mouchet, J. and Ezouan, J. P.** (1964). Isolement en France du virus West Nile à partir de malades et du vecteur *Culex modestus* Ficalbi. *Acad. Sci. Paris*, **259**: 4170-4172.
- Hars, J., Mortamais, M., Pradel, J., Auge, P., Jourdain, E., Chavernac, D., Languille, J. and Zeller, H.** (2008). Circulation du virus West Nile dans l'avifaune française. Bilan de sept années de surveillance. *Epidémiologie et Santé Animale*, **53**: 29-41.
- Hartemink, N. A., Davis, S. A., Reiter, P., Hubálek, Z. and Heesterbeek, J. A.** (2007). Importance of bird-to-bird transmission for the establishment of West Nile virus. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **7**: 575-584.
- Hassanain, M. M., Al-Afalet, A. I., Soliman, I. M. A. and Abdullah, S. K.** (1990). Detection of African horse-sickness (AHS) in recently vaccinated horses with inactivated vaccine in Qatar. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **43** (1): 33-35.
- Hazrati, A.** (1967). Identification and typing of horsesickness virus strains isolated in the recent epizootic of the disease in Morocco, Tunisia and Algeria. *Arch. Inst. Razi* **19**: 131-143.
- Hendriks, P. and Dufour, B.** (2009). Conditions de la qualité de la " fonction sentinelle " en épidémiologie. *Epidémiologie et Santé Animale*, **56**: 15-26.
- Hindiyeh, M., Shulman, L. M., Mendelson, E., Grossman, Z., Weiss, L. and Bin, H.** (2001). Isolation and characterization of West Nile virus from the blood of viremic patients during the 2000 outbreak in Israel. *Emerg Infect Dis*, **7** (4): 748-750.
- House, J. A.** (1993). Recommendations for African horse-sickness vaccines for use in nonendemic areas. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **46** (1-2): 77-81.
- Howell, P. G.** (1962). The isolation and identification of further antigenic types of African horse-sickness virus. *Onderstepoort J Vet Res*, **29**: 139-149.
- Howell, P. G.** (1960). The 1960 epizootic of African horsesickness in the Middle East and S.W. Asia. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, **31**: 329-334.
- Hubalek, Z.** (2000). European experience with the West Nile virus ecology and epidemiology: could it be relevant for the new world? *Viral immunology*, **13** (4): 415-426.
- Hubalek, Z. and Halouzka, J.** (1999). West Nile fever--a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. *Emerg Infect Dis*, **5** (5): 643-650.
- Hubalek, Z., Halouzka, J. and Juricova, Z.** (1999). West Nile fever in Czechland [letter]. *Emerg Infect Dis*, **5** (4): 594-595.
- IEMVT** (1988). Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage. *Ministère de la Coopération et du Développement*, 533 p.

- Jacobson, E. R., Ginn, P. E., Troutman, J. M., Farina, L., Stark, L., Klenk, K., Burkhalter, K. L. and Komar, N.** (2005). West Nile virus infection in farmed american Alligators (*Alligator mississippiensis*) in Florida. *J. Wildl. Dis.*, **45** (1): 96-106.
- Johnson, A. J., Langevin, S. A., Wolff, K. L. and Komar, N.** (2003). Detection of anti-West Nile virus immunoglobulin M in chicken serum by an enzyme-linked immunosorbent assay. *J Clin Microbiol*, **41**: 2002-2007.
- Johnson, D. J., Ostlund, E. N., Pedersen, D. D. and Schmitt, B. J.** (2001). Detection of North American West Nile Virus in Animal Tissue by a Reverse Transcription-Nested Polymerase Chain Reaction Assay. *Emerg. Infect. Dis.*, **7** (4): 739-741.
- Joubert, L., Oudar, J., Hannoun, C., Beytout, D., Corniou, B., Guillon, J. C. and Panthier, R.** (1970). Epidémiologie du virus West Nile: étude d'un foyer en Camargue. IV. La méningo-encéphalomyélite du cheval. *Ann Inst Pasteur (Paris)*, **118**: 239-247.
- Jourdain, E.** (2006). Oiseaux sauvages et virus West Nile: étude éco-épidémiologique en Camargue. *ED-ISCE, Grenoble 1. Thèse univ.*, 204 p.
- Jourdain, E., Gauthier-Clerc, M., Bicout, D. J. and Sabatier, P.** (2007a). Bird migration routes and risk for pathogen dispersion into western Mediterranean wetlands. *Emerg. Infect. Dis.*, **13** (3): 365-372.
- Jourdain, E., Gauthier-Clerc, M., Sabatier, P., Grège, O., Greenland, T., Leblond, A., Lafaye, M. and Zeller, H. G.** (2008). Magpies as hosts for west nile virus, southern France. *Emerg Infect Dis*, **14** (1): 158-160.
- Jourdain, E., Toussaint, Y., Leblond, A., Bicout, D. J., Sabatier, P. and Gauthier-Clerc, M.** (2007b). Bird Species Potentially Involved in Introduction, Amplification, And Spread of West Nile Virus in A Mediterranean Wetland, The Camargue (Southern France). *Vector Borne Zoonotic Dis*, **7** (1): 15-33.
- Jupp, P. G.** (2001). The ecology of West Nile virus in South Africa and the occurrence of outbreaks in humans. *Ann N Y Acad Sci*, **951**: 143-152.
- Kaboret, Y. Y., Abiola, F. A. and Assane, M.** (2004). Développement de l'élevage du cheval en Afrique subsaharienne: une contribution à la création d'emplois. *RASPA*, **2** (1): 91-95.
- Keeling, M. J. and Rohani, P.** (2008) Modelling infectious diseases in humans and animals.
- Keesing, F., Belden, L. K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C. D., Holt, R. D., Hudson, P., Jolles, A., Jones, K. E., Mitchell, C. E., Myers, S. S., Bogich, T. and Ostfeld, R. S.** (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*, **468**: doi:10.1038/nature09575.
- Komar, N., Panella, N. A. and Boyce, E.** (2001). Exposure of domestic mammals to West Nile virus during an outbreak of human encephalitis, New York City, 1999. *Emerg Infect Dis*, **7**: 736-738.
- Komar, N. and Clark, G. G.** (2006). West Nile virus activity in Latin America and the Caribbean. *Rev. Panam. Salud Publica*, **19** (2): 112-117.
- Koné, P., Lambert, L., Milord, F. and Gariépy, C.** (2003). Épidémiologie et effets de l'infection par le virus du Nil occidental sur la santé humaine, mise à jour 2003. *Institut national de santé publique du Québec*, 74 p.
- Lanciotti, R. S., Roehrig, J. T., Deubel, V., Smith, J., Parker, M., Steele, K., Crise, B., Volpe, K. E., Crabtree, M. B., Scherret, J. H., Hall, R. A., MacKenzie, J. S., Cropp, C. B., Panigrahy, B., Ostlund, E., Schmitt, B., Malkinson, M., Banet, C., Weissman, J., Komar, N., Savage, H. M., Stone, W., McNamara, T. and Gubler, D. J.** (1999). Origin of the West Nile virus responsible for an outbreak of encephalitis in the northeastern United States. *Science*, **286** (5448): 2333-2337.
- Larrat, R.** (1947). L'élevage du cheval au Sénégal. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **1**: 257-265.
- Lecollinet, S., Lefrançois, T., Durand, B., Leblond, A., Dauphin, G., De Goer, J. and Zientara, S.** (2008). Surveillance de l'infection équine à virus West Nile en France. Bilan 2000-2007. *Epidémiologie et Santé Animale*, **54**: 69-80.
- Leforban, Y., Mabratu, G. Y., Vigier, M. and Fikre, Y.** (1983). Epidémiologie de la peste équine en Ethiopie de 1977 à 1981. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **36** (2): 117-129.
- Lesnoff, M., Lancelot, R. and Moulin, C.-H.** (2007) Calcul des taux démographiques dans les cheptels domestiques tropicaux : approche en temps discret. *QUAE*.

- Lopez, G., Jiménez-Clavero, M. A., Tejedor, C. G., Soriguer, R. and Figuerola, J.** (2008). Prevalence of West Nile virus neutralizing antibodies in Spain related to the behavior of migratory birds. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **8** (5): 615-621.
- Lord, C. C., Rutledge, R. and Tabachnick, W. J.** (2006). Relationships between host viremia and vector susceptibility for arboviruses. *J. med. Entomol*, **43** (3): 623-630.
- Lord, C. C., Woolhouse, M. E. and Mellor, P. S.** (1998). Simulation studies of African horse sickness in Spain. *Arch Virol Suppl*, **14**: 103-111.
- Lvov, D. K., Butenko, A. M., Gromashevsky, V. L., Larichev, V. P., Gaidamovich, S. Y., Vyshemirsky, O. I., Zhukov, A. N., Lazorenko, V. V., Salko, V. N., Kovtunov, A. I., Galimzyanov, K. M., Platonov, A. E., Morozova, T. N., Khutoretskaya, N. V., Shishkina, E. O. and Skvortsova, T. M.** (2000). Isolation of two strains of West Nile virus during an outbreak in Southern Russia, 1999. *Emerg Infect Dis*, **6** (4): 373-376.
- Ly, C.** (2003). Le transport hippomobile au Sénégal : importance économique et enjeux. *Atelier international d'échange : traction animale et stratégies d'acteurs : quelles recherches, quelles services face au désengagement des Etats ?*, 37 p.
- Ly, C.** (1999). Assessing the financial impact of livestock diseases: direct losses, public health, livestock trade. Guidelines for West African production systems. *Animal Production and Health Division, FAO*, 38 p.
- Ly, C., Fall, B., Camara, B. and Ndiaye, C. M.** (1998). Le transport hippomobile urbain au Sénégal - Situation et importance économique dans la ville de Thiès. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **51** (2): 165-172.
- MacLachlan, N. J. and Guthrie, A. J.** (2010). Re-emergence of bluetongue, African horse sickness and other Orbivirus diseases. *Vet. Res.*, **41**: 35. doi: 10.1051/vetres/2010007.
- Mande, C. D.** (1990). Contribution à l'étude de la peste équine au Sénégal (Enquête sérologique dans les foyers récents). *Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires. Thèse en Médecine Vétérinaire*, 87 p.
- Marfin, A. A., Petersen, L. R., Eidson, M., Miller, J., Farello, C., Werner, B., Campbell, G. L., Layton, M., Smith, P., Bresnitz, E., Cartter, M., Scaletta, J., Obiri, G., Bunning, M., Craven, R. C., Roehring, J. T., Julian, K. G., Hinten, S. R. and Gubler, D. J.** (2001). Widespread West Nile Virus Activity, Eastern United States, 2000. *Emerg Infect Dis*, **7** (4): 730-735.
- Marr, J. S. and Calisher, C. H.** (2003). Alexander the Great and West Nile virus encephalitis. *Emerg. Infect. Dis*, **9** (12): 1599-1603.
- Martinez-Torrecuadrada, J. L., Laviada, M. D., Roy, P., Sanchez, C., Vela, C., Sanchez-Vizcaino, J. M. and Casal, J. I.** (1997). Serologic Markers in Early Stages of African Horse Sickness Virus Infection. *J Clin Microbiol*, **35** (2): 531-535.
- Martinez-Torrecuadrada, J. L., Laviada, M. D., Roy, P., Sanchez, C., Vela, C., Sanchez-Vizcaino, J. M. and Casal, J. I.** (1996). Full protection against African horsesickness (AHS) in horses induced by baculovirus-derived AHS virus serotype 4 VP2, VP5 and VP7. *J Gen Virol*, **77**: 1211-1221.
- Mattar, S., Edwards, E., Laguado, J., Gonzalez, M., Alvarez, J. and Komar, N.** (2005). West Nile Virus Antibodies in Colombian Horses. *Emerg Infect Dis*, **11** (9): 1497-1498.
- Maurer, F. D. and Cully, R. M.** (1963). African horse-sickness with emphasis on pathology. *Am. J. Vet. Res.*, **24** (99): 235-256.
- Maurice, Y. and Provost, A.** (1967). La peste équine à type 9 en Afrique centrale : enquête sérologique. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **20** (1): 21-25.
- Maurice, Y. and Provost, A.** (1966). Les réactions d'hémagglutination et d'inhibition de l'hémagglutination avec le virus de la peste équine: limites de leur interprétation. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **19** (4): 439-450.
- Mbengue, M., Thiongane, Y., Diop Tall, F. and Samb, Y.** (2011). Note on epizootic infection for the chronic upper respiratory diseases caused by beta-hemolytic *Streptococcus equi* observed on indigenous horses on Dakar's region in Senegal. *Afr J Microbiol Res.*, **5**: DOI: 10.5897/AJMR5811.5160.
- McIntosh, B. M.** (1958). Immunological types of horsesickness virus and their significance in immunization. *Onderstepoort J. vet. Res.*, **27**: 465-539.

- McIntyre, K. M., Setzkorn, C., Baylis, M., Waret-Szkuta, A., Caminade, C., Morse, A. P., Akin, S.-A., Huynen, M., Martens, P. and Morand, S.** (2010). Impact of climate change on human and animal health. *Vet. Rec.*: doi: 10.1136/vr.c5523.
- McLean, R. G., Ubico, S. R., Bourne, D. and Komar, N.** (2002). West Nile virus in livestock and wildlife. *Curr Top Microbiol Immunol*, **267**: 271–308.
- Mellor, P. S. and Hamblin, C.** (2004). African horse sickness. *Vet. Res.*, **35**: 445-466.
- Mellor, P. S., Boorman, J. and Jennings, M.** (1975). The multiplication of African horse-sickness virus in two species of Culicoides (Diptera, Ceratopogonidae). *Arch Virol*, **47**: 351-356.
- Mertens, P. P. C., Attoui, H. and Bamford, D. H.** (2010). The RNAs and Proteins of dsRNA Viruses. www.reoviridae.org/dsRNA_virus_proteins/ReoID/AHSV-isolates.htm#SEN2007/06. (Accessed September 25, 2010).
- Miller, B. R., Nasci, R. S., Godsey, M. S., Savage, H. M., Lutwama, J. J., Lanciotti, R. S. and Peters, C. J.** (2000). First field evidence for natural vertical transmission of West Nile virus in *Culex univittatus* complex mosquitoes from Rift Valley province, Kenya. *Am J Trop Med Hyg*, **62** (2): 240-246.
- Mondet, B., Diaite, A., Fall, A. G. and Chevalier, V.** (2005). Relations entre la pluviométrie et le risque de transmission virale par les moustiques : Cas du virus de la Rift Valley Fever (RVF) dans le Ferlo (Sénégal). *ERS*, **4** (2): 125-129.
- Morales, M. A., Barrandeguy, M., Fabbri, C., Garcia, J. B., Vissani, A., Trono, K., Gutierrez, G., Pigretti, S., Menchaca, H., Garrido, N., Taylor, N., Fernandez, F., Levis, S. and Enría, D.** (2006). West Nile virus isolation from equines in Argentina, 2006. *Emerg Infect Dis*, **12** (10): 1559-1561.
- Morales-Betoulle, M. E., Morales, H., Blitvich, B. J., Powers, A. M., Davis, E. A., Klein, R. and Cordón-Rosales, C.** (2006). West Nile virus in horses, Guatemala. *Emerg Infect Dis*, **12** (6): 1038-1039.
- Mornet, P.** (1949). Sur une évolution atypique de la peste équine particulière à l'A.O.F. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **2** (3): 101-103.
- Mostashari, F., Kullendorff, M., Hartman, J. J., Miller, J. R. and Kulasekera, V.** (2003). Dead bird clusters as an early warning system for West Nile virus activity. *Emerg Infect Dis*, **9**: 641–646.
- Murgue, B., Murri, S., Triki, H., Deubel, V. and Zeller, H. G.** (2001a). West Nile in the Mediterranean basin: 1950–2000. *Ann N Y Acad Sci*, **951**: 117-126.
- Murgue, B., Murri, S., Zientara, S., Durand, B., Durand, J. P. and Zeller, H. G.** (2001b). West Nile outbreak in horses in southern France, 2000: the return after 35 years later. *Emerg Infect Dis*, **7**: 692-696.
- Murgue, B., Zeller, H. and Deubel, V.** (2002a). The ecology and epidemiology of West Nile Virus in Africa, Europe and Asia. *Curr Top Microbiol Immunol*, **267**: 195-221.
- Ndao, M.** (2009). Contribution à l'étude de la commercialisation du cheval au Sénégal. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 108 p.
- Ndiaye, M.** (1978). Contribution à l'étude de l'élevage du cheval au Sénégal. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 183 p.
- Ndiaye, O.** (2010). Épidémiologie de la peste équine au Sénégal: cas de l'épizootie de 2007. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 124 p.
- Ndione, J.-A., Bicout, D. J., Mondet, B., Lancelot, R., Sabatier, P., Lacaux, J.-P., Ndiaye, M. and Diop, C.** (2005). Conditions environnementales associées à l'émergence de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) dans le delta du fleuve Sénégal en 1987. *ERS*, **4** (2): 5-10.
- Ndoye, D. P.** (1988). Le cheval de course au Sénégal. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 126 p.
- Nemeth, N., Gould, D., Bowen, R. and Komar, N.** (2006). Natural and experimental West Nile virus infection in five Raptor species. *J. Wildl. Dis.*, **42** (1): 1-16.
- Nikolay, B., Diallo, M., Boye, C. S. B. and Sall, A. A.** (2011). Usutu virus in Africa. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **11** (11): 1417-1423.
- OIE** (2008). African Horse Sickness. Manuel des tests de diagnostic et des vaccins pour les animaux terrestres. **Chapitre 2.5.1**, 12 p.
- OIE** (2010). Analyse OIE des écarts de Performance des Services Vétérinaires au Sénégal. *OIE* 165 p.
- OIE** (2011a). Animal population. (Accessed March 14, 2013).
- OIE** (2011b). Vaccination. (Accessed March 14, 2013).

- Ostlund, E. N., Crom, R. L., Pedersen, D. D., Jonhson, D. J., Williams, W. O. and Schmitt, B. J.** (2001). Equine West Nile Encephalitis, United States. *Emerg. Infect. Dis*, **7** (4): 665-669.
- Ozawa, Y., Hazrati, A. and Erol, N.** (1965). African horse-sickness live-virus tissue culture vaccine. *Am. J. Vet. Res.*, **26** (110): 154-167.
- Ozawa, Y. and Nakata, G.** (1965). Experimental transmission of African horse-sickness by means of mosquitoes. *Am. J. Vet. Res.*, **26** (121): 744-748.
- Palmeiro, J. M.** (1950). Peste équine au Cap Vert. *Rev Elev Med Vet Pays Trop.*
- Parker, J.** (1974). African horse sickness antibodies in Cyprus: 1971-1972. *Vet Rec*, **94** (16): 370-373.
- Pavri, K. M. and Apte, V. H.** (1967). Isolation of *Pasteurella multocida* from a fatal disease of horses and donkeys in India. *Vet. Rec.*, **80** (14): 437-439.
- Pilo-Moron, E., Vincent, J. and Sureau, P.** (1967). Présence du virus de peste équine type 9 en République Algérienne : identification des souches de virus isolées en 1965-1966. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **20** (1): 5-20.
- Platonov, A. E.** (2001). West Nile-like vira encephalitis-New York 1999. *Morb Mortal Wkly Rep*, **48**: 890-892.
- Platonov, A. E., Shipuli, G. A., Shipulina, O. Y., Tyutyunnik, E. N., Frolochkina, T. I., Lanciotti, R., Yazyshina, S., Platonova, O. V., Obukhov, I. L., Zhukov, A. N., Vengerov, Y. Y. and Pokrovskii, V. I.** (2001). Outbreak of West Nile Virus Infection, Volgograd Region, Russia, 1999. *Emerg Infect Dis*, **7** (1): 128-132.
- Polson, A., Van Roy, P.-I., Lawrence, S.-M. and Dent, J.** (1953). The stability of neurotropic African horse-sickness virus in solutions of different chemical composition. *Onderstepoort J. vet. Res.*, **26**: 197-206.
- Portas, M., Boinas, F. S., Oliveira, E., Sousa, J. and Rawlings, P.** (1999). African horse sickness in Portugal: a successful eradication programme. *Epidemiol Infect*, **123**: 337-346.
- R Core Team** (2010). R: A language and environment for statistical computing.
- Rabe-Heskett, S. and Everitt, B.** (2004) A handbook of statistical analysis using Stata. *Chapman & Hall/CRC*, 308 p.
- Rappole, J., Derrickson, S. and Hubálek, Z.** (2000). Migratory birds and spread of West Nile virus in the western hemisphere. *Emerg Infect Dis*, **6**: 319-328.
- Ratterree, M. S., Da Rosa, A. P. A. T., Bohm, R. P., Cogswell, F. B., Phillippi, K. M., Caillouet, K., Schwanberger, S., Shope, R. E. and Tesh, R. B.** (2003). West Nile virus infection in nonhuman primate breeding colony, concurrent with human epidemic, southern Louisiana. *Emerg. Infect. Dis*, **9** (11): 1388-1393.
- Rawlings, P., Snow, W. F., Boorman, J., Denison, E., Hamblin, C. and Mellor, P. S.** (1998). Culicoides in relation to transmission of African horse-sickness virus in The Gambia. *Med Vet Entomol*, **12**: 155-159.
- Reisen, W. K., Brault, A. C., Martinez, V. M., Fang, Y., Simmons, K., Garcia, S., Omi-olsen, E. and Lane, R. S.** (2007). Ability of Transstadially Infected *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) to Transmit West Nile Virus to Song Sparrows or Western Fence Lizards. *J Med Entomol*, **44** (2): 320-327.
- Roberts, R. S. and Foppa, I. M.** (2006). Prediction of Equid Risk of West Nile Virus Infection Based on Dead Bird Surveillance. *Vector Borne Zoonotic Dis.*, **6** (1): 1-6.
- Rodriguez, M., Hooghuis, H. and Castano, M. A.** (1992). African horse sickness in Spain. *Vet. Microbiol.*, **33**: 129-142.
- Rodriguez-Sanchez, B., Fernandez-Pinero, J., Sailleau, C., Zientara, S., Belak, S., Arias, M. and Sanchez-Vizcaino, J. M.** (2008a). Novel gel-based and real-time PCR assays for the improved detection of African horse sickness virus. *Journal of Virological Methods*: doi:10.1016/j.jviromet.2008.1003.1029.
- Rodriguez-Sanchez, B., Sanchez-Vizcaino, J. M., Uttenthal, A., Rasmussen, T. B., Hakhverdyan, M., King, D. P., Ferris, N. P., Ebert, K., Reid, S. M., Kiss, I., Brocchi, E., Cordioli, P., Hjerner, B., McMenamy, M., McKillen, J., Ahmed, J. S. and Belak, S.** (2008b). Improved Diagnosis for Nine Viral Diseases Considered as Notifiable By the World Organization for Animal Health. *Transbound. Emerg. Dis.*, **55**: 215-225.

- Rossini, G., Cavrini, F., Pierro, A., Macini, P., Finarelli, A. C., Po, C., Peroni, G., Di Caro, A., Capobianchi, M., Nicoletti, L., Landini, M. P. and Sambri, V. (2008). First human case of West Nile virus neuroinvasive infection in Italy, September 2008. *Eurosurveillance*, **13** (41): 1-2.
- Sabio, I. J., Mackay, A. J., Roy, A. and Foil, L. D. (2006). Detection of West Nile virus RNA in pools of three species of Ceratopogonids (Diptera: Ceratopogonidae) collected in Louisiana. *J Med Entomol*, **43** (5): 1020-1022.
- Sailleau, C., Seignot, J., Davoust, B., Cardinale, E., Fall, B., Hamblin, C. and Zientara, S. (2000). African horse-sickness in Senegal :serotype identification and nucleotide sequence determination of segment S10 by RT-PCR. *Vet. Rec.*, **146**: 107-108.
- Salama, S. A., Dardiri, A. H., Awad, F. I., Soliman, A. M. and Amin, M. M. (1981). Isolation and identification of African horse-sickness virus from naturally infected dogs in Upper Egypt. *Can. J. comp. Med.*, **45** (4): 392-397.
- Sarr, J., Diop, M. and Cissokho, S. (1988). La peste équine africaine au Sénégal : état de l'immunité naturelle et/ou acquise des chevaux autour de foyers récents. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **41** (3): 243-246.
- Savage, H. M., Ceianu, C., Nicolescu, G., Karabatsos, N., Lanciotti, R., Vladimirescu, A., Laiv, L., Ungureanu, A., Romanca, C. and Tsai, T. F. (1999). Entomologic and avian investigations of an epidemic of West Nile fever in Romania in 1996, with serologic and molecular characterization of a virus isolate from mosquitoes. *Am J Trop Med Hyg*, **61** (4): 600-611.
- Schleier, J. J., Davis, R. S., Shama, L. M., Macedo, P. A. and Peterson, R. K. D. (2008). Equine risk assessment for insecticides used in adult mosquito management. *Hum. Ecol. Risk Assess.*, **14** (2): 392-407.
- Schmidt, J. R. and El Mansoury, H. K. (1963). Natural and experimental infection of Egyptian equines with West Nile virus. *Ann Trop Med Parasitol*, **57**: 415-427.
- Schuffenecker, I., Peyrefitte, C. N., El Harrak, M., Murri, S., Leblond, A. and Zeller, H. G. (2005). West Nile virus in Morocco, 2003. *Emerg Infect Dis*, **11**: 306-309.
- Seidowski, D., Ziegler, U., Von Rönn, J. A. C., Müller, K., Hüppop, K., Müller, T., Freuling, C., Mühle, R.-U., Nowotny, N., Ulrich, R. G., Niedrig, M. and Groschup, M. H. (2010). West Nile virus monitoring of migratory and resident birds in Germany. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **10** (7): 639-647.
- Seino, K. K., Long, M. T., Gibbs, E. P. J., Bowen, R. A., Beachboard, S. E., Humphrey, P. P., Dixon, M. A. and Bourgeois, M. A. (2007). Comparative efficacies of three commercially available vaccines against West Nile Virus (WNV) in a short-duration challenge trial involving an equine WNV encephalitis model. *CVI*, **14** (11): 1465-1471.
- Sellers, R. F. (1989). Eastern Equine Encephalitis in Quebec and Connecticut, 1972: introduction by infected mosquitoes on the wind? *Can. J. Vet. Res.*, **53**: 76-79.
- Sellers, R. F., Pedgley, D. E. and Tucker, M. R. (1977). Possible spread of African horse-sickness on the wind. *J Hyg-Cambridge*, **79**: 279-298.
- Shaman, J., Day, J. F. and Stieglitz, M. (2005). Drought-induced amplification and epidemic transmission of West Nile virus in southern Florida. *J Med Entomol*, **42** (2): 134-141.
- Shililu, J., Mbogo, C., Ghebremeskel, T., Githure, J. and Novak, R. (2007). Mosquito larval habitats in a semi arid ecosystem in Eritrea: impact of larval habitat management on *Anopheles arabiensis* population. *Am. J. Trop. Med. Hyg*, **76** (1): 103-110.
- Shimoni, Z., Niven, M. J., Pitlick, S. and Bulvik, S. (2001). Treatment of West Nile virus encephalitis with intravenous immunoglobulin. *Emerg. Infect. Dis*, **7** (4): 759.
- Siembieda, J. L., Kock, R. A., McCracken, T. A. and Newman, S. H. (2011). The role of wildlife in transboundary animal diseases. *Animal Health Research Reviews*: doi:10.1017/S1466252311000041.
- Smith, K. M., Anthony, S. J., Switzer, W. M., Epstein, J. H., Seimon, T., Jia, H., Sanchez, M. D., Huynh, T. T., Galland, G. G., Shapiro, S. E., Sleeman, J. M., McAloose, D., Stuchin, M., Amato, G., Kolokotronis, S.-O., Lipkin, W. I., Karesh, W. B., Daszak, P. and Marano, N. (2012). Zoonotic viruses associated with illegally Imported wildlife products. *PloS One*, **7** (1): doi:10.1371/journal.pone.0029505.

- Smithburn, K. C., Hughes, T. P., Burke, A. W. and Paul, J. H.** (1940). A neurotropic virus isolated from the blood of a native of Uganda. *Am J Trop Med Hyg*, **20**: 471-492.
- Stone, W., Therrien, J. E., Benson, R., Kramer, L., Kauffman, E. B., Eidson, M. and Campbell, S.** (2005). Assays to detect West Nile virus in dead birds. *Emerg. Infect. Dis*, **11** (11): 1770-1773.
- Swayne, D. E., Beck, J. R., Smith, C. S., Shieh, W.-J. and Zaki, S. R.** (2001). Fatal encephalitis and myocarditis in young domestic geese (*Anser anser domesticus*) caused by West Nile virus. *Emerg. Infect. Dis*, **7** (4): 751-753.
- Sy, K.** (2005). L'insertion de la Compagnie Sucrière Sénégalaise dans son environnement régional. Quelles politiques de développement ? *Paris I. Mém. DEA*, 95 p.
- Taylor, R. M., Work, T. H., Hurlbut, H. S. and Rizk, F.** (1956). A study of the ecology of West Nile virus in Egypt. *Am J Trop Med Hyg*, **5** (4): 867-869.
- Timmermann, U. and Becker, N.** (2010). Mosquito-borne West Nile virus (WNV) surveillance in the Upper Rhine Valley Germany. *J Vector Ecol*, **35** (1): 140-143.
- Toma, B., Dufour, B. and Sanaa, M.** (2002). Généralités sur l'analyse de risque. *Epidémiologie et Santé Animale*, **41**: 5-17.
- Traore-Lamizana, M., Zeller, H. G., Mondo, M., Hervy, J. P., Adam, F. and Digoutte, J. P.** (1994). Isolations of West Nile and Bagaza viruses from mosquitoes (Diptera: Culicidae) in central Senegal (Ferlo). *J Med Entomol*, **31** (6): 934-938.
- Trock, S. C., Meade, B. J., Glaser, A. L., Ostlund, E. N., Lanciotti, R. S., Cropp, B. C., Kulasekera, V., Kramer, L. D. and Komar, N.** (2001). West Nile virus outbreak among horses in New York State, 1999 and 2000. *Emerg Infect Dis*, **7** (4): 745-747.
- Tsai, T. F., Popovici, F., Cernescu, C., Campbell, G. L. and Nedelcu, N. I.** (1998). West Nile encephalitis epidemic in southeastern Romania. *Lancet*, **352** (9130): 767-771.
- Tucker, C. J., Townshend, J. R. G. and E, G. T.** (1985). Africal, land-cover classification using satellite data. *Science*, **227**: 369-375.
- Turell, M. J., O'Guinn, M. L., Dohm, D. J. and Jones, J. W.** (2001). Vector competence of North American mosquitoes (Diptera: Culicidae) for West Nile virus. *J Med Entomol*, **38**: 130-134.
- Turell, M. J., Dohm, D. J., Sardelis, M. R., O'Guinn, M. L., Andreadis, T. G. and Blow, J. A.** (2005). An update on the potential of North American mosquitoes (Diptera: Culicidae) to transmit West Nile Virus. *J Med Entomol*, **42**: 57-62.
- Van Lavieren, B. and Van Wetten, J.** (1990). Profil de l'environnement de la vallée du fleuve Sénégal. *Euroconsult/RIN*. 68 p
- Van Rensburg, I. B. J., Clerk, J. D. E., Groenewald, H. B. and Botha, W. S.** (1981). An outbreak of African horse-sickness in dogs. *J. S. Afr. Vet. Ass.*, **52** (4): 323-325.
- Venter, G. J., Koekemoer, J. J. and Paweska, J. T.** (2006). Investigations on outbreaks of African Horse sickness in the surveillance zone in South Africa. *Rev Sci Tech*, **25** (3): 1097-1109.
- Venter, G. J., Wright, I. M., Van Der Linde, T. C. and Paweska, J. T.** (2009). The oral susceptibility of South African field populations of Culicoides to African horse sickness virus. *Med Vet Entomol*, **23**: 367-378.
- Venter, M. and Swanepoel, R.** (2010). West Nile virus Lineage 2 as a cause of zoonotic neurological disease in humans and horses in Southern Africa. *Vector Borne Zoonotic Dis*, **10** (7): 659-664.
- Venter, M., Steyl, J., Human, S., Weyer, J., Zaayman, D., Blumberg, L., Leman, P. A., Paweska, J. and Swanepoel, R.** (2010). Transmission of West Nile Virus during Horse Autopsy. *Emerg Infect Dis*, **16** (3): 573-575.
- Ward, M. P.** (2005). Epidemic West Nile virus encephalomyelitis: a temperature-dependent, spatial model of disease dynamics. *Prev. Vet. Med.*, **71**: 253-264.
- Ward, M. P., Raim, A., Yaremych-Hamer, S., Lampman, R. and Novak, R. J.** (2006a). Does the roosting behavior of birds affect transmission dynamics of West Nile virus? *Am J Trop Med Hyg*, **75** (2): 350-355.
- Ward, M. P., Schuermann, J. A., Highfield, L. D. and Murray, K. O.** (2006b). Characteristics of an outbreak of West Nile virus encephalomyelitis in a previously uninfected population of horses. *Vet. Microbiol.*, **118**: 255-259.
- Ward, M. P., Wittich, C. A., Fosgate, G. and Srinivasan, R.** (2009). Environmental risk factors for equine West Nile virus disease cases in Texas. *Vet. Res.*, **33** (5): 461-471.

- Weese, J. S., Baird, J. D., DeLay, J., Kenney, D. G., Staempfli, H. R., Viel, L., Parent, J., Smith-Maxie, L. and Poma, R.** (2003). West Nile virus encephalomyelitis in horses in Ontario: 28 cases. *Can. Vet. J.*, **44**: 469-473.
- Weiss, D., Carr, D., Kellachan, J., Tan, C., Phillips, M., Bresnitz, E. and Layton, M.** (2001). Clinical findings of West Nile virus infection in hospitalized patients, New York and New Jersey, 2000. *Emerg Infect Dis*, **7** (4): 654-658.
- Wilson, A., Mellor, P. S., Szmargd, C. and Mertens, P. P. C.** (2009). Adaptive strategies of African horse sickness virus to facilitate vector transmission. *Vet. Res.*, **40**: 16. doi : 10.1051/vetres:2008054.
- Wombou Toukam, C. M.** (2008). Impact économique de la peste équine au Sénégal : cas de l'épizootie 2007. *EISMV, Dakar. Thèse vét.*, 104 p.
- Yasarol, S.** (1962). Note bibliographique sur les arthropodes porteurs du virus de la peste équine en Turquie. *Rev Elev Med Vet Pays Trop*, **3**: 306-308.
- Zelege, A., Sori, T., Powel, K., Gebre-Ab, F. and Endebu, B.** (2005). Isolation and identification of circulating serotypes of African horse sickness virus in Ethiopia. *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.*, **3**: 40-43.
- Zeller, H. G. and Schuffenecker, I.** (2004). West Nile virus: an overview of its spread in Europe and the Mediterranean basin in contrast to its spread in the Americas. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, **23**: 147-156.

ANNEXES

- **Utilisation du cheval et prise de sang**
- **Cartes des marchés hebdomadaires**
- **Fiches d'enquête et de prélèvement**

ANNEXE 1-Utilisation du cheval et prise de sang



A. Charrette transportant des marchandises à St-Louis



D. Transport du riz après la récolte à Tiguet (zone de Ross Béthio)



B. Calèche à Richard-Toll



E. Calèche touristique à St-Louis

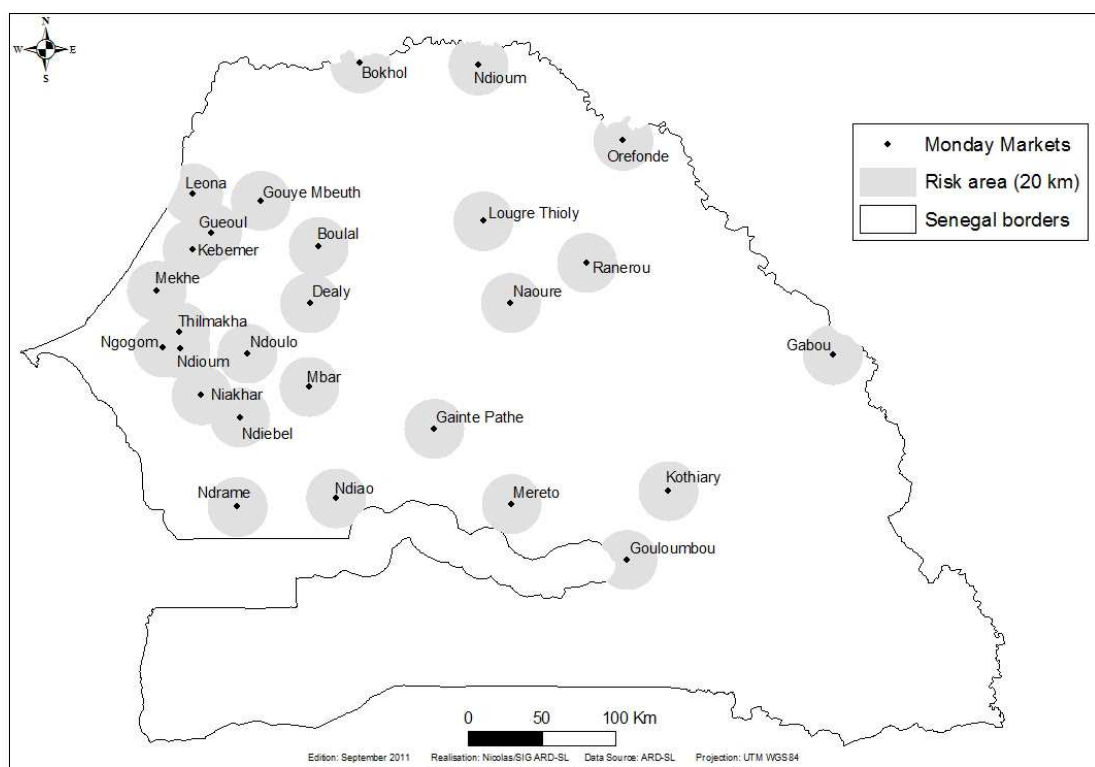


C. Vente de poulains au marché hebdomadaire de Dinguiraye

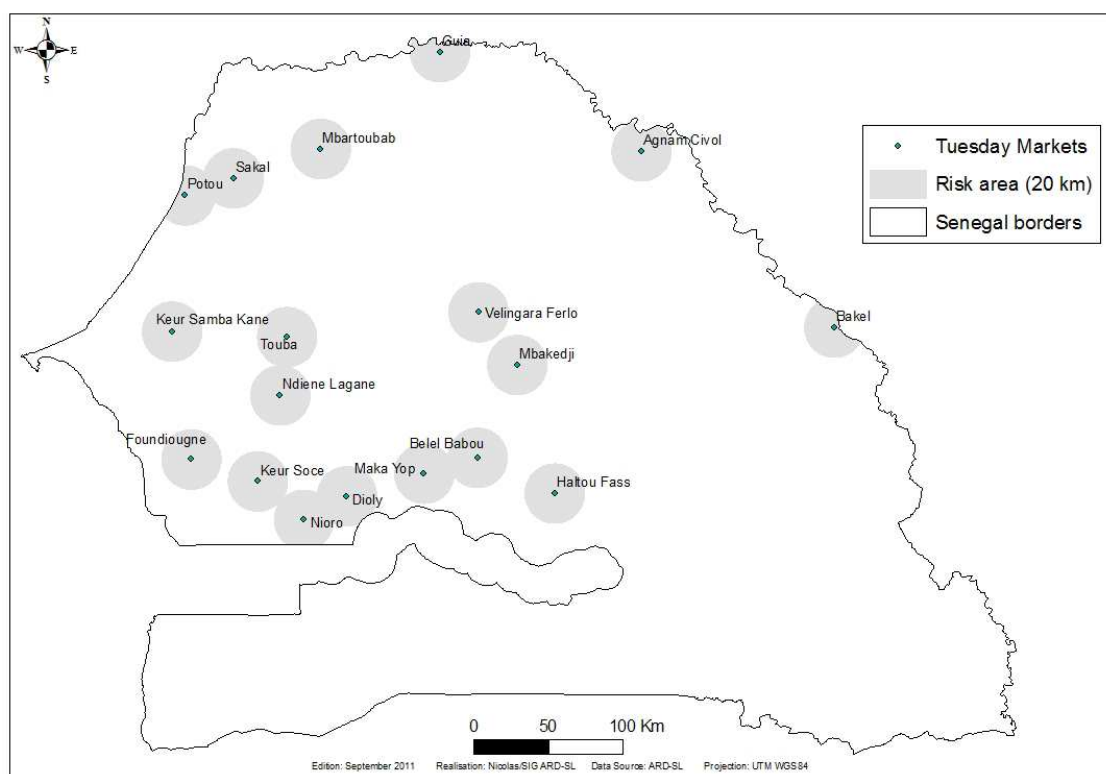


F. Prise de sang à la veine jugulaire

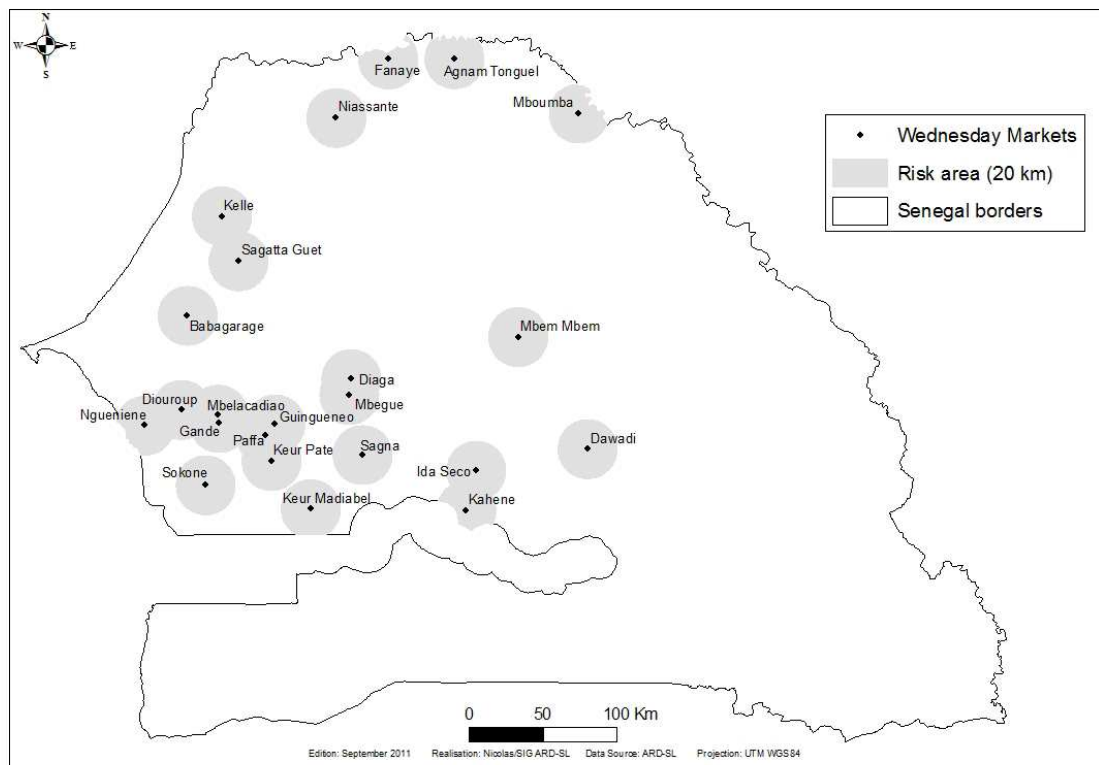
ANNEXE 2-Cartes des marchés hebdomadaires



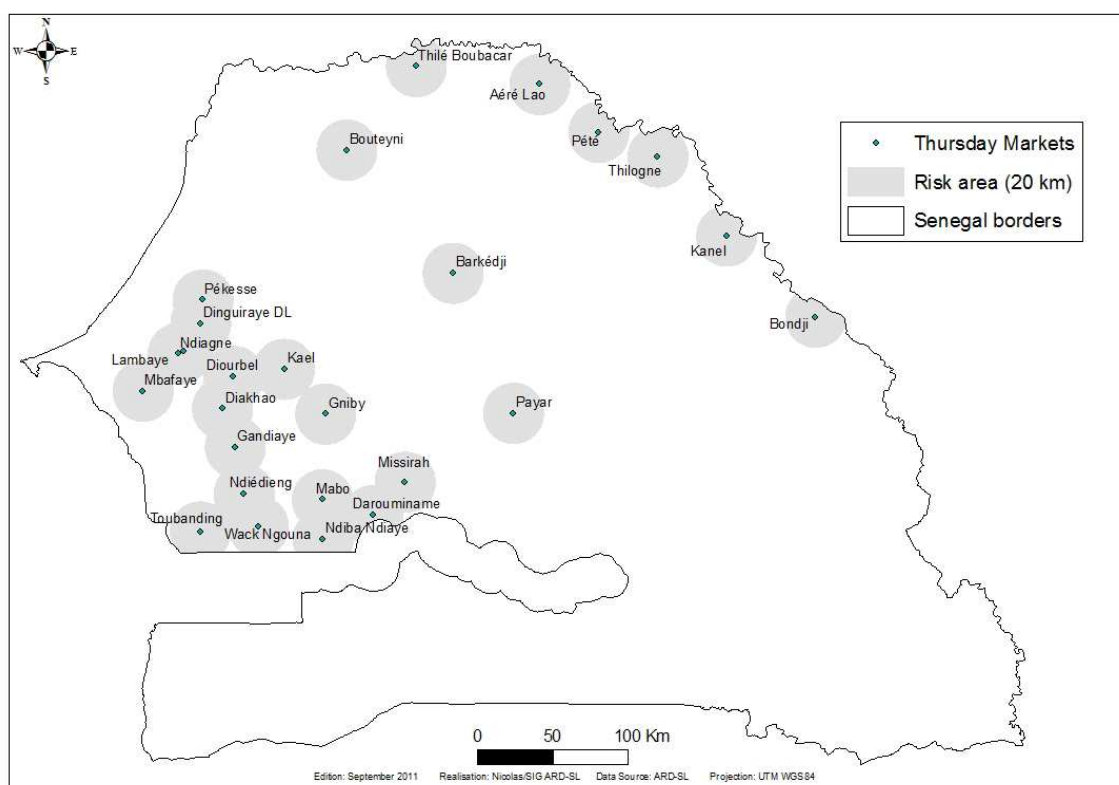
B. Marchés hebdomadaires du lundi



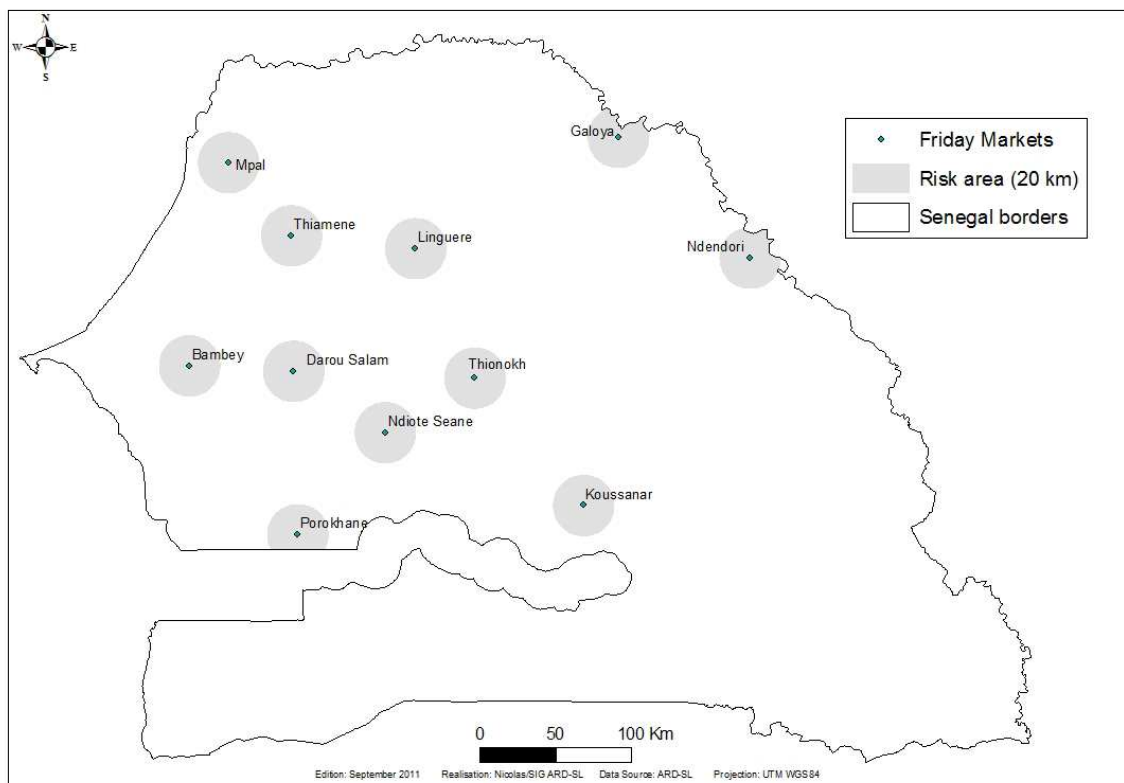
C. Marchés hebdomadaires du mardi



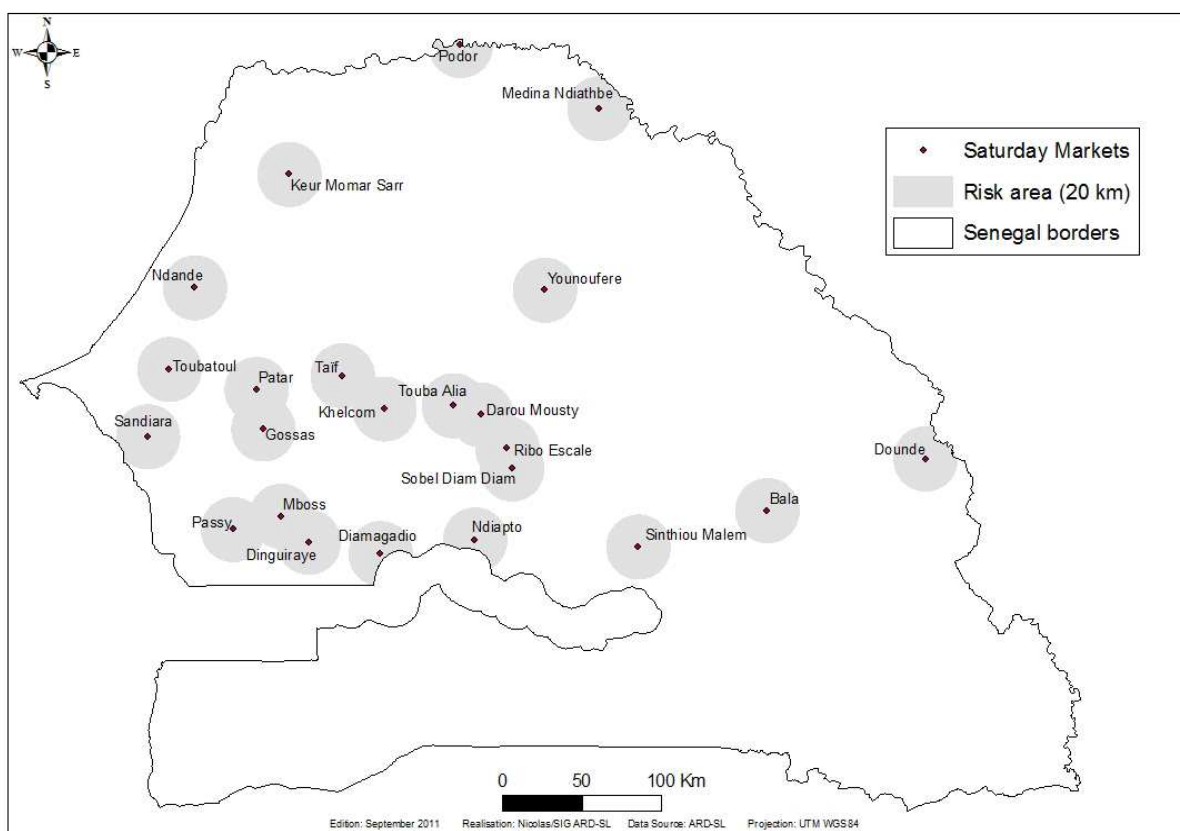
D. Marchés hebdomadaires du mercredi



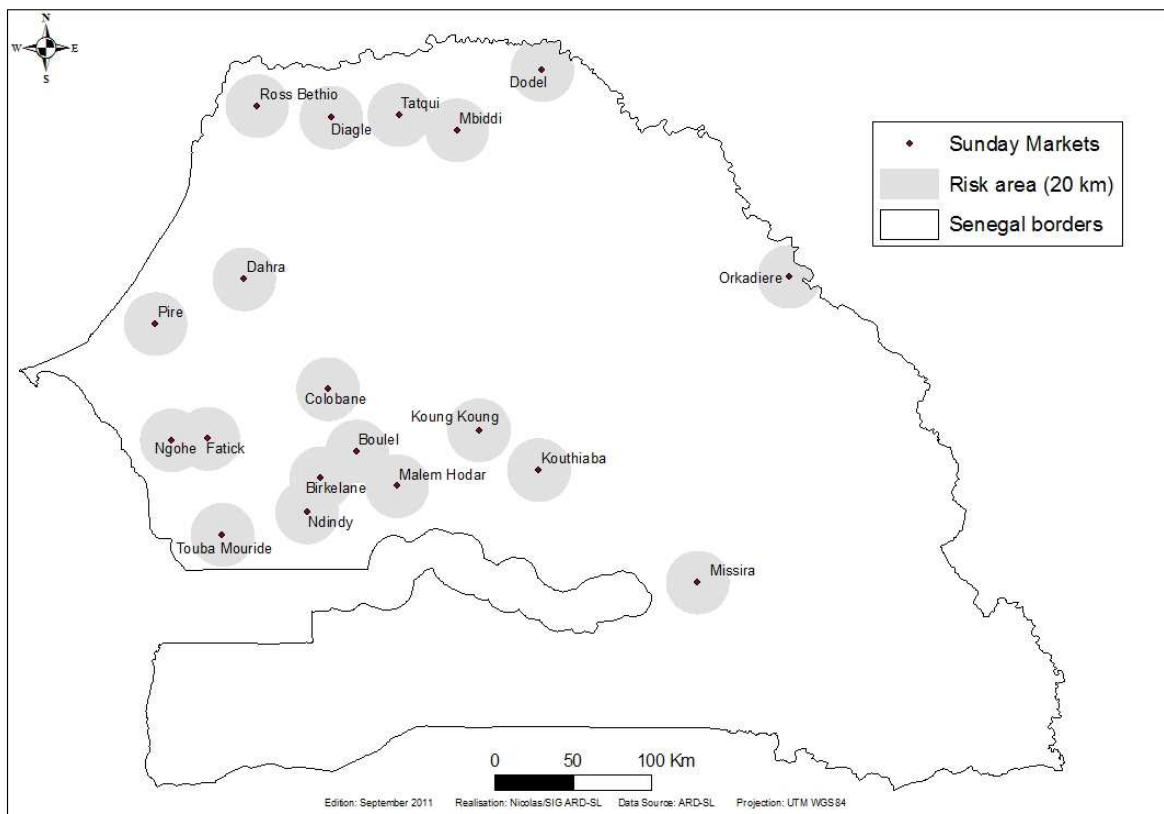
E. Marchés hebdomadaires du jeudi



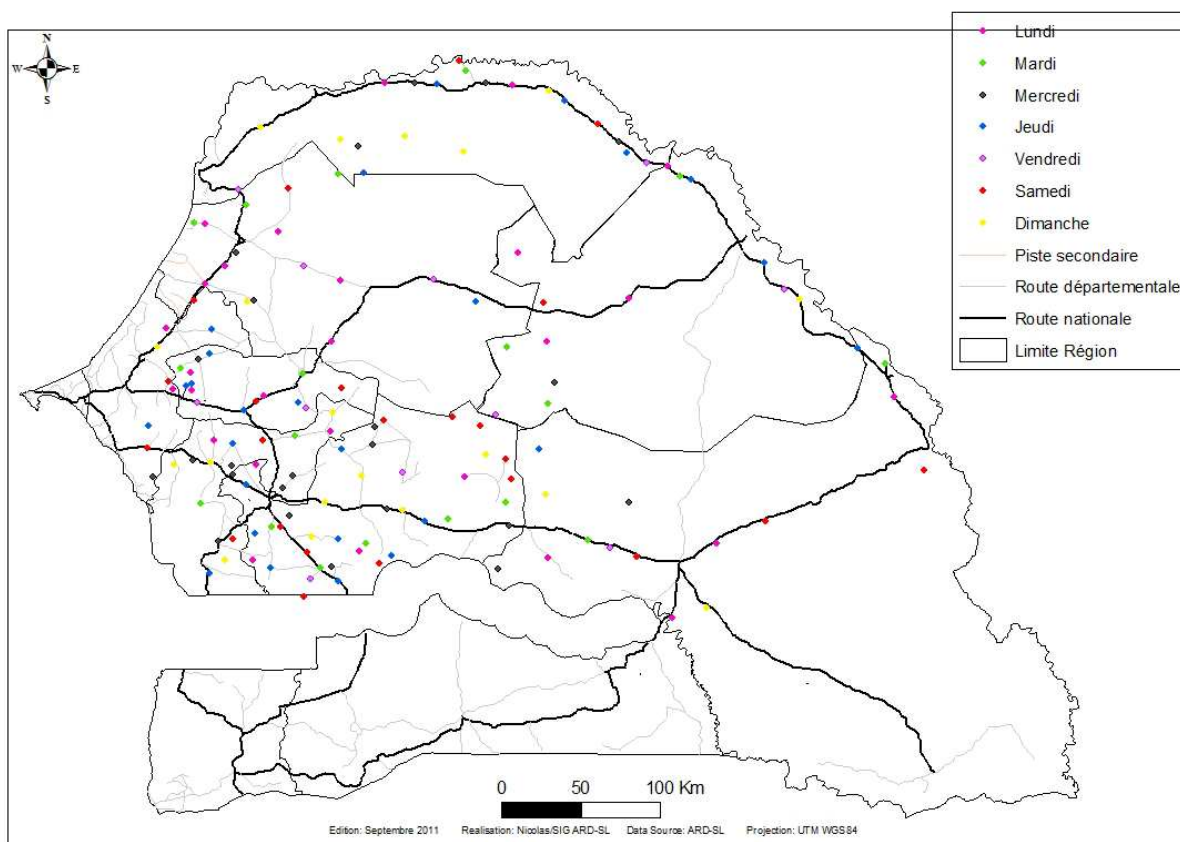
F. Marchés hebdomadaires du vendredi



G. Marchés hebdomadaires du samedi



H. Marchés hebdomadaires du dimanche



I. Marchés hebdomadaires et axes routiers

ANNEXE 3

FICHE PRELEVEMENT

Code localité¹⁷ : _____ **Nom de la localité :** _____ .

Nom du propriétaire : _____ **Ethnie :** _____ **Occupation :** pasteur / agro-pasteur / agriculteur / autre :

Communauté rurale d'origine : _____ **Téléphone :** _____

Nom du cheval : _____

Coordonnées de la localité : Longitude - _____ Latitude _____.

					Date_Visite 1 :		Date_Visite 2 :		Date_Visite 3 :		Date_Visite 4 :		Date_Visite 5 :		Date_Visite 6 :	
Robe	Sexe	Taille	Age	Marques	Coord. GPS	N° Prélev.	Coord. GPS	N° Prélev.	Coord. GPS	N° Prélev.	Coord. GPS	N° Prélev.	Coord. GPS	N° Prélev.	Coord. GPS	N° Prélev.

¹⁷ SL / RB / RT

FICHE DE SUIVI DES CHEVAUX SUSPECTES DE WEST NILE

Nom et Adresse de la clinique vétérinaire :

Nom de la personne ayant effectuée le suivi :

Prénoms et NOM du propriétaire du cheval :

Adresse précise :

N° de téléphone :

Signalement de l'animal :

Nom du cheval :

Race :

Robe :

Age :

Sexe :

Taille :

Marques :

Fonction(s) : ☐ Véhicule hippomobile

☐ Transport de marchandises

☐ Course hippique

☐ Travaux champêtres

☐ Autres, précisez.....

Symptômes :

Date d'apparition des premiers symptômes :

Date de la première consultation :

Fièvre : ☐ OUI ☐ NON

Perte d'équilibre : ☐ OUI ☐ NON

Incoordination motrice : ☐ OUI ☐ NON

Ataxie : ☐ OUI ☐ NON

Paralysie partielle : ☐ OUI ☐ NON

Autres symptômes observés :

.....

.....

Pronostic : ☐ Bénin ☐ Sévère

Date de la guérison ou de la mort de l'animal :

Coût global du traitement :

Lésions observées à l'autopsie :

.....

.....

.....

Types de prélèvement effectués :

☐ Sang total

☐ Liquide céphalorachidien

☐ Tronc cérébral

☐ Moelle épinière

☐ Sérum

☐ Tiques

Fiche N° :

Date de l'enquête :

Prénoms et NOM de l'enquêté :

Nom et Adresse de la clinique vétérinaire :

Fonction occupé :

Diplôme obtenu :

Nombre d'employés (pour les cliniques) :

Département :

Localité/Quartier :

Téléphone :

FICHE CLINIQUE OU POSTE VETERINAIRE

Combien de chevaux morts vous ont été signalés lors de l'épizootie de peste équine de 2007 ?

☐ Mâles adultes..... ☐ Femelles adultes..... ☐ Poulains.....

Aviez-vous envoyé des prélèvements ou réalisé des autopsies ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, précisez la nature et le nombre.....

Avez-vous été informé des résultats des analyses de laboratoire ?

☐ OUI ☐ NON

Aviez-vous enregistré des cas de guérison de chevaux préalablement malades ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, précisez le nombre.....

Combien de chevaux avez-vous vacciné avant l'épizootie ?

Quel était le prix payé par l'éleveur pour un cheval vacciné ?

Combien de chevaux avez-vous vacciné durant l'épizootie ?

Quels sont les moyens additionnels utilisés lors de cette vaccination ? (précisez le nombre)

☐ Véhicules..... ☐ Motos..... ☐ Charrettes.....

☐ Auxiliaires..... ☐ Glacières..... ☐ Carburant.....

☐ Autres, précisez.....

Avez-vous reçu un appui du SREL, des collectivités locales ou des éleveurs ? (précisez la nature et le nombre)

☐ Financier..... ☐ Logistique..... ☐ Carburant.....

☐ Réfrigérateur..... ☐ Congélateur..... ☐ Glacières.....

☐ Doses de vaccins..... ☐ Seringues..... ☐ Autres, précisez.....

Quels sont les symptômes observés ?

Œdème facial : ☐ Fréquent ☐ Rare ☐ Absent

Larmoiement : ☐ Fréquent ☐ Rare ☐ Absent

Dyspnée : ☐ Fréquent ☐ Rare ☐ Absent
 Jetage spumeux ou mousseux : ☐ Fréquent ☐ Rare ☐ Absent
 Paralysie partielle : ☐ Fréquent ☐ Rare ☐ Absent

Autres symptômes observés :

.....

A-t-il été effectué dans cette zone des campagnes de désinfection ou de désinsectisation lors de l'épizootie ? (par qui ?)

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, précisez le nombre de fois.....

Avez-vous enregistré d'autres cas de peste équine depuis la fin de cette épizootie ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, combien ?.....

Avez-vous atteint les mêmes effectifs de chevaux vaccinés en 2008 ?

☐ OUI ☐ NON

Si NON, quelles en sont les raisons ?.....

.....

Quelle était l'évolution de l'épizootie dans votre zone ?

1^{er} foyer : Date :..... Lieu :.....

2^{ème} foyer : Date :..... Lieu :.....

3^{ème} foyer : Date :..... Lieu :.....

.....

.....

.....

.....

Commentaires :

.....

.....

Fiche N° : **Date de l'enquête :**
Prénoms et NOM de l'enquêté : **Age :** **Sexe :**
Cocher propriétaire ou Cocher embauché
Département : **Profession du propriétaire :**
Arrondissement : **Communauté rurale :**
Commune : **Localité/Quartier :**
Chef de famille ou Célibataire **Téléphone :**
Nombre de personnes en charge :

FICHE COCHER

De combien de chevaux disposez-vous ou avez-vous en charge ?

☐ Mâles adultes.....
 ☐ Femelles adultes.....
 ☐ Poulains.....

Les avez-vous achetés ?

☐ OUI
 ☐ NON, précisez.....

A combien avez-vous acheté ce cheval ? (Année ou mois d'achat à préciser)

.....

A combien l'aurez-vous vendu actuellement ? (si vous deviez le faire)

.....

Quel est l'âge de votre cheval ? (Vérifier la dentition et noter l'état d'embonpoint)

.....

De quelle race est votre cheval ? (Vérifier la taille)

☐ Mbayar
 ☐ Mpar
 ☐ Fleuve
 ☐ Autres, précisez.....

Quel(s) type(s) de travail réalisez-vous avec ce cheval ?

- | | |
|---|--|
| ☐ Charrettes | ☐ Calèches |
| ☐ Transport de personnes | ☐ Transport de matériels aux champs |
| ☐ Transport de matériaux de construction | ☐ Transport d'ordures ménagères |
| ☐ Transport de marchandises | ☐ Transport de gaz |
| ☐ Autres, précisez..... | |

Précisez le N° d'immatriculation pour les calèches ou charrettes :

Combien cela vous rapporte par jour ?.....

Quel(s) type(s) d'aliment donnez vous à vos chevaux ?

- | | |
|---|---|
| ☐ Pâturage naturel | ☐ Fane d'arachide |
| ☐ Céréales (mil, sorgho, maïs, etc.) | ☐ Aliments industriels (ripasse) |
| ☐ Autres, précisez..... | |

A combien vous revient l'aliment par jour ?.....

Avez-vous vacciné votre cheval ? ☐ OUI ☐ NON

Si OUI, contre quelle(s) maladie(s) ? ☐ Peste équine ☐ Autres, précisez.....

A combien estimeriez-vous vos dépenses annuelles chez le vétérinaire ?.....

Aviez-vous enregistré des pertes de chevaux lors de l'épizootie de peste équine de 2007 ?

Si OUI, combien ? ☐ Mâles adultes..... ☐ Juments..... ☐ Poulains.....

Combien vous a coûté l'attelage ? (noter l'état : neuf ou d'occasion)

☐ Charrettes..... ☐ Calèches..... ☐ Harnais..... ☐ Pneus.....

Quelle est votre fréquence de renouvellement de l'attelage ?

☐ Charrettes..... ☐ Calèches..... ☐ Harnais..... ☐ Pneus.....

Quel est le prix du fer à cheval ? Fréquence de renouvellement ?.....

Disposez-vous d'un klaxon, d'une cravache, etc. ?

Si OUI, quels sont les prix ? ☐ Klaxon..... ☐ Cravache..... ☐ Autres.....

A quelle fréquence les renouvelez-vous ? ☐ Klaxon..... ☐ Cravache..... ☐ Autres.....

En cas de non disponibilité (cheval ou attelage) combien vous coûterait la location/jour ?

☐ Charrettes..... ☐ Calèches..... ☐ Harnais..... ☐ Cheval.....

Combien de jours travaillez-vous par semaine ?.....

Quels sont vos horaires quotidiens de travail ?.....

Travaillez-vous les jours fériés ou de fête ?.....

Etes-vous affilié à une structure fédérative (association de cochers) ? ☐ OUI ☐ NON

Si OUI, laquelle ?

Quelle place a occupé le cheval dans votre histoire ?

.....
.....

A combien estimeriez-vous la perte d'un cheval ?.....

Saviez-vous que les moustiques peuvent transmettre des maladies aux chevaux ?

☐ OUI

☐ NON

Si OUI, laquelle ?

Avez-vous une fois enregistré des mortalités de chevaux présentant des symptômes similaires à ceux de la fièvre West Nile ?

☐ OUI

☐ NON

Si OUI, en quelle(s) année(s) ?

Commentaires :

.....

NOM du responsable :

Date de l'enquête :

Téléphone :

Département :

Arrondissement :

Communauté rurale :

Nom du marché :

Mois considéré :

FICHE MARCHE HEBDOMADAIRE

Nombre de chevaux vendus par mois au niveau du marché:

☐ Mâles adultes..... ☐ Femelles adultes..... ☐ Poulains.....

Intervalle des prix de vente (Minimum-Maximum) :

☐ Mâles adultes..... ☐ Femelles adultes..... ☐ Poulains.....

Nombre de vendeurs sur un mois :

☐ Vendeurs professionnels (Téfankés)..... ☐ Vendeurs particuliers.....

Origines des vendeurs :

☐ Villages alentours (rayon de 20 km)..... ☐ Dakar..... ☐ Touba..... ☐ Mpal.....

☐ Sine Saloum (Kaolack, Fatick, Kaffrine)..... ☐ Dahra..... ☐ Autres, précisez.....

Nombre d'acheteurs sur un mois :

☐ Téfankés ou Dioula..... ☐ Acheteurs particuliers (occasionnels).....

Origines des acheteurs :

☐ Villages alentours (rayon de 20 km)..... ☐ Dakar..... ☐ Touba..... ☐ Mpal.....

☐ Sine Saloum (Kaolack, Fatick, Kaffrine)..... ☐ Dahra..... ☐ Autres, précisez.....

Montant versé au responsable du marché :

☐ Vendeur.....

☐ Acheteur.....

Existe-t-il une taxe à la commune ou communauté rurale ? ☐ OUI ☐ NON

Si OUI, elle s'élève à combien ? ☐ Par cheval vendu..... ☐ Autres, précisez.....

Nombre de charrettes ou calèches vendues par mois au niveau du marché:

☐ Charrettes..... ☐ Calèches..... ☐ Houes..... ☐ Semoirs.....

Intervalle des prix de vente (Minimum-Maximum) :

☐ Charrettes..... ☐ Calèches..... ☐ Houes..... ☐ Semoirs.....

Prénoms et NOM du vendeur :

Département :

Arrondissement :

Sexe :

Communauté rurale :

Coord. GPS :

Marché hebdomadaire :

Téléphone :

Questionnaire des vendeurs de chevaux

Depuis quand vendez-vous des chevaux ?.....

Quels sont les chevaux les mieux vendus?

☐ Mâles adultes..... ☐ Femelles adultes..... ☐ Poulains.....

A quel prix ?.....

Connaissez-vous l'origine des chevaux que vous vendez ?

☐ NON ☐ OUI, précisez.....

Quelles sont généralement les destinations des chevaux vendus ?.....

A quelle période le cheval se vend plus facilement ?.....

Quelle est l'évolution des prix ?.....

Quelles difficultés rencontrez-vous pour l'acquisition de chevaux ?

☐ Rareté des points de vente ☐ Manque de chevaux ☐ Qualité non suffisante
☐ Autres, précisez.....

Quelles sont les raisons qu'avancent vos clients pour justifier l'achat de chevaux ?

☐ Véhicule hippomobile ☐ Transport de marchandises
☐ Course hippique ☐ Travaux champêtres
☐ Autres, précisez.....

Quelle place a occupé le cheval dans l'histoire de votre localité ?.....

Vendez-vous des accessoires pour cheval ?.....

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, précisez ? ☐ Charrette ☐ Harnachement ☐ Autres, précisez.....

Avez-vous une fois enregistré des mortalités de chevaux présentant des symptômes similaires à ceux de la fièvre West Nile ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, en quelle(s) année(s) ?.....

Prénoms et NOM du vendeur :

Département :

Arrondissement :

Sexe :

Communauté rurale :

Coord. GPS :

Marché hebdomadaire :

Téléphone :

Questionnaire des vendeurs d'accessoires pour cheval

Depuis quand vendez-vous ce matériel ?.....

Qu'est-ce qui se vend le mieux?

☐ Harnais ☐ Charrettes ☐ Pneus ☐ Autres, précisez.....

A quel prix ?.....

A quelle période ces équipements se vendent plus facilement ?.....

Quelle est l'évolution des prix ?.....

Quelles difficultés rencontrez-vous dans la vente de ces accessoires ?

☐ Faible pouvoir d'achat des clients ☐ Rareté des fabricants
☐ Coût élevé des matériaux de fabrication ☐ Autres, précisez.....

Quelles sont les raisons qu'avancent vos clients pour justifier l'achat de ces accessoires ?

☐ Véhicule hippomobile ☐ Transport de marchandises
☐ Course hippique ☐ Travaux champêtres
☐ Autres, précisez.....

Quelle place a occupé le cheval dans l'histoire de votre localité ?.....

.....
.....

Saviez-vous que les moustiques peuvent transmettre des maladies aux chevaux ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, laquelle ?.....

Avez-vous une fois enregistré des mortalités de chevaux présentant des symptômes similaires à ceux de la fièvre West Nile ?

☐ OUI ☐ NON

Si OUI, en quelle(s) année(s) ?.....

**Outbreaks of African horse sickness
in Senegal and methods of control of
the 2007 epidemic**

MANUSCRIT 1

**Les foyers de peste équine de 2007 au
Sénégal et les méthodes de contrôle
de l'épidémie**

Paper

Outbreaks of African horse sickness in Senegal, and methods of control of the 2007 epidemic

N. D. Diouf, E. Etter, M. M. Lo, M. Lo, A. J. Akakpo

Q5

Q3 Since first being detected in Nigeria in January 2007, African horse sickness virus serotype 2 (AHSV-2) has spread throughout the northern hemisphere, and was first reported in Senegal. A retrospective study was conducted from December 2009 to April 2010 using data collected in the field combined with information available at the Direction of Veterinary Services. The epidemic started in the Dakar region with two outbreaks in March and June 2007, respectively, and spread in several parts of the country between July and November 2007. During this period, 232 outbreaks and 1137 horse deaths were reported. The epidemic was controlled by mass vaccination using a polyvalent-attenuated vaccine. This retrospective study was conducted with various assumptions of AHSV-2 introduction, and provides recommendations for implementing an early warning surveillance system for African horse sickness in Senegal.

Introduction

African horse sickness (AHS) is caused by an orbivirus (family Reoviridae) that is mainly transmitted by adult *Culicoides* midges (Diptera, Ceratopogonidae) (Venter and others 2009, Wilson and others 2009). Nine serotypes of the AHS virus have been described (Howell 1962). The virus is endemic in sub-Saharan Africa, particularly eastern and southern Africa (Leforban and others 1983, Blackburn and Swanepoel 1988, Mellor and Hamblin 2004), but outbreaks have occasionally been reported in North Africa (Pilo-Moron and others 1967), the Middle East (Yasarol 1962, Maurer and Cully 1963, Parker 1974, Hassanain and others 1990), and southern Europe (Rodriguez and others 1992, Portas and others 1999). Senegal is a coastal country in West Africa between the Atlantic Ocean, Mauritania, Mali, Republic of Guinea and Guinea Bissau. The disease was first described in this country in 1942 (Mornet 1949). In the late 1980s, there have been repeated outbreaks in several parts of Senegal with more than 100 reported cases of AHS (Sarr and others 1988). AHS virus serotype 9 (AHSV-9) was identified as the only serotype circulating in West Africa (Adeyefa and Hamblin 1995, Sailleau and others 2000). Then in January 2007, AHSV-2 was reported in Nigeria, and it was the first such report in the northern hemisphere (Folorunso and others 2008, Anon 2010). The most

recent epidemic occurred in Senegal in 2007. During this outbreak, AHSV-2 was isolated for the first time. Numerous areas were infected. Starting in Dakar region in March and June 2007, the disease spread to several parts of the country between July and November 2007. The introduction and the spread of this new serotype within the country have not been well investigated. Therefore, a retrospective study was conducted with various assumptions. This study will focus on the understanding of mechanisms through which the disease spread to better prepare control measures against another AHS virus threat.

In this paper, details of the 2007 outbreaks in Senegal are described with the control methods adopted by the government to stop the disease spread. Also, recommendations are provided for implementing an early warning surveillance system for AHS in Senegal.

Materials and methods

Until 2007, Senegal was administratively divided into 11 regions, and additionally partitioned into 34 departments divided into rural communities. By 2008, it was again reorganised into 14 regions. However, during this study, we will refer to the former Senegal's 11 regions as they existed in 2007 at the beginning of the outbreak. During the Senegal AHS outbreaks in August 2007, data have been collected by the Direction of Veterinary Services through the Regional Veterinary Services Inspections. By this method, data collection was performed in real time with status reports on the epidemic.

This retrospective study took place between December 2009 and April 2010. Data collected by the Regional Veterinary Services Inspections were combined with those collected by the Direction of Veterinary Services, and several national veterinarian and livestock agencies were analysed for this study. Regions where horse deaths were reported, were visited and investigations conducted with horse sellers and owners in all large commercial horse markets (Mpal, Dahra, Dinguiraye, Birkelane, Sagatta Guet, Touba, Toubatoul) within the country. Interviews were also organised with the Director of Veterinary Services and its team, the Director of the Livestock department, the Director of the Equine Breeding department and its team, each of the Regional Veterinary Services Inspectors whose region was affected by AHS outbreaks, a group of veterinary practitioners and heads of commercial horse markets.

ArcGIS V.9.3 software was used for mapping.

Veterinary Record (2012)

doi: 10.1136/vr.101083

N. D. Diouf, DVM, MSc,

Q4 Direction de l'Elevage/CIMEL de Makhana, BP: 201 St-Louis, Senegal

E. Etter, DVM, PhD,

Department Environment and Societies, CIRAD – UR AGIRs, P.O. Box 1378, Harare, Zimbabwe

M. M. Lo, PhD,

Department of Microbiologie, LNERV, BP: 2057, Dakar-Hann, Senegal

M. Lo, DVM, MSc,

Direction des Services Vétérinaires, Cité Keur Gorgui, BP: 45677, Dakar, Senegal

A. J. Akakpo, DVM, PhD,

EISMV, BP: 5077, Dakar-Fann, Senegal;

E-mail for correspondence:

nicolas.diouf@gmail.com

Provenance: Not commissioned; externally peer reviewed

Accepted October 25, 2012



Results

Description of the outbreaks

A first outbreak of AHS occurred from March 16 to April 6, 2007. The disease was reported in five stud farms in Niaga belonging to Rufisque department located in Dakar region where 15 horses out of 214 died (7 per cent of the population). The horses that died during this epidemic were thoroughbreds and crossbreds. The fatalities due to AHS brought into doubt the quality of the monovalent vaccine against AHSV-9 produced by the National Laboratory (LNERV) of the Senegalese Research Institute in Agriculture, and used each year for the national vaccination campaign organised within the country.

Between May 21 and June 1, 2007, the disease reappeared in two stud farms in Petit Mbao, Dakar region. During this period, eight horses died, followed by seven other horses, putting the number of deaths at 15 horses out of 65 exposed horses. Those fatalities included 12 horses of exotic breeds, and three mares of local breeds. Sick horses presented hyperthermia, anorexia, supraorbital oedema, frothy nasal exudate, conjunctivitis. Postmortems revealed pulmonary conjunctiva and oedema, pleural extrusion, petechiae on trachea with curds, cerebral haemorrhage, spleen conjunctiva, hepatomegaly, splenomegaly. These signs strongly implicated AHS.

It is important to note that there are three clinicopathologic syndromes associated with AHS virus infection in horses. These different forms of AHS (pulmonary, cardiac and fever forms) vary in the organs affected, the severity of lesions, time of onset of clinical signs and mortality rates (Laegreid and others 1993).

As soon as AHS was confirmed, an emergency plan was made by the veterinary administration. Horses within a defined risk zone were not allowed to leave the department of Rufisque (Dakar region). Within the department, leisure activities with horses, such as horse racing, were forbidden. These two measures remained in place until 40 days after the last case reported in Niaga.

The Ministry of Livestock decided to send whole blood, sera and organ samples to independent laboratories to confirm the biological diagnostic result of the LNERV by performing serotyping. Samples were sent to the World Organisation of Animal Health (OIE) reference laboratories for AHS virus and Bluetongue virus (BTV) in Pirbright (UK) and Onderstepoort (South Africa). Samples of the monovalent serotype 9 vaccine were also sent to those laboratories for quality control.

The results of the serologic controls carried out on horses in stud farms in Dakar, led to two worrisome discoveries. First, the tests revealed that horses that had been inoculated and had enough antibodies to AHSV type 9, had died, nonetheless. Secondly, a number of horses inoculated with the type 9 vaccine (15–25 per cent depending on the stud farm) had very low antibody counts against the same serotype. These two discoveries cast doubts on the quality of the vaccine and raised questions about the vaccination process. Other attempts to explain the discoveries revolve around serum clutter in the cases of the horses that died in spite of having sufficient antibodies (titre 80). Another possibility is the introduction of a new serotype, because AHSV was detected by the lab (MacLachlan and Guthrie 2010).

Laboratory results produced by OIE Reference laboratories for AHSV and BTV (Pirbright and Onderstepoort) confirmed the good quality of the monovalent vaccine against serotype 9 produced by LNERV. These laboratories also found that spleen, liver and blood samples contained no traces of AHSV-9. This finding attested the introduction of AHS serotype 2 in the country.

Course of the epidemic outside of Dakar

In spite of the containment of all horses within the borders of Rufisque (Dakar region), the disease continued to spread throughout the department. Between early July and November, several outbreaks occurred in 23 out of 30 departments outside of Dakar (Table 1). The disease consistently hit horses of local breeds, and (officially) caused 1137 horse deaths (Fig 1).

African horse sickness virus isolation

The OIE Reference laboratory in Pirbright isolated AHSV serotype 2 (AHSV-2) from spleen samples of two stallions from Diourbel region.

The samples were taken between August 26 and September 2, 2007. The same serotype was isolated from blood samples collected from 12 horses on July 5, 2007 in Diarere, department of Fatick (Fatick region). In those horses, clinical signs, such as heightened rectal temperature, serous nasal discharge, slight tearing and extra-orbital oedema were observed.

The OIE Reference laboratory (Pirbright) also isolated AHSV-2 from a lung sample taken from a mare in Lerane Sambou, department of Foundiougne (Fatick region) on August 24, 2007.

None of the samples had traces of serotype 7, although a high seroprevalence of this serotype was observed in healthy horses during another study in the Senegal river Delta area in August 2007 (ND Diouf, E Etter, O Ndiaye, S Lecollinet, S Zientara, AJ, Akakpo, unpublished data). The serotype 7 was isolated by the OIE Reference laboratory in Pirbright in September 2007 in dead horse samples from Guede Bousso village, Diourbel region (Mertens and others 2010). This lab had already isolated AHS virus serotype 2 in horse blood, spleen and lung from Fatick and Diourbel regions in July, August and September 2007.

Phylogenetic analysis of AHS virus type 2 isolates from South Africa, Botswana and Nigeria showed that the Senegal isolate is almost identical to the AHSV-2 isolates from all these countries (Anon 2010).

Control strategies during the epidemic

First AHS epidemic in Niaga (Dakar region)

On March 16, 2007, samples were sent to the LNERV of Dakar, and on March 19, 2007, the government created a departmental task force to monitor and fight epidemics. In the following days, preventive health measures, such as movement restrictions, the burying of corpses, and vector-control methods including spraying, cleaning, disinfection and disinfection of stables and the woods of Petit Mbao, were set in place. On March 20, 2007, sera collected from sick horses were tested by the LNERV in Virus Neutralisation Test. Out of an estimated 6910 horses, 5938 horses (85.9 per cent) living in the area of Dakar were vaccinated with the monovalent AHS vaccine with serotype 9 produced by the LNERV without cost to the owners.

Second AHS epidemic in Petit Mbao (Dakar region)

The balance at this point shows 15 dead horses. The government declared suspected AHS in the area of Petit Mbao on May 23, 2007. Samples were sent to the LNERV on May 29, 2007 to confirm AHS and to check the quality of the monovalent AHSV-9 vaccine. Next, calls for offers for an order of monovalent vaccine against AHSV-9 were sent to South Africa, Sudan and Egypt. On May 30, 2007, samples were mailed to OIE Reference laboratories for AHSV and BTV (Pirbright and Onderstepoort). On June 5, 2007, samples of the monovalent AHSV-9 vaccine produced in Senegal were mailed to Pirbright for quality control, and 10,000 doses of monovalent AHSV-9 vaccine were ordered for the second time in Egypt and Sudan. On June 30, 2007, OIE Reference laboratories for AHSV and BTV isolated serotype 2, and thus confirmed the diagnosis of AHS and the good quality of the monovalent serotype 9 AHS vaccine produced in Senegal. This diagnosis led to a further order of 10,000 doses of polyvalent AHS vaccine in Egypt instead of the 10,000 doses of monovalent vaccine against AHSV-9. The vaccine was delivered on August 26, 2007.

TABLE 1: Global situation of the 2007 AHS epidemic in Senegal

Infected regions	Date of first outbreak	Date of last outbreak	Number of outbreaks
Kaolack	August 1–7	September 20	52
Tambacounda	–	–	18
Louga	August 17	October 29	38
Diourbel	August 17	October 1	29
Fatick	July 5	October 20	43
Thies	August 29	October 30	17
Matam	August 10	October 24	21
St-louis	September 11	October 17	14

AHS African horse sickness

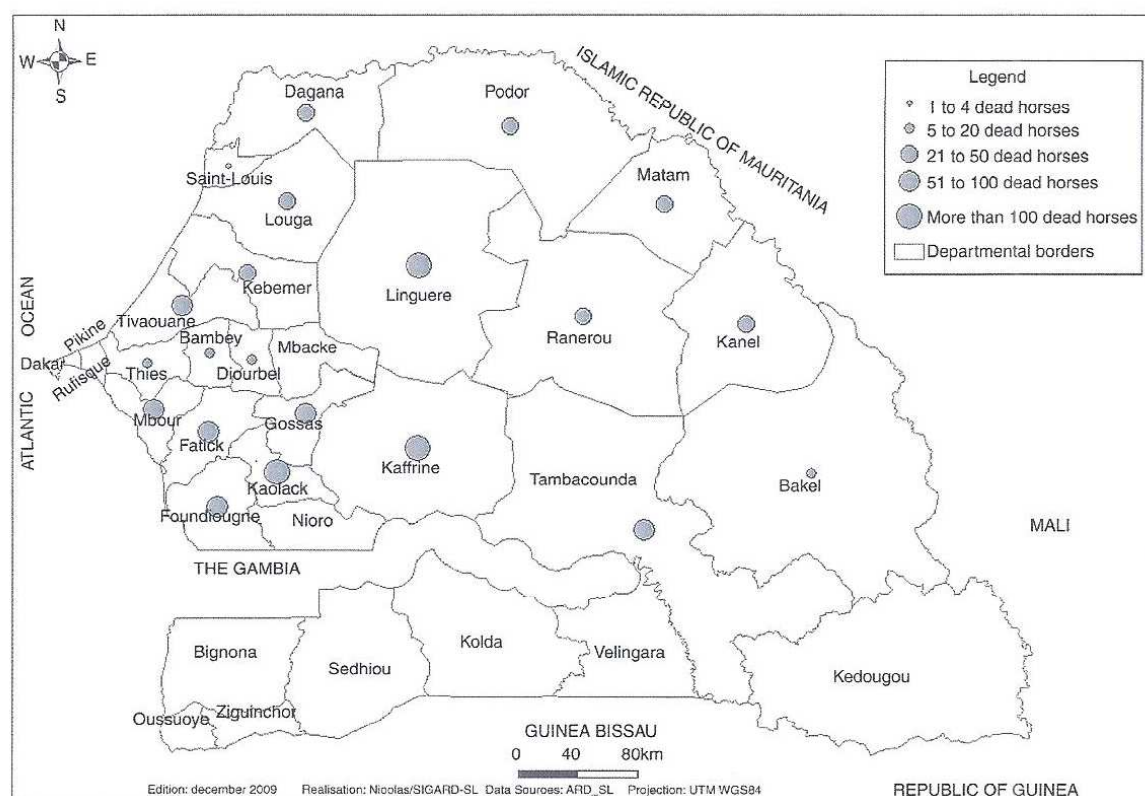


FIG 1: Number of horse deaths from African horse sickness, by department, during the epidemic in Senegal, 2007

Outbreaks of AHS out of Dakar

The Director of the Livestock department of Senegal visited the affected regions (Louga, Diourbel, Fatick, Kaolack and Tambacounda) between August 24 and August 26, 2007. Regional veterinary services of those regions received 5000 doses of a polyvalent AHS vaccine. On August 30, 2007, a letter addressed to the governors installed a monitoring system that gave real-time status reports on the AHS epidemic. The status report included data on geographic and temporal distribution of the afflicted horses and made it possible to quickly bring the epidemic under control. On September 1, 2007, veterinary services of affected areas met with the LNERV and received another 5000 doses of the polyvalent AHS vaccine with serotypes 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 and 9, since AHSV-9 can immunise against the AHSV-6. On September 3, 2007, veterinary officers in the field were warned to control further spreading of the disease.

Under the Emergency vaccination programme, 230,000 doses of the polyvalent AHS vaccine were ordered: 120,000 doses from the LNERV and 110,000 doses from Egypt. On September 6, 2007, the veterinary services addressed a request to FAO to fund an investigation into the different AHS serotypes circulating in Senegal.

The scientific committee for the monitoring of diseases composed of veterinary services, public and private structures with a vested interest and professional organisations, was created on September 7, 2007. Also on this day, the LNERV diagnosed AHS and identified serotypes 2 and 9. On September 10, 2007, regional veterinary services received 11,000 doses of the polyvalent AHS vaccine (10,000 doses originating from Egypt and 1000 doses produced by the LNERV) and 2250 litres of fuel to support the vaccination campaign.

On September 19, 2007, regional veterinary services received 40,000 doses of the polyvalent AHS vaccine. On October 2, 2007, they received another 41,830 doses of the polyvalent AHS vaccine, fuel, conservation materials (freezers, ice-boxes) and communication/publicity aids (t-shirts, caps, posters and flyers).

On October 9, 2007, the LNERV is requested to produce and deliver a solvent to dilute the vaccine to avoid use of unsafe diluents by field veterinarians.

On October 17, 2007, the Livestock Direction, the Forestry Direction and the Hygiene services worked together to bury horse cadavers in the protected forest of Petit Mbaou. The next day, regional veterinary services received 17,170 doses of polyvalent AHS vaccine, and another 32,830 doses on October 25, 2007.

Results of the vaccination campaign

A total of 175,300 horses (33.8 per cent) out of 518,212 horses were vaccinated with the polyvalent vaccine from August to December 2007 in eight regions. Let us point out that there were no horse deaths reported in the following seven departments which were free from AHS outbreaks: Kolda, Sedhiou, Velingara, Bignona, Oussouye, Ziguinchor and Kedougou. However, the peak of the epidemic was observed in Fatick region during the last week of August 2007 (Fig 2b), while it occurred during the first and the second week of September 2007, respectively, in Thiès (Fig 2c) and Diourbel regions (Fig 2a). The incidence of the disease decreased in all these three regions after a mass vaccination programme was started.

Under the urgent AHS vaccination programme, regional veterinary services received polyvalent vaccines, fuel, compensations, conservation materials (freezers, ice-boxes).

In spite of all these efforts, 1137 horses were officially reported to have died during the 2007 epidemic. The outbreaks occurred in nearly four months, with a morbidity of 0.26 per cent and a mortality of 0.23 per cent. This means that the global assessment of the disease cost was 1.4 million euros, with 55.60 per cent for disease cost (morbidity, opportunity cost, mortality), and 44.40 per cent for control measures (Akakpo and others 2011).

To avoid these high losses, we should improve epidemiosurveillance networks for main livestock infectious diseases and adapt vaccines used with serotypes circulating in the different regions (Akakpo and others 2011).

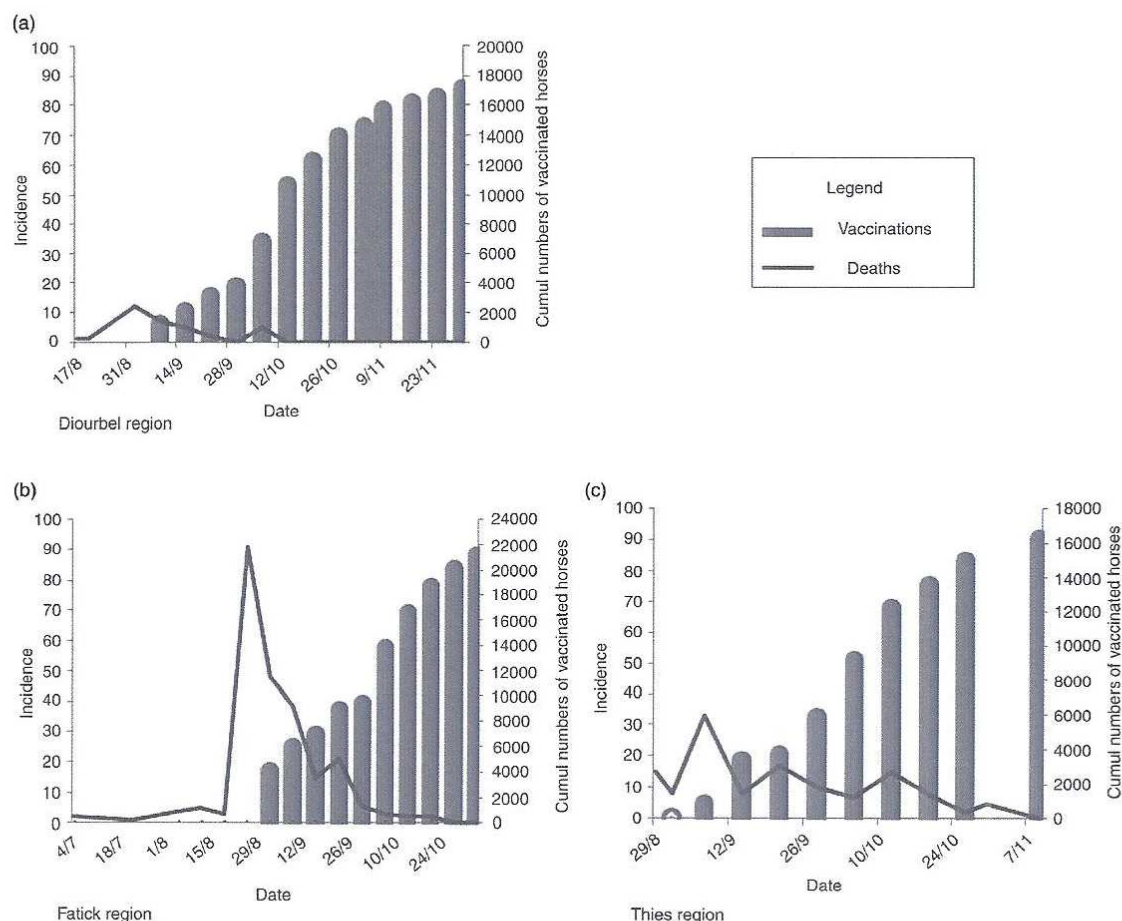


FIG 2: Epidemic curves and vaccine-induced immunity for African horse sickness in Diourbel (a), in Fatick (b) and Thies (c), Senegal, 2007. The polygon represents new deaths, by week, of the epidemic. The vertical columns represent the number of vaccinated horses with the polyvalent vaccine during the emergency vaccination campaign

The set goal to vaccinate 300,000 horses by the end of December 2007 was not reached.

Discussions

Hypothesis of AHSV-2 introduction in Senegal

The first hypothesis of AHSV-2 introduction sustains the possibility that it might be due to a fraudulent import of horses into Senegal from countries where the serotype 2 virus was present, most likely South Africa or Nigeria. In this case, the infected horse would be the direct origin of the outbreaks in the Dakar region, and particularly, the outbreak in Niaga in March 2007.

There are no records of horses having been imported from South Africa or Nigeria before the outbreaks in Niaga and Mbao. Neither the veterinary services at Dakar port, nor the services at Dakar airport registered incoming horses from those countries. From 2005 to 2008, a total of 57 horses had been registered as imported from Brazil and France.

The second hypothesis of AHSV-2 considers a legal or fraudulent movement of horses from neighbouring countries. Taking into account that antibodies to AHSV-2 were found in healthy horses in the Senegal river delta (St Louis region) between August 12 and 19, 2007 (ND Diouf, E Etter, O Ndiaye, S Lecollinet, S Zientara, AJ, Akakpo, unpublished data), thus, before the introduction of the polyvalent vaccine against AHS in Senegal. It is likely that those wild-type strains of AHSV-2 had been circulating discreetly before the outbreaks in Niaga and Mbao (Dakar region), as was the case in Corsica during the outbreak of BTV (BTV-4) in 2003 (Gerbier and others 2003). This phenomenon can be explained in the following possible scenario: one or more of Senegal's neighbours, such as Mali or Mauritania (Wilson

and others 2009) might have imported horses from countries affected by serotype 2 before 2007. The virus could subsequently have circulated within the horse population of these neighbouring countries, including horses of local breeds. Horses carrying the virus could then have been sold in weekly markets near the border, and then be sold again in major markets in Fatick and Kaolack regions (Fig 3). The new serotype was thus carried to regions where carters make seasonal treks to Dakar at the end of the rainy season. Following this train of thought, AHSV-2 would have been circulating discreetly among local breed horses in Dakar as early as December 2006. Only in March 2007 were the first outbreaks among exotic breeds registered in the Dakar suburbs. In affecting the exotic breeds, it may be possible that the virus gained virulence (or mutated), and then became fatal to local breeds. When the carters moved back into the country from Dakar before the rainy season, they carried the virus to the different locations where, later, there would be outbreaks. Indeed, the first suspicion of AHS outside of Dakar was reported on July 5, 2007 in the region of Fatick, in Diarere. The carters of this village had stayed in Dakar during the dry season, and had been home for the rainy season for less than a month.

It is important to note that the first clinical cases of AHS in the St Louis region were reported on September 11, 2007 in the department of Dagana, and on September 24 in the department of St Louis.

The exotic horses that died between March 2007 and June 2007 in the Dakar suburbs were probably only the tip of the iceberg – being more sensitive than local breeds – and their death was indicative of the virus circulation.

It should be noted that the different AHS serotypes supposedly originating from the outbreak points in the area of Dakar seem more

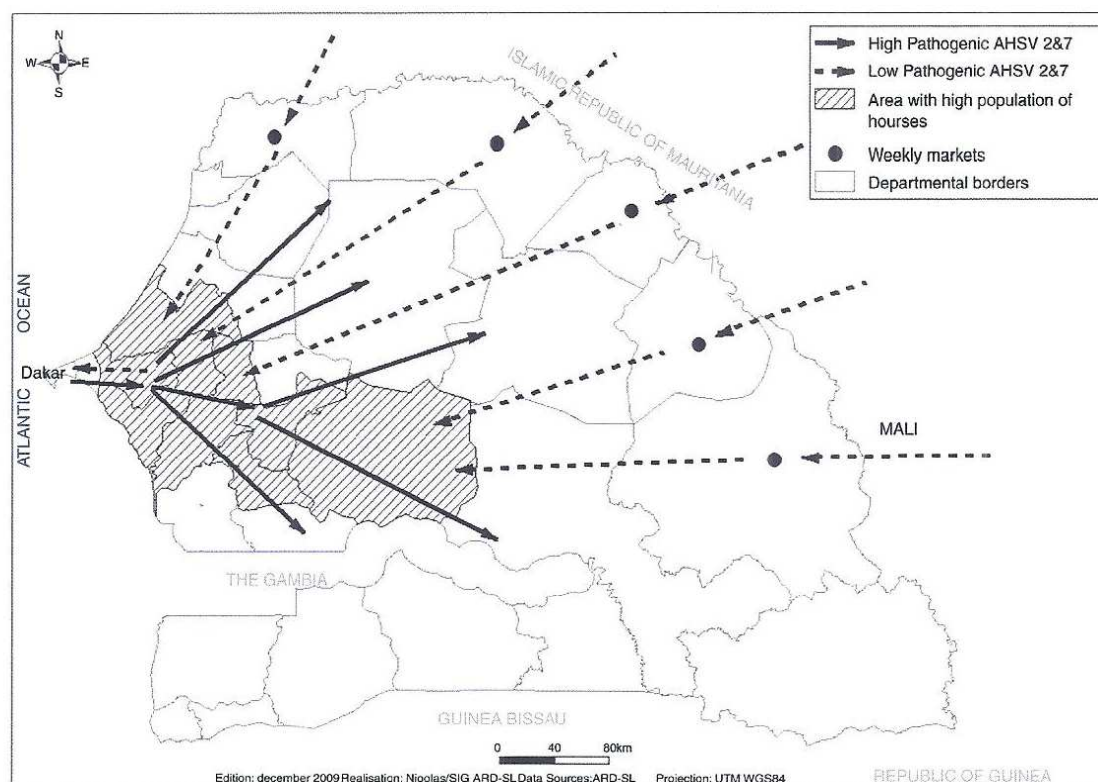


FIG 3: Possible route of introduction and spread of African horse sickness virus serotypes in the 2007 epidemic

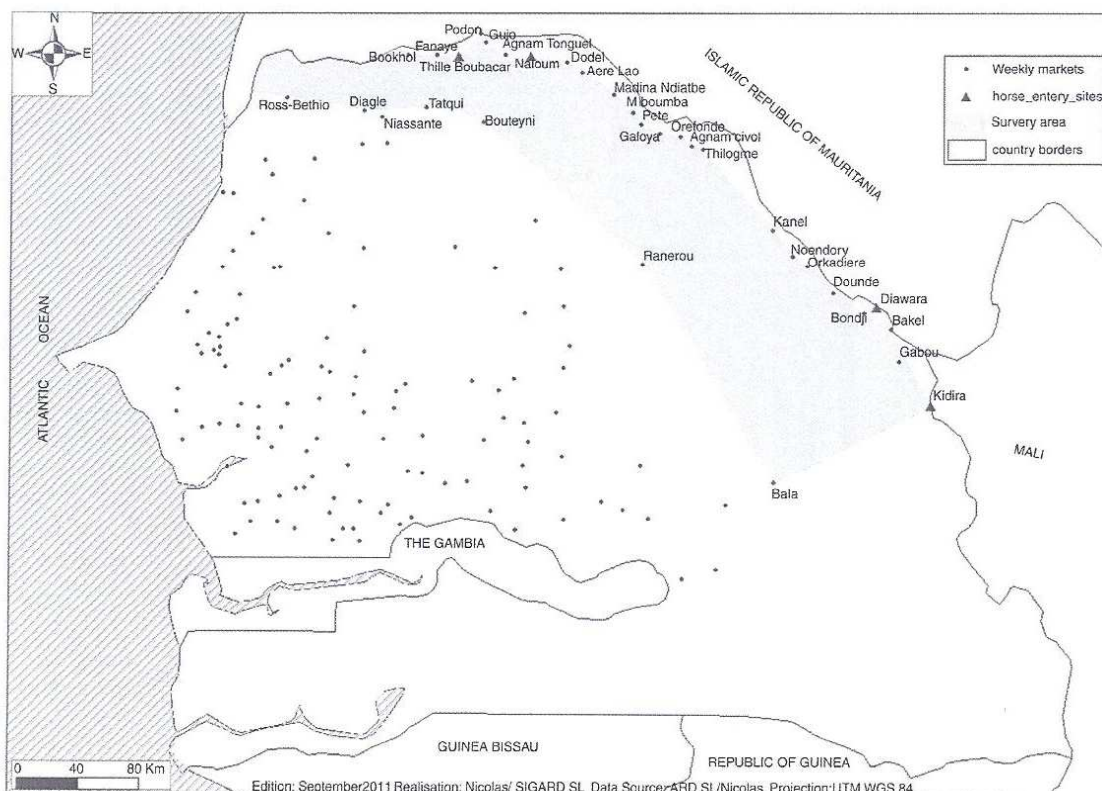


FIG 4: Early detection survey area for African horse sickness virus new serotypes and other horse diseases. Diawara, Kidira, Thille Boubacar and Ndioum are entrances for horses from Mauritania and Mali. Active surveillance in the epidemic vigilance area would allow the detection of viruses before they reach the network of weekly markets

virulent and more lethal to local breeds than those that were found in St Louis prior to the outbreaks.

This virus caused many equine fatalities which helped to detect the virus circulation expecting the virus' virulence to increase while it moved from horse to horse.

A third hypothesis considers that the virus was introduced by infected *Culicoides* vectors that reached the country travelling by ship, plane, wind or other modes of transportation.

The second hypothesis seems to be the most plausible. The first hypothesis is problematic because the time frame between import and outbreak is too long. Clinical signs are usually observed after seven to 14 days of infection, and no horse imports were reported in the days before the outbreaks. It might also be a fraudulent importation of horses from Nigeria by Senegalese horse traders or owners (Folorunso and others 2008) using cars for transportation. The third hypothesis seems problematic because planes have strict disinfection guidelines. The journey by ship or car is generally too long for vectors to survive. It is thus unlikely that those vectors could introduce new serotypes. However, an introduction of AHSV-2-infected vector by wind might be considered if the sources of infection are the neighbouring countries. On the other hand, if Nigeria is considered to be the source of AHSV-2, most of the West African countries located between Nigeria and Senegal should be infected before the Senegalese outbreaks.

Before the introduction of AHSV-2 in Senegal, a monovalent vaccine against AHSV-9 was routinely used for yearly vaccination campaign, but since the 2007 outbreak, polyvalent vaccine with seven valences was used, later eight serotypes were included in the polyvalent vaccine used in Senegal taking into account the cross-reactivity between AHSV-6 and AHSV-9. These vaccines are all live attenuated formulations.

An advantage in the use of inactivated vaccines is that tests based upon one or other of the non-structural proteins of the virus can be developed that will enable differentiation between naturally infected and vaccinated animals (Laviada and others 1995).

Vaccination may have greatly contributed to the control of the AHS outbreaks in Senegal in 2007, but it needs, therefore, further research to evaluate its role by estimating the basic reproduction number (R_0) in the early phases (Lord and others 1996). The effective reproduction number (R_e) should also be assessed to consider the effect of increasing immunity throughout the epidemic and the vaccination (Cowled and others 2009). However, the number of vaccinated horses is negatively correlated to incidence in Fatick, Thies and Diourbel regions, respectively, -0.34 , -0.60 and -0.61 . Other control measures, such as movement restrictions, were imposed but not respected by owners in the field; the vector control (disinfection and disinfections of stables) was just done in some places in Dakar region. Lack of laboratory diagnosis confirmation for each horse death might have led to an overestimation of the number of outbreaks. However, under-reporting of outbreaks might have compensated for this overestimation.

Recommendations

An early warning surveillance system for AHS should be implemented in Senegal by doing a sero-monitoring in donkeys which are usually not vaccinated against AHSV, in order to detect the circulation of wild-type strains of AHS virus (Fig 4). Indeed, donkeys are not active in the introduction of AHS virus because there is no trade business from borders, but they might play a role in keeping and spreading the virus as a reservoir. Other preventive measures can include intense vigilance near the Malian and Mauritanian borders, particularly around weekly markets, an active surveillance of AHSV circulation with a raised level of involvement of veterinary officers, veterinarians and horse owners. It is necessary to implement a network based on serological and virological tests, not only for the reporting of clinical signs, but also in order to detect in real time the spread of a new serotype. Since AHSV is endemic in Senegal and occasionally re-emerges, environmental and meteorological factors contributing to amplify potential epidemics should be identified. Data, such as annual temperature (Ward 2005), rainfall, framework should be available for veterinary services. On the other hand, horse densities and vector dynamics in the vigilance zone should also be known. All

this information can be used to reduce the potential impact of future epidemics.

The lessons learned from the 2007 epidemic are first that, restrictions on horse movement should be respected by owners because it might be an effective way to reduce the disease impact (Perez and others 2004); secondly, a mass vaccination campaign involving other subregional countries, such as Mali, Mauritania, The Gambia and Ghana, might be an effective control strategy against the AHSV epidemic, and a successful way for its eradication (Portas and others 1999); thirdly, a vaccination programme should be based on the adapted vaccines against serotypes circulating in the area.

The northeastern part of Senegal should be considered as a risk zone because it is the only side in which introduction of the AHS virus can take place. Senegal is a coastal country with the Atlantic Ocean in the western part, while the south and southeast are infested by Tsetse flies which can transmit Trypanosomiasis to horses. Horses can barely live in that area at the time of this writing.

The current study shows that a new AHSV serotype can reach an endemic area, but be free from this serotype without immediately inducing clinical signs in horses. Further investigations should be conducted in Nigeria, Mali, The Gambia and Mauritania to know the real number of AHSV serotypes which are circulating in these countries. Such investigations can also be done in all West African countries, such as Ghana, where the AHS virus 2 was found in 2010. The recent spread of new serotypes of AHSV into the northern part of sub-Saharan Africa is problematic because recent experiences with BTV show that once the viruses reach North Africa they may spread within the Mediterranean basin because of the wide distribution and movement of *Culicoides* midges. The incursion of AHSV into European countries would be economically devastating.

Acknowledgements

The authors thank Diam A Sow for helping in field investigations, Abdourahmane Guèye for the maps, Lies Van Rompaey and Joeri Poesen for their comments on the manuscript. Many thanks to MO Sakho, M Faye (Direction of Livestock); B Sall, Y Ndiaye (Direction of Veterinary Services); AB Fall, A Sene (Equine Breeding Direction); PI Mime, DP Ndiaye, MM Thiam, P Cissé, B Ndong, M Ndiaye, A Yaddé, B Faye (Veterinary Services Regional Inspections); AG Fall, M Diarra (LNERV), I Wade (University of Thies), S Zientara, S Lecollinet (French Food Safety Agency, ANSES). The contents of this paper are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect the views of the Senegal Ministry of Livestock.

References

- ANON (2010). African horse sickness - serotype 2 ProMED-mail archive numbers: 20070131.0399, 20070308.0315, 20070623.2031, 20070627.2074, 20080916.2898, 20090930.3037. www.promedmail.org. Accessed June 23, 2010
- ADEYEFA, C. A. & HAMBLIN, C. (1995) Continuing prevalence of African horse-sickness in Nigeria. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux* **48**, 31-35
- AKAKPO, A. J., WOMBOU TOUKAM, C. M., MANKOR, A. & IX, C. (2011) Impact économique de l'épizootie de peste équine de 2007 au Sénégal. *Bulletin of Animal Health and Production in Africa* **59**, 1-16
- BLACKBURN, N. K. & SWANEPOEL, R. (1988) African horse-sickness in Zimbabwe: 1972 to 1981. *Tropical Animal Health and Production* **20**, 169-176
- COWLED, B., WARD, M. P., HAMILTON, S. & CARNER, G. (2009) The equine influenza epidemic in Australia: spatial and temporal descriptive analyses of a large propagating epidemic. *Preventive Veterinary Medicine* **92**, 60-70
- FOLORUNSO, E., POTGIETER, A. C., IBIRONKE, A., BAKO, B., BWALA, D. & KUMBISH, P. (2008) First Report of an Outbreak of African Horsesickness Virus Serotype 2 in the Northern Hemisphere. *Journal of Equine Veterinary Science* **28**, 167-170
- GERBIER, G., BITEAU-COROLLER, E., GRILLET, C., PARODI, J., ZIENTARA, S., BALDET, T., GUIH, H. & ROGER, F. (2008) Description of the outbreak of bluetongue in Corsica in 2003, and lessons for surveillance. *Veterinary Record* **162**, 173-176
- HASSANAIN, M. M., AL-AFALEQ, A. I., SOLIMAN, I. M. A. & ABDULLAH, S. K. (1990) Detection of African horse-sickness (AHS) in recently vaccinated horses with inactivated vaccine in Qatar. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux* **43**, 33-35
- HOWELL, P. G. (1962) The isolation and identification of further antigenic types of African horse-sickness virus. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* **29**, 139-149
- LAEGREID, W. W., SKOWRONEK, A., STONE-MARSCHAT, M. & BURRAGE, T. (1993) Characterization of virulence variants of African horse sickness virus. *Virology* **195**, 336-339

- LAVIADA, M. D., ROY, P., SANCHEZ-VIZCAINO, M. & CASAL, J. I. (1995) The use of African horse-sickness NS3 protein expressed in bacteria, as a marker to differentiate infected from vaccinated horses. *Virus Research* **38**, 205–218.
- LEFORBAN, Y., MABRATU, C. Y., VICIER, M. & HIKRE, Y. (1983) Épidémiologie de la peste équine en Ethiopie de 1977 à 1981. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux* **36**, 117–129.
- LORD, C. C., WOOLHOUSE, M. E. J., HEESTERBEEK, J. A. & MELLOR, P. S. (1996) Vector-borne diseases and the basic reproduction number: a case study of African horse sickness. *Medical and Veterinary Entomology* **10**, 19–23.
- MACLACHLAN, N. J. & GUTHRIE, A. J. (2010) Re-emergence of bluetongue, African horse sickness and other Orbivirus diseases. *Veterinary Research* **41**, 35. doi: 10.1051/vetres/2010007
- MAURER, E. D. & CULLY, R. M. (1963) African horse-sickness with emphasis on pathology. *American Journal of Veterinary Research* **24**, 235–56.
- MELLOR, P. S. & HAMBLIN, C. (2004) African horse sickness. *Veterinary Research* **35**, 445–466.
- MERTENS, P. P. C., ATTOUI, H. & BAMFORD, D. H. (2010). The RNAs and Proteins of dsRNA Viruses. www.reoviridae.org/dsRNA_virus_proteins/ReoID/AHSV-isolates.htm#SEN2007/06. September 25.
- MORNET, P. (1949) Sur une évolution atypique de la peste équine particulière à l'A.O.F. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux* **2**, 101–103.
- PARKER, J. (1974) African horse sickness antibodies in Cyprus: 1971–1972. *Veterinary Record* **94**, 370–373.
- PEREZ, A. M., WARD, M. P. & CARPENTER, T. E. (2004) Control of a foot-and-mouth disease epidemic in Argentina. *Preventive Veterinary Medicine* **65**, 217–226.
- PILO-MORON, E., VINCENT, J. & SUREAU, P. (1967) Présence du virus de peste équine type 9 en République Algérienne : identification des souches de virus isolées en 1965–1966. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux* **20**, 5–20.
- PORTAS, M., BOINAS, F. S., OLIVEIRA, E., SOUSA, J. & RAWLINGS, P. (1999) African horse sickness in Portugal: a successful eradication programme. *Epidemiology and Infection* **123**, 337–346.
- RODRIGUEZ, M., HOOGHUIS, H. & CASTANO, M. A. (1992) African horse sickness in Spain. *Veterinary Microbiology* **33**, 129–142.
- SAILLEAU, C., SEIGNOT, J., DAVOUST, B., CARDINALE, E., FALL, B., HAMBLIN, C. & ZIENTARA, S. (2000) African horse-sickness in Senegal :serotype identification and nucleotide sequence determination of segment S10 by RT-PCR. *Veterinary Record* **146**, 107–108.
- SARR, J., DIOP, M. & CISSOKHO, S. (1988) La peste équine africaine au Sénégal : état de l'immunité naturelle et/ou acquise des chevaux autour de foyers récents. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux* **41**, 243–246.
- VENTER, G. J., WRIGHT, I. M., VAN DER LINDE, T. C. & PAWESKA, J. T. (2009) The oral susceptibility of South African field populations of *Culicoides* to African horse sickness virus. *Medical and Veterinary Entomology* **23**, 367–373.
- WARD, M. P. (2005) Epidemic West Nile virus encephalomyelitis: a temperature-dependent, spatial model of disease dynamics. *Preventive Veterinary Medicine* **71**, 253–264.
- WILSON, A., MELLOR, P. S., SZMARACD, C. & MERTENS, P. P. C. (2009) Adaptive strategies of African horse sickness virus to facilitate vector transmission. *Veterinary Research* **40**, 16. doi: 10.1051/vetres:2009054
- YASAROL, S. (1962) Note bibliographique sur les arthropodes porteurs du virus de la peste équine en Turquie. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux* **3** Q11

