



*Ecole nationale Vétérinaire d'Alfort*

**MASTER 2<sup>ème</sup> ANNEE**  
Santé publique Paris Sud-Saclay et Santé UPEC  
Dominante  
**SURVEILLANCE EPIDEMIOLOGIQUE DES  
MALADIES HUMAINES ET ANIMALES**

---

**RAPPORT DE STAGE**

**Evaluation et cartographie du risque d'apparition de la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) au Sénégal**

**Présenté par :**  
Adjil Marème GAYE

**Réalisé sous la direction de :** Andrea APOLLONI, chargé de recherches, Cirad UMR ASTRE, Mbargou LO, Directeur des Services vétérinaires (Sénégal) et Mamadou CISS, chargé de recherches, ISRA/LNERV

**Organismes et pays :** CIRAD/France, ISRA/LNERV & Direction des Services Vétérinaires Sénégal

**Période de stage :** Janvier 2020-Juin 2020

**Date de soutenance :** 24/06/2020

Année universitaire : 2019-2020

## **Difficultés rencontrées pendant le stage en raison de la crise mondiale du COVID 19**

Dans la mise en œuvre de mon stage d'étude de Master, aucune activité de terrain n'était prévue, puisque les données de terrain avaient déjà été collectées lors de plusieurs enquêtes, et notamment une enquête réalisée en 2019 avril-mai par la Direction des Services Vétérinaires.

Le stage a donc consisté à traiter ces données à distance par vidéo-conférence en utilisant l'outil Zoom, en suivant les conseils avisés de mes encadreurs. En effet, le Gouvernement du Sénégal, à partir de 02 mars 2020 a mis en place, comme dans de nombreux pays, des mesures de confinement et de restrictions de mouvement strictes, imposant à chacun de travailler à son domicile (étudiants et encadreurs) avec des accès à un réseau internet de qualité très variable d'un cas à un autre.

Apprendre à travailler avec le logiciel « R » à distance n'étant pas facile, mon travail a été impacté négativement et n'a pas permis l'avancement attendu du traitement des données. De ce fait, la production du script à distance a été retardée et par conséquent la validation des cartes et l'étude de l'incertitude n'ont pas été faites.

## REMERCIEMENTS

A travers ce modeste travail, je remercie :

- DIEU, le Tout Miséricordieux le Très Miséricordieux ;
- A toute ma famille et spécialement à ma Maman, ma grande mère, mes frères et sœurs ;
- A mon Directeur, le Docteur Mbargou LO pour son soutien et ses encouragements ;
- A l'OIE et le CIRAD pour avoir permis la réalisation et le financement de ce stage de Master 2 ;
- A mes encadreurs Dr Andrea APOLLONI CIRAD et Dr Mamadou CISS, pour leur soutien et leur amour du travail bien fait ;
- A l'équipe CIRAD Dre. Catherine Cetre SOSSAH, Dre. Annelise TRAN et Dre. Cécile Squarzoni DIAW,
- Au Dr. Baba SALL pour son encadrement, ses conseils et son humilité ;
- Au Dr. Ismaila SECK pour sa disponibilité, son encadrement et ses conseils ;
- Au Dre. Anta DIAGNE pour son soutien inconditionnel ;
- Aux Professionnels de santé animale du pays pour leur collaboration lors des enquêtes ;
- A mes consœurs et confrères de la Direction des Services vétérinaires : Dre. Chantal BIAGUI, Dre. Anta DIAGNE, Dre. Rosalie SECK, Dr. Mathioro FALL, Dr. Médoune BADIANE, Dr. Amadou Alassane NDIAYE, Dr. Babacar NGOM, Mme Ndéye Sanou FAYE, Mme Adja Fatou Kiné MBODJ et Dr. Moutar SEYDI;
- A tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AHP** : Analytical Hierarchical Proces

**ARN** : Acide Ribonucléique

**CIRAD** : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

**CPV**: Chef de poste vétérinaire

**DSV** : Direction des Services vétérinaires

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

**FVR** : Fièvre de la Vallée du Rift

**GIS** : Geographic Information System

**IgG** : Immunoglobuline de type G

**IgM** : Immunoglobuline de type M

**LPS** : Laisser Passer Sanitaire

**LNERV** : Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires

**MDE** : Maison des Eleveurs

**MCDA** : Multi Criteria Decision Analysis/Analyse de décision multicritère

**MCE** : Evaluation multicritère spatialisée

**MEPA** : Ministère de l'Elevage et des Productions animales

**NDVI**: Normalized Difference Vegetation Index

**OIE** : Organisation mondiale de la santé animale

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**PIF**: Poste d'Inspection frontalier

**RNP** : Ribonucléoprotéine

**SIG** : Système d'Information Géographique

**SDELPA** : Service départemental de l'Elevage et des Productions animales

**SNSE** : Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales

**SRELPA** : Service régional de l'Elevage et des Productions animales

**UE** : Union Européenne

## Résumé court

La fièvre de la vallée du Rift (FVR) est une zoonose due à un arbovirus de la famille des *Phenuiviridae*, genre *Phlebovirus*. En période épidémique, le virus est retrouvé chez de nombreuses espèces de moustiques appartenant à au moins 6 genres de moustiques : *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, *Eretmapodites* et *Mansonia*. Cela ne signifie pas pour autant que tous ces moustiques jouent effectivement un rôle de vecteur biologique (Bird et al. 2009), mais les espèces des genres *Culex* et *Aedes* semblent être les meilleures candidates au rôle de vecteur biologique du virus de la FVR (Gerdes et al. 2004). Les ovins, les caprins et les bovins sont les espèces les plus sensibles même si une large gamme d'espèces animales est susceptible de développer la maladie. Les conséquences économiques liées à cette maladie peuvent être dévastatrices (Ndione et al. 2008). La FVR est, par ailleurs, une zoonose et touche occasionnellement l'homme.

Au Sénégal, la FVR sévit de façon endémique et les activités de surveillance sont prises en charge par le Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales (SNSE). La maladie fait l'objet d'une surveillance passive et active. Les informations liées à la mobilité animale sont collectées par les agents de terrain et sont ensuite centralisées à la Direction des Services vétérinaires (DSV) pour leur exploitation.

L'objectif de notre travail est d'évaluer le risque d'apparition de la FVR pour permettre ainsi aux Services vétérinaires de redéfinir leur stratégie de surveillance active pour une détection précoce de la maladie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons identifié les facteurs de risque liés à l'apparition de la FVR au Sénégal à travers une revue bibliographique. La mobilité animale est considérée comme un des principaux facteurs de risque lié à l'introduction et à la propagation de la FVR. Ainsi, nous avons analysé pour la première fois les données de mobilités animales collectées à travers les enquêtes de 2017 et de 2019 à l'intérieur du pays et au niveau des régions qui sont frontalières avec les pays voisins que sont le Mali, la Mauritanie, la Guinée Bissau, la Guinée et la Gambie. Tous les facteurs ont été validés et pondérés par les différents acteurs (experts) impliqués dans la surveillance active lors d'un atelier qui s'est tenu à Dakar, dans les locaux de la DSV. L'exploitation des données obtenues a été réalisée grâce à la méthode d'évaluation multicritère spatialisée (GIS-MCE) afin de produire la carte de risque.

Parmi les trois (3) catégories de facteurs identifiés par les experts incluent, (i) les facteurs climatiques (température, pluviométrie et humidité), (ii) les facteurs environnementaux (présence d'eau, de pâturages et faune sauvage) et (iii) les facteurs liés à l'activité humaine (mobilité animale, festivités, présence de marchés, etc...), la catégorie impliquant les facteurs environnementaux jouerait un rôle plus important dans le risque d'apparition de la FVR au Sénégal.

En combinant les différents facteurs de risque, pondérés selon leurs importances, nous avons obtenu une carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal. Les résultats obtenus ont permis de montrer que l'indice de favorabilité de la FVR est supérieur à 40% au niveau des treize (13) sur les quatorze (14) régions qui compte le pays. Ce niveau de risque est élevé (50 à 60%) dans les régions du Nord (Matam et Saint-Louis), alors qu'il est très élevé (> 70%) dans la région de Dakar et principalement au niveau du département de Pikine.

### Mots clés :

Fièvre de la vallée du Rift, facteurs de risque, mobilité animale, carte de risque, MCDA, Sénégal.

## TABLE DES MATIERES

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

### **PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>Chapitre I : Généralités sur la fièvre de la vallée du Rift</b> .....	3
1.1. Historique .....	3
I.2. Etiologie .....	4
I.2.1. Structure physico-chimique .....	4
I.2.2. Pouvoir antigénique et immunogène .....	4
I.2.3. Résistance .....	4
I.3. Epidémiologie .....	4
I.3.1. Hôtes .....	4
I.3.2. Vecteurs .....	5
I.3.3. Cycle épidémiologique .....	5
I.4. Signes cliniques .....	6
I.4.1. Chez les animaux .....	6
I.4.2 . Chez l’homme .....	7
I.5. Situation épidémiologique mondiale .....	7
I.6. Situation épidémiologique en Mauritanie et au Sénégal.....	8
I.7. Système de surveillance de la FVR au Sénégal .....	10
I.7.1. La surveillance passive .....	10
I.7.2. La surveillance active.....	10

### **DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE TERRAIN**

<b>Chapitre I. Matériels et Méthodes</b> .....	11
I.1. Zone d’étude.....	11
I.1.1. Situation administrative .....	11
I.1.2. Climatique et végétation .....	12
I.1.3. Elevage.....	12
I.2. Méthodes.....	12
I.2.1. Approche par évaluation multicritère spatialisée.....	13
I.2.2. Identification des facteurs de risque et leur pondération .....	15
I.2.3 Standardisation des facteurs de risque .....	17

I.2.4. Combinaison des facteurs de risque.....	18
I.2.5. Méthode d'analyses des données de mobilité animale .....	18
I.3. Matériels .....	19
I.3.1. Matériel de terrain.....	19
I.3.2. Matériels pour le traitement de données .....	21
<b>Chapitre II. Résultats.....</b>	<b>22</b>
II.1. Atelier de validation des facteurs de risque.....	22
II.1.1. Variations au cours de l'année des facteurs de risque .....	22
II.1.2. Comparaison entre catégories de facteur de risque .....	24
II.1.3 Comparaison par catégorie de facteurs de risque .....	25
II.2. Mobilité animale.....	27
II.3. Risque d'apparition de la FVR .....	30
<b>Chapitre III. Discussions .....</b>	<b>33</b>
III.1. Méthodologie .....	33
III.2. Résultats de carte d'apparition de la FVR.....	33
III.3. Perspectives .....	36
<b>Conclusions .....</b>	<b>37</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>38</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Cycle épidémiologique de la fièvre de la vallée du Rift. Source : (Nicolas 2013).....	6
<b>Figure 2:</b> Carte de distribution mondiale de la Fièvre de la Vallée du Rift. Source : (OIE, 2018).	7
<b>Figure 3:</b> Résultats de l'enquête sérologique nationale. Source : (source Projet .....	9
<b>Figure 4 :</b> Surveillance active de la fièvre de la vallée du Rift : réseau des troupeaux sentinelles de petits ruminants. Source : Données surveillance Direction des Services vétérinaires (2019). .....	10
<b>Figure 5:</b> A gauche, Densité de la population humaine par région. A droite : Carte climatique du Sénégal .....	11
<b>Figure 6:</b> Calendrier saisonnier de la région de Louga .....	16
<b>Figure 7:</b> Dynamique des facteurs lié à l'activité humaine sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam .....	22
<b>Figure 8 :</b> Dynamique des facteurs environnementaux sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam.....	23
<b>Figure 9:</b> Dynamique des facteurs climatiques sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam.....	23
<b>Figure 10:</b> Résumé des résultats de la mobilité animale .....	29
<b>Figure 11:</b> Carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal.....	31
<b>Figure 12:</b> Distribution des valeurs du pixel de la carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal en 2019. Les lignes rouges représentent la valeur du pixel où des foyers de FVR ont été notifiés en 2019 .....	32

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Liste des facteurs de risque identifiés dans la littérature .....	14
<b>Tableau 2:</b> Matrice de comparaison par paire par catégorie de la région de Louga .....	17
<b>Tableau 3:</b> Liste des facteurs de risque et des données correspondantes.....	20
<b>Tableau 4:</b> Comparaison des valeurs (poids) pondérées entre catégories des facteurs de risque .	24
<b>Tableau 5:</b> Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie de facteur liés à l'activité humaine .....	25
<b>Tableau 6:</b> Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie facteur climatique ....	26
<b>Tableau 7:</b> Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie facteur environnemental .....	27
<b>Tableau 8:</b> Classement des départements par ordre décroissant en fonction des indicateurs de mobilité.....	28

## Résumé long

### **Evaluation et cartographie du risque d'apparition de la fièvre de la vallée du Rift (FVR) au Sénégal**

La fièvre de la vallée du Rift (FVR) est une infection virale transmise par les moustiques, rencontrée principalement en Afrique. Dans sa forme aiguë, elle affecte sévèrement plusieurs espèces de mammifères, en particulier, les ruminants sauvages, les dromadaires et les humains (Linthicum, Britch, et Anyamba 2016).

Actuellement, la FVR est enzootique en Afrique subsaharienne, émergente en Afrique du Nord et dans la péninsule arabique et à fort potentiel d'émergence en Europe, en Asie et en Amérique. Elle est inscrite sur la liste A des maladies à déclaration obligatoire par l'Organisation mondiale de la Santé animale (OIE).

En plus de l'impact direct de la FVR pour la santé animale et la santé publique, elle a un fort impact socio-économique pour les pays affectés. Sur le plan économique, lorsqu'elle apparaît sous une forme épizootique, les pertes liées aux mortalités sont comptées par millier : 100 000 moutons en Afrique du Sud en 1951, 20 000 bovins au Zimbabwe en 1978. Le taux d'avortement a atteint 70% en Egypte en 1977 (Swanepoel et Coetzer 2004).

Ainsi, dans ce contexte, le Sénégal accorde une importance particulière à cette maladie avec une stratégie de surveillance active et passive, qui est prise en charge par le Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales (SNSE) au Sénégal mis en place par la Direction des Services vétérinaires en 2000 en lien avec le Laboratoire national de l'Élevage et de Recherches vétérinaires (LNERV).

L'objectif de notre travail est d'évaluer le risque d'apparition de la FVR pour permettre ainsi aux Services vétérinaires de redéfinir leur stratégie de surveillance active pour une détection précoce de la maladie.

#### **Matériels et méthodes**

Nous avons identifié plusieurs facteurs de risque liés à l'apparition de la FVR et avons collecté les données spatialisées correspondantes. Pour la mobilité animale, qui est considérée comme l'un des facteurs de risque le plus important lié à la diffusion de la maladie, nous avons utilisé les données issues des enquêtes de mobilité effectuées en 2019. Cette enquête avait mobilisé tous les postes vétérinaires du pays afin de collecter les informations notamment des « Laisser Passer Sanitaire » (LPS), ces LPS permettant de tracer le mouvement du bétail à l'intérieur du pays.

Les postes d'inspection frontaliers (PIF) ont également été sollicités pour collecter les données liées aux mouvements du bétail entre le Sénégal et les pays qui lui sont frontaliers. Pour la collecte des données de terrain, ces formulaires ont été élaborés à partir de l'outil dénommé « Kobotoolbox », outil qui est adopté par la Direction des Services vétérinaires comme une plateforme de notification électronique dans le cadre du Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales (SNSE).

Pour compléter ces informations, nous avons utilisé les données issues d'une autre enquête de mobilité animale qui a été effectuée en 2017 au niveau des frontières entre le Sénégal, le Mali et la Mauritanie.

Aussi, pour les autres facteurs de risque, nous avons à travers différents sites internet, recherché et collecté les données correspondantes à certains facteurs de risque afin de les intégrer dans le modèle.

Pour la réalisation de la carte de risque, nous avons recouru aux méthodes GIS-MCE qui utilisent la technique d'évaluation multicritères (MCDA, Multi Criteria Decision Analysis) couplées à un Système d'Information Géographique (SIG) pour pondérer et combiner des données spatialisées. Ce type d'approche est utilisé lorsque la dynamique épidémiologique n'est pas complètement connue et que les données sur le terrain sont insuffisantes. Dans notre cas, à travers un atelier, différents facteurs de risque ont pu être identifiés et pondérés par des experts qui étaient représentés par les Chefs de Services régionaux et départementaux de l'Élevage et les Chefs de Postes vétérinaires impliqués dans la surveillance active et responsable des troupeaux sentinelles. Les résultats issus de cet atelier ont été intégrés afin de produire la carte de risque d'apparition de la FVR. Toutes les analyses statistiques et les productions de cartes ont été faites en utilisant le langage « R ».

## **Résultats et discussions**

Nous avons classé les facteurs de risque en trois (3) catégories : les facteurs climatiques (température, pluviométrie et humidité), les facteurs environnementaux (présence d'eau, de pâturages et de moustiques) et les facteurs liés à l'activité humaine (mobilité animale, présence de marchés, densité animale, cérémonie religieuse etc...). D'après les experts, ces différentes catégories de facteurs de risque n'ont pas le même rôle et le même poids dans l'épidémiologie de la FVR au Sénégal. En effet, selon ces derniers, les facteurs environnementaux jouaient un rôle plus important dans le risque d'apparition de la FVR, les facteurs climatiques venant en second.

Selon ces experts, l'importance des facteurs de risque lié à l'apparition de la maladie diffère d'une région à une autre. En effet, selon les experts des régions de Saint-Louis, Tambacounda et de Matam, l'existence d'une source d'eau permanente pouvant servir à la fois à la population riveraine, à l'abreuvement du bétail et au développement des moustiques (cas du fleuve Sénégal) est le facteur le plus important dans l'apparition de la FVR. Par contre, pour les experts de la région de Louga, le facteur de risque lié à la mobilité animale joue un rôle primordial dans le risque d'apparition de la FVR.

De même, l'exploitation des données sur la mobilité animale révèle que le mouvement du bétail lié au commerce ou à la transhumance pourrait jouer un rôle important dans le risque d'introduction mais également dans la propagation de la FVR au Sénégal.

Les résultats montrent que le risque d'apparition de la FVR est élevé (compris entre 50 et 60%) au niveau des régions de Matam et de Saint-Louis, régions qui sont frontalières avec le Mali et la Mauritanie, où les mouvements de bétail sont très importants. Ce niveau de risque d'apparition de la FVR est supérieur à 40% au niveau des régions du Centre et du Sud du pays, ce qui n'est pas négligeable. Au niveau de la région de Dakar, le risque est très élevé (> 70%), ce qui pourrait être

lié à l'importance de la demande en viande caractérisée par l'existence d'un grand marché à bétail et du plus grand abattoir de tout le pays.

## **Conclusions**

Notre travail a permis de mettre à la disposition de la Direction des Services vétérinaires une carte de risque d'apparition de la FVR en tenant compte de l'avis d'experts de terrain, afin d'améliorer le système de surveillance active de la maladie en élargissant son réseau de troupeau sentinelles au niveau des régions du Sud. Nous avons pu mettre en évidence le rôle des festivités (cérémonie religieuse) dans le risque d'apparition de la FVR au Sénégal.

Pour les évaluations de risque de survenue de la FVR au Sénégal de 2016 et de 2020, la même méthode d'évaluation multicritères a été utilisée, et même si les deux approches sont différentes, en prenant en compte certains facteurs de risque divers, nos résultats obtenus sont similaires à ceux de 2016. L'atelier participatif nous a permis de mieux pondérer le rôle des différents facteurs de risque. La même approche peut être utilisée pour mettre à jour la carte de risque de la FVR de façon périodique. Elle peut également être utilisée dans le cadre de la surveillance d'autres maladies animales prioritaires.

## Introduction

La fièvre de la vallée du Rift (FVR) est une infection virale transmise par les moustiques, rencontrée principalement en Afrique. Sur sa forme aiguë, elle affecte sévèrement plusieurs espèces de mammifères, en particulier, les ruminants domestiques et sauvages, les dromadaires et les humains (zoonose) (Linthicum et al., 2016).

Son apparition chez les animaux et les humains doit être notifiée à l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) respectivement.

Isolé pour la première fois au Kenya en 1931, le virus de la fièvre de la vallée du Rift (Rift Valley Fever, RVF) a été considéré, à l'époque, comme n'entraînant qu'une fièvre bénigne chez l'homme. Il a ensuite été responsable de graves épizooties, puis d'épidémies meurtrières, la première étant celle d'Égypte en 1977 (Mondet et al. 2005) . La fièvre de la vallée du Rift est très répandue en Afrique continentale, y compris en Afrique Sahélienne et en Afrique du Nord (Arsevska et al. 2016 ; Kenawy, Abdel-Hamid, et Beier 2018). Elle s'est par la suite étendue à la péninsule arabique et à l'Égypte (Balkhy and Memish, 2003; Madani et al., 2003)

L'impact de la FVR sur la santé publique peut être grave. En Égypte, en 1977, 200 000 personnes ont été infectées, et 600 décès enregistrés (Meegan et al., 1979).

Sur le plan épidémiologique, plusieurs facteurs expliqueraient la distribution et la propagation du virus en Afrique et dans la péninsule arabique notamment, le mouvement du bétail à travers entre autres le commerce, la transhumance, le pastoralisme et le nomadisme. Le risque d'introduction du virus de la FVR en Afrique du Nord est lié aux importations d'animaux infectés en provenance de zones d'endémicité, à l'occasion de mouvements commerciaux ou de transhumance, ou encore suite à des conflits socio-politiques (EFSA, 2013).

Aussi, selon (Mondet et al. 2005), en Afrique de l'Est, certains auteurs ont pu constater que les années durant lesquelles la pluviométrie était supérieure à normale apparaissaient les épizooties et les épidémies de FVR en raison d'une surabondance de moustiques vecteurs, dont les gîtes de développement larvaire se multiplient sous l'effet des inondations.

En Afrique de l'Ouest, la première manifestation connue a eu lieu en 1987-1988 à Rosso, en Mauritanie (Mondet et al. 2005). A la suite de l'épidémie de FVR au Sénégal de 1987, plusieurs méthodes de surveillance ont été proposées notamment une surveillance animale et entomologique dans certaines zones biogéographiques (Lancelot et al., 1989 ; Thiongane et al., 1991 et Pin-diop, 2006). Depuis, plusieurs enquêtes sérologiques ont été menées en Mauritanie et au Sénégal montrant ainsi une circulation du virus.

Dans ce contexte et compte tenu du caractère endémique et de l'impact économique de la maladie, la surveillance de la FVR est intégrée dans le Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales (SNSE) mis en place par la Direction des Services vétérinaires (DSV) en 2000 en lien avec le Laboratoire national de l'Élevage et de Recherches vétérinaires (LNERV).

La surveillance de la maladie est basée sur une approche passive et active. La surveillance active initialement basée sur le suivi de troupeaux sentinelles de petits ruminants situés dans les zones les

plus à risque (Vallée et Delta du Fleuve Sénégal, vallée morte du Ferlo, Bassin de l'Anambé) a depuis 2016, évolué vers une approche basée sur le risque. Cette stratégie de surveillance comporte deux aspects : (i) l'utilisation des données de la mobilité animale et des cas de FVR notifiés pour identifier les zones les plus à risque où sont plus probable d'introduction de la maladie dans notre pays et (ii) l'identification des troupeaux sentinelles au niveau de ces zones à risque (long du fleuve Sénégal) visant à détecter de façon précoce la circulation du virus.

De 2016 à 2019, deux (2) enquêtes sur la mobilité animale ont été menées au Sénégal : une première en 2017 au niveau des frontières entre le Mali et la Mauritanie pour mieux mettre à jour ces données et une seconde en 2019 à l'intérieur du pays et au niveau des frontières entre la Guinée Bissau et la Guinée et avec la Gambie, données obtenues pour la première fois. Aussi, en 2019, des cas de FVR ont été notifiés au niveau des régions du Nord, du Centre et du Sud dans le SNSE à travers la surveillance passive, ce qui montre une circulation à bas brut du virus. Compte tenu de la disponibilité de ces nouvelles données, la mise à jour des cartes de risque produites en 2016 s'imposait. Ce qui a motivé cette étude.

L'objectif général de ce travail est d'estimer le risque d'apparition de la FVR au Sénégal pour permettre aux Services vétérinaires de redéfinir leur stratégie de prévention et de contrôle de la FVR dans notre pays pour une détection précoce de la maladie. Pour atteindre cet objectif, les actions suivantes ont été menées :

- identifier les principaux facteurs de risque à l'origine de l'apparition et de la propagation du virus de la FVR au Sénégal et les valider avec les agents en charge de la surveillance de la FVR sur le terrain à travers un atelier ;
- analyser les données de la mobilité animale obtenues lors des enquêtes de 2017 et de 2019 ;
- développer la carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal en combinant les différents facteurs de risques selon leur importance.

En vue de faciliter la compréhension de notre travail, le document est structuré en deux (2) parties dont la première traitera la revue bibliographique avec un chapitre sur les généralités sur la FVR et le système de surveillance de la FVR au Sénégal. Dans la deuxième partie, nous évoquerons successivement les chapitres matériels et méthodes, les résultats et les discussions.

# PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## Chapitre I : Généralités sur la fièvre de la vallée du Rift

La FVR est une maladie abortive zoonotique due à un arbovirus (famille des *Bunyaviridae*, genre *Phlebovirus*). Cette maladie est essentiellement présente en Afrique Sub-saharienne et s'est récemment étendue à la péninsule arabique et à l'Egypte (Balkhy et Memish, 2003 ; Madani et al., 2003).

La FVR est une arbovirose pouvant affecter gravement différentes espèces de ruminants domestiques et sauvages, notamment les ovins, bovins, caprins, dromadaires, ainsi que l'Homme (Chevalier et al. 2010). Le virus est transmis de façon vectorielle aux animaux par plusieurs espèces de moustiques (dont les genres *Aedes* et *Culex*). La transmission chez l'Homme se fait principalement par les contacts directs qu'il peut avoir avec le sang ou tout autre fluide corporel issus d'animaux infectés.

La FVR fait partie de la liste des maladies de l'OIE et doit faire l'objet de notification en cas d'apparition.

### 1.1 Historique

Selon une étude phylogénétique récente, l'émergence du virus de la FVR au plan mondial daterait du 19<sup>ème</sup> siècle. Elle serait liée aux fronts pionniers d'Afrique australe et orientale, et à l'introduction de bétail d'origine exotique (bovins, ovins) dans des zones jusque-là non peuplées par ce type d'animaux et/ou d'espèces (Bird et al. 2007). Au contact d'un cycle sylvatique (cycle animal sauvage – moustique) mal connu, le virus se serait répliqué chez les ruminants domestiques, puis se serait transmis et propagé progressivement par les moustiques et les mouvements, commerciaux et de transhumance, du bétail (Olive et al., 2012).

Le virus de la FVR a été isolé pour la première fois en 1931 au cours d'une enquête touchant les moutons dans une ferme de la vallée du Rift au Kenya (Daubney, Hudson, et Garnham 1931). En Afrique du Sud, la maladie fut identifiée pour la première fois en 1951, à partir de cas humains, les complications oculaires étant observées pour la première fois (Daubney et al., 1931). En 1975, les formes encéphalitiques et hémorragiques humaines furent décrites pour la première fois, lors d'une épidémie faisant suite à des pluies abondantes (Van Velden et al., 1977). En 1976, le virus traverse le désert de Nubie et gagne le Nord du Soudan (Greboval, 2004).

La FVR fut responsable de nombreuses épizooties limitées au bétail de l'Afrique sub-saharienne jusqu' en 1976. En 1976, le virus passe des régions d'altitude aux grandes vallées fluviales, en commençant par le Soudan. En 1977, l'Egypte fut la première grande victime de la FVR, au plan humain (Abd, Abd, et Hussein, 1999 ; Hoogstraal et al., 1979). Par la suite, des épidémies de moindre ampleur sont apparues en 1993-94, 1996-97 et 2003 (Kamal, 2011; Youssef, 2009). La vitesse de propagation et l'impact de la maladie sur la santé publique ont été notés en Egypte et depuis elle est classée comme une zoonose dangereuse.

Madagascar a connu plusieurs épizooties de FVR avec une importante épizootie en 1990 (Morvan et al., 1991). Le virus de la FVR avait déjà été isolé en 1979 dans ce pays et la phylogénie de cette souche montre qu'elle est très proche des souches isolées en Egypte en 1977 et 1978 (Bird et al., 2007). Toutefois, qu'aucune épizootie ou épidémie n'a été rapportée en 1979 (Mathiot et al., 1984).

Une flambée a été observée en 1987 au Sénégal et en Mauritanie. En 1997 et 1998, une flambée importante est apparue au Kenya, en Somalie et en Tanzanie suite à un événement El Nino et à de fortes inondations. En 2000, l'apparition de la FVR au Yémen et en Arabie Saoudite marque son extension pour la première fois en dehors du continent africain (Madani et al., 2003)

Ces dernières années, le virus est particulièrement actif en Mauritanie (foyers en 2010, 2012, 2015) et au Sénégal (foyers en 2013, 2014). Des études sérologiques conduites en 2008 et 2014 dans les pays du Maghreb laissent penser que le virus serait présent dans certaines régions d'Algérie, du Maroc et du Tunisie (El-Harrak et al., 2011).

## **I.2. Etiologie**

Le virus de la fièvre de la Vallée du Rift (FVR) appartient à la famille des *Bunyaviridae* et au genre *Phlébovirus* (Fontenille et al., 1998).

### **I.2.1. Structure physico-chimique**

C'est un virus à ARN segmenté composé de 3 ARN simple brin de polarité négative. Les trois molécules d'ARN sont dénommées selon leur taille relative, L, M et S pour *large, medium et small*. Chaque ARN se trouve sous forme de ribonucléoprotéine de forme circulaire (RNP), où sont associées de nombreuses copies de la protéine N et quelques copies de la protéine L qui a une activité d'ARN-polymérase ARN-dépendante (Prehaud and Bouley, 1998)

### **I.2.2. Pouvoir antigénique et immunogène**

Toutes les souches virales isolées sont regroupées au sein d'un même type antigénique, y compris celles qui ne présentent pas d'activité hémagglutinante (Lunyo, Ouganda, 1955 et Zinga, RCA, 1969). L'ARN viral produit deux types de protéines :

- ✓ les protéines G1 et G2 responsables de l'activité hémagglutinante du virus. Elles sont la cible de la défense immunitaire humorale (IgG) et
- ✓ la protéine N induisant les anticorps (IgM) qui fixent le complément.

Les anticorps IgG persistent longtemps alors que les IgM diminuent très vite. Il existe un seul sérotype du virus (Ould EL Mamy, 2011).

### **I.2.3. Résistance**

Le virus de la FVR, comme tout virus enveloppé, est sensible aux solvants des lipides (éther, chloroforme). Il est également inactivé par les désinfectants usuels, tels que le formol, la bétapropiolactone à 0,1 p.100 ou le disoxychlorate de soude. Il est stable pour un pH compris entre 6,2 et 8,0 et dans le sang ou le sérum : il peut y être conservé pendant 8 mois à 4°C (1 mois à -20 °C et 1 an à -40 °C). A température ambiante (25-30°C), il résiste environ 80 minutes (Greboval, 2004).

## **I.3. Epidémiologie**

### **I.3.1. Hôtes**

Beaucoup d'espèces de mammifères, y compris l'homme, sont sensibles à la FVR. Parmi le bétail domestique, les ovins sont les plus sensibles, suivi, dans l'ordre décroissant, par les caprins, les

bovins, les chameaux et les buffles d'eau. Les jeunes animaux sont souvent plus sévèrement touchés que les adultes. Les antilopes, le buffle africain, les singes, les chats, les chiens et les rongeurs sont aussi des espèces sensibles à la maladie (Mariner, 2019).

Pour ce qui est des sources du virus, tous les animaux ou humains en phase de virémie sont capables de transmettre le virus. Cependant il apparaît que toutes les espèces n'ont pas le même rôle, les petits ruminants étant les hôtes responsables de l'amplification du virus et représentant donc une source de contamination majeure pour l'homme lors d'épidémies (Turell et Bailey, 1987).

### I.3.2. Vecteurs

En Afrique de l'Est et du Sud, le virus est transmis par les moustiques du genre *Aedes* (sous-genre *Aedimorphus* et *Ne omelaniconion*). Les vecteurs (*A. e. Cumminsii*, *Ae. Circumluteolus*, et *Ae mcintoshii*) utilisent les mares temporaires remplies à l'occasion des fortes pluies. Ces vecteurs pullulent alors et peuvent s'en suivre des cycles épidémiques. Pendant ces cycles épidémiques, beaucoup d'autres espèces de moustiques peuvent servir de relais (Logan et al., 1991).

En Afrique de l'Ouest, les principaux vecteurs sont *Ae. Ochraceus*, *Ae. vexans arabiensis* et *Cx. poicilipes* (Biteye et al., 2018). Une étude entomologique effectuée au Sénégal en 2014 et 2015 a permis d'identifier 41 espèces de moustiques (Biteye et al., 2018) possibles vecteurs de la maladie.

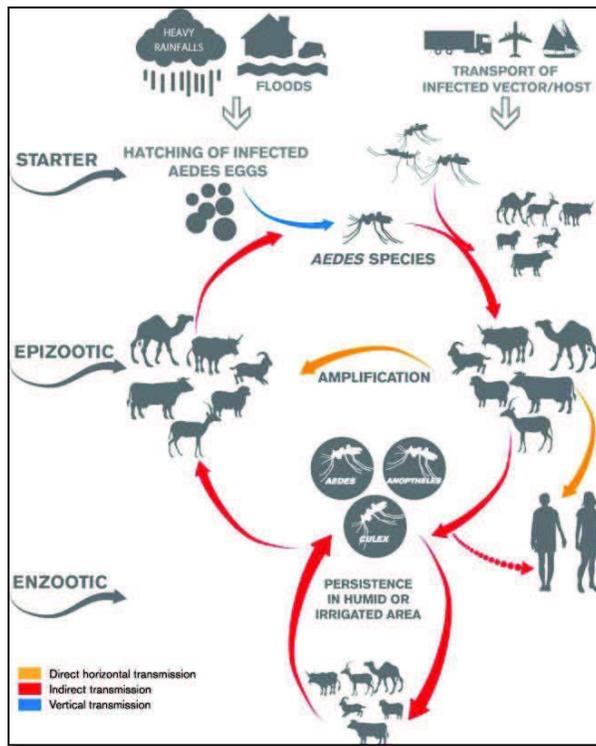
### I.3.3. Cycle épidémiologique

La maladie se propage chez l'animal par l'intermédiaire de piqûres de moustiques infectés. Plusieurs espèces de moustiques peuvent jouer le rôle de vecteurs : *Culex*, *Aedes*, *Anopheles*, *Mansonia*, et aussi des mouches hématophages (*simulies*), des Culicoïdes, des tiques du genre *Ripicephalus* de façon occasionnelle. Les espèces du genre *Aedes* sont capables de transmission trans-ovarienne, ce qui permet au virus de se maintenir durablement dans la nature, les œufs pouvant survivre plusieurs années dans des conditions de sécheresse (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi, au moment de la saison des pluies, les œufs éclosent, les moustiques se multiplient et transmettent la maladie aux animaux (Aubry et Gauzère, 2019).

En période épidémique, le virus est retrouvé chez de nombreuses espèces de moustiques appartenant aux genres *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, *Eretmapodites* et *Mansonia*. Cela ne signifie pas pour autant que tous ces moustiques jouent effectivement un rôle de vecteur biologique (Marina, 2012) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

La transmission chez l'homme se fait principalement par les contacts directs qu'il peut avoir avec le sang ou tout autre fluide corporel issus d'animaux virémiques (Arsevska et al., 2016). L'homme peut être contaminé par le virus de la FVR à travers les piqûres de moustiques infectés. Les cas d'infection humaine sont plus couramment le fait d'une exposition au sang, aux fluides corporels ou aux tissus d'animaux infectés par la FVR. Cette exposition directe à des animaux infectés peut se produire au cours de l'abattage de l'animal ou lors d'un soin vétérinaire ou obstétrique.

Aucun cas de transmission interhumaine n'a été documenté à ce jour (CDC 2019).



**Figure 1:** Cycle épidémiologique de la fièvre de la vallée du Rift. Source : (Nicolas 2013)

## I.4. Signes cliniques

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

### I.4.1. Chez les animaux

Les manifestations cliniques sont fonction de l'espèce animale et d'autres facteurs tels que l'âge et l'état gravide. En période d'épidémie, l'apparition de nombreux avortements et d'une mortalité importante parmi les jeunes, accompagnée de pathologie humaine est caractéristique. Chez les ovins et les bovins affectés par la maladie, les femelles gravides avorteront systématiquement (80-100%) (FAO, 2011).

Les jeunes agneaux et veaux souffrent de fièvre, s'affaiblissent et meurent brusquement. Le taux de mortalité chez les animaux jeunes est très élevé alors que le taux de mortalité des ovins adultes est de l'ordre de 20 pour cent et d'environ 10 pour cent chez les bovins adultes. Les bovins et ovins adultes peuvent souffrir d'écoulement nasal, d'hypersalivation, d'anorexie, d'asthénie ou de diarrhée (FAO, 2011).

Chez les dromadaires, on observe des avortements sans aucun autre signe clinique. Les chevaux, les chiens et les chats sont sensibles (virémie transitoire) mais ne présentent aucun symptôme.

Chez les rongeurs infectés expérimentalement, la mortalité est très variable en fonction des espèces : 95 à 100% chez la souris blanche en fonction de la souche virale, alors que des rongeurs sauvages sénégalais tels que *Arvicantis niloticus* et *Mastomys erythroleucus* sont considérés comme des réservoirs sans expression clinique de la maladie mais avec une séroconversion observée dans 25% des cas (Diop et al., 2000).

#### I.4.2. Chez l'homme

L'infection chez l'homme est généralement asymptomatique ou présente sous forme de syndrome grippal. Chez certains patients, la maladie peut évoluer en fièvre hémorragique, en encéphalite (inflammation cérébrale), ou en pathologie oculaire (rétinite) (Madani et al., 2003)

### I.5. Situation épidémiologique mondiale

Au cours des trente dernières années, la FVR a touché sporadiquement l'ensemble du continent africain, du Sud du Sahara à Madagascar, en passant par l'Afrique australe et orientale. (J.-A. Ndione et al., 2008)

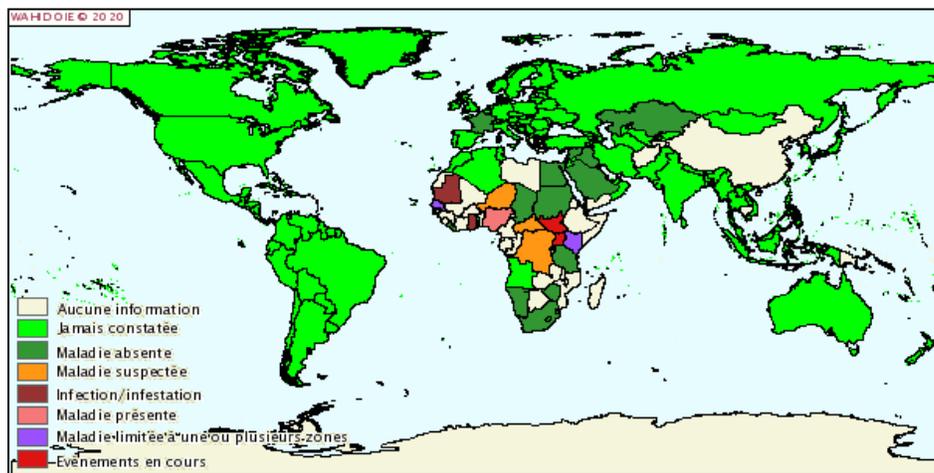
Dans le sud du Maroc, une étude sérologique conduite en 2009 a montré une séroprévalence de 15 % (n=100) chez les dromadaires des provinces de Dakhla et Smara-Laayoune, régions proches de la Mauritanie, avec des mouvements transfrontaliers illégaux réguliers de ce pays vers le Maroc, signalés par les Services vétérinaires mauritaniens (El-Harrak et al., 2011).

Dans le sud de l'Algérie et du Sahara occidental, les 982 échantillons collectés en 2008 ont montré une séroprévalence de 1 à 5 % chez les chèvres, moutons et dromadaires de la wilaya de Tindouf d'Algérie et de 5 à 10 % dans les régions de Bir Lahlou, Tifariti et Mehaires, autour des lacs salés (chotts) du Sahara occidental (Di Nardo et al., 2014).

L'expression clinique de la FVR est observée à Madagascar depuis 1990 et dans l'archipel des Comores, incluant l'île française de Mayotte depuis 2004 (Cêtre-Sossah et al., 2012). Madagascar a connu plusieurs épizooties de FVR avec une importante épizootie en 1990 (Morvan *et al.*, 1991).

En 2000 la fièvre de la vallée du Rift s'est déclarée pour la première fois en dehors du continent africain et de Madagascar, touchant l'Arabie Saoudite et le Yémen. Elle a atteint les animaux, causant des pertes directes et indirectes très importantes, puis les hommes, entraînant la mort de 245 personnes (dont 124 en Arabie Saoudite et 121 au Yémen). D'après (Shoemaker et al., 2002), les cas humains ont été très certainement sous-estimés (Greboval, 2004).

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la situation épidémiologique de la FVR dans le monde en 2018.



**Figure 2:** Carte de distribution mondiale de la Fièvre de la Vallée du Rift. Source : (OIE, 2018)

## **I.6. Situation épidémiologique en Mauritanie et au Sénégal**

Au Sénégal, le virus de la FVR, initialement décrit sous le nom de Zinga, a été isolé pour la première fois en 1974 à partir de lots d'*Aedes dalzieli* capturés dans la région de Kédougou (Digoutte et al., 1974).

Ces dernières années, la FVR est particulièrement active en Mauritanie et au Sénégal.

En 1987, en Mauritanie plus de 1200 cas cliniques humains dont 224 décès sont survenus entre les mois de septembre à décembre (Jouan et al., 1988). L'épidémie s'est poursuivie en 1988 puis l'activité virale s'est progressivement atténuée.

Une enquête menée en février-mai 1989 dans le centre-nord du Sénégal chez des Peuls semi-nomades a montré que 22,7% de 273 personnes testées avaient des anticorps anti-FVR (de type IgG exclusivement), sans différence selon les sexes. La séroprévalence augmentait avec l'âge jusqu'à toucher 1/3 des sujets de plus de 60 ans (Jouan et al., 1989).

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

Entre 1989 et 1993, aucun cas clinique de FVR n'a été observé au niveau des troupeaux sentinelles de la vallée du fleuve Sénégal (300 à 400 sérologies annuelles dans 10 troupeaux) (Thiongane, Zeller et al., 1994). L'absence d'anticorps de type M dans les prélèvements effectués entre 1989 et 1992 confirme l'absence de circulation virale dans les troupeaux suivis dans cette zone. Par ailleurs, la séroprévalence FVR (mesure d'anticorps neutralisants) a diminué régulièrement : de 24,4% (1988) à 1 % (1993) (Thiongane et al., 1994).

En 1993, 1998 et 2003, des foyers d'ampleur variable se sont produits, avec des cas humains et animaux (Lancelot et al., 2009).

Un an plus tard, en octobre-décembre 1994, deux autres foyers de FVR ont été mis en évidence chez les petits ruminants dans la vallée du fleuve Sénégal à Ross-Béthio et dans la vallée du Ferlo à Barkédji (Thiongane et al., 1998)

En 2010, la Mauritanie a notifié à l'OMS 63 cas humains, dont 13 décès (El Mamy *et al.*, 2011). Une autre épidémie a touché la Mauritanie en 2012, avec 36 cas graves dont 19 décès, répartis dans six régions du sud-est de la Mauritanie (El Mamy *et al.*, 2014).

Une autre épidémie a touché la Mauritanie en 2012, avec 36 cas graves dont dix-neuf décès, répartis dans six régions du sud-est de la Mauritanie (El Mamy et al., 2014).

En 2013, l'infection s'est propagée au Sénégal où elle a touché pour la première fois les régions très peuplées de Thiès et de Dakar (Arsevskaja et al., 2016). Cette épizootie a concerné aussi bien

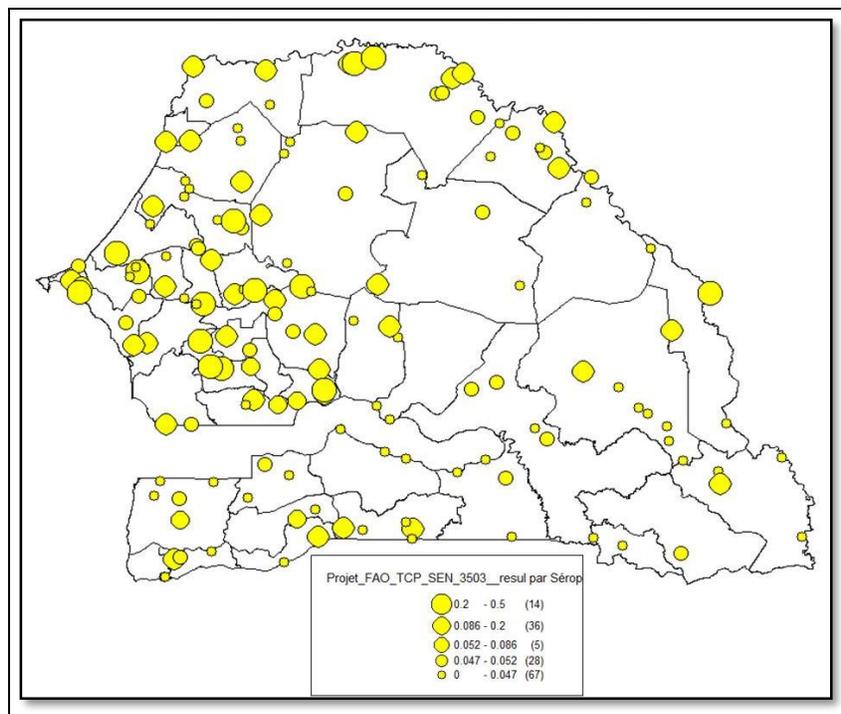
les petits ruminants domestiques que les bovins (élevages et fermes laitières) et la faune sauvage (Gazelles de race Dorcas de la réserve de Gueumbeul). Des foyers d'animaux ont également été rapportés en 2014 au Sénégal.

L'importance des mouvements d'animaux entre le Sénégal et la Mauritanie peut expliquer la chronologie des différentes épizooties décrites plus haut.

En 2015, une enquête nationale a été menée en vue d'étudier l'étendue de l'infection. Cette enquête sérologique nationale a été effectuée sur 150 villages et visait à déterminer la séroprévalence de la maladie dans le pays.

A cet effet, 2022 sérums collectés chez de jeunes petits ruminants (2 dents d'adultes) ont été analysés. Les résultats suivants, traduisant une large présence du virus dans le pays (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ont été obtenus :

- 201 échantillons détectés positifs en IgG FVR sur 2022 sérums testés soit un taux de séroprévalence individuelle de 9,94% ;
- 83 villages détectés positifs en IgG FVR (55% des villages enquêtés, prévalence troupeau).



**Figure 3:** Résultats de l'enquête sérologique nationale. Source : (source Projet  
FAO\_TCP\_SEN\_3503)

## I.7. Système de surveillance de la FVR au Sénégal

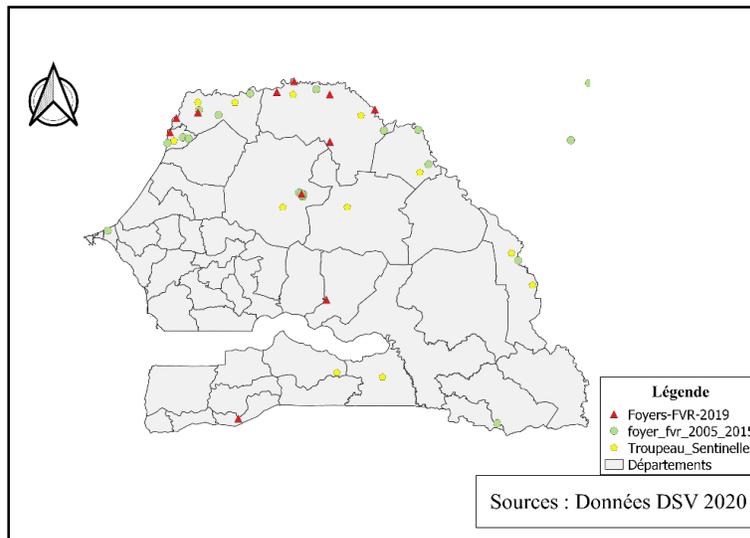
A la suite de la première épidémie de FVR au Sénégal en 1987, plusieurs méthodes de surveillance ont été proposées notamment une surveillance animale et une surveillance entomologique dans certaines zones biogéographiques par l'Institut Pasteur de Dakar (Lancelot et al., 1989 ; Zeller et al., 1997 ; Thiongane et al., 1991 et Wilson et al., 1994 ). La FVR est intégrée dans la surveillance passive et active du Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales (SNSE).

### I.7.1. La surveillance passive

La surveillance passive consiste à une notification des avortements et des mortinatalités (principaux signes de la FVR chez les ruminants) sur le territoire national à travers les fiches « foyer » qui contiennent les données épidémiologiques et les fiches « commémoratifs » qui contiennent les informations relatives aux prélèvements effectués. Elle est assurée par les agents des services déconcentrés du Ministère de l'Elevage et des Productions animales et les vétérinaires et paravétérinaires privés.

### I.7.2. La surveillance active

La surveillance active quant à elle, se fait sur un réseau de douze (12) troupeaux sentinelles de petits ruminants (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) se trouvant le long du delta et de la vallée du fleuve Sénégal compte tenu de la circulation fort probable de la maladie dans ces environnements (fleuve, périmètres irrigués, zones inondables, localisation des premiers foyers dans la sous-région...), dans la vallée du Ferlo compte tenu des changements écologiques intervenus dans la zone (mise en eau des vallées fossiles) et dans le bassin de l'Anambé (aménagements hydroagricoles). Elle consiste à réaliser des prélèvements mensuels de sérums sur des animaux sentinelles au début, pendant et à la fin de l'hivernage c'est-à-dire entre les mois de juillet, août et septembre afin de détecter précocement une circulation éventuelle du virus.



**Figure 4** : Surveillance active de la fièvre de la vallée du Rift : réseau des troupeaux sentinelles de petits ruminants. Source : Données surveillance Direction des Services vétérinaires (2019).

## DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE TERRAIN

### Chapitre I. Matériels et Méthodes

#### I.1 Zone d'étude

Notre étude a été réalisée sur l'ensemble du territoire national. Le Sénégal est situé à l'extrême ouest du continent africain, entre les latitudes 12° et 17° nord et les longitudes 11° et 18° ouest (Niang, 2004), Il est limité au nord par le fleuve Sénégal, à l'est par le Mali, à l'ouest par l'Océan atlantique et au sud par la Guinée-Bissau et la Guinée (Dieng, 2016). Le Sénégal s'étend sur une superficie de 196 712 km<sup>2</sup> et occupe une position stratégique en Afrique de l'ouest.

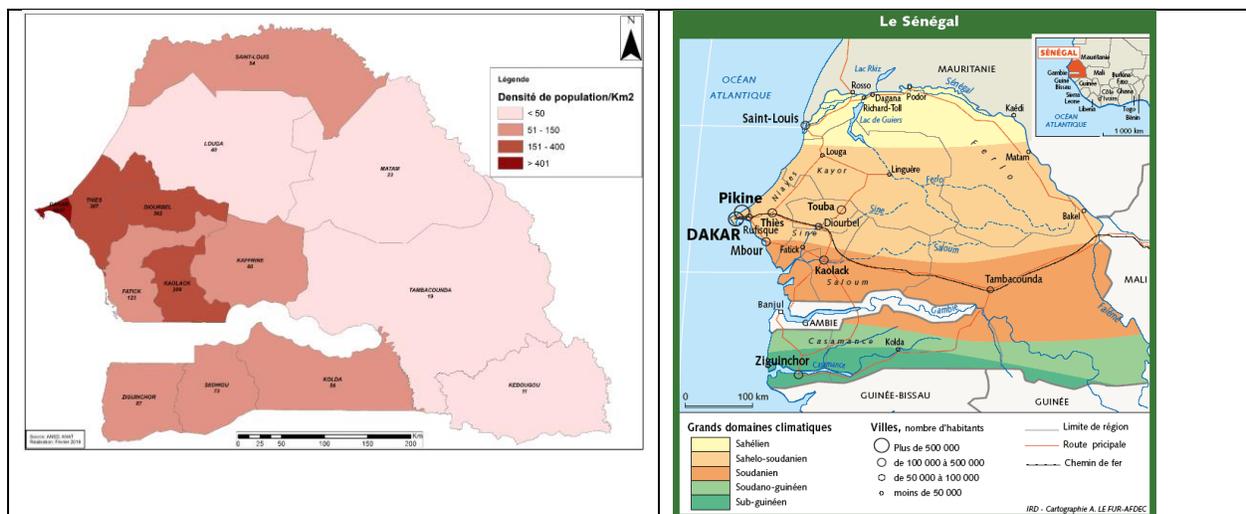
##### I.1.1. Situation administrative

L'organisation administrative, territoriale et locale, de la République du Sénégal est fixée par le décret du 10 septembre 2008 fixant le ressort territorial et le chef-lieu des régions et des départements et la loi n°2013-10 du 28 décembre 2013 portant Code général des Collectivités locales.

Le territoire comprend ainsi :

- ✓ des circonscriptions administratives (14 régions, 45 départements et 117 arrondissements) ;
- ✓ des collectivités territoriales (45 conseils départementaux et 557 communes).

En 2018, le Sénégal comptait 15 726 037 habitants, soit une densité de 80 habitants/km<sup>2</sup> répartis inégalement sur le territoire dont 70% sont dans le secteur primaire qui comprend l'agriculture, l'élevage et la pêche (RGPHAE, 2018).



**Figure 5:** A gauche, Densité de la population humaine par région. A droite : Carte climatique du Sénégal en 2018. Sources : ANSD- février 2019.

### I.1.2. Climatique et végétation

Le Sénégal jouit d'un climat de type tropical au sud et désertique au nord. Le pays est caractérisé par deux saisons contrastées et de durée très inégale :

- une saison sèche qui s'étend généralement de novembre à juin avec des amplitudes thermiques qui varient entre 22 et 30°C, avec cependant des variations importantes entre le littoral et l'intérieur ;
- une saison humide aussi appelée hivernage dont la durée décroît du sud au nord. Elle dure six mois au sud (Kédougou, Ziguinchor et Tambacounda), quatre mois au centre (Diourbel) et deux mois au nord (Matam) (Loum Gazida, 2019).

Il a une végétation mosaïque caractérisée par les steppes au nord, les savanes au centre, les forêts au sud et les *Niayes* sur le littoral. D'est en ouest, trois fleuves traversent le pays: le Sénégal (1700 km) au nord, la Gambie (750 km) et la Casamance (300 km) au sud (KA, 2018).

### I.1.3. Elevage

Le Sénégal est un pays sahélien d'Afrique de l'ouest à vocation agro-pastorale. En effet, l'élevage joue un rôle majeur dans l'économie nationale. Il génère 35,5% de la valeur ajoutée du secteur agricole et représente 4,6% du PIB (Sene et al. 2016). Le Sénégal est doté d'un cheptel de ruminants très varié avec une prédominance en petits ruminants soit 6,91 millions d'ovins, 5,88 millions de caprins et 3,58 millions de bovins (MEPA, 2018).

Trois modes d'élevage sont pratiqués au Sénégal : le système pastoral (au nord) caractérisé par l'exploitation des grands espaces à travers la mobilité du cheptel à cause de la rarefaction des ressources végétales, le système agropastoral (au centre et au sud) caractérisé par une intégration de l'agriculture, de l'élevage et de la disponibilité des sous-produits agricoles et agroindustriels, et le système intensif (à l'Ouest) marqué par une sédentarisation du troupeau (KA, 2018).

## I.2. Méthodes

L'objectif de ce travail est de faire une évaluation semi-quantitative du risque d'apparition de la FVR au Sénégal. La méthodologie développée ci-dessous, permettra de préciser certaines indications dans des contextes où la dynamique épidémiologique est mal connue et/ou il n'y a pas assez des données.

L'approche d'analyse de décision multicritères spatialisée (GIS-MCE) a été utilisée pour produire une carte de risque dont les différentes étapes sont décrites en-dessous. Dans ce processus, la pondération des différents facteurs de risque a été faite à travers un atelier qui a été organisé avec les agents en charge des sites sentinelles dans le cadre de la surveillance active de la FVR au Sénégal. Des outils d'analyse de réseau ont été utilisés afin d'estimer les indicateurs de mobilité animale. Ces derniers ont été combinés à d'autres facteurs de risque tels que les facteurs climatiques, environnementaux et ceux liés à l'activité humaine pour produire la carte de risque finale.

### I.2.1. Approche par évaluation multicritère spatialisée

L'évaluation multicritère spatialisée est un outil d'aide à la prise de décision qui intègre les techniques d'une analyse de décision multicritère (GIS-MCE) dans un Système d'information géographique (SIG) pour essayer de trouver les solutions les plus appropriées à un problème spatial donné pour lequel il existe de multiples critères d'analyses et les alternatives de décision qui peuvent être opposées selon (Carver, 1991) et (Malczewski, 1999).

La méthode (GIS-MCE) est particulièrement pertinente en l'absence de données de surveillance des maladies disponibles ou fiables sur le terrain. En effet, elle peut être utilisée pour créer des cartes préliminaires qui, bien qu'imparfaites, peuvent être utilisées pour la surveillance basée sur le risque (Rugé et al., 2019).

Les étapes clés de cette méthode comprennent :

- i) l'identification des facteurs ou critères qui jouent un rôle dans le risque à cartographier (par exemple : le risque d'introduction, d'amplification, de propagation, de maintien etc...). Il s'agissait de passer au crible les publications sur la FVR en terme d'épidémiologie, afin de collecter les facteurs de risque. Cette revue bibliographique a permis d'identifier les facteurs et de les classer en trois (3) groupes (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les facteurs ont été discutés et commentés avec les experts des zones pendant un atelier.
- ii) la pondération de ces facteurs de risque : elle se fait sur la base d'avis d'experts ou de connaissances bibliographiques. Le résultat est pour chaque facteur  $f$  d'estimer son poids noté  $w_f$ . Ainsi, dans le cadre de ce travail, un atelier avec les agents de terrain a été organisé avec pour objectif d'estimer l'importance des différents facteurs de risque.
- iii) la collecte de données géographiques correspondantes aux facteurs identifiés et la création d'indices d'adéquation spatiale normalisée. Pour chaque facteur de risque identifié, nous avons collecté les données géographiques. Ces dernières sont représentées sous forme de couches raster dont chaque pixel représente une valeur spécifique du facteur de risque correspondant. Etant donné que ces facteurs de risque

(couches raster) collectés ont des mesures différentes, il est nécessaire de les standardiser pour pouvoir les comparer. Les valeurs du facteur  $f$  dans chaque pixel  $j$  étant  $a_{jf}$ .

- iv) la combinaison des indices d'adéquation spatiale pour produire des cartes de risque. Les différents facteurs identifiés sont pondérés et combinés linéairement pour produire une seule carte dont sa valeur correspondant aux risques d'apparition de la maladie. Dans chaque pixel du raster, les valeurs correspondants  $a_{jf}$  du facteur  $f$  sont pondérées par les poids  $w_f$  et additionnées.

$$R_j = \sum_f w_f * a_{jf}$$

Dans le cadre de ce mémoire, la méthode de SIG-MCE a été utilisée en suivant les quatre étapes décrites ci-dessus. Un atelier avec les chefs des Services régionaux, départementaux de l'Élevage et les Chefs de postes vétérinaires a été organisé pour l'identification des facteurs de risque et leur pondération. La liste des données utilisées pour les cartes est reportée au niveau de « Matériel ».

**Tableau 1:** Liste des facteurs de risque identifiés dans la littérature

Groupe de facteurs de risque	Facteurs de risque	Références
Facteurs climatiques	Intensité de la pluviométrie	(Jacques-André, , Jean-Pierre LACAUX 3, et et Amadou Thierno GAYE 4 2008)
		(Mondet et al. 2005)
		(GREBOVAL 2004)
		(Daubney, Hudson, et Garnham 1931)
		(Anderson Jr et al. 1989)
		(Lancelot et al., 2019)
	Fréquence de la pluviométrie	(Greboval 2004)
	Humidité	(Ndione et al., 2008)
Biteye et al. 2018		
(Kardjadj et al. 2019)		
Température	Biteye et al. 2018	
Facteurs environnementaux	Existence de barrages et d'aménagements hydro-agricoles	(Ndione et al. 2005)
		( Bouyer 2001)
	Existence de mares	(Turell and Bailey, 1987; Logan, Linthicum et al. , 1991)
		(Ndione et al. 2008)
	Pâturages/résidus de cultures	(Kardjadj et al. 2019)

Facteurs liés à l'activité humaine	Importation illégale d'animaux vivants	(Kardjadj et al. 2019) (Rolin, Berrang-Ford, et Kulkarni 2013)
	Mouvements commerciaux du bétail	(Rolin, Berrang-Ford, et Kulkarni 2013)
		(Kardjadj et al. 2019) (Lancelot et al. 1989)
	Transhumance	(Kardjadj et al. 2019)
		(Lancelot et al. 2019)
	Présence de marchés	(Kardjadj et al. 2019)
	Cérémonie religieuse	(Lancelot et al. 2019)
	Départ (des transhumants étrangers)	Atelier identification des facteurs de risque
	Départ (des transhumants interne)	
	Retour (des transhumants internes)	
Contact faune sauvage/animaux domestiques		

### I.2.2. Identification des facteurs de risque et leur pondération

Pour la pondération des facteurs de risque, un atelier a été tenue avec les agents des Services déconcentrés du MEPA, qui ont en charge la surveillance active de la FVR, du Ministère de l'Environnement et du Développement durable à travers la Direction des Parcs nationaux en charge de la surveillance de la faune sauvage et du représentant de la maison des éleveurs. Il faut noter que pour le MEPA, seuls les représentants des quatre (4) régions où il y a eu des foyers en 2019 avaient été conviés.

Au total, treize (13) personnes avaient participé à l'atelier. Il s'agit des Chefs des Services régionaux de l'Élevage et des Productions animales (SRELPA) des régions de Saint-Louis, Louga, Matam et Tambacounda, des Chefs de Postes vétérinaires (CPVs) en charge des sites sentinelles dédiés à la surveillance active de la FVR, du représentant de la réserve de Gueumbeul et du Président du Conseil national de la Maison des Éleveurs (MDE).

Au cours de cet atelier, deux (2) activités ont été menées dont l'objectif était d'une part de valider les facteurs de risque identifiés à travers la littérature et d'autre part de pondérer ces facteurs de risque.

#### I.2.2.1. Reconstitution des évènements

Il s'agissait de reconstruire les évènements principaux (facteurs de risque d'apparition et de propagation de la maladie) des douze (12) mois précédents le dernier foyer de la FVR dans leur région respective et d'évaluer leur importance (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Ainsi, la salle a été divisée en quatre (4) groupes dont chacun représentant une région. Chaque groupe avait à sa disposition une feuille (papier padex) divisée en 12 colonnes (mois) et lignes (événements ou facteurs déclencheurs), 50 boutons et un marqueur. Pour chaque événement ou facteur, les agents (experts) devaient discuter entre eux puis distribuer les 50 boutons dans les cases selon l'importance du facteur (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), (méthode *proportional piling*). Une fois distribué le nombre de boutons dans chaque case a été compté et enregistré.

	Jan	Febr	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	LOUGA
Pluies fortes	0	02	0	0	0	05	05	02	17	18	02	0	
Pluies faibles	02	02	02	05	12	05	05	02	17	18	02	0	
Présence de mares	02	02	0	0	0	0	02	10	14	0	07	06	
Présence d'eau	06	06	09	08	08	04	02	0	0	0	02	02	
Patentes	03	02	02	02	04	04	04	05	14	06	06	04	
Abandon de la zone	01	01	01	01	01	02	02	08	09	09	06	07	
Nourriture	01	01	01	01	01	02	06	09	04	06	05	11	
Mortalité	02	02	02	02	02	02	02	04	04	06	08	14	
Achats	01	01	01	01	01	01	08	08	08	07	06	07	
Ventes	04	03	01	01	01	01	08	09	08	06	05	03	
Arrivées	04	04	04	04	04	04	08	13	13	06	05	05	
Transhumance	05	05	05	01	01	01	01	00	00	04	05	04	
Départs	05	05	05	01	01	01	00	00	00	04	05	04	
Transhumance	04	04	04	01	01	01	01	13	07	06	05	05	
Retour													
Fêtes/Cérémonies	04	01	04	04	01	01	18	04	02	02	12	06	
Foyers	03	02	07	04	04	04	04	04	09	03	07	03	
Avortements	03	02	01	01	01	01	01	07	05	07	07	01	
Point de contact	04	03	03	02	02	04	04	06	07	07	07	05	
Transhumance	04	03	02	02	01	0	02	10	08	06	06	05	

Figure 6: Calendrier saisonnier de la région de Louga

A l'issue de cette activité, chaque groupe avait établi son calendrier saisonnier permettant ainsi de faire la situation de la région pendant l'année 2019 en se focalisant sur le dernier foyer de FVR. Cette activité a permis de reconstruire la situation dans la zone autour des foyers et aussi d'entamer la discussion sur les facteurs de risque.

#### I.2.2.2. Pondération des facteurs de risque

Une présentation sur les différents facteurs de risque d'apparition et de propagation de la FVR collectés à travers la littérature (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) a été faite en vue d'une validation par les agents de terrain. Ces facteurs de risque sont classés en trois (3) catégories qui sont :

- **Facteurs climatiques** : composés de la température, de la fréquence de la pluviométrie, de l'intensité de la pluviométrie et de l'humidité ;
- **Facteurs environnementaux** : avec la présence de mares et leur niveau, de cours d'eaux, de pâturages, de faune sauvage, de moustiques et faune sauvage ;

- **Facteurs liés à l'activité humaine** : mobilité animale liée au commerce, transhumance inter et intra régionale, mouvements illégaux, présence de marchés, cérémonie religieuse, densité animale et composition du troupeau.

Après la validation de ces facteurs de risque, leur pondération a été faite. Cette pondération a été faite en deux étapes avec la méthodologie AHP (Analytical Hierarchical Process) qui consiste à attribuer des poids à chaque facteur par comparaison par couple, 2 à 2 (Chakhar et Mousseau 2008).

Ces facteurs ont été comparés par paire et l'importance d'un facteur sur l'autre a été classifié selon une échelle allant de 1 à 9 avec : 1 pas de différence, 9 un facteur est très fortement important sur l'autre.

Cette comparaison a été faite à deux niveaux, dont la première a permis de comparer les catégories des facteurs et la deuxième, les facteurs d'une même catégorie permettant ainsi, de générer des matrices pour chaque région (somme des poids des facteurs en colonnes) (voir **Tableau 2**). Les matrices de comparaison d'une même catégorie voir (**Annexe 1**).

**Tableau 2:** Matrice de comparaison par paire par catégorie de la région de Louga

	<b>Activité humaine:</b> présence de marchés, mobilité, transhumance	<b>Environnement:</b> présence d'eau, mares, pâturages	<b>Climat:</b> Température, Pluviométrie etc...
<b>Activité humaine:</b> présence de marchés, mobilité, transhumance	1	1/5	1/9
<b>Environnement:</b> présence d'eau, mares, pâturages	5	1	1/9
<b>Climat:</b> Température, Pluviométrie etc...	9	9	1

### I.2.3 Standardisation des facteurs de risque

Etant donné que ces rasters ont été obtenus à partir de sources différentes, une pixellisation unique a été réalisée avec des pixels de tailles 250 x 250 m.

Nous avons également standardisé les facteurs des risques en une échelle comprise entre 0 et 1 par la formule :

$$\tilde{a}_{fj} = \frac{a_{fj} - \min(a_f)}{\max(a_f) - \min(a_f)}$$

Ou  $a_{fj}$ : c'est le valeur du facteur f dans la cellule du raster j.

Le min et le max représentent les valeurs minimale et maximale du facteur.

$\tilde{a}_{fj}$  = C'est la valeur normalisée du facteur de risque (f) dans le pixel (j).

f : c'est le nom du facteur de risque (exemple pluviométrie, NDVI etc.), c'est également le nom du raster.

j : correspond à l'index du raster.

#### I.2.4. Combinaison des facteurs de risque

Après avoir collecté et standardisé les données, elles sont multipliées par leurs poids qui ont été donnés par les experts (agents de terrain) lors de l'atelier et combinés par la suite. Dans la combinaison des facteurs de risque (données présentées sous forme de raster), le poids ( $w_f$ ) de chaque facteur ( $f$ ) est évalué comme suit :

$$w_f = w_{cf} * w_{ff}$$

Donc  $w_{cf}$  est le poids de la catégorie dont le facteur de risque appartient et  $w_{ff}$  le poids du facteur en le comparant aux autres facteurs de la même catégorie. Les cartes représentant les différents facteurs de risque, standardisées et hiérarchisées, sont ensuite agrégées pour produire la carte finale.

Dans sa forme la plus simple, un raster se compose d'une matrice de cellules (ou pixels) organisées en lignes et en colonnes (grille) dans laquelle chaque cellule contient une valeur représentant des informations ; la température, par exemple. Les rasters sont des photographies aériennes numériques, des images satellite, des images numériques, voire des cartes numérisées.

#### I.2.5. Méthode d'analyses des données de mobilité animale

Dans notre évaluation de risque, nous avons utilisé les analyses du réseau pour quantifier les estimateurs de la mobilité animale dans les différents départements. Dans cette approche, les départements d'origine et de destination sont représentés comme des nœuds et les mouvements comme des liens les reliant entre eux.

A chaque lien, nous pouvons associer un poids qui, dans notre cas, correspond au nombre des animaux (bovins, ovins et caprins) qui se sont déplacés entre les deux départements. Nous nous sommes focalisés sur la période de la saison de pluie en 2019.

Nous avons caractérisé chaque nœud par des indicateurs du réseau qui donne une idée de l'importance du nœud par rapport à l'autre. Ainsi, pour chaque département, les indicateurs suivant ont été utilisés, il s'agit de :

- Indegree : correspond au nombre de contacts (lien) entrant par nœud. Il nous renseigne sur le nombre de troupeau qui entre dans un département quelconque d'un nœud ;
- Outdegree : permet de mesurer le nombre de troupeau qui sort d'un département d'un nœud ;
- Inweight : donne le poids c'est-à-dire le nombre d'animaux par troupeau (par lien) entrant dans un département par nœud ;
- OutWeight : correspond au poids ou nombre d'animaux par troupeau (lien) sortant par nœud ;

- Betweenness : c'est la fraction de tous les chemins qui passent par les nœuds. Il permet de voir le chemin qui contrôle le flux d'animaux dans un nœud et permet également de voir l'importance des liens qu'il y'a entre les nœuds.

## I.3. Matériels

### I.3.1. Matériel de terrain

Le matériel de terrain est représenté par les fiches d'enquête, les différents rasters collectés correspondant à chaque facteur de risque et des smart phones.

#### I.3.1.1. Collecte de données

L'évaluation de risque par une méthode spatiale implique une disponibilité de données géo-référencées. Ainsi, pour les trois (3) catégories de facteur de risque identifié, il fallait collecter les données géographiques correspondantes (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il s'agit de :

- facteur de risque lié à la mobilité animale (mobilité commerciale, transhumant vers la zone et transhumant à partir de la zone) : les données relatives aux mouvements des animaux enregistrés à l'intérieur du pays et au niveau transfrontalier à travers les formulaires LPS et PIF ont été collectées. A chaque fois qu'un éleveur se déplace avec son troupeau soit pour la transhumance soit pour le commerce du bétail, il doit de se présenter dans un poste vétérinaire afin que ce dernier lui délivre un laisser passer sanitaire (LPS) ;
- facteur de risque présence de marchés : un fichier de type shapefile qui a été produit à partir d'une enquête menée par la DSV afin de cartographier les marchés à bétail existants sur l'ensemble du territoire a été utilisé. Ensuite, une transformation binaire sur un rayon de 5 km a été faite et avons considéré que le risque est élevé au-delà de ce rayon ;
- mouvements illégaux : compte tenu du manque de données sur ces mouvement illégaux et sachant qu'ils proviennent de l'extérieur (les autres pays limitrophes avec le Sénégal), les mouvements internationaux comme mouvements illégaux ont été utilisés. Ils jouent un rôle très important dans l'introduction de la FVR au Sénégal ;
- facteur de risque densité animale : à travers le site web de la FAO Gridded Livestock, nous avons collecté les données liées à la population du bétail. Ce facteur est très lié à la propagation de la FVR ;
- facteur de risque température : par le biais du site Worldclim, les données correspondantes à la température ont été téléchargées et avons utilisé la moyenne des températures pour l'année 2019 ;
- facteur de risque pluviométrie : à travers le site Tamsat (donnant la chute d'eau chaque 10 jour), (<https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home>), les données correspondantes aussi bien à l'intensité, mais également à la fréquence de la pluviométrie en utilisant toujours la quantité moyenne à la période de juin à décembre de l'année 2019 ont été téléchargées. Il est important de rappeler que pour les experts, la pluviométrie est un facteur de risque important impliqué dans le risqué'apparition de la FVR au Sénégal;
- facteur de risque présence de mares : un fichier de format shapefile produit par la DSV a été utilisé afin de compter les différents mares existants;

- facteur de risque présence de source d'eau : nous avons téléchargé via le site copernicus de l'Union européenne (UE) (<https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home>) qui consigne les données correspondantes aux différentes sources d'eaux. Ce site produit des images satellitaires. Ensuite, nous avons établi un rayon de 5 km à partir de chaque source d'eau et avons considéré un élevage à risque s'il se situe dans ce rayon ;
- facteur de risque distance faune sauvage : comme nous ne disposons pas de carte de densité de la faune sauvage, il a été utilisé de façon approximative la distance de zone de faune sauvage téléchargée par WorldPop ([www.Worldpop.org](http://www.Worldpop.org)). A travers ce raster, nous avons effectué une transformation binaire en faisant un rayon de 5 km par rapport à la présence de la mare dans chaque pixel. On considère qu'un troupeau vivant à moins de 5 Km d'une mare à risque (risque =1) et au-delà de 5 Km pas risque (risque =0) ;
- facteur de risque pâturages : nous avons recherché et téléchargé les données correspondantes aux productions de matières sèches (DMP) et avons utilisé la moyenne pour l'année 2019 ;
- facteur de risque humidité : étant donné que les informations relatives à l'humidité au sol n'étaient pas disponibles, nous n'avons pas utilisé cette source d'information.

Toutes ces données collectées ont été transformés en couches raster dont chaque pixel représente une valeur spécifique du facteur de risque correspondant. Aussi, il faut noter que pour les différents facteurs de risque qui ont été identifiés à travers la bibliographie et validés par les experts, nous sommes focalisés sur la période correspondant au pic de notification de la FVR au Sénégal.

**Tableau 3:** Liste des facteurs de risque et des données correspondantes

Facteurs de risque catégorisé	Facteur de risque	Type de Data	Source
Facteurs liés à l'activité Humaine	Mobilité commerciale	LPS 2018-2019 : certificat sanitaire. Permet d'estimer les flux et cartographier les mouvements nationaux.	Enquête de la DSV
	Transhumance vers la zone	Mouvements au niveau PIF: certificat sanitaire. Permet d'estimer les flux et cartographier les mouvements internationaux	Enquête de la DSV
	Transhumance à partir de la zone	Mouvements au niveau PIF: certificat sanitaire utilisation. Permet d'estimer les flux et cartographier les mouvements internationaux.	Enquête de la DSV
	Présence de marchés	Shapefile : Cordonnées des marchés au Sénégal	Enquête de la DSV
	Festivité	Calendrier saisonnier	Atelier
	Population de bétail	Gridded Livestock : estimation de la densité d'animaux par km <sup>2</sup>	FAO
Facteurs climatiques	Température	Estimation de la température au sol (raster)	Site: copernicus.
	Fréquence Pluviométrie	Rainfall estimate : estimation de la fréquence de la pluviométrie (raster).	Tamsat 2019

	Intensité Pluviométrie	Rainfall estimate : estimation de l'intensité de la pluviométrie	Tamsat 2019
	Humidité	Humidité au sol (raster).	<a href="https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home">https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home</a>
Facteurs environnementaux	Présence de mares	Cordonnées des mares existantes (shapefile)	Direction des services vétérinaires
	Niveau de mare	Réseau hydraulique : Poste traitement pour avoir la distance des mares	<a href="https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home">https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home</a>
	Présence d'autre cours d'eaux	Hydronetwork : permet d'identifier les fleuves et les cours d'eaux existents et la distance.	<a href="https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home">https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home</a>
	Pâturages	NDVI : permet d'identifier la couverture végétale (raster)	<a href="https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home">https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home</a>
		DMP : Dry Matter production permettre d'estimer la production végétale (raster)	<a href="https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home">https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home</a>
Faune sauvage	Distance zone sauvage.	www.Worldpop.org	

### I.3.1.2. Données de mobilité animale

Nous avons utilisé les données collectées à travers les deux (2) enquêtes en 2017 et en 2019 vu que ces données n'existent pas sur internet.

Pour l'enquête de 2017, trois (3) formulaires sous format papier ont été élaborés à savoir : i) Questionnaire-éleveurs-engraisseurs, ii) Questionnaire-éleveurs-maquignons et iii) Questionnaire-PIF (**voir Annexe 2**). Cette enquête qui s'est déroulée en février 2017 avait pour objectif de collecter des informations sur les mouvements transfrontaliers au niveau des régions frontalières avec le Mali et la Mauritanie. A cet effet, les seuls agents situés au niveau des postes frontaliers entre le Sénégal et le Mali et la Mauritanie ont été enquêtés.

Pour les besoins de l'enquête de 2019, deux (2) formulaires ont été développés à travers l'outil KoboToolbox, il s'agit du « Laisser Passer Sanitaire » (LPS) permettant d'enregistrer les mouvements du bétail à l'intérieur du pays et du « Poste d'Inspection frontalier » (PIF) pour les mouvements frontaliers (**voir Annexe 3**). Cette deuxième enquête organisée en avril 2019 avait concerné tous les postes vétérinaires et les postes frontaliers aussi bien du Nord que du Sud.

Dans le souci d'obtenir une bonne représentation de la mobilité animale au Sénégal par le biais de ces cinq (5) formulaires, nous nous sommes focalisés sur les mouvements du bétail entre départements.

### I.3.2. Matériels pour le traitement de données

Pour assurer le traitement des données de terrain, les logiciels suivants ont été utilisés :

- Excel pour un prétraitement des données ;
- R (version 3.4) pour les analyses statistiques (REF BIBLIO);

Toutes les analyses des plots ont été faites avec le logiciel R et les packages ggplot, MapMCDA et igraph.

## Chapitre II. Résultats

Dans ce chapitre, les résultats issus de l'atelier de validation des facteurs de risque mais également ceux générés après traitement des données de terrain collectés seront présentés.

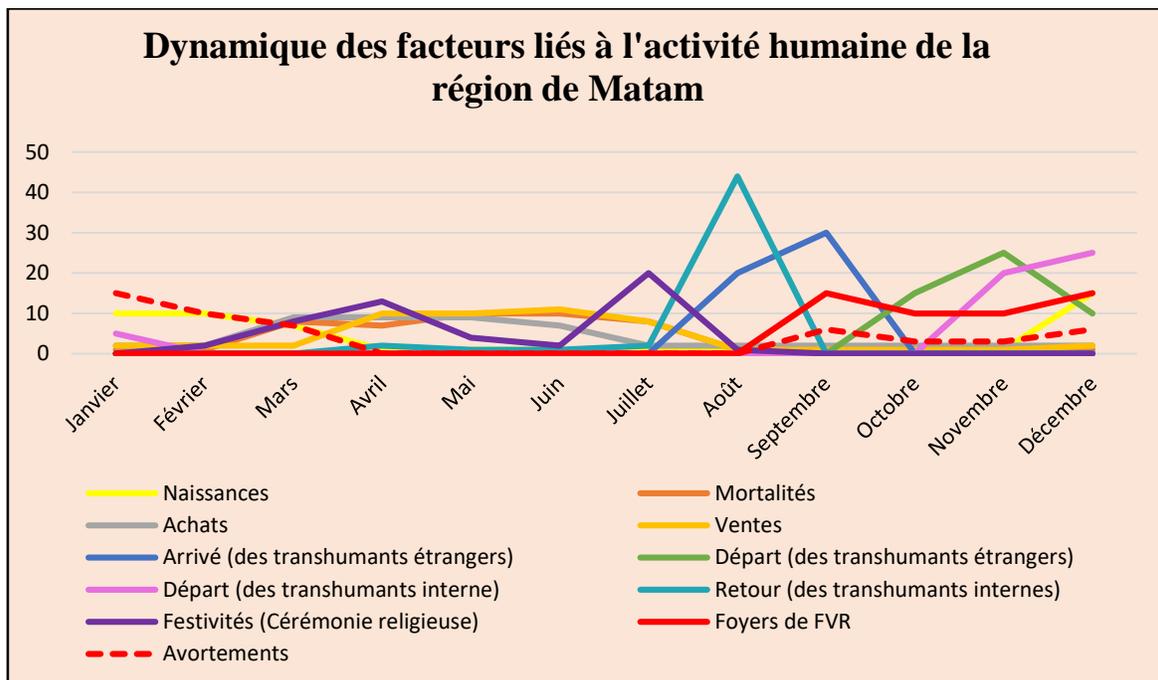
### II.1. Atelier de validation des facteurs de risque

A l'issue de l'atelier de validation des facteurs de risque, nous avons croisé par paire les différents facteurs entre eux et par catégorie, ceci a permis de générer quatre (4) matrices dont une matrice pour chaque région. Par la suite, nous avons calculé la moyenne des différents facteurs de risque afin de donner une estimation finale qui correspond à la valeur médiane des n valeurs de pondération déterminées par les participants (experts).

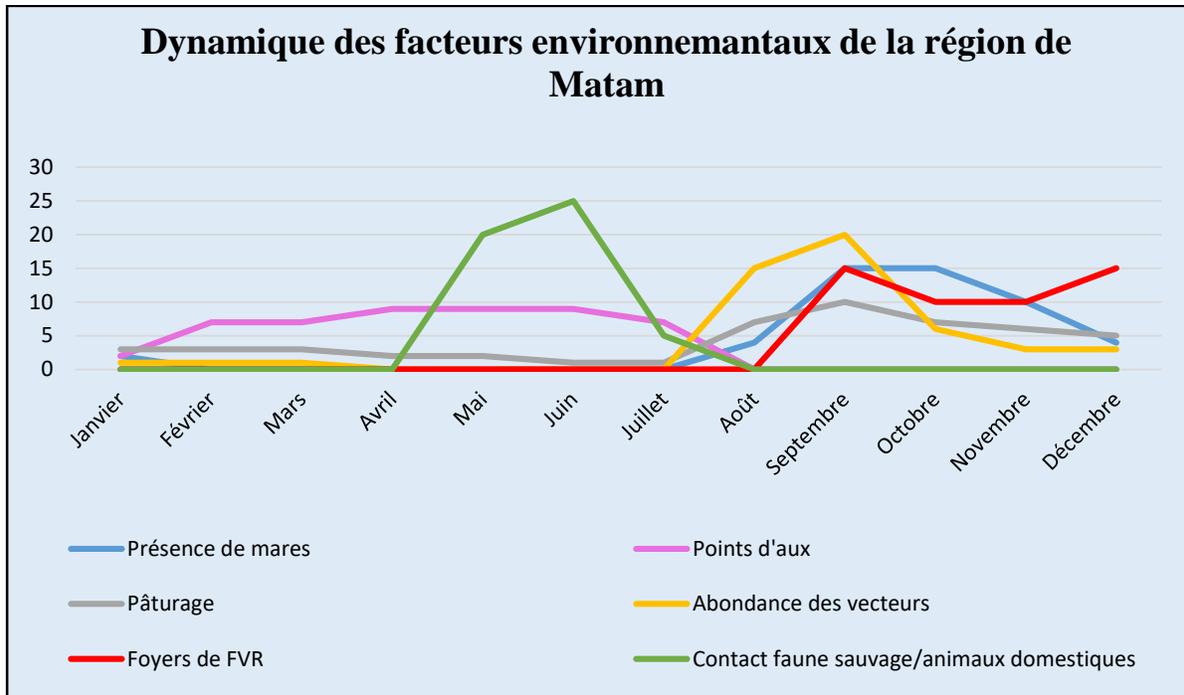
#### II.1.1. Variations au cours de l'année des facteurs de risque

Au cours de l'atelier de validation des facteurs de risque, un calendrier saisonnier a été établi par les experts pour chaque région. Ces calendriers nous ont permis de reconstruire les contextes d'apparition de la FVR dans ces régions. La procédure d'élaboration de ces calendriers consistait d'abord à identifier le dernier foyer de fièvre de la vallée du Rift dans chaque région et de retracer durant les douze (12) derniers mois, les variations de certains facteurs de risque qui pouvaient être liés à l'apparition de la maladie. Les figures n°7, n°8 et n°9 montrent la dynamique des différents facteurs de risque par catégorie durant les douze (12) mois pour la région de Matam.

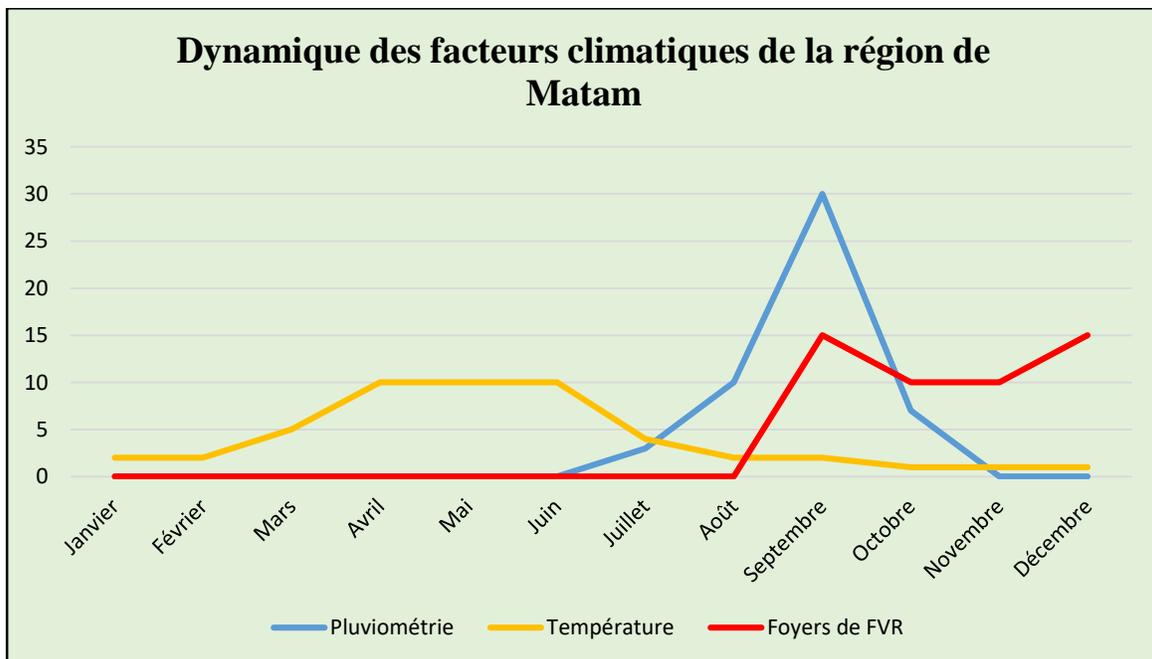
Pour ces autres régions, les figures similaires sont reportées en (Annexe 4). Dans notre analyse, on se focalise sur la période où les foyers de FVR ont été notifiés.



**Figure 7:** Dynamique des facteurs lié à l'activité humaine sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam



**Figure 8 :** Dynamique des facteurs environnementaux sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam



**Figure 9:** Dynamique des facteurs climatiques sur le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam

La (**Figure 7**) montre pour la région de Matam que pour les différentes activités, leurs pics sont enregistrés presque à la même période de juillet à novembre 2019, sauf pour la festivité. On constate également que les pics d'arrivées des transhumants étrangers et le retour des transhumants autochtones précèdent le pic des foyers notifiés. Ce qui pourrait laisser à croire que la transhumance joue un rôle dans le risque d'apparition de la FVR dans la région de Matam. Le même constat est fait pour les régions de Louga, Tambacounda et Saint-Louis.

Concernant la catégorie des facteurs environnementaux, selon la (**Figure 8**), sauf pour le facteur de risque contact faune sauvage, l'abondance des vecteurs et la présence de mares est plus important de juillet à novembre 2019. Mais les contacts faune sauvage et animaux domestiques sont presque inexistantes durant cette période, dont le pic est enregistré pendant la période allant d'avril à juillet, correspond à la saison sèche. En effet, l'abondance du pâturage durant cette période fait que les éleveurs n'ont pas besoin de déplacer leurs troupeaux pour la recherche de nourriture.

En fin, la (**Figure 9**) montre que la période où les foyers de FVR ont été notifiés est caractérisée par une forte pluviométrie et une température basse pour la région de Matam. Par contre, pour la région de Louga, la température est un peu plus élevée (**voir Annexe 4**).

### II.1.2. Comparaison entre catégories de facteur de risque

Les différents facteurs de risque validés lors de l'atelier ont été regroupés en trois (3) catégories (facteurs liés à l'activité humaine, climatiques et environnementaux et pondérés (voir tableau n°4).

**Tableau 4:** Comparaison des valeurs (poids) pondérées entre catégories des facteurs de risque

Facteurs	Louga	Matam	Saint-Louis	Tambacounda	Moyenne
<b>Activité humains:</b> présence de marchés, mobilité, transhumance	0,06	0,03	0,05	0,06	0,05
<b>Environnement:</b> présence d'eau, mares, pâturages	0,17	0,53	0,73	0,70	0,53
<b>Climat:</b> température, pluviométrie etc...	0,77	0,44	0,22	0,24	0,42

L'analyse du tableau (**Tableau 4**) révèle que globalement pour la comparaison des facteurs de risque, la catégorie facteur environnemental joue un rôle plus important dans l'apparition de la fièvre de la vallée du Rift avec une valeur obtenue de 0,53.

Si on compare les quatre régions entre elles, on constate également que sauf pour la région de Louga, toutes les autres régions considèrent que les facteurs environnementaux sont les plus importants.

### II.1.3 Comparaison par catégorie de facteurs de risque

Pour la comparaison de facteur de risque par catégorie, il s'agissait de comparer les facteurs entre eux en se basant sur les valeurs obtenues après pondération. Ainsi, une synthèse a été faite par région (tableaux 5, 6 et 7).

**Tableau 5:** Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie de facteur liés à l'activité humaine

	Louga	Matam	Saint Louis	Tambacounda	Moyenne
Mobilité commerciale	0,04	0,04	0,07	0,07	<b>0,05</b>
Transhumance vers la zone	0,18	0,30	0,22	0,30	<b>0,25</b>
Transhumance à partir de la zone	0,03	0,32	0,02	0,30	<b>0,17</b>
Mouvements illégaux	0,43	0,02	0,39	0,15	<b>0,25</b>
Présence de marchés	0,10	0,13	0,15	0,07	<b>0,11</b>
Festivité	0,12	0,12	0,08	0,07	<b>0,10</b>
Population de bétail	0,11	0,08	0,07	0,05	<b>0,08</b>

Au regard du (**Tableau 5**), sur l'ensemble des six (6) facteurs de risque liés aux catégories de facteur humain dont les poids ont été comparés entre eux, la transhumance, les mouvements illégaux et la présence de marchés constituent les facteurs les plus importants dans l'apparition et la propagation de la fièvre de la vallée du Rift dans les quatre (4) régions. La mobilité commerciale est le facteur le moins important, mais elle pourrait jouer un rôle dans la dispersion de la maladie.

Une analyse plus détaillée montre que pour la région de Tambacounda, la transhumance vers la zone et le départ des éleveurs autochtones sont les facteurs les plus importants.

Pour la région de Matam, la transhumance à partir de la zone c'est-à-dire le facteur de risque lié au déplacement des éleveurs de la région vers une autre région était plus important, mais elle est très similaire à la transhumance vers la région c'est-à-dire le mouvement des éleveurs d'autres régions vers la région de Matam. Ce type de mouvement pourrait jouer un rôle très important dans l'introduction de la FVR à Matam.

Concernant les régions de Louga et de Saint Louis, les mouvements illégaux et la transhumance vers la zone sont les facteurs de risque les plus importants.

**Tableau 6:** Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie facteur climatique

	<b>Louga</b>	<b>Matam</b>	<b>Saint-Louis</b>	<b>Tambacounda</b>	<b>Moyenne</b>
Température	0,05	0,03	0,04	0,12	<b>0,06</b>
Fréquence Pluviométrie	0,46	0,56	0,13	0,56	<b>0,43</b>
Intensité Pluviométrie	0,33	0,28	0,27	0,27	<b>0,29</b>
Humidité	0,15	0,13	0,56	0,04	<b>0,22</b>

Le (**Tableau 6**) permet de faire la comparaison des poids entre quatre (4) facteurs de risque liés à la catégorie du facteur climatique. On observe que la fréquence de la pluviométrie est deux (2) à trois (3) fois plus importante que les autres facteurs dans l'apparition et la propagation de la fièvre de la vallée du Rift en comparant les moyennes.

Une analyse plus approfondie par région montre que sauf pour la région de Saint Louis, la fréquence de la pluviométrie est le facteur le plus important, suivi par l'intensité de la pluviométrie.

Pour la région de Saint-Louis, le facteur le plus important est l'humidité ce qui pourrait être liée à la présence du fleuve constituant ainsi une source d'eau en permanence. La température quant à elle joue un rôle moins important dans l'apparition de la fièvre de la Vallée du Rift dans cette région.

**Tableau 7:** Comparaison par région des facteurs de risque de la catégorie facteur environnemental

	Louga	Matam	Saint Louis	Tambacounda	Moyenne
Présence de mares	0,28	0,59	0,16	0,58	<b>0,40</b>
Niveau de mare	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Présence d'autres cours d'eaux	0,57	0,25	0,56	0,13	<b>0,38</b>
Pâturages	0,05	0,13	0,14	0,25	<b>0,14</b>
Faune sauvage	0,10	0,04	0,14	0,04	<b>0,08</b>

Les poids de cinq (5) facteurs de risque de la catégorie du facteur environnemental ont été comparés dans le tableau n°7. Il ressort de l'analyse globale de ce tableau que le facteur présence de mares est le plus important suivi de la présence de cours d'eau. L'existence de faune sauvage dans la zone constitue le facteur le moins important.

Pour les régions de Louga et de Saint-Louis, la présence d'autres cours d'eaux est le facteur le plus important. Tandis que pour les régions de Matam et de Tambacounda, le facteur le plus important dans l'apparition et la propagation de la fièvre de la vallée du Rift est la présence de mares.

Aussi, il est constaté que le facteur lié à la présence de pâturages était plus important aussi bien pour la région de Louga que de Saint-Louis. Par contre, pour les régions de Matam et de Tambacounda, la présence de faune sauvage était le facteur le moins important.

## II.2. Mobilité animale

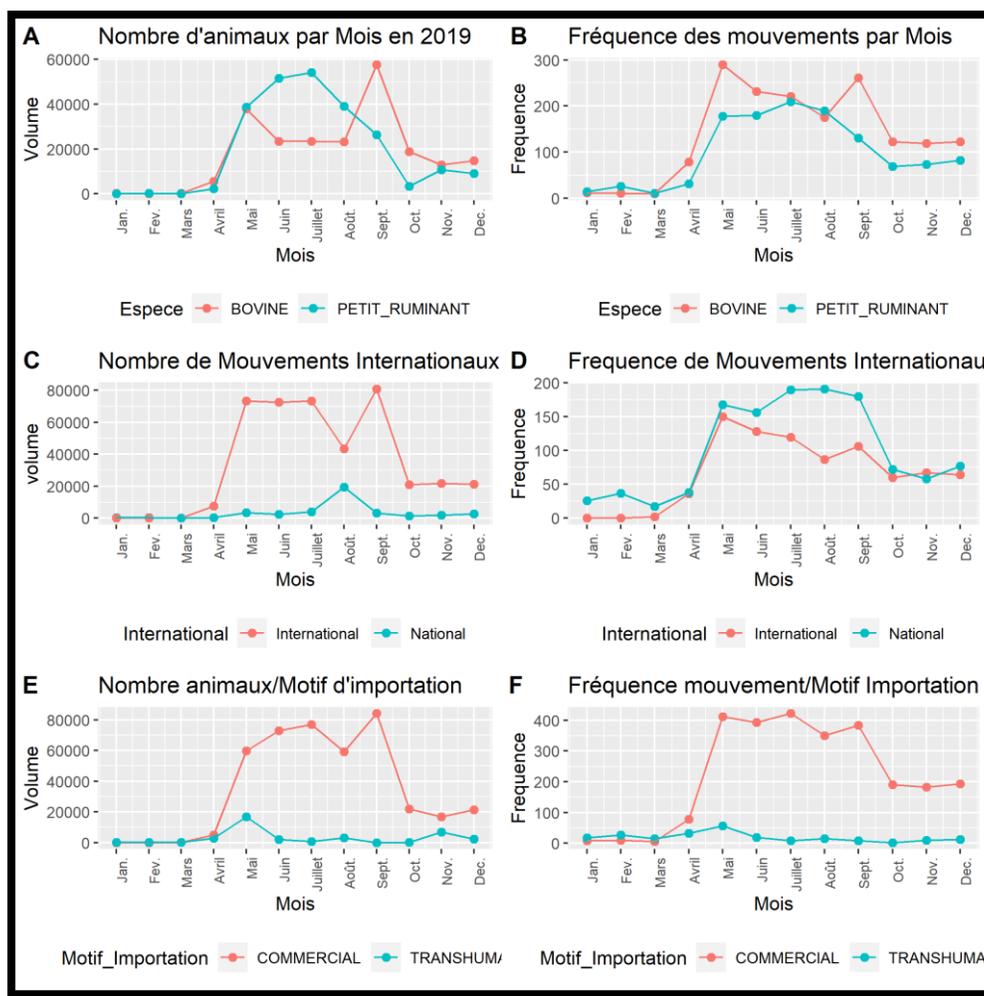
Les résultats de mobilité ont été obtenus à partir des cinq (5) questionnaires d'enquête utilisés lors des enquêtes de 2017 et de 2019. En fonction des indicateurs de réseau (Indegree, Outdegree, InWeight, OutWeight et Betweenness), nous avons classé par ordre décroissante les trois premiers départements où les mouvements sont très importants (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Aussi, nous avons traité les données collectées sur le terrain et ce traitement a permis de retracer la variation pendant l'année des mouvements des animaux en terme de volume et de fréquence en fonction des critères suivants : i) (images A et B) espèce animale concernée, ii) (images C et D) origine du mouvement et iii) (images E et F) motif d'importation (voir **Figure 10**).

**Tableau 8:** Classement des départements par ordre décroissant en fonction des indicateurs de mobilité

Indicateurs de Mobilité	Commercial	Transhumance	International/illegal
Indegree	Ziguinchor	Bakel	Bakel
	Pikine	Bignona	Mali
	Kolda	Birkelane	Salémata
Out degree	Kolda	Bakel	Mali
	Tambacounda	Vélingara	-
	Bakel	Kolda	-
Inweight	Bakel	Bakel	Bakel
	Pikine	Pikine	Saraya
	Saraya	Mali	Salémata
Outweigh	Mali	Bakel	Mali
	Bakel	Mali	-
	Saraya	Kanel	-
Betweenness	Vélingara	Bakel	-
	Kolda	Ziguinchor	-
	Sédhiou	-	-

Ce (**Tableau 8**) montre que les mouvements du bétail qu'ils soient de type commercial, transhumant ou international enregistrés dans les départements situés au niveau des régions du Sud sont plus importants. Ceci pourrait être lié au fait que dans notre analyse, on disposait plus de données sur la mobilité au niveau des régions du Sud.



**Figure 10:** Résumé des résultats de la mobilité animale

Pour le critère espèce animale concernée, au regard de la (**Figure 10**), on enregistre des mouvements de petits ruminants des mois de janvier à décembre alors que pour les bovins, ces mouvements ne concernent que les mois d'avril à décembre (voir image A et B).

Les images C et D nous renseignent sur l'origine des mouvements. Ainsi, deux (2) origines différentes ont été identifiées, il s'agit des animaux qui proviennent des pays frontaliers avec le Sénégal (mouvement international) et des animaux qui circulent à l'intérieur du pays (mouvement national) et ces deux types de mouvement sont enregistrés durant toute l'année. La plupart des mouvements sont d'origine internationale, ce qui peut constituer donc une voie d'introduction pour le virus.

Si on compare le volume et la fréquence de ces deux (2) types de mouvements, on constate que le volume d'animaux concerné par le mouvement international est plus important que celui du mouvement national (image C). Cela pourrait s'expliquer par deux (2) éléments :

- la célébration de deux cérémonies religieuses (la Tabaski et le Magal). En effet, durant ces cérémonies, le marché sénégalais s'approvisionne en petits ruminants et en bovins au niveau du Mali et de la Mauritanie ;

- le mouvement transhumant du bétail de la Mauritanie vers le Sénégal.

Par contre, pour la fréquence, la courbe du mouvement national et celle du mouvement international ont presque la même évolution dans le temps (image D).

Enfin, les images E et F étudient le motif de déplacement des animaux à savoir commercial ou transhumance. Ainsi, on constate que le motif de déplacement commercial est plus important aussi bien pour le volume que pour la fréquence des mouvements.

### **II.3. Risque d'apparition de la FVR**

Pour le traitement des données, nous avons procédé à plusieurs combinaisons des facteurs de risque qui ont été validés et pondérés par les experts. Dans ces combinaisons, pour les facteurs de risque environnemental et climatique nous avons considéré leurs valeurs moyennes pendant la période d'étude.

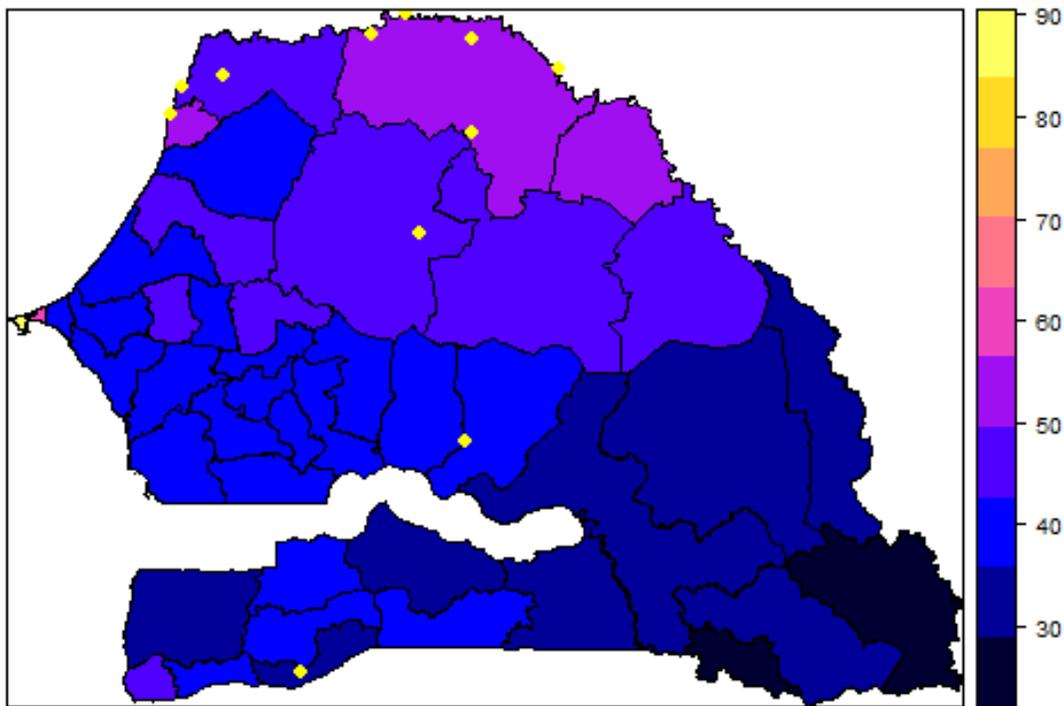
Pour les facteurs de risque lié à l'activité humaine dont la mobilité animale, nous avons considéré 9 combinaisons. Dans ces différentes combinaisons, tous les facteurs de risque ont été figés sauf le transhumant entrant et la mobilité commerciale car ce sont les seuls facteurs qui varient durant notre période. Concernant ces deux (2) facteurs de risque, nous avons utilisé les Indegree, Inweight et Betweenness qui nous renseignent respectivement sur le nombre de liens entrant dans le réseau (nombre de connexions vers la localité), le poids des liens entrant dans le réseau (nombre d'animaux entrant) et le trajet qui passe par les nœuds, ce qui donne une idée sur le risque de diffusion ou de la transmission de la maladie.

Pour la transhumant sortant, nous n'avons considéré comme indicateur que l'Outdegree, et pour la mobilité illégale, nous n'avons considéré que l'Indegree sachant que les estimations ont été faites pour 2017 et 2019.

Etant donné qu'il est parfois difficile d'obtenir le nombre exact d'animaux dans chaque troupeau entrant, sur les neuf (9) de cartes obtenues, nous avons écarté les combinaisons impliquant les InWeight et avons porté notre choix sur celle combinant les Indegree et les Betweenness.

Ainsi, pour les données correspondantes aux rasters, nous avons utilisé la distance entre les points d'eau pour estimer les contacts entre animaux, les indegree entrant et outdegree sortant afin d'évaluer la fréquence des mouvements du bétail entre départements, les indegree inter pour les mouvements du bétail illégaux, la moyenne des températures mensuelles, la présence de marchés, la température, le pâturage pour évaluer la couverture végétale, la densité animale pour voir le contact entre animaux, la fréquence de la pluviométrie pour évaluer la densité vectorielle.

Par la suite, nous avons superposé cette carte de risque avec les cas de FVR notifiés au Sénégal en 2019 afin de procéder à une première validation des résultats obtenus (**Figure II**).



**Figure 11:** Carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal.

Les points jaunes sur la (**Figure 11**) correspondent aux cas notifiés de FVR en 2019. L'analyse de cette figure révèle globalement que pour la majeure partie du territoire national, le risque d'apparition de la FVR est supérieur à 40%. Ce risque est compris entre 40 et 60 % pour les régions Centre (Kaffrine, Kaolack, Fatick et Diourbel) et les régions du Nord (Louga, Matam et Saint-Louis).

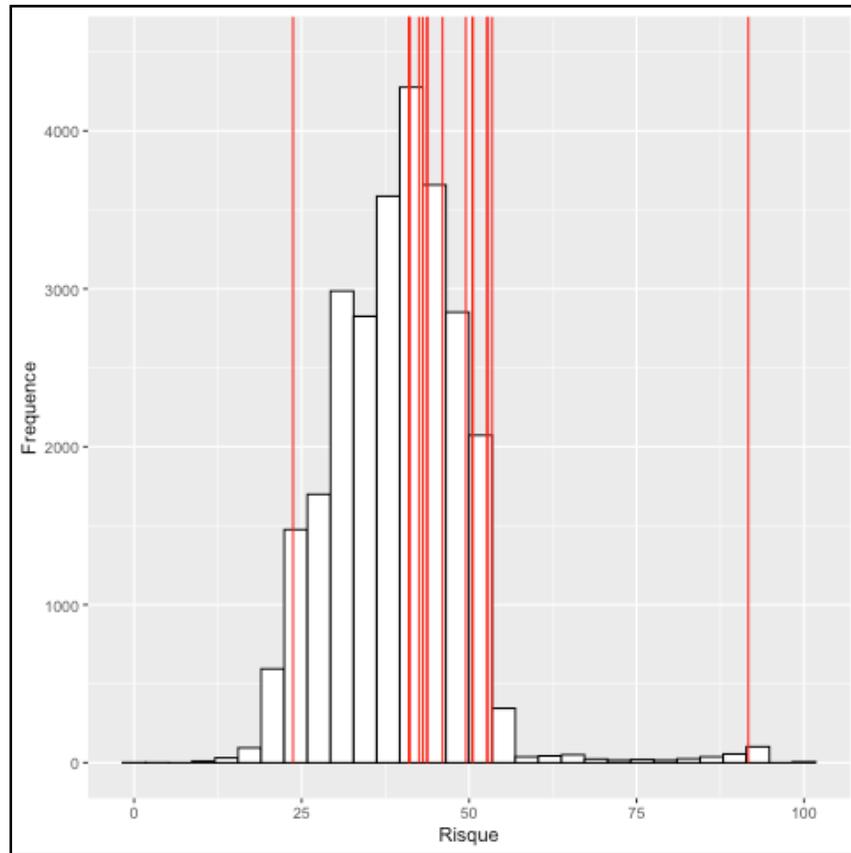
Par contre, au niveau de la région de Dakar, le risque d'apparition de la FVR est supérieur à 70% et cela pourrait s'expliquer par le commerce du bétail conditionné par :

- le fait que Dakar soit la capitale et que la consommation en viande est plus importante ;
- l'existence d'un grand marché à bétail et du plus grand abattoir du pays.

Aussi, la superposition de la carte de risque d'apparition avec les cas de FVR notifiés en 2019 montre que la majorité de ces foyers sont localisés au niveau des zones où le risque d'apparition est élevée (valeur supérieur à 60%). Il s'agit entre autres des régions de Saint-Louis et de Matam qui sont longées par le fleuve Sénégal avec une présence d'eau en permanence. Ces régions sont aussi frontalières avec le Mali et la Mauritanie où le mouvement du bétail est très important, qu'il soit d'origine transhumante ou commerciale.

En utilisant MapMCDA on a estimé le risque d'apparition de la FVR pour chaque pixel du raster, puis nous avons agrégé au niveau département en calculant la moyenne du risque du pixel à l'intérieur du département. On constate dans nos résultats que, la valeur médiane du risque est au tour de 40.0% (50% IC [32.5% ; 45.3%]). Ainsi, les foyers de FVR sont localisés sur des aires favorables à l'apparition de la maladie et les valeurs des pixels des sites associés se trouvent sur la moitié supérieure de la distribution des valeurs de pixels de la carte de risque (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Sur les seize (16) foyers notifiés en 2019, un seul est enregistré dans une

zone à bas niveau de risque, huit (8) foyers dans des zones à un niveau de risque très élevé (46% à 92%) et le reste dans des zones à un niveau de risque élevé (41% à 44%).



**Figure 12:** Distribution des valeurs du pixel de la carte de risque d'apparition de la FVR au Sénégal en 2019. Les lignes rouges représentent la valeur du pixel où des foyers de FVR ont été notifiés en 2019

## **Chapitre III. Discussions**

### **III.1. Méthodologie**

Lors de cette étude, nous avons passé en revue de nombreuses publications sur la FVR et ses facteurs de risque liés à son apparition et à sa propagation. Cette revue bibliographique a permis de classer les facteurs de risque en trois catégories (facteurs liés à l'activité humaine, environnementaux et climatiques). Par la suite, nous avons organisé un atelier avec tous les experts impliqués dans la surveillance de la FVR au Sénégal en vue de valider ces facteurs de risque. Au cours de cet atelier de validation, du fait de leurs expériences de terrain, les experts ont ajouté quelques facteurs de risque comme l'importance des festivités et la présence de la faune sauvage : durant les cérémonies religieuses, il y'a un mouvement commercial du bétail important qui peut être à l'origine de l'introduction de la FVR ; la présence de la faune sauvage pouvant donner naissance à des transmissions au niveau des animaux domestiques compte tenu de la possibilité des contacts entre les deux groupes d'animaux.

Par la suite, chaque groupe expert avait établi un calendrier saisonnier dans sa zone en prenant comme repère le dernier foyer de FVR en 2019. Cela nous a permis de décrire la situation de chaque région au moment de l'apparition de la maladie. Cette approche nous a permis de voir que les pics des cas de FVR notifiés sont enregistrés durant la saison des pluies (juillet-octobre). Pour chaque région, les experts ont pondéré les différents facteurs de risque selon leur importance dans le risque d'apparition de la FVR. Selon ces experts, la catégorie de facteur de risque environnementale jouait un rôle plus important dans le risque d'apparition de la FVR. Ce facteur est très important pour la dynamique des moustiques qui sont les vecteurs.

A l'issu de cet atelier, l'exploitation des données collectées sur le terrain à travers les enquêtes et les connaissances des experts sur la maladie ont permis de faire une évaluation spatiale du risque d'apparition de la FVR sur tout le territoire national en utilisant la méthode d'évaluation multicritères spatialisée (GIS-MCE).

La pertinence de cette approche participative est que toutes les informations utilisées pour évaluer le risque d'apparition de la FVR au Sénégal proviennent des agents de terrain. Ce qui rend plus fiable les résultats obtenus.

### **III.2. Résultats de carte d'apparition de la FVR**

La production de la carte de risque finale a fait intervenir l'utilisation des données liées aux différents facteurs de risque validés par les experts. En particulier pour cette activité nous avons dû analyser les données de mobilité animale, collectés lors des enquêtes en 2017 et 2019, pour évaluer son rôle dans l'apparition de la maladie.

Pour la mobilité animale, les résultats de notre étude ont permis de quantifier les mouvements du bétail liés à la transhumance et ceux liés au commerce. Ces résultats montrent que les mouvements du bétail d'origine commerciale sont plus importants que ceux d'origine transhumante et se déroulaient à une période bien spécifique de l'année. On enregistre deux (2) pics pour les mouvements commerciaux. Un premier pic intervient entre juin et août et concerne plus les petits ruminants. Cette augmentation de flux de petits ruminants pourrait s'expliquer par le fait que cette période correspond pour les années de 2018 et 2019 aux préparatifs de la célébration d'une cérémonie religieuse très importante pour les musulmans qu'est la fête de Tabaski. En effet, le jour de la Tabaski, chaque famille égorge un mouton pour les besoins de la fête. Le second pic de mouvement du bétail intéresse par contre les bovins et intervient au mois de septembre ce qui pourrait également être lié à la célébration d'une autre cérémonie religieuse le Magal de Touba, qui a eu lieu en 2019 au mois d'octobre. En effet, pour les besoins de cette cérémonie, beaucoup d'éleveurs et de disciples partent au Mali et en Mauritanie pour l'importation de bovin qui sont les plus abattus durant cette fête.

Aussi, au Sénégal, le système d'élevage extensif est prédominant surtout dans la zone agro-sylvo-pastorale. Ainsi, chaque année, les éleveurs empruntent les couloirs de transhumance à la recherche de pâturages et d'eaux pour nourrir leurs animaux. Ces mouvements, enregistrés à l'intérieur du pays et entre régions ont le double effet d'introduire la maladie à partir d'animaux infectés dans des zones naïves et/ou d'exposer des animaux susceptibles à la maladie dans des zones où il y a une circulation du virus. Dans tous les cas, ce type de mouvement pourraient être à l'origine de l'introduction de la FVR.

Ces résultats d'analyse de mobilité animale corroborent ceux obtenus par les auteurs comme (Hoogstraal et al., 1979 ; Balkhy et Memish, 2003 ; Abdo-Salem et al., 2011 et Lancelot et al., 2017). Selon ces derniers, le commerce du bétail peut affecter la répartition géographique de la FVR et contribuer à son introduction et à sa propagation dans des zones exemptes de maladie.

Ce rôle important de mobilité animale a été également mis en évidence lors de l'évaluation du risque d'introduction et d'exposition à la FVR au Sénégal en 2016 (**voir Annexe 5**). Au regard de cette évaluation, l'accessibilité des routes (primaires et secondaires), la présence de marchés et la densité animale ont été utilisées pour mettre en évidence le rôle de la mobilité animale. D'après leurs résultats, la mobilité animale constitue le facteur principal à l'origine de la dispersion de la maladie dans les régions du Sud, de l'Ouest et du Centre.

Concernant les différentes catégories de facteur de risque, il ressort de nos résultats que les facteurs environnementaux caractérisés généralement par la présence d'eaux, de pâturages et de moustiques constituent le facteur de risque le plus important dans le risque d'apparition de la FVR au Sénégal. Ces mêmes résultats ont été obtenus à travers les travaux de Soti en Afrique de l'ouest (Soti et al. 2013), et plus précisément dans le Ferlo, et ceux de Greboval en Afrique de l'Est et du Sud (Greboval, 2004). D'après Soti, le risque de transmission de la FVR était plus important au niveau des zones à proximité des mares. Et selon Greboval, les dambos, qui sont des formations édaphiques particulières situées dans les plaines des régions semi-arides d'Afrique de l'Est et du Sud constituant une source d'eau rare, quasi-permanente et fragile qui attire les hommes, les animaux ainsi que les moustiques favorisent la transmission de maladies vectorielles telles que la FVR. Et vient en second lieu, les facteurs climatiques (température, pluviométrie etc...) suivis des facteurs liés à l'activité humaine (présence de marchés, mobilité, transhumance etc...). Ces résultats corroborent également ceux obtenus par (Anderson Jr et al., 1989), selon qui en Afrique

de l'Est, l'apparition des épizooties de FVR a été reliée à la apparition de pluies surabondantes et ce, en particulier lorsqu'elles succèdent à des périodes de sécheresse prolongées.

Lors de l'évaluation de risque d'introduction et d'exposition de la FVR au Sénégal en 2016, la densité vectorielle (culex) a été prise en compte (**voir Annexe 5**). Par contre, dans notre étude, nous avons considéré les facteurs climatiques et environnementaux qui déterminent la présence de moustiques et par conséquent nous n'avons pas intégré la densité vectorielle.

Nos résultats de carte de risque finale montre que sur les quatorze (14) régions que compte le Sénégal, seule la région de Kédougou est à un niveau de risque faible (inférieur à 30%). Dans cette région, même si la pluviométrie est importante en terme de fréquence et d'intensité, et qu'on note la présence de fleuves et de pâturages en quantité suffisante, le risque d'apparition de la FVR est faible et cela, malgré le poids qui a été accordé par les experts aux catégories respectives. Cela pourrait s'expliquer par le fait que dans cette région la densité animale est faible et les activités d'élevage peu pratiquées par rapport aux autres régions.

Les résultats montrent également que les régions du Nord et du Centre sont à un niveau de risque élevé (indice supérieur à 40%). Il est important de noter que les régions du Centre (Fatick, Kaffrine, Kaolack, Louga et Thiès) représentent le Bassin arachidier. Dans ces régions, durant la saison des pluies, les éleveurs sont confrontés à des problèmes de pâturages liés à l'avancement du front agricole. Ces derniers sont contraints à transhumer vers le Nord durant cette période à la recherche de pâturages et de retourner dans leurs localités lors que les conditions le permettent, ce qui se traduit par un mouvement du bétail important. D'après la pondération des facteurs de risque par les experts, ce mouvement du bétail joue un rôle dans le risque d'apparition de la FVR au Sénégal. Ces résultats corroborent ceux de (Lancelot et al., 2017) qui ont montré le rôle de la transhumance sur la distribution de la FVR.

Une attention particulière a été accordée aux résultats des régions du Nord (Saint-Louis et Matam) où le risque d'apparition de la FVR est élevé (50 et 60%). Cette partie du pays est parcourue par le fleuve Sénégal, qui constitue une source d'eau permanente et de pâturages durant toute l'année attirant ainsi les animaux, l'homme et les moustiques par la même occasion. En plus, ces régions sont frontalières avec la Mauritanie et le Mali où le mouvement du bétail avec le Sénégal est important et avec plusieurs épizooties de FVR récemment déclarées. Ces conditions réunies pourraient expliquer le niveau de risque élevé dans ces régions. Selon les experts de terrain, les facteurs environnementaux jouent un rôle plus important que les autres facteurs dans le risque d'apparition de la FVR, ce qui correspond aux résultats de notre étude. Ces mêmes résultats ont été obtenus par (Greboval, 2004), selon qui la transmission de maladies vectorielles telles que la FVR serait liée à l'existence d'une source d'eau permanente.

S'agissant de la région de Dakar, les résultats de notre étude révèlent un niveau de risque très élevé (supérieur à 70%). Ces résultats pourraient s'expliquer par la mobilité commerciale avec l'existence d'un grand marché à bétail même si le système d'élevage de cette région est à prédominance intensif. Ces résultats rejoignent ceux de (Mondet et al., 2005), selon qui le commerce du bétail pour approvisionner les grandes villes côtières en viande rouge qui est accompagnée par la densité humaine et animale serait une condition favorable à l'apparition de la FVR.

Pour effectuer une première validation des résultats obtenus avec la méthode (GIS-MCE), nous avons superposé la carte des foyers notifiés de FVR en 2019 au Sénégal avec la carte de risque produite en prenant en compte les différents facteurs de risque. Cette superposition montre que plus de la moitié des cas notifiés sont situés au niveau des zones à risque élevé et très élevé, principalement au niveau de la région de Saint-Louis où il existe déjà des troupeaux sentinelles dans le cadre de la surveillance active de la FVR au Sénégal. Mais on constate également que d'autres cas de FVR ont été notifiés au niveau de la zone Sud (région de Sédhiou) et la zone centre à Koumpentoum où il n'existe pas de troupeaux sentinelles.

Au regard de ces résultats, il serait important de recommander à la Direction des Services vétérinaires d'élargir son réseau de troupeaux sentinelles au niveau des régions de Sédhiou et de Ziguinchor. Pour ce qui est de la région de Dakar, il ne serait peut-être pas pertinent d'y installer un troupeau sentinelle mais plutôt d'y programmer des enquêtes sérologiques au niveau des marchés et des abattoirs en vue de chercher des IgM au titre de la surveillance active de la FVR.

Au cours de notre travail, nous avons rencontré des difficultés liées à l'insuffisance de données de terrain. En effet, nous avons pu obtenir suffisamment de données récentes (2018-2019) avec les formulaires LPS et PIF à l'intérieur du pays et au niveau des frontières entre le Sénégal et les deux Guinées et la Gambie. Cependant, pour des raisons liées au contrainte de temps, nous n'avons utilisé que les données de mobilité animale issues de l'enquête de 2017 au niveau des frontières entre le Mali et la Mauritanie.

En fin, pour l'évaluation du risque d'apparition de la FVR en 2016 et en 2019, deux (2) méthodes d'analyse multicritères spatialisée ont été utilisées. Ainsi, une comparaison globale des résultats obtenus entre les deux évaluations montre qu'ils sont similaires même si certains les facteurs de risque climatiques et environnementaux n'ont pas été intégrés dans l'étude de 2016.

### **III.3. Perspectives**

La FVR est une maladie animale transfrontalière et endémique au niveau des régions du Nord et du Centre du Sénégal. La carte de risque produite à travers notre travail nous a permis de faire une estimation semi-quantitative du risque d'apparition de la FVR au Sénégal.

Il est important de noter que la carte de risque obtenue dans le cadre de cette étude doit être validée avant de la mettre à la disposition de la DSV. En effet, la robustesse du modèle doit être testé en modifiant les valeurs qui ont été attribuées à chaque facteur de risque par les experts et de voir dans quelle mesure les résultats de la carte de risque changeaient. Aussi, il serait pertinent toujours dans le cadre d'une validation de la carte de risque, de tenir un autre atelier en faisant participer plus d'agents de terrain public et privé en vue de vérifier si la pondération des facteurs de risque variait.

Pour mieux comprendre l'épidémiologie de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal et de détecter plus précocement une circulation du virus à bas brut, il serait bien de poursuivre ce travail dès que de nouvelles données sur la mobilité animale seront disponibles au niveau de la Direction des Services vétérinaires compte tenu de l'importance sanitaire et économique de cette maladie.

En fin, dans ce travail, nous avons essayé de prendre en compte le rôle de la faune sauvage dans l'évaluation du risque étant donné qu'un foyer a été notifié en 2013 au niveau de la réserve de Gueumbeul située dans la région de Saint-Louis qui est une zone à risque élevé. Cet aspect n'a pas

été très visible dans nos résultats. Il serait intéressant d'élargir le champ de recherche en effectuant des prélèvements chez les animaux sauvages des réserves (p.e. Gazelles Dorcas) et chez les ruminants domestiques vivants aux alentours dans le cadre de la surveillance active et de comparer leur statut immunitaire avec ceux des autres animaux domestiques afin de voir si réellement la faune sauvage joue un rôle dans l'épidémiologie de la FVR au Sénégal.

## **Conclusions**

L'évaluation du risque d'apparition de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal qui est présentée sur ce travail a été réalisée selon une approche d'évaluation multicritère spatialisée (GIS-MCE). C'est un outil d'aide à la prise de décision qui intègre une analyse de décision multicritère dans un Système d'information géographique. Cette approche nécessite la consultation des experts de la maladie et plus précisément l'identification de facteurs de risque liés à son apparition et à sa propagation.

Pour la réalisation de ce travail, nous avons analysé les données de mobilité animale qui ont été collectées lors des enquêtes de 2017 et de 2019 au niveau du territoire national mais également au niveau des frontières entre le Sénégal et le Mali, la Mauritanie, la Guinée-Bissau, la Guinée et la Gambie et nous l'avons combiné avec les données d'autres facteurs de risque de type environnemental et climatique.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que sur presque l'ensemble du territoire national, le risque d'apparition de la FVR est élevé (supérieur à 40%). Ce risque est plus élevé (50% et 60%) au niveau des régions de Matam et de Saint-Louis où la maladie est endémique. Il est très élevé (supérieur à 70%) dans la région de Dakar. On note également la présence de la FVR en 2019 en dehors de sa zone habituelle, ce qui fait penser à une circulation à bas bruit de la maladie.

Enfin, dans le cadre de cette étude, des scripts R ont été produits et pourront servir à la production d'autres cartes de risque toujours dans le cadre de la surveillance active de la FVR ou pour d'autres maladies animales prioritaires de la Direction des Services vétérinaires. Ces scripts sont disponibles au besoins. Toutes les données utilisées pour le développement de la carte sont mises en commun dans le contexte du projet de Jumelage OIE/CIRAD et ISRA.

## Références Bibliographiques

- Abd, IH el-Rahim, U el-Hakim Abd, et M Hussein. 1999. « An epizootic of Rift Valley fever in Egypt in 1997. » *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 18 (3): 741–748.
- Abdo-Salem, Shaif, Annelise Tran, Vladimir Grosbois, Guillaume Gerbier, Mansoor Al-Qadasi, Khalid Saeed, Eric Etter, Etienne Thiry, François Roger, et Véronique Chevalier. 2011. « Can environmental and socioeconomic factors explain the recent emergence of Rift Valley fever in Yemen, 2000–2001? » *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 11 (6): 773–779.
- Anderson Jr, GW, J-F Saluzzo, TG Ksiazek, JF Smith, W Ennis, D Thureen, CJ Peters, et JP Digoutte. 1989. « Comparison of in vitro and in vivo systems for propagation of Rift Valley fever virus from clinical specimens ». *Research in virology* 140: 129–138.
- Arsevska, Elena, Catherine Cêtre-Sossah, Bezeid El Mamy, et Renaud Lancelot. 2016. « Situation épidémiologique de la fièvre de la vallée du Rift en Afrique de l’Ouest et du Nord ». *Bulletin épidémiologique*, juin, 9.
- Aubry, Pierre, et Bernard-Alex Gauzère. 2019. « Fièvre de la Vallée du Rift », 3.
- Balkhy, Hanan H, et Ziad A Memish. 2003. « Rift Valley fever: an uninvited zoonosis in the Arabian peninsula ». *International journal of antimicrobial agents* 21 (2): 153–157.
- Bird, Brian H, Marina L Khristova, Pierre E Rollin, Thomas G Ksiazek, et Stuart T Nichol. 2007. « Complete genome analysis of 33 ecologically and biologically diverse Rift Valley fever virus strains reveals widespread virus movement and low genetic diversity due to recent common ancestry ». *Journal of virology* 81 (6): 2805–2816.
- Bird, Brian H, Thomas G Ksiazek, Stuart T Nichol, et N James MacLachlan. 2009. « Rift Valley fever virus ». *Journal of the American Veterinary Medical Association* 234 (7): 883–893.
- Biteye, Biram, Assane G. Fall, Mamadou Ciss, Momar T. Seck, Andrea Apolloni, Moussa Fall, Annelise Tran, et Geoffrey Gimonneau. 2018. « Ecological Distribution and Population Dynamics of Rift Valley Fever Virus Mosquito Vectors (Diptera, Culicidae) in Senegal ». *Parasites & Vectors* 11 (1): 27. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2591-9>.
- Carver, Stephen J. 1991. « Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems ». *International Journal of Geographical Information System* 5 (3): 321–339.
- CDC. 2019. « Résumés sur les épidémies | Fièvre de la vallée du Rift (FVR) | CDC ». 15 février 2019. <https://www.cdc.gov/vhf/rvf/french/outbreaks/epidemies.html>.
- Cêtre-Sossah, Catherine, Aurélie Pédarrieu, Hélène Guis, Cédric Defernez, Michele Bouloy, Jacques Favre, Sébastien Girard, Eric Cardinale, et Emmanuel Albina. 2012. « Prevalence of Rift Valley fever among ruminants, Mayotte ». *Emerging infectious diseases* 18 (6): 972.
- Chakhar, Salem, et Vincent Mousseau. 2008. « Multicriteria Decision Making, Spatial ». In *Encyclopedia of GIS*, édité par Shashi Shekhar et Hui Xiong, 747-53. Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1\\_839](https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_839).
- Chevalier, Véronique, Michel Pépin, Ludovic Plee, et Renaud Lancelot. 2010. « Rift Valley fever—a threat for Europe? » *Euro Surveill* 15 (10): 18–28.
- Daubney, R, JR Hudson, et PC Garnham. 1931. « Enzootic hepatitis or Rift Valley fever. An undescribed virus disease of sheep cattle and man from East Africa ». *The Journal of pathology and bacteriology* 34 (4): 545–579.
- Di Nardo, Antonello, Davide Rossi, Saleh M Lamin Saleh, Saleh M Lejlifa, Sidumu J Hamdi, Annapia Di Gennaro, Giovanni Savini, et Michael V Thrusfield. 2014. « Evidence of rift

- valley fever seroprevalence in the Sahrawi semi-nomadic pastoralist system, Western Sahara ».
- Digoutte, JP, et al. 1974. « Le virus zinga (Ar B 1976), nouveau prototype d'arbovirus isolé en République Centrafricaine ».
- Diop, Gora, Thiongane Yaya, Thonnon Jocelyn, Fontenille Didier, Diallo Maoulouth, Sall Amadou, Theodore D Ruel, et Jean-Paul Gonzalez. 2000. « The potential role of rodents in the enzootic cycle of Rift Valley fever virus in Senegal ». *Microbes and infection* 2 (4): 343–346.
- El Mamy, Ahmed B, Modou M Lo, Yaya Thiongane, Mariame Diop, Katia Isselmou, Baba Doumbia, Mohammed Ould Baba, et al. 2014. « Comprehensive phylogenetic reconstructions of Rift Valley fever virus: the 2010 northern Mauritania outbreak in the *Camelus dromedarius* species ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 14 (12): 856–861.
- El-Harrak, Mehdi, Raquel Martín-Folgar, Francisco Llorente, Paloma Fernández-Pacheco, Alejandro Brun, Jordi Figuerola, et Miguel Ángel Jiménez-Clavero. 2011. « Rift Valley and West Nile virus antibodies in camels, north Africa ». *Emerging infectious diseases* 17 (12): 2372.
- FAO. 2011. « Fièvre de la Vallée du Rift ». <https://www.oie.int/doc/ged/d13964.pdf>.
- Fontenille, D, M Traoré-Lamizana, J Diallo, J Thonnon, JP Digoutte, et HC Zeller. 1998. « Nouveaux vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift en Afrique de l'Ouest ». *Emerging Infectious Diseases* 4 (2): 289–293.
- Gerdes, GH, et others. 2004. « Rift valley fever ». *Revue scientifique et technique-Office International des Epizooties* 23 (2): 613–624.
- Greboval, Mélanie. 2004. « Facteurs environnementaux influençant la dynamique des vecteurs du virus de la fièvre de la vallée du Rift : conséquences pour la modélisation de la maladie ». Other. <https://oatao.univ-toulouse.fr/1948/>.
- Health, EFSA Panel on Animal, et Welfare (AHAW). 2013. « Scientific opinion on Rift Valley fever ». *EFSA Journal* 11 (4): 3180.
- Hoogstraal, Harry, James M Meegan, Galila M Khalil, et Fatma K Adham. 1979. « The Rift Valley fever epizootic in Egypt 1977–1978 2. Ecological and entomological studies ». *Transactions of the Royal Society of tropical Medicine and Hygiene* 73 (6): 624–629.
- Jacques-André, , Jean-Pierre LACAUX 3, et et Amadou Thierno GAYE 4. 2008. « Variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie et émergence de la fièvre de la vallée du Rift dans la vallée du Fleuve Snégale : Nouvelles considérations ». [http://lodel.irevues.inist.fr/climatologie/docannexe/file/794/83\\_dione.pdf](http://lodel.irevues.inist.fr/climatologie/docannexe/file/794/83_dione.pdf).
- Jouan, A, I Coulibaly, F Adam, B Philippe, O Riou, B Leguenno, R Christie, N Ould Merzoug, Thomas Ksiazek, et JP Digoutte. 1989. « Analytical study of a Rift Valley fever epidemic ». *Research in virology* 140: 175–186.
- Jouan, A, B Le Guenno, JP Digoutte, B Philippe, O Riou, et F Adam. 1988. « An RVF epidemic in Southern Mauritania [Rift Valley Fever] ». *Annales de l'Institut Pasteur Virology (France)*.
- KA, Alioune. 2018. « Modélisation de la mobilité animale en relation avec les maladies contagieuses : cas de la fièvre catarrhale ovine. » DAKAR: ENSAE.
- Kenawy, Mohamed A, Yousrya M Abdel-Hamid, et John C Beier. 2018. « Rift Valley Fever in Egypt and other African countries: Historical review, recent outbreaks and possibility of disease occurrence in Egypt ». *Acta tropica* 181: 40–49.
- Lancelot, Renaud, et al. 2009. « Animaux sentinelles en milieu tropical: vers un système intégré de surveillance ». *Epidémiologie et santé animale* 56: 27–34.

- Lancelot, Renaud, Marina Béal, Vincent Michel Rakotoharinome, Soa-Fy Andriamandimby, Jean-Michel Héraud, Caroline Coste, Andrea Apolloni, et al. 2017. « Drivers of Rift Valley fever epidemics in Madagascar ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (5): 938–943.
- Lancelot, Renaud, Jean-Paul Gonzalez, B Le Guenzo, BC Diallo, Yelly Gandega, et M Guillaud. 1989. « Epidémiologie descriptive de la fièvre de la vallée du Rift chez les petits ruminants dans le Sud de la Mauritanie après l'hivernage 1988 ».
- Linthicum, Kenneth J, Seth C Britch, et Assaf Anyamba. 2016. « Rift Valley fever: an emerging mosquito-borne disease ». *Annual review of entomology* 61: 395–415.
- Logan, TM, KJ Linthicum, PC Thande, JN Wagateh, GO Nelson, et CR Roberts. 1991. « Egg hatching of Aedes mosquitoes during successive floodings in a Rift Valley fever endemic area in Kenya. » *Journal of the American Mosquito Control Association* 7 (1): 109–112.
- Loum Gazida, Rahila. 2019. « Contribution au contrôle de la PPR au Sénégal : Etablissement de la situation de référence du statut immunitaire du Cheptel ». DAKAR.
- Madani, Tariq A, Yagob Y Al-Mazrou, Mohammad H Al-Jeffri, Amin A Mishkhas, Abdullah M Al-Rabeah, Adel M Turkistani, Mohammad O Al-Sayed, et al. 2003. « Rift Valley fever epidemic in Saudi Arabia: epidemiological, clinical, and laboratory characteristics ». *Clinical Infectious Diseases* 37 (8): 1084–1092.
- Malczewski, Jacek. 1999. *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.
- Marina, BERAL. 2012. « Incidence serologique de la fièvre de la vallée du Rift chez les ruminants domestiques dans l'archipel des Comores et à Madagascar ». [http://agritrop.cirad.fr/565519/1/document\\_565519.pdf](http://agritrop.cirad.fr/565519/1/document_565519.pdf).
- Mariner, Jeffrey. 2019. *Surveillance de la fièvre de la Vallée du Rift*.
- Mathiot, C, JJ Ribot, Y Clerc, P Coulanges, et N Rasolofonirina. 1984. « Rift valley fever and Zinga virus: a pathogenic arbovirus in man and animal new for Madagascar ». *Archives de l'Institut Pasteur de Madagascar* 51 (1): 125–133.
- Mondet, Bernard, Amadou Diaïté, Assane Gueye Fall, et Véronique Chevalier. 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) ». *Environnement, Risques & Santé* 4 (2): 125–129.
- Morvan, J, D Fontenille, JF Saluzzo, et P Coulanges. 1991. « Possible Rift Valley fever outbreak in man and cattle in Madagascar ». *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 85 (1): 108–108.
- Ndione, Jacques-André, Mbaye Diop, Jean-Pierre Lacaux, et Amadou Thierno Gaye. 2008. « Variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie et émergence de la fièvre de la vallée du Rift dans la vallée du fleuve Sénégal : nouvelles considérations ». *Climatologie*, n° Volume 5 (janvier): 83-97. <https://doi.org/10.4267/climatologie.794>.
- Niang, A.B. 2004. « Réussite de la privatisation de services réalisés par des paraprofessionnels dans le cadre de systèmes d'élevage traditionnels : l'exemple du Sénégal: -EN- -FR- -ES- ». *Revue Scientifique et Technique de l'OIE* 23 (1): 341-49. <https://doi.org/10.20506/rst.23.1.1482>.
- Olive, Marie-Marie, Steven M Goodman, et Jean-Marc Reynes. 2012. « The role of wild mammals in the maintenance of Rift Valley fever virus ». *Journal of wildlife diseases* 48 (2): 241–266.
- Ould EL Mamy, Ahmed Bezeid. 2011. « Généralités sur la fièvre de la vallée du Rift ». Présenté à 5ème colloque International francophone de Microbiologie Animale, Marrakech du 03 au 06 avril 2011, Marrakech, avril.

- [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/remesa/docs/RELABSA/Marrakech\\_Avril\\_2011/Marrakech\\_20110404\\_FVR\\_MR.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/remesa/docs/RELABSA/Marrakech_Avril_2011/Marrakech_20110404_FVR_MR.pdf).
- Pin-diop, Raphaëlle. 2006. « Spatialisation du risque de transmission de Fièvre de la Vallée du Rift en milieu agropastoral sahélien du Sénégal septentrional To cite this version : HAL Id : tel-00090785 ».
- Ruget, Anne-Sophie, Annelise Tran, Agnès Waret-Szkuta, Youssouf Ousseni Moutroifi, Onzade Charafouddine, Eric Cardinale, Catherine Cêtre-Sossah, et Véronique Chevalier. 2019. « Spatial Multicriteria Evaluation for Mapping the Risk of Occurrence of Peste Des Petits Ruminants in Eastern Africa and the Union of the Comoros ». *Frontiers in Veterinary Science* 6 (décembre): 455. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00455>.
- Sene, Seckène, Amadou FALL Diouf, Mady Dansokho, Idrissa Diagne, Mamadou Balde, Oumar Sene, Insa Sadio, et al. 2016. « Situation Economique et sociale du Sénégal en 2016 », 372.
- Shoemaker, Trevor, Carla Boulianne, Martin J Vincent, Linda Pezzanite, Mohammed M Al-Qahtani, Yagub Al-Mazrou, Ali S Khan, et al. 2002. « Genetic analysis of viruses associated with emergence of Rift Valley fever in Saudi Arabia and Yemen, 2000-01 ». *Emerging infectious diseases* 8 (12): 1415.
- Soti, Valérie, Véronique Chevalier, Jonathan Maura, Agnès Bégué, Camille Lelong, Renaud Lancelot, Yaya Thiongane, et Annelise Tran. 2013. « Identifying landscape features associated with Rift Valley fever virus transmission, Ferlo region, Senegal, using very high spatial resolution satellite imagery ». *International Journal of Health Geographics* 12 (mars): 10. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-10>.
- Swanepoel, R, et JAW Coetzer. 2004. « Rift valley fever ». *Infectious diseases of livestock 2*: 1037–1070.
- Thiongane, Y, JP Gonzales, A Fati, et JA Akakpo. 1991. « Changes in Rift Valley fever neutralizing antibody prevalence among small domestic ruminants following the 1987 outbreak in the Senegal River basin ». *Research in virology* 142 (1): 67–70.
- Thiongane, Y, J Thonnon, H Zeller, MM Lo, A Faty, F Diagne, J Gonzalez, JA Akakpo, Didier Fontenille, et JP Digoutte. 1998. « Données récentes de l'épidémiologie de la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) au Sénégal ». *Dakar Médical: Bulletin de la Société Médicale d'Afrique Noire de Langue Française*, n° Spécial Quarantenaire 1996: 1–6.
- Thiongane, Y, H Zeller, MM Lo, NA FATI, JA Akakpo, et J-P GONZALEZ. 1994. « Baisse de l'immunité naturelle vis-avis de la fièvre de la vallée du rift chez les ruminants du Bassin versant du Fleuve Sénégal après l'épizootie de 1987 ». *Bulletin de la Société de pathologie exotique* 87 (1): 5–6.
- Turell, Michael J, et Charles L Bailey. 1987. « Transmission studies in mosquitoes (Diptera: Culicidae) with disseminated Rift Valley fever virus infections ». *Journal of medical entomology* 24 (1): 11–18.
- Wilson, Mark L, Louisa E Chapman, David B Hall, Elizabeth A Dykstra, Khalilou Ba, Herve G Zeller, Moumouni Traore-Lamizana, Jean-Paul Hervy, Kenneth J Linthicum, et CJ Peters. 1994. « Rift Valley fever in rural northern Senegal: human risk factors and potential vectors ». *The American journal of tropical medicine and hygiene* 50 (6): 663–675.
- Zeller, Herve G, Didier Fontenille, Moumouni Traore-Lamizana, Yaya Thiongane, et Jean-Pierre Digoutte. 1997. « Enzootic activity of Rift Valley fever virus in Senegal ». *The American journal of tropical medicine and hygiene* 56 (3): 265–272.

**Annexe 1 :****Tableau 1 :** Comparaison par catégorie de facteur de risque pour la région de Matam

	Humaine: présence marchés, mobilité, transhumance	Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	Climatique Température, Pluviométrie etc...
Humaine: présence marchés, mobilité, transhumance	1	1/9	1/5
Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	9	1	7
Climatique Température, Pluviométrie etc...	5	7	1

**Tableau 2 :** Comparaison par catégorie de facteur de risque pour la région Tambacounda

	Humaine: présence marchés, mobilité, transhumance	Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	Climatique Température, Pluviométrie etc...
Humaine: présence marchés, mobilité, transhumance	1	1/9	1/7
Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	9	1	5
Climatique Température, Pluviométrie etc...	7	1/5	1

**Tableau 3 :** Comparaison par catégorie de facteur de risque pour la région de Saint-Louis

	Humaine: présence marché, mobilité, transhumance	Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	Climatique Température, Pluviométrie etc...
Humaine: présence marché, mobilité, transhumance	1	1/9	1/7
Environnementale: présence d'eau, mares, pâturage	9	1	7
Climatique Température, Pluviométrie etc...	7	1/7	1

**Annexe 2 :**

**Enquête 2017 :** Questionnaire enquête (éleveurs/engraissement )

**Questionnaire enquête (mouvements illégaux (éleveurs/engraissement )**

Nom de l'enquêteur : .....

Qualité.....Date de l'enquête : .....

Lieu de l'enquête : Village ..... Commune: .....

Département : ..... Région : .....

<b>Type ?</b>	<b>Espèces</b>
Naisseur	B – Bovins
Engraisseur	C – Caprins
Naisseur-engraisseur	O – Ovins
	Cm–Camélidés

Eleveur (1,2,3...)	Type *	Espèces *	Race(s)	Nombre Approxi matif	Mode de transport	Origin e	Période	Destination


Enquête 2017 : Questionnaire\_PIF

### Questionnaire enquête mouvements illégaux (Vétérinaires)

Nom de l'enquêteur : .....

Qualité.....Date de l'enquête : .....

Lieu de l'enquête : Village ..... Commune : .....

Département : ..... Région : .....

<u>Type ?</u>	<u>Espèces</u>	<u>Type d'origine :</u>	<u>Type de destination :</u>	<u>Fréquence :</u>
Naisseur	B – Bovins	Eleveur	Eleveur	Mensuelle
Engraisseur	C – Caprins	MAB	MAB	Hebdomadaire
Naisseur-engraisseur	O – Ovins	Maquignon	Maquignon	Semestrielle
Maquignon	Cm–Camélidés		Abattoirs/bouchers	Trimestrielle Annuelle

Vétérinaires (1,2,3,4...)	Type	Espèces	Race(s)	Nombre approximatif	Période/date	Origine (commune/imada)	Mode de transport	Type d'origine	Destination	Type de destination

**Enquête 2017 : Questionnaire enquête (éleveurs/Maquignons)**

**ENQUÊTE ORIGINE / DESTINATION (Eleveurs/Maquignons)**

**Nom de l'enquêteur :** .....

**Qualité.....Date de l'enquête :** .....

**Lieu de l'enquête : Village .....** **Commune :** .....

**Département :** ..... **Région :** .....

<u>Type ?</u>	<u>Espèces</u>	<u>Type d'origine :</u>	<u>Type de destination :</u>	<u>Fréquence :</u>
Naisseur	B – Bovins	Eleveur	Eleveur	Mensuelle
Engraisseur	C – Caprins	MAB	MAB	Hebdomadaire
Naisseur-engraisseur maquignon	O – Ovins	Maquignon	Maquignon Abattoirs/bouchers	Semestrielle Trimestrielle Annuelle

Numéro éleveur	GPS éleveurs		Type	Espèces	Race(s)	Nombre approximatif	Mode de transport	Fréquence	Origine	Type d'origine	Destination	Type de destination
	X	Y										

### Annexe 3 :

### Enquête 2019 : Formulaire LPS

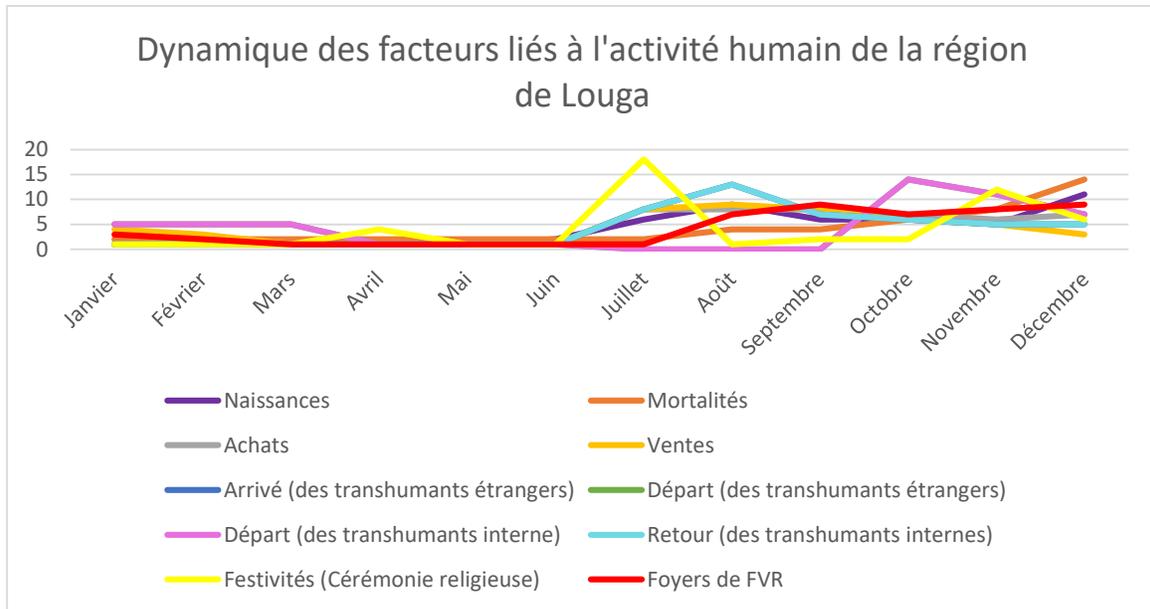
type	name	label	hint	read_only	required	appearanc	constraint	constraint	choice_filt	calculator	relevant	\$given_na
start	start											
end	end											
date	Date_de_c	Date de l'enquête		false	true							
select_one	operation	Quelle opération voulez-vous e			true	horizontal-compact						
integer	Numero_l	Numéro la	Sans les 0	false	true		Numéro ir . > 0 and . <= 999999					
begin_group	grp_agent	Informations agent			false							
text	Nom_ager	Nom de l'agent		false	true							
select_one	region	Choisissez la région			true	minimal						
select_one	departem	Choisissez la département			true	minimal			sub1=\${region}			
select_one	commune	Choisissez la commune			true	minimal			sub2=\${departement}			
calculate	_version				false					'vnSZLVQI4RKYwJgCrWu9c7'		
text	poste_vet	Nom du poste vétérinaire			true							
geopoint	GPS_pv	Coordonnées GPS			true							
end_group												
begin_group	grp_infos	Informations propriétaire ou cc			false							\${operation_choisie}
text	Nom_pro	Nom		false	true							
text	Numero_c	Numéro CIN			false		Numéro d regex(.,'^[0-9]{13}\$')					
text	Adresse	Adresse		false	false							
integer	Telephone	Téléphone		false	false		Numéro d regex(.,'^[0-9]{9}\$')					
end_group												
begin_group	grp_origin	Origine du troupeau			false							\${operation_choisie}
select_one	region_1	Choisissez la région			true	minimal						
select_one	departem	Choisissez la département			true	minimal			sub1=\${region_1}			
select_one	commune	Choisissez la commune			true	minimal			sub2=\${departement_1}			
calculate	_version_001				false					'vnSZLVQI4RKYwJgCrWu9c7'		
geopoint	GPS_origir	Coordonnées GPS			false							
end_group												
begin_group	grp_destir	Destination du troupeau			false							\${operation_choisie}
select_one	region_2	Choisissez la région			true	minimal						
select_one	departem	Choisissez la département			true	minimal			sub1=\${region_2}			
select_one	commune	Choisissez la commune			true	minimal			sub2=\${departement_2}			
calculate	_version_002				false					'vnSZLVQI4RKYwJgCrWu9c7'		
geopoint	GPS_desti	Coordonnées GPS			false							
end_group												
begin_group	grp_infos	Informations chauffeur			false							\${operation_choisie}
text	Nom_cha	Nom		false	false							
integer	Numero_r	Numéro permis		false	false		Numéro doit comporter 8 chiffres					
text	Numero_v	Numéro v iex: DK198		false	false							
end_group												
begin_group	grg_depla	Déplacement et transport			false	field-list						
select_one	motif_imp	Motif déplacement		false	true							\${operation_choisie}
select_one	Moyen_tr	Moyen de transport		false	true	horizontal-compact						\${operation_choisie}
end_group												
begin_group	grp_espec	Informations de l'espèce			false	field-list						\${operation_choisie}
select_one	espece	Espèce		false	true	minimal						
integer	Nombre_c	Nombre de mâles			true							
integer	Nombre_f	Nombre de femelles			true							
calculate	total_effectif				false							\${(Nombre_de_males)+\$(Nomb
integer	Effectif_to	Effectif total troupeau calculé e			true		Valeur inc					\${(Effectif_total_calcule)=\$(total_effectif)}
end_repeat												
begin_group	grp_poste	INFORMATIONS POSTE DE TRAI			false							\${operation_choisie}
select_one	Poste_vet	Poste vétérinaire de transit			true	horizontal-compact						
datetime	Date_heu	Date et heure d'arrivée			true							
datetime	Date_heu	Date et heure de départ			true		Date et he					\${(Date_heure_arrivee)}<=\${(Date_heure_depart)}
end_group												
text	observatic	observations			false							
calculate	_version__				false							'vTkvhwew9V2WRseGcCFgig'
calculate	_version_											'v6QWAp8y7w7iHLiè__version_

# Enquête 2019 : Formulaire PIF

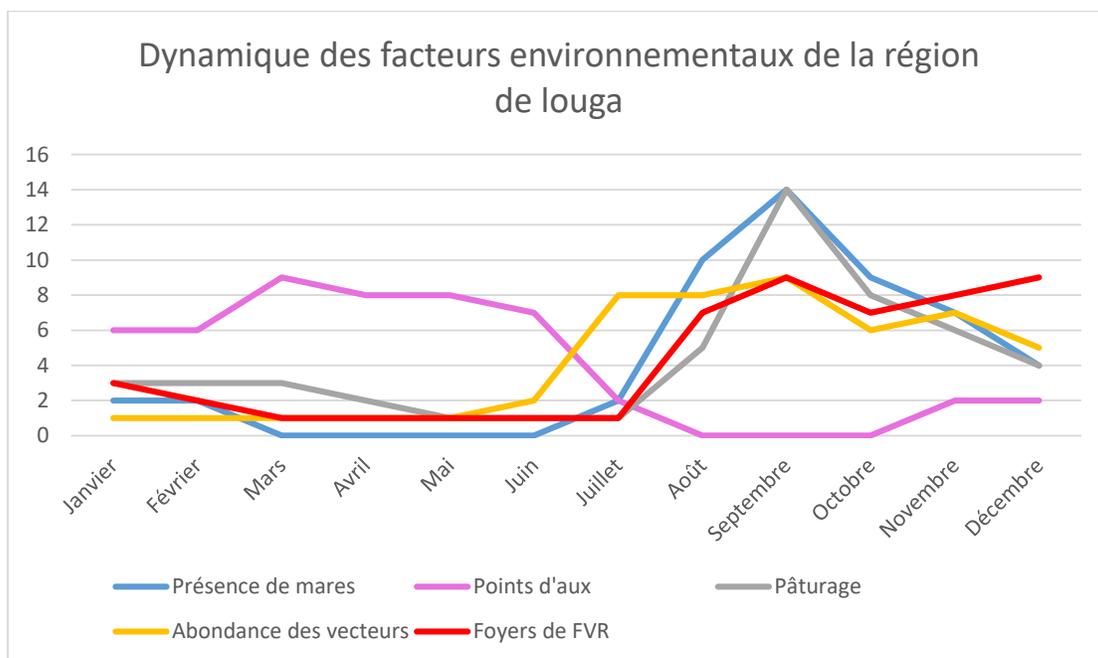
type	name	label	hint	read_only	required	appearan	relevant	choice_filt	calculator	constraint	constraint	\$given_na
start	start											
end	end											
date	Date_enq	Date de l'enquête		false	true							
begin_group	grp_pif	Informations PIF			false							
select_one	type_PIF	Type		false	true	horizontal-compact						
select_one	Preciser_Le	Préciser le port		false	true	horizontal		{type_PIF} = 'maritime'				
text	Nom_de_l	Nom de l'agent		false	true							
select_one	region	Choisissez la région			true	minimal						
select_one	departem	Choisissez le département			true	minimal		sub1={region}				
select_one	commune	Choisissez la commune			true	minimal		sub2={departement}				
calculate	_version				false							'vnSZLVQi4RKYwJgCrWu9c7'
text	pv_service	Nom du poste vétérinaire		false	true			{type_PIF} = 'terrestre'				
geopoint	GPS_du_P	Coordonnées GPS du Poste			true							
end_group												
select_one	Frequence	Fréquence des mouvements			true							
select_one	Type_ope	Type d'opération		false	true	horizontal-compact						
select_one	div1_001	Choisissez Si c'est export = dest		false	false	minimal						
select_one	div2_001	Choisissez Si c'est export = dest		false	false	minimal		div11={div1_001}				
select_one	div3_001	Choisissez Si c'est export = dest		false	false	minimal		{div2_00} div22={div2_001}				
select_one	div4_001	Choisissez Si c'est export = dest		false	false	minimal		{div2_00} div33={div3_001}				
geopoint	GPS_0	Coordonn Si c'est ex		false	false							
select_one	region_1	Choisissez Si c'est export = origi			true	minimal						
select_one	departem	Choisissez Si c'est export = origi			true	minimal		sub1={region_1}				
select_one	commune	Choisissez Si c'est export = origi			true	minimal		sub2={departement_1}				
calculate	_version_001				false							'vnSZLVQi4RKYwJgCrWu9c7'
geopoint	GPS_1	Coordonn Si c'est ex		false	false							
text	proprietai	Nom propriétaire (in		false	true							
begin_rep_group	group_tro	INFORMATIONS TROUPEAU			false	field-list						
select_one	Espece	Espèce		false	true	minimal						
text	Apreciser	Préciser autre espèce		false	true			{Espec} = 'autre'				
integer	Effectif_to	Effectif total d'animaux			true							
select_one	motif_imp	Motif		false	true	minimal						
text	autre_mo	Préciser autre motif		false	true			{motif_importat} = 'autre'				
select_one	Mode_tra	Mode de transport		false	true	horizontal		{Type_operation} = 'import-entree' or {Type_operation} = 'ex				
select_one	Quarantai	Quarantaine		false	true	horizontal-compact						
select_one	qMad1	Choisissez votre la maladie sus			true	minimal		{Quarantaine} = 'oui'				
select_multi	liste_signe	Choisissez les signes			true	minimal		{Quarantmad1}={qMad1}				
text	autres_sig	Préciser autres signes			true			{qMad1} = 'Autre'				
select_multi	liste_lesio	Choisissez les lésions			false	minimal		{Quarantmad1}={qMad1}				
text	autres_les	Préciser autres lésions			true			{qMad1} = 'Autre'				
integer	Nbre_anir	Nbre d'animaux mis		false	true			{Quarantaine} = 'oui'				{Nbre_ar} Nombre d'animaux e
select_one	Preleveme	Prélèvement effectué		false	true	horizontal		{Quarantaine} = 'oui'				
select_multi	Echantillo	Echantillon			true	minimal		{Prelevement_effectue} = 'oui'				
text	Autre_ech	Autre echantillon			true			selected({Echantillon_prelev}, 'autre')				
text	Comment	Commentaire quarant		false	false							
select_one	Vaccinatio	Vaccination antérieure		false	true	horizontal-compact						
select_one	Maladiesu	Maladie vaccinée ant		false	true	minimal		{Vaccination_anterieure1} = 'oui'				
date	Date1	Date		false	false			{Vaccination_anterieure1} = 'oui'				
select_one	Vaccinatio	Vaccination antérieure		false	true	horizontal-compact						
select_one	Maladiesu	Maladie vaccinée ant		false	true	minimal		{Vaccination_anterieure2} = 'oui'				
date	Date2	Date		false	false			{Vaccination_anterieure2} = 'oui'				
select_one	Vaccinatio	Vaccination antérieure		false	true	horizontal-compact						
select_one	Maladiesu	Maladie vaccinée ant		false	true	minimal		{Vaccination_anterieure3} = 'oui'				
date	Date3	Date		false	false			{Vaccination_anterieure3} = 'oui'				
end_repeat												
text	Observatio	Observations		false	false	multiline						
calculate	_version__				false							'vt2m8E3VuvYfSiffHapwor'
calculate	_version_											'vxaFJPdN4S5Mck3Y4v2fvY'
												__version_

## Annexe 4 :

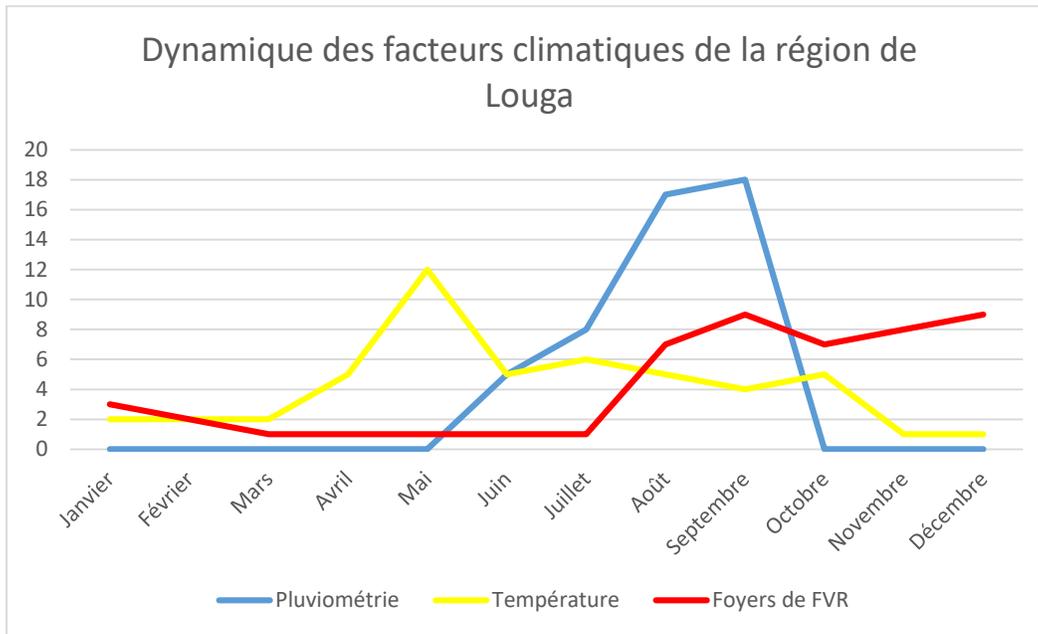
**Tableau 1 :** Dynamique des facteurs liés à l'activité humain de la région de Louga



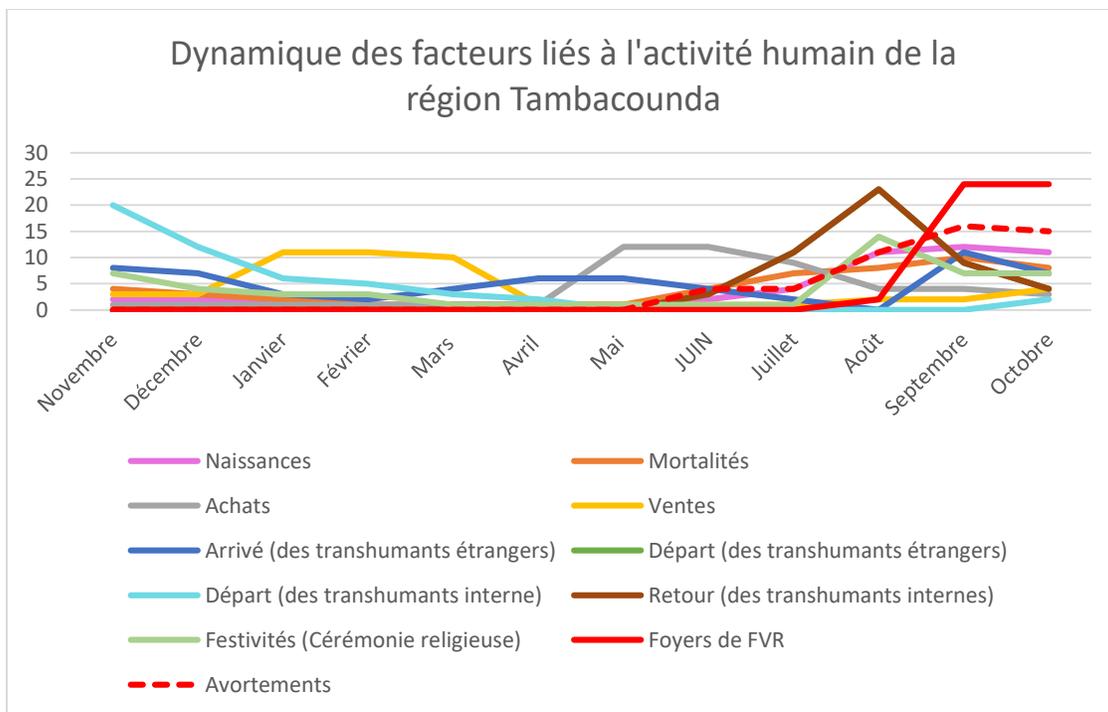
**Tableau 2 :** Dynamique des facteurs environnementaux de la région de Louga



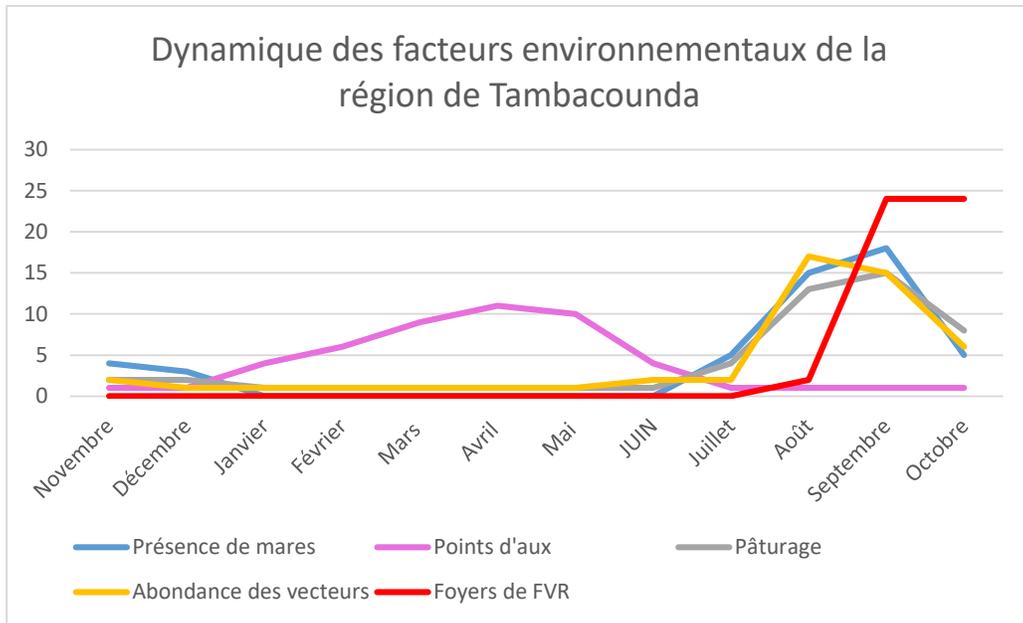
**Tableau 3 : Dynamique des facteurs climatiques de la région de Louga**



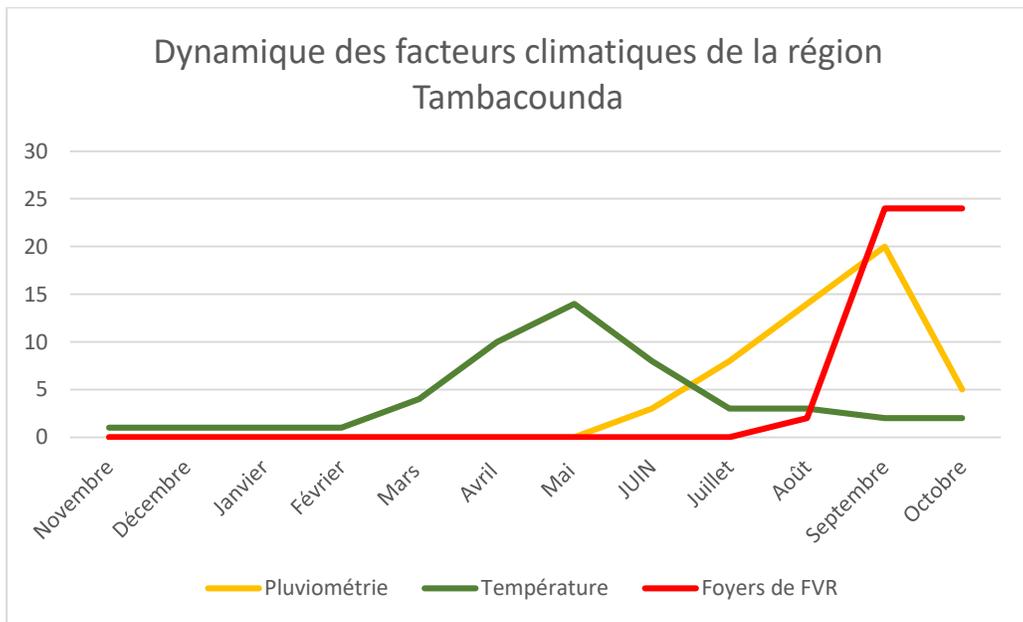
**Tableau 4 : Dynamique des facteurs liés à l'activité humain de la région Tambacounda**



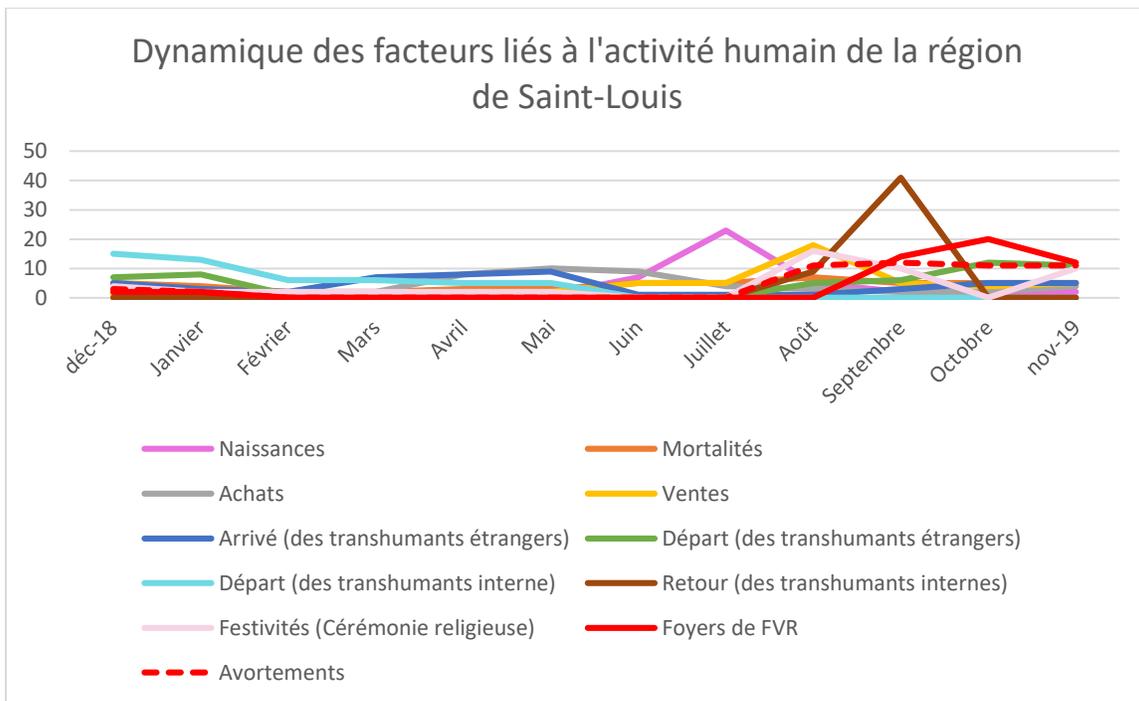
**Tableau 5 : Dynamique des facteurs environnementaux de la région de Tambacounda**



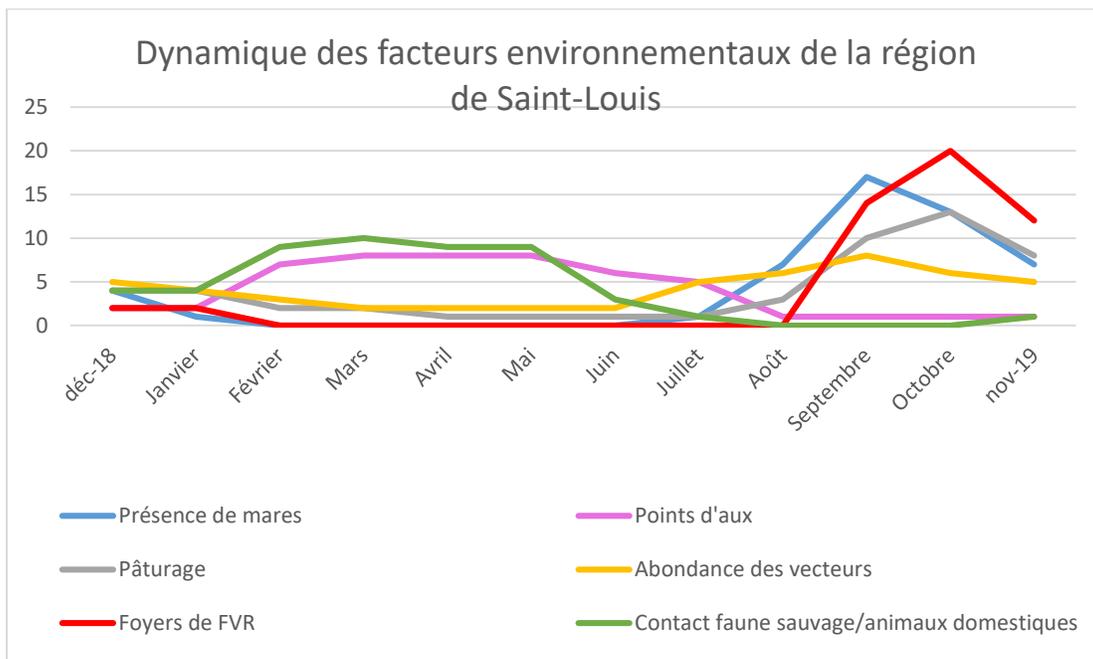
**Tableau 6 : Dynamique des facteurs climatiques de la région Tambacounda**



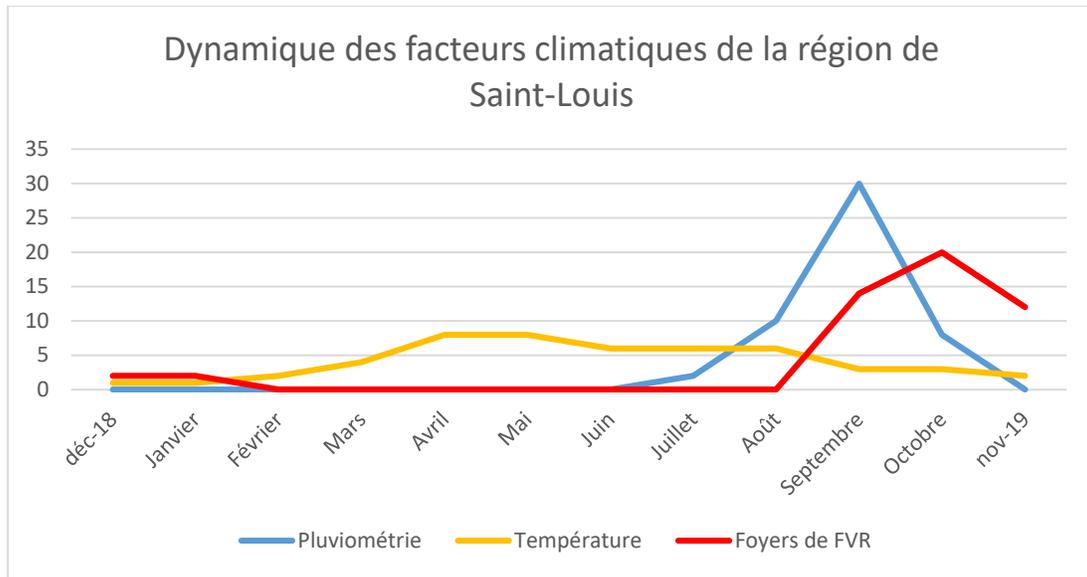
**Tableau 7 : Dynamique des facteurs liés à l'activité humaine de la région de Saint-Louis**



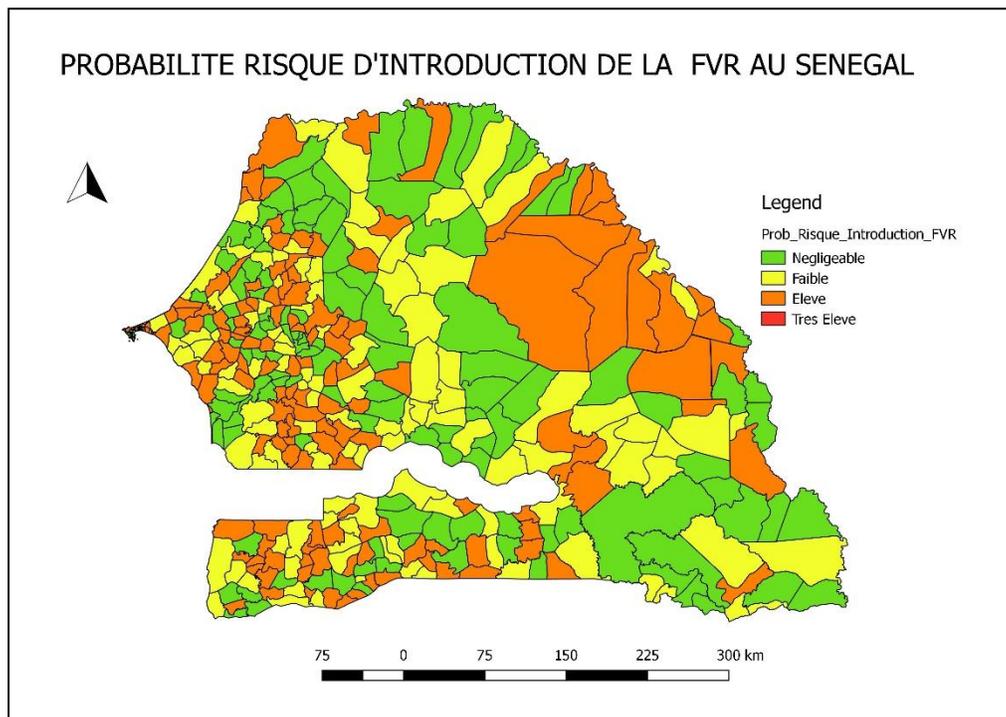
**Tableau 8 : Dynamique des facteurs environnementaux de la région de Saint-Louis**



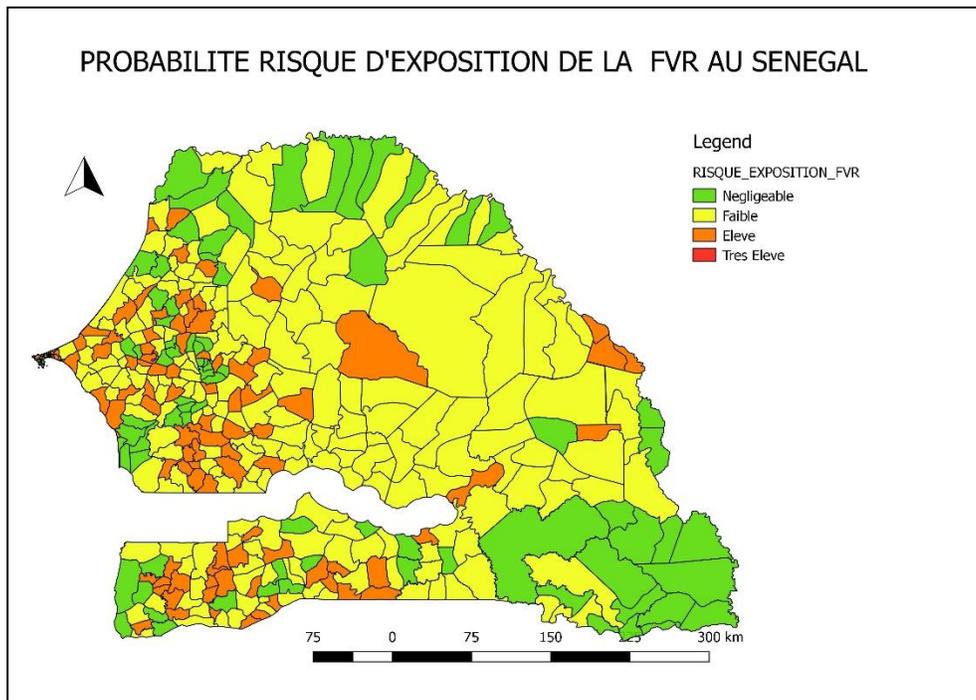
**Tableau 9 :** Dynamique des facteurs climatiques de la région de Saint-Louis



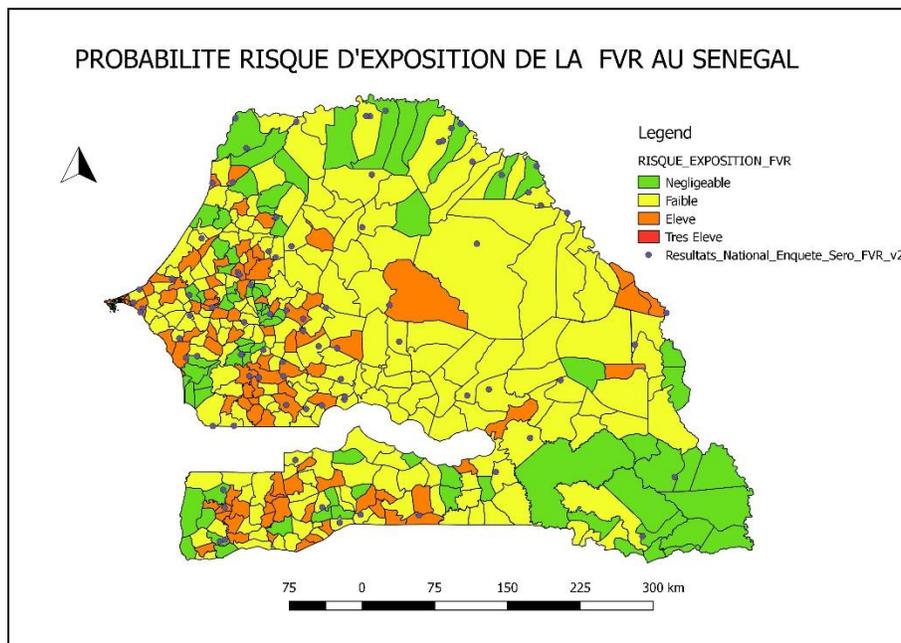
**Annexe 5 :**



**Figure 1 :** Carte de risque de la probabilité d'introduction de FVR au Sénégal en 2016



**Figure 2 :** Carte de risque de la probabilité d'exposition de FVR au Sénégal en 2016



**Figure 3 :** Carte de risque de la probabilité d'exposition de FVR au Sénégal en 2016 avec résultats enquête nationale sérologique de 2015.