eufmd
european commission for the control of foot-and-mouth disease

cirad
AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT

Analyse Qualitative et Cartographique du risque appliquée à la fièvre aphteuse

CIRAD - Unité de recherche ASTRE

P. Hammami, E. Arsevska, G. Poujol, R. Metras, C. Coste and C. Squarzoni Diaw

Citer comme suit:
CIRAD-EuFMD. 2019. *Analyse qualitative et cartographique du risque appliquée à la fièvre aphteuse*. Montpellier.

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Le fait qu'une société ou qu'un produit manufacturé, breveté ou non, soit mentionné ne signifie pas que la FAO approuve ou recommande ladite société ou ledit produit de préférence à d'autres sociétés ou produits analogues qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO.

ISBN 978-2-87614-769-0
© FAO, 2019, CIRAD - EuFMD Publication

Certains droits réservés. Cette œuvre est mise à la disposition du public selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 Organisations Intergouvernementales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode.fr).

Selon les termes de cette licence, cette œuvre peut être copiée, diffusée et adaptée à des fins non commerciales, sous réserve que la source soit mentionnée. Lorsque l'œuvre est utilisée, rien ne doit laisser entendre que la FAO cautionne tels ou tels organisation, produit ou service. L'utilisation du logo de la FAO n'est pas autorisée. Si l'œuvre est adaptée, le produit de cette adaptation doit être diffusé sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si l'œuvre est traduite, la traduction doit obligatoirement être accompagnée de la mention de la source ainsi que de la clause de non-responsabilité suivante: «La traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ni de l'exactitude de la traduction. L'édition originale [langue] est celle qui fait foi.»

Tout litige relatif à la présente licence ne pouvant être résolu à l'amiable sera réglé par voie de médiation et d'arbitrage tel que décrit à l'Article 8 de la licence, sauf indication contraire contenue dans le présent document. Les règles de médiation applicables seront celles de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (http://www.wipo.int/amc/fr/mediation/rules) et tout arbitrage sera mené conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI).

Matériel attribué à des tiers. Il incombe aux utilisateurs souhaitant réutiliser des informations ou autres éléments contenus dans cette œuvre qui y sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, de déterminer si une autorisation est requise pour leur réutilisation et d'obtenir le cas échéant la permission de l'ayant-droit. Toute action qui serait engagée à la suite d'une utilisation non autorisée d'un élément de l'œuvre sur lequel une tierce partie détient des droits ne pourrait l'être qu'à l'encontre de l'utilisateur.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être obtenus sur demande adressée par courriel à: publications-sales@fao.org. Les demandes visant un usage commercial doivent être soumises à: www.fao.org/contact-us/licence-request. Les questions relatives aux droits et aux licences doivent être adressées à: copyright@fao.org.

OBJECTIFS : Ce guide présente une méthode d'analyse de risque qualitative et cartographique détaillée étape par étape à l'intention de tout pays désireux de surveiller et de contrôler la fièvre aphteuse en utilisant une approche basée sur les risques. La fièvre aphteuse est utilisée comme modèle, mais cette approche est applicable à d'autres maladies animales transfrontières.

AUTEURS : Hammami Pachka, Arsevska Elena, Coste Caroline, Métras Raphaëlle, Squarzoni-Diaw Cécile ; UMR Astre - Cirad, France.

SOUTIEN FINANCIER : La Commission européenne de lutte contre la fièvre aphteuse (EuFMD) est une des plus anciennes Commissions de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Depuis 1954, l'EuFMD travaille avec les pays européens et leurs voisins pour améliorer la préparation et réduire les risques liés à l'introduction et à la propagation de la fièvre aphteuse grâce à la mise en place de programmes de contrôle durable. La maladie circule actuellement dans le voisinage de l'Europe, dans plus de 100 pays en Afrique et au Moyen-Orient, et dans de vastes régions de l'Eurasie.

En 2017, l'EuFMD et le Cirad (Centre français de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) ont signé un accord de partenariat visant à améliorer l'identification des zones à risque liées à la mobilité animale et d'autres facteurs de risque pour renforcer la surveillance et le contrôle de la fièvre aphteuse dans les pays voisins européens du Nord et de l'Ouest Afrique. Dans le cadre de cet accord, le Cirad a contribué au renforcement des capacités des services vétérinaires en mettant en place des formations sur le développement de programmes de surveillance de la fièvre aphteuse basés sur l'analyse des risques sanitaires et l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Contents

Introduction

1 Introduction 11

2 Outils et grands principes 13

2.1 La surveillance en santé animale 13

2.2 Analyse qualitative du risque 14

2.3 Analyse des réseaux sociaux 16

2.3.1 La mobilité animale 16

2.3.2 Analyse de la mobilité animale 17

2.4 Cartographie du risque 17

I La méthode : Étape par Étape

3 Principe et objectifs 21

3.1 Principe de l'analyse qualitative et cartographique du risque 21

3.2 Objectifs de la méthode 21

3.3 Cas d'étude : la fièvre aphteuse en Tunisie 22

4 Risque d'introduction 23

4.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque 23

4.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque 25

4.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque 25

4.4 4ème étape: Cartographier le risque d'introduction 27

5 Risque d'exposition 29
5.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque 29
5.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque 30
5.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque 31
5.4 4ème étape: Cartographier le risque d'exposition 33

6 Surveillance et contrôle basés sur le risque 35
6.1 Surveillance basée sur le risque 35
6.2 Contrôle basé sur le risque 37

II Travaux pratiques

7 Prise en main de QGIS 45
7.1 Découverte de QGIS 45
7.1.1 Qu'est-ce que QGIS ? 45
7.1.2 Installer QGIS 45
7.2 Utilisation basique de QGIS 46
7.2.1 Créer son premier projet 46
7.2.2 Importer ses premières données 46
7.2.3 Changer l'ordre des couches 49
7.2.4 Rendre une couche invisible 49
7.2.5 Supprimer une couche 50
7.2.6 Zoomer et dézoomer 50
7.2.7 Obtenir des informations sur les différents objets de la carte 50
7.2.8 Modifier les données dans la table attributaire 50
7.2.9 Modifier les couleurs 51
7.2.10 Ajouter des étiquettes 52
7.3 Utilisation avancée de QGIS 53

8 Prise en main de R 55
8.1 Découverte de R 55
8.1.1 Qu'est-ce que R 55
8.1.2 Installer R et RStudio 55
8.2 Se former à l'utilisation basique de R 56

9 Application de la méthode : cas de la Tunisie 57
Prérequis 57
9.1 Risque d'introduction 58
9.1.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque 58
9.1.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque 69
9.1.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque 79
9.1.4 4ème étape: Cartographier le risque d'introduction 82

9.2 Risque d'exposition **94**
9.2.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque 94
9.2.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque 100
9.2.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque 111
9.2.4 4ème étape: Cartographier le risque d'exposition 113

ANNEXES

Liste de facteurs de risque **127**
Collecte de données sur la mobilité animale en Mauritanie **129**
Exemple de collecte en Mauritanie 129
Exemple de questionnaires d'enquête pour mouvements illégaux 135

Bibliographie

Bibliographie 141

Introduction

1. Introduction

La fièvre aphteuse

La fièvre aphteuse est une des affections virales les plus contagieuses chez les animaux sensibles. Elle affecte les bovins et les porcs, ainsi que les moutons, les chèvres et d'autres artiodactyles. Capable d'entrainer une morbidité proche de 100% dans les populations sensibles, les conséquences économiques des épizooties de fièvres aphteuse sont considérables. La fièvre aphteuse est endémique dans la majeure partie de l'Asie, de l'Afrique et du Moyen-Orient. La majorité des pays d'Amérique du Sud ont appliqué des mesures de zonage et sont reconnus comme étant indemnes de fièvre aphteuse avec ou sans vaccination par l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE). L'Australie, la Nouvelle-Zélande et l'Indonésie, l'Amérique et l'Europe occidentale sont actuellement (2019) indemnes de fièvre aphteuse.

Même si l'infection est rarement fatale chez les animaux adultes, la mortalité est fréquente chez les jeunes en raison de la survenue d'une myocardite ou par défaut d'allaitement si leur mère est atteinte. Caractérisée par une hyperthermie et provoque des lésions nasales, buccales, podales et mammaires qui débutent par des vésicules, la maladie est à l'origine de lourdes pertes de production et, même si la majorité des animaux surmonte la maladie, celle-ci les laisse souvent très affaiblis.

Le virus responsable de la fièvre aphteuse est un aphtovirus de la famille des Picornaviridés. Présent dans toutes les excrétions et sécrétions des animaux infectés, le virus peut être détecté dans le lait et dans la semence jusqu'à 4 jours avant l'apparition des signes cliniques. Les animaux qui ont guéri de l'infection peuvent être porteurs du virus. Les animaux infectés expirent notamment de grandes quantités de virus sous forme d'aérosol qui peuvent infecter d'autres animaux par les voies respiratoires ou par voie orale.

La gravité de la fièvre aphteuse est due à la rapidité de propagation du virus. En effet, la maladie peut être introduite et transmise dans un troupeau via :

- L'introduction de nouveaux animaux porteurs du virus (dans la salive, le lait, la semence, etc.) ;
- L'utilisation d'enclos, de bâtiments ou de véhicules contaminés pour héberger et transporter des animaux sensibles ;

- La présence de matériels contaminés tels que foin, aliments, eau, lait ou produits biologiques;
- Le port de vêtements ou de chaussures contaminés ou utilisation d'équipements contaminés ;
- L'alimentation d'animaux sensibles avec de la viande, des produits d'origine animale ou des aliments crus ou mal cuits, contaminés par le virus ;
- La dissémination virale par des aérosols transportés par l'air à partir d'une exploitation contaminée.

Bien qu'il existe sept souches virales du virus de la fièvre aphteuse (A, O, C, SAT1, SAT2, SAT3, Asia1) dont chacune requiert une souche vaccinale spécifique pour assurer l'immunité d'un animal vacciné, la fièvre aphteuse peut être contrôlée, voire éradiquée, via la vaccination, le contrôle des mouvements des animaux, la quarantaine et l'abattage des animaux infectés, ainsi que l'élimination efficace des carcasses contaminées et de tous les produits d'origine animale. La biosécurité et la désinfection sont primordiaux pour limiter la dispersion du virus.

La maladie est répertoriée dans la liste des maladies à déclaration obligatoire du Code sanitaire pour les animaux terrestres et sa notification à l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) est obligatoire. Cependant, les activités de surveillance et de contrôle de la fièvre aphteuse sont coûteuses. Dans les pays endémiques où les ressources financières et humaines allouées à la santé animale sont limitées, les mesures de surveillance et de contrôle de la fièvre aphteuse doivent être conçues et mises en œuvre selon une approche basée sur les risques.

Objectifs de la méthode proposée

Afin d'optimiser les systèmes nationaux de surveillance et de contrôle de la fièvre aphteuse en Afrique du Nord et en Afrique de l'Ouest, le Cirad a développé une méthode d'analyse qualitative et cartographique des risques d'introduction et de dispersion de la fièvre aphteuse (Squarzoni-Diaw et al., 2020).

Cette méthode, basée sur l'expertise collective d'experts nationaux, régionaux et internationaux, et utilisant des logiciels libres (gratuits) et open source, a pour objectif d'apporter des éléments d'aide à la décision aux services vétérinaires nationaux afin de les appuyer dans la mise en place de protocoles de surveillance et de contrôle des maladies animales transfrontalières qui soient moins couteux et plus efficaces en étant basés sur le risque.

2. Outils et grands principes

La méthode exposée dans ce manuel d'utilisation a été développée par des chercheurs du Cirad à partir de différents domaines d'expertise : épidémiologie, sciences vétérinaires, écologie, mobilité animale, cartographie, etc. Dans ce chapitre, nous présentons brièvement les bases théoriques qui ont servi de fondation au développement de cette méthode d'analyse qualitative de risque appliquée à la santé animale.

2.1 La surveillance en santé animale

Les maladies animales infectieuses, y compris les zoonoses, peuvent engendrer de sérieuses conséquences économiques mais aussi sur la santé publique. De manière générale, elles représentent un défi majeur pour les autorités sanitaires qui doivent assurer la surveillance des maladies ainsi qu'organiser des actions de prévention et de contrôle.

La surveillance épidémiologique est une méthode d'observation fondée sur l'enregistrement continu de données épidémiologique permettant *i)* de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, *ii)* de déceler l'apparition de processus pathologiques et *iii)* d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte (Dufour et al., 2006).

Un « dispositif » ou « système » de surveillance épidémiologique est une activité ou un ensemble d'activités visant à la collecte, l'analyse et la diffusion systématique de données sanitaires pour la planification, l'exécution et l'évaluation des programmes de santé publique ou de santé animale. Selon l'objectif final et les moyens disponibles, la surveillance peut être réalisée via l'utilisation d'examens virologiques ou sérologiques (sérosurveillance).

Parmi les différentes méthodes de surveillance existantes, la plus classiquement utilisée pour la surveillance de la fièvre aphteuse est la surveillance événementielle en raison de son faible coût. La surveillance programmée se révélant plus efficace pour la détection de nouveaux cas, des approches alternatives permettant d'optimiser l'efficacité de la surveillance, notamment dans le cas de ressources limitées, ont été développées, telle que la surveillance basée sur le risque, méthodologie utilisée dans la méthode présentée dans ce guide.

La surveillance événementielle (ou clinique, ou passive) Il s'agit de l'approche la plus répandue à travers le monde. Elle est basée sur la détection de signes cliniques de la maladie et/ou de situations anormales par les éleveurs et/ou les vétérinaires qui sont en contact avec les animaux. Par exemple, un éleveur qui déclarerait à son vétérinaire avoir observé des signes cliniques de la fièvre aphteuse chez la majorité des animaux de sa ferme, notamment une fièvre et la présence de vésicules nasales, buccales et podales. Ce type de surveillance permet aux organismes nationaux d'identifier l'apparition des foyers de maladie et d'organiser des mesures de contrôle.

La surveillance programmée (ou active) est basée sur un plan d'échantillonnage établi à l'avance. Par exemple, la mise en œuvre d'enquêtes sérologiques dans les zones à risque ou dans l'intégralité d'un pays afin de détecter la circulation d'un virus avant même l'apparition de signes cliniques. Ce type de surveillance permet aux organismes nationaux d'être proactifs dans l'identification des cas sub-cliniques et de prévenir la diffusion du virus en mettant en place rapidement des mesures de contrôle.

La surveillance basée sur le risque consiste à déterminer des critères de discrimination spatio-temporels permettant de concentrer les efforts de surveillance sur des cibles et/ou périodes présentant un risque plus élevé vis à vis de l'introduction et/ou la diffusion d'une maladie et à concentrer les activités de surveillances dans ces zones. Cette approche, reconnue comme plus efficace que la surveillance évènementielle, a pour objectif d'optimiser les ressources économiques et humaines, augmentant ainsi l'efficacité de la surveillance lorsque les ressources sont limitées sur le terrain. Elle répond efficacement à certains objectifs de surveillance, comme par exemple prouver le caractère indemne d'une maladie sur un territoire ou détecter précocement une introduction. Cette organisation d'activités de surveillance épidémiologique permet de s'adapter aux objectifs fixés préalablement, qui peuvent être, par exemple, la détection précoce de l'apparition d'une maladie, l'estimation d'une prévalence, la hiérarchisation de diverses maladies en fonction de leur importance, la preuve qu'une région est indemne ou encore l'évaluation des actions de lutte.

Quelques exemples d'application :

- Protocole de surveillance basée sur le risque décrit dans le fascicule n°1 de "Faire face à la grippe aviaire A (H7N9)" de la FAO (FAO, 2014). Ce protocole a été développé pour maximiser la probabilité de détecter la circulation du virus de l'influenza aviaire faiblement pathogène (IAFP) A (H7N9) chez les oiseaux.
- Recommandations pour les protocoles de surveillance dans l'état de Rio Grande do Sul au Brésil suite à l'identification de zones à risque majeur d'introduction et diffusion de la FMD (Santos et al., 2017).

Ce type de surveillance doit être construit à partir d'études préalables approfondies des facteurs de risques propres à chaque maladie et au contexte agro-écologique et social du territoire d'intérêt. Ce guide propose une démarche d'analyse qualitative de risques permettant aux services vétérinaires d'optimiser leur système de surveillance national afin de mettre en place une surveillance ciblée dans les zones à fort risque d'introduction et/ou d'exposition au virus de la fièvre aphteuse, que ce soit pour favoriser la détection précoce d'une incursion du virus dans des pays ou des zones indemnes ou pour optimiser une gestion de crise dans le cas d'une épizootie en favorisant des programmes de contrôle basés sur le risque.

2.2 Analyse qualitative du risque

L'analyse de risque est une méthode d'aide à la décision qui, selon l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), comprend l'identification des dangers, l'appréciation du risque, la gestion du risque et la communication relative au risque. Appliquée à la santé animale, elle permet d'identifier

des facteurs de risque épidémiologique, de définir des niveaux de risque sanitaire, de faciliter la prise de décision sanitaire contribuant ainsi à mettre en œuvre des mesures pertinentes de surveillance et de contrôle du risque sanitaire, et de communiquer à tous les niveaux du processus, ainsi qu'aux différents acteurs de la santé animale depuis l'éleveur jusqu'aux services public (AFSSA, 2008).

Quelques définitions dans le cadre de l'analyse des risques liés à l'importation :

Identification du danger Démarche d'identification des agents pathogènes qui pourraient se trouver dans les animaux vivants ou les produits d'origine animale dont l'importation est envisagée.

Appréciation du risque désigne une appréciation de la probabilité d'introduction, de l'installation et de la diffusion d'un danger sur le territoire d'un pays importateur. Cette appréciation peut être qualitative ou quantitative en fonction des données utilisées.

- **Risque d'émission** d'un agent pathogène à partir d'une source ; dépend, entre autres, du nombre d'animaux ou produits d'origine animale exportés depuis la source, de la prévalence de la maladie dans le pays source, de la qualité des services vétérinaires et du réseau de surveillance épidémiologique dans le pays source et des éventuelles mesures de lutte appliquées dans le pays source.
- **Risque d'introduction** d'animaux ou produits d'origine animale infecté ; dépend du risque d'émission des pays sources.
- **Risque d'exposition** désigne le risque d'endémicité et de dispersion de l'agent pathogène une fois introduit ; dépend, entre autres, des mécanismes de transmission de l'agent pathogène et des facteurs affectant sa survie, des potentialités de contamination dans le pays destinataire, des mesures préventives à destination, de la présence de vecteurs et de réservoirs potentiels dans le pays destinataire.

Gestion du risque désigne la démarche consistant à identifier, choisir et mettre en œuvre les mesures dont l'application permet de réduire le niveau de risque.

Communication du risque désigne la démarche de communication de l'information sanitaire d'une manière suffisante pour permettre à la population de se protéger elle-même (si maladie zoonotique) et ses animaux. La communication du risque contribue à stopper la propagation de la maladie et limiter l'impact économique et social dans le cas d'apparition de foyers lors d'une situation sanitaire d'urgence.

L'analyse qualitative de risque L'AQR est une méthode d'analyse du risque qui tire sa spécificité de l'appréciation qualitative du risque. Le risque y est caractérisé par des mots et pas des nombres comme dans les méthodes quantitatives (AFSSA, 2008; Zepeda-Sein, 1998). On utilise donc une liste d'adjectifs ou une échelle ordinale conférant au risque un niveau dans une échelle. La probabilité de survenue d'un événement, comme l'introduction d'un pathogène, et l'ampleur de ses conséquences ne sont donc pas exprimées numériquement mais en termes qualitatifs tels que « très élevé », « élevé », « faible » ou « négligeable » (AFSSA, 2008).

Dans ce guide, nous utilisons les quatre qualificatifs du niveau de risque historiquement définis par Zepeda-Sein (Zepeda-Sein, 1998) pour l'appréciation du risque d'émission et d'exposition ainsi que pour les conséquences :

- **Négligeable** la survenue de l'événement ne serait possible que dans des circonstances exceptionnelles ;
- **Faible** la survenue de l'événement est peu élevée, mais possible dans certaines circonstances ;
- **Élevé** la survenue de l'événement est nettement possible ;
- **Très élevé** la probabilité de survenue de l'événement est grande.

L'AQR est particulièrement utile (i) lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'informations disponibles pour les paramètres devant être quantifiés, (ii) quand le temps est compté pour rendre les résultats

de l'estimation et prendre une décision de gestion de crise, par exemple dans le cas d'une épizootie, et (iii) comme une évaluation initiale d'une situation lorsque les risques supposés ne semble pas justifier un examen plus approfondi (Dufour & Pouillot, 2002).

Cependant, cette démarche nécessite une étude détaillée et structurée de tous les paramètres devant être pris en compte dans la décision. Dans le cadre de problématiques liées à la santé animale, les paramètres à identifier peuvent être, par exemple, la source de l'agent pathogène, les facteurs de risque qui favorisent la transmission et le maintien de l'agent pathogène ou encore la qualité du système de surveillance et de lutte dans les pays exportateurs et les pays importateurs (OIE, 2007).

La méthode proposée s'appuie sur le partage d'expertise au sein d'un groupe (*à dire d'experts*), défini comme une opinion fondée sur leur expérience professionnelle. Grâce à son emploi, la démarche d'appréciation du risque devient explicite et l'utilisation de cette méthode conduit à une certaine reproductibilité du processus. L'opinion du groupe permet d'aboutir à une estimation globale qualitative du risque pour un pays donné.

Quelques références pour en savoir plus :

- Manuel de la FAO pour la préparation de plans d'urgence pour la fièvre aphteuse (FAO, 2002) ;
- Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale par l'Agence Française de Sécurité sanitaire des aliments (AFSSA, 2008) ;
- Objectif et typologie des méthodes qualitatives d'analyse de risque par l'Université d'ingénierie et technologique (UNIT, 2009) ;
- Radioscopie de la surveillance des maladies animales infectieuses en Belgique (partie II) : analyse des aspects organisationnels des activités de la surveillance et recommandations (Cardoen et al., 2014) ;
- Élaboration et mise en place de systèmes de surveillance épidémiologique des maladies à haut risque dans les pays développés (Dufour et al., 2006) ;
- Glossaire du Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'OIE (OIE, 2011) ;
- La communication des risques à la santé au Québec (Cortin et al., 2018).

2.3 Analyse des réseaux sociaux

2.3.1 La mobilité animale

Les mouvements d'animaux (via le commerce et la transhumance) constituent un facteur de risque majeur de propagation des maladies animales qu'il est primordial de prendre en compte dans une analyse qualitative de risque en santé animale.

Les informations concernant la mobilité animale sont sensibles et souvent méconnues car liées, pour une grande partie, à des mouvements non déclarés. Aussi, pour prendre en compte ce facteur, il est essentiel d'améliorer les connaissances sur la mobilité des cheptels, notamment dans les pays du Sud où les bases de données dédiées font défaut et où la traçabilité animale est difficile. En l'absence de bases de données nationales d'identification, des enquêtes de terrain sur la mobilité des animaux domestiques au niveau national et régional doivent être mises en œuvre[1].

La compréhension du réseau de mobilité animale permet de prédire des scénarios d'introduction et de propagation pour la plupart des maladies animales à transmission directe et vectorielle. Pour

[1] Les questionnaires utilisés doivent inclure l'Origine et la Destination de chaque mouvement animal.Des questions rapides peuvent compléter l'information pour mieux caractériser le déplacement et la population étudiés (date ou période du mouvement, nombre de têtes, espèce, type d'origine et de destination, transit, animaux débarqués...). Ces enquêtes de mobilité animale permettent de capturer les flux majeurs et ainsi de décrire et d'analyser finament les circuits commerciaux et/ou transhumants du bétail.

vos études à venir, nous vous recommandons fortement de considérer la mobilité animale comme un facteur de risque majeur dans l'introduction et la dispersion des maladies animales transfrontalières.

2.3.2 Analyse de la mobilité animale

Analyse des réseaux sociaux

Pour inclure la mobilité animale à l'analyse qualitative de risque et mettre en évidence les mouvements des groupes d'animaux les plus à risque que ce soit dans l'introduction des agents pathogènes ou dans leur dispersion, nous vous proposons de réaliser une analyse de la mobilité en utilisant les principes d'analyse des réseaux sociaux (SNA, Social Network Analysis).

En réalisant ce type d'analyse, on considère la mobilité animale sous la forme d'un réseau constitué d'entités appelées des *nœuds* (ex. unités épidémiologies telle que les sous-préfectures, ou points de rassemblement d'animaux, tels que les marchés, les abattoirs ou les élevages) reliées entre elles par des *liens orientés* créés lors des interactions (ex. commerce et mouvements des animaux dans le cadre de la transhumance).

Les paramètres de mobilité

La méthode SNA s'applique en calculant des indicateurs servant à qualifier le réseau (ex. le degré pour qualifier la cohésion ou la centralité d'intermédiarité pour qualifier la centralité du réseau) (Wasserman & Faust, 2012). On peut déduire de ces indicateurs des spécificités du réseau et l'importance ou l'influence de certains nœuds.

Dans ce guide, on s'intéressera particulièrement au degré (*degree* en anglais, nombre de liens reliant un nœud à d'autres nœuds), au degré entrant (*in-degree* en anglais, nombre de liens orientées **vers** un nœud), au degré sortant (*out-degree* en anglais, nombre de liens allant d'un nœud **vers** d'autres nœuds) et à la centralité d'intermédiarité (*betweeness* en anglais, nombre de nœuds auxquels un nœud est connecté de façon indirecte, via ses liens direct). Concrètement, l'indicateur degré d'une sous-préfecture indiquera le nombre de mouvements animaux entrant (degré entrant) et sortant (degré sortant) de cette sous-préfecture, permettant ainsi d'estimer l'intensité de ses activités d'import/export et son importance dans le réseau de mobilité. Une sous-préfecture à haut degré sera plus vulnérable (haut degré entrant), mais facilitera aussi la diffusion des pathogènes par une dispersion plus large (haut degré sortant). Enfin, les sous-préfecture ayant une centralité d'intermédiarité élevée correspondront à des carrefours commerciaux, qui favorisent la diffusion des pathogènes.

Ces indicateurs SNA permettent de mesurer la « diffusabilité » et sont les plus pertinents pour nos analyses car ils révèlent l'importance d'un nœud en termes de centralité et de connexion. Plusieurs types de réseaux peuvent ainsi être analysés en fonction du risque, de la maladie et du territoire étudiés. On s'intéressera notamment au réseau national pour la diffusion d'un agent pathogène et au réseau international ou régional pour l'étude des risques d'introduction d'un agent pathogène.

La collecte et l'analyse d'informations sur la mobilité animale, ainsi que la cartographie de leurs mouvements dans et entre les pays permettent, même sans analyse de risque, d'œuvrer, en appui aux Services Vétérinaires, à l'optimisation de la surveillance en santé animale aux échelles nationale et régionale.

2.4 Cartographie du risque

La cartographie du risque désigne la production de cartes de risque ; une carte de risque étant une image complexe générée par ordinateur qui montre la répartition spatiale d'un risque. De plus

en plus utilisée en épidémiologie humaine et vétérinaire, la cartographie du risque sanitaire en santé animale a généralement pour objectif de mettre en évidence des zones où un agent pathogène donné est le plus susceptible d'être introduit (risque d'introduction), ou les lieux où il est le plus susceptible de se propager une fois introduit (risque d'exposition). Ces cartes de risque constituent un moyen de communication efficace et permettent d'appuyer les Services Vétérinaires dans la prise de décisions sanitaires et dans la mise en place de protocoles de surveillance basés sur le risque et de contrôle pertinents.

Les cartes de risque sont construites à partir de la répartition spatiale de « facteurs de risque » - éléments influençant l'apparition d'une maladie, tels que les principales voies de transport ainsi que l'importance relative de chacun de ces facteurs. On peut ainsi coupler l'analyse qualitative du risque sanitaire à la cartographie du risque dès lors que l'on possède des données spatialisées (associées à des coordonnées géographiques) pour les facteurs de risque majeurs.

Il est important de noter qu'une carte de risque est un outil qui peut se montrer extrêmement pertinent pour identifier les lieux où un foyer est susceptible de se produire, et pour, combiné à des vérifications sur le terrain et d'autres outils, alerter les spécialistes de la santé animale sur des zones vulnérables à l'introduction et à la propagation de maladies spécifiques. Elle contribue ainsi à définir spatialement l'allocation des ressources et à gérer des programmes de surveillance et de contrôle en mettant en exergue les zones à haut risque. Cependant, elle ne fait qu'indiquer le lieu où un foyer est le plus SUSCEPTIBLE d'apparaître, elle ne peut en aucun cas prédire la survenue d'un foyer spécifique. De plus, il faut garder à l'esprit que la cartographie du risque ne prend en compte qu'un nombre limité de données (données disponibles, spatialisées, à jour, etc). Aussi, toute carte de risque doit être discutée et validée par des experts du domaine traité, mais aussi mise à jour régulièrement.

Quelques références pour en savoir plus :

- Amélioration de la surveillance de l'influenza aviaire de type H5N1–Cartographie du risque d'influenza aviaire de type H5N1 en Afrique: Rapport final et cartes de risqué d'influenza aviaire. (Stevens et al., 2010)

Système d'information géographique

Les cartes de risque sont produites à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). Un SIG est un outil informatique conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et représenter toutes choses localisées à la surface de la terre (eg. la densité animale, les postes vétérinaires, les points d'eau, unité épidémiologiques, etc) ainsi que les processus qui les affectent (eg. la mobilité animale). Il ne s'agit donc pas seulement d'un outil de cartographie. Il permet aussi de compiler des données, de les étudier, et de les synthétiser (e.g. calculs de distances) avant de les représenter sous forme de carte. C'est un outil de gestion et d'analyse des données spatiales (pas de collecte ou de production). **Pour travailler avec un SIG, il vous faudra donc un ordinateur, un logiciel SIG (eg. QGIS, MapInfo, ArcGIS, ArcView) et des données spatiales (avec des coordonnées spatiales).**

La méthode d'analyse qualitative et cartographique présentée dans ce guide a été développée en utilisant QGIS, un lociel open source. Si vous n'êtes pas familier avec les SIG ou/et avec ce logiciel, il est recommandé de réaliser les cours de prise en main proposés dans le chapitre 7 page 45 de ce manuel.

La méthode : Étape par Étape

3 Principe et objectifs 21

3.1 Principe de l'analyse qualitative et cartographique du risque

3.2 Objectifs de la méthode

3.3 Cas d'étude : la fièvre aphteuse en Tunisie

4 Risque d'introduction 23

4.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque

4.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque

4.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque

4.4 4ème étape: Cartographier le risque d'introduction

5 Risque d'exposition 29

5.1 1ère étape: Lister les facteurs de risque

5.2 2nde étape: Catégoriser les facteurs de risque

5.3 3ème étape: Caractériser les niveaux de risque

5.4 4ème étape: Cartographier le risque d'exposition

6 Surveillance et contrôle basés sur le risque 35

6.1 Surveillance basée sur le risque

6.2 Contrôle basé sur le risque

3. Principe et objectifs

3.1 Principe de l'analyse qualitative et cartographique du risque

L'analyse qualitative et cartographique du risque est un outil d'aide à la décision qui contribue à une meilleure gestion des échanges internationaux ainsi qu'au renforcement de la sécurité sanitaire. Dans le domaine de la santé animale, on s'intéresse principalement à deux risques bien différents qui nécessitent la mise en place d'actions de surveillance et de contrôle différentes.

3.2 Objectifs de la méthode

La méthode proposée dans ce guide répond à trois objectifs principaux :

- Estimer les risques d'introduction d'une maladie animale liés aux flux commerciaux (légaux et illégaux) et aux mouvements transfrontaliers d'animaux (ex. transhumance);
- Mettre en évidence les zones/communes présentant un risque majeur d'introduction, d'installation ou de dispersion de cette maladie;
- Développer et soutenir la mise en place de stratégies de surveillance et de contrôle efficaces et à coût réduits.

Fondée sur l'expertise collective, l'analyse qualitative et cartographique du risque proposée dans ce guide repose sur quatre grandes étapes :

- L'identification des facteurs de risque par un collectif d'experts (épidémiologiste, virologues, vétérinaires, agronomes, etc).
- La classification de ces facteurs par un collectif d'experts (épidémiologiste, virologues, vétérinaires, agronomes etc).
- La caractérisation de quatre niveaux de risque : le risque négligeable, le risque faible, le risque élevé et le risque très élevé.
- La cartographie du risque en fonction des caractéristiques locales.

Ces quatre étapes sont réalisées pour chaque analyse de risque. Ainsi, dans la suite de ce guide, nous verrons tout d'abord comment réaliser l'analyse du risque d'introduction d'une maladie,

risque particulièrement important à évaluer pour les pays indemnes (Chapitre 4) ; et, dans un deuxième temps, nous verrons comment étudier le risque d'établissement et de dispersion de la maladie (Chapitre 5). A l'issue de ces analyses, nous verrons comment utiliser les cartes de risque résultantes pour construire un protocole de surveillance basée sur le risque (Chapitre 6).

3.3 Cas d'étude : la fièvre aphteuse en Tunisie

Enfin, dans la partie II : Travaux pratiques, chapitre 9, vous pourrez vous entrainer à réaliser l'analyse, étape par étape, en suivant l'étude de cas proposée pour la fièvre aphteuse en Tunisie. Pour des raisons de confidentialité, des données fictives seront fournies pour cette étude de cas, cependant l'analyse a été réalisée par les services vétérinaires tunisiens et fait l'objet d'un article scientifique (Squarzoni-Diaw et al., 2020).

4. Risque d'introduction

Objectif

Estimer le risque d'introduction d'une maladie donnée sur un territoire donné. Cela revient à identifier les sources d'infection et probabilités d'introduction de la maladie qui leurs sont associées. L'identification des sources majeurs d'infection permettra d'orienter l'établissement de protocoles de surveillance basée sur le risque en vue d'une détection précoce d'éventuelles introductions.

4.1 Première étape: Quels sont les facteurs de risque concernant l'introduction de la maladie dans votre pays ?

La première étape consiste à identifier les facteurs qui pourraient entrainer ou favoriser l'introduction de la maladie dans votre pays. On parle de facteurs de risque.

Comment procéder ?

Définir les facteurs de risque

Rassemblez un groupe d'experts de la maladie, du contexte épidémiologique, des filières concernées, de la zone d'étude et du fonctionnement des services vétérinaires. Réfléchissez ensemble aux questions suivantes :

- Comment l'agent pathogène pourrait-il être introduit sur votre territoire ?
- Qu'est ce qui pourrait favoriser son introduction ?
- Y-a-t-il des voies d'introduction plus probables que d'autres ?

A partir de vos réflexions sur ces questions et d'éventuelles recherches dans la littérature, listez les facteurs de risques potentiellement impliqués dans l'introduction de l'agent pathogène sur votre territoire, puis mettez-vous d'accord ensemble pour conservez les principaux.

NB Nous recommandons, lorsque c'est possible, de se limiter à un maximum de cinq facteurs de risque.

Il est important d'arriver à une conclusion validée par l'ensemble des experts présents.

Quelques conseils

On peut classiquement considérer three canaux d'introduction pour les maladies affectant les espèces animales domestiques telles que la fièvre aphteuse :

- le commerce légal;
- le commerce illégal;
- les mouvements/flux d'animaux, notamment dans le cadre de transhumance.

Selon le pays d'origine des mouvements ou du commerce, le risque n'est pas le même, en effet des flux provenant d'un pays indemne présenteront moins de risques que des flux provenant d'un pays où la maladie est endémique. De même, des flux provenant d'un pays ayant mis en place des mesures strictes de gestion de la santé animale (surveillance et contrôle) présenteront moins de risques que des flux provenant d'un pays où les mesures de gestion de la santé animale mises en place sont limitées. N'hésitez pas à vous inspirer de l'application réalisée pour la Tunisie (Chapitre 9) et de la liste de facteurs de risque proposée en Annexe 9.2.4.

NB Selon le pays et la filière, la mobilité peut être influencée par d'autres flux que le commerce et la transhumance. Pour chaque analyse, étudiez avec soin les acteurs et processus qui affectent la mobilité animale.

Définir votre échelle de travail

Une fois que vous avez listé les facteurs de risque principaux, il faut définir à quelle échelle vous voulez/pouvez travailler. Plus vous travaillez à une échelle fine (ex. la commune plutôt que le département), plus votre analyse sera précise. Vous devez définir votre échelle de travail en fonction de la structure de vos activités vétérinaires et de la disponibilité des données. En effet, si vous disposez uniquement des données à l'échelle départementale, vous ne pourrez pas travailler à l'échelle communale.

Dans la suite du document, on utilisera le terme générique de '*division administrative*' ; selon l'échelle que vous avez choisi, cela pourra correspondre à une région, un département, une commune, un village, etc.

Recenser, récupérer et préparer les données

Maintenant que vous avez défini vos facteurs de risque et votre échelle de travail, recensez les données relatives à chaque facteur de risque. Organisez/synthétisez los données de façon à obtenir une valeur ou un critère par division administrative. Par exemple, si vous avez choisi de faire l'analyse à l'échelle de département et que vous possédez les données de densité animale par commune, vous pouvez faire la moyenne de la densité animale par département, de façon à avoir une valeur de densité animale pour chaque département. Faites valider les données par des experts du terrain, et enfin, si besoin, formatez les données de façon à pouvoir les importer dans un logiciel SIG (format csv, shapefile ou raster).

NB De nombreuses données sont disponibles en libre-service à l'échelle mondiale, n'hésitez pas à faire des recherches en ligne et à vous renseigner au-près des experts formateurs du Cirad.

4.2 Deuxième étape: Catégoriser les facteurs de risque

Une fois que vos données sont prêtes (triées, rapportées à la bonne échelle, validées par les experts de terrain et mises au bon format), il vous faut définir des catégories de risque associées à chaque facteur de risque.

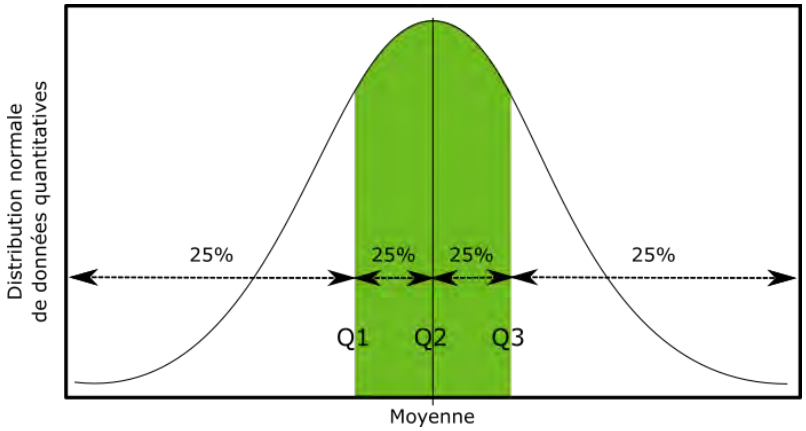
Par exemple, si l'on considère que le statut épidémiologique d'un pays exportateur vis à vis d'une maladie est un facteur de risque d'introduction (il est plus risqué d'importer des animaux depuis un pays où la maladie est endémique que depuis un pays indemne), il faut définir quatre niveaux de risque pour ce statut épidémiologique. Ces niveaux pourraient être : indemne (risque négligeable) - circulation très ancienne (risque faible) - circulation récente (risque élevé) - maladie endémique (risque très élevé).

Comme la classification des facteurs de risque liés au statut épidémiologique, aux systèmes de surveillance et aux systèmes de contrôle peut s'avérer délicate, les experts du Cirad ont développé un outil générique permettant d'affecter un risque d'émission aux pays exportateurs. Plus spécifiquement, il permet de classer/qualifier le risque d'introduction d'animaux infectés en provenance d'un pays en tenant compte de son statut épidémiologique et des activités en santé animale (surveillance et contrôle) mises en place sut le terrain. L'utilisation de cet outil est décrite en détails dans la partie II : Travaux pratiques, chapitre 9.

Pour les autres facteurs de risque, la classification/catégorisation dépend de la nature et de la distribution des données :

Variables qualitatives : Présence/absence, proche/éloigné, peu/moyennement/beaucoup, etc. Dans ce cas, les catégories de risque sont assez évidentes à définir.

Variables quantitatives : données numériques (par exemple : nombre de bête au km^2, temps de parcours moyen depuis une zone jusqu'à une autre, etc). Pour ce type de variables, la distribution des données suit généralement une loi normale, aussi on préconise la catégorisation en quatre classes dont les seuils sont définis par les quantiles (figure ci-dessous) : risque négligeable [0 - 1er quantile (Q1)] ; risque faible [1er quantile (Q1)- 2ème quantile (Q2)] ; risque élevé [2ème quantile (Q2) - 3ème quantile (Q3)] ; risque très élevé [supérieur au 3ème quantile (Q3)]. Selon la distribution des données, il est possible que l'utilisation des quantiles ne soit pas appropriée, aussi il faut choisir un autre type de classification.



4.3 Troisième étape: Caractériser les niveaux de risque

Une fois que vous avez catégorisé tous vos facteurs de risque, il faut les combiner afin de caractériser quatre niveaux de risque d'introduction du pathogène sur votre territoire (négligeable, faible, élevé

ou très élevé), on parle de **pondération des facteurs de risque** les uns par rapport aux autres. Les niveaux de risque d'introduction ainsi définis peuvent être assimilés à des probabilités d'introduction (AFSSA, 2008). On cherche à répondre aux questions suivantes :

- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque très élevé / l'introduction du pathogène y est très probable ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque élevé / l'introduction du pathogène y est probable ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque faible / l'introduction du pathogène y est peu probable ?

Toutes les divisions administratives qui ne remplissent aucune de ces conditions présenteront un risque d'introduction négligeable ; ie. l'introduction du pathogène via les animaux vivants ou produits d'animaux y est improbable.

NB Vous pouvez aussi utiliser une approche différente, en vous interrogeant directement sur les facteurs de risque : est ce que le facteur de risque α à lui seul entraine un risque très élevé/élevé/faible ? Si non, est ce qu'en l'associant à un ou plusieurs autres facteurs de risque le risque pourrait devenir très élevé/élevé/faible ?

Comment procéder ?

La caractérisation des niveaux de risque (pondération des facteurs de risque les uns par rapport aux autres) se fait **toujours** en groupe d'experts (*à dire d'experts*).

Exercise 4.1 À l'issue des discussions en groupe d'experts, vous devez être tous d'accord sur la façon de compléter le texte ci-dessous :
"Le risque est très élevé si ... , sinon le risque est élevé si ..., sinon le risque est faible si ..., sinon le risque est négligeable."

NB Les '...' peuvent être complété par plusieurs conditions séparées par 'OU', et les conditions peuvent être définies par une combinaison de conditions reliées par 'ET'.

Exercise 4.2 À partir des informations contenues dans ce texte, complétez le tableau ci-dessous :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**

NB Le risque négligeable n'apparait pas ici car si le risque n'est ni très élevé, ni élevé, ni faible, il est forcément négligeable. Nous n'avons donc pas besoin de caractériser ce niveau de risque si les trois niveaux de risque plus élevés sont correctement définis.

Exemple

Supposons qu'on ait sélectionné trois facteurs de risque : les frontières ; les points de passage illégaux/non-contrôlés ; le degré entrant transfrontalier (paramètre de mobilité animale mettant en évidence les principales destinations des flux dans le réseau de mobilité animale internationale).

Les frontières et les points de passage sont des facteurs qualitatifs, ils ont donc respectivement été catégorisés en trois classes : Pays X (Partage une frontière avec le pays X), Pays Y (Partage une frontière avec le pays Y) et N [Pas de frontière] ; et deux classes : P (Présence d'au moins un point de passage illégal) et A (Absence). Par contre, le degré entrant transfrontalier étant un facteur quantitatif, il a été catégorisé en quatre classes : N (négligeable), F (faible), E (élevé) et TE (très élevé).

Le risque est très élevé si [le degré entrant transfrontalier est très élevé (peu importe les autres facteurs)] OU [en présence d'un point de passage illégal (peu importe les autres facteurs)] OU [en présence d'une frontière avec le pays X (peu importe les autres facteurs)], sinon le risque est élevé si [le degré entrant transfrontalier est élevé] OU [en présence d'une frontière avec le pays Y (peu importe les autres facteurs)], sinon le risque est faible si [le degré entrant transfrontalier est faible], sinon le risque est négligeable. Ces informations ont été reportées dans le tableau ci-dessous:

	Le niveau de risque est ...		
	Très élevé, si	**Élevé, si**	**Faible, si**
	Degré entrant (TE)	Degré entrant (E)	Degré entrant (F)
OU	Pays X	Pays Y	
OU	Point de passage ill. (P)		

4.4 Quatrième étape: Cartographier le risque d'introduction

Vous avez maintenant toutes les informations en main pour représenter cartographiquement les données et produire une carte de risque d'introduction.

Pour chaque division administrative, il s'agit de passer en revue leurs caractéristiques (les différentes catégories de facteurs de risques qui leurs sont associées) pour savoir quel niveau de risque leur attribuer. Une fois que vous avez définit un niveau de risque d'introduction pour chaque division administrative, produisez une carte en colorant les divisions administratives en fonction de leur niveau de risque. Il est convenu de respecter les couleurs suivantes (tableau ci-dessous):

Risque	**Couleur**	**Code (Hex et RVB)**
Négligeable	Vert	#13d604 (19,214,4)
Faible	Jaune	#ffe74d (255,231,77)
Elevé	Orange	#ff8c4a (255,140,74)
Très élevé	Rouge	#fc3232 (252,50,50)

Exemple Sur la base de l'exemple précédent, nous allons colorer en rouge toutes les divisions administratives où le risque d'introduction est très élevé, en orange toutes celles où le risque est élevé, en jaune toutes celles où le risque est faible et enfin en vert toutes celles où le risque est négligeable.

Ainsi, toutes divisions administratives présentant un degré entrant transfrontalier très élevé doivent apparaitre en rouge sur la carte. Il en est de même pour les divisions administratives possédant une frontière avec le Pays X, et pour les divisions administratives connues où on sait qu'il y a au moins un point de passage illégal.

Selon la même logique, parmi les divisions administratives restantes, doivent apparaitre en orange :

- les divisions administratives où le degré entrant transfrontalier est élevé ;

- les divisions administratives qui partagent une frontière avec le pays Y.

Enfin, parmi les divisions administratives restantes, doivent apparaitre en jaune :

- les divisions administratives où le degré entrant transfrontalier est faible.

Toutes les autres divisions administratives ont un risque d'introduction négligeable puisqu'elles ne présentent pas de facteur de risque majeur et doivent donc apparaitre en vert sur la carte.

Dans les travaux pratiques (chapitre 9), nous verrons comment utiliser des outils gratuits et simples d'usage pour produire les cartes de risque à partir de vos données dès lors que les quatre niveaux de risque ont été caractérisés en groupe d'experts.

Félicitations, si vous avez réussi toutes ces étapes,
vous avez produit une carte de risque d'introduction d'une maladie animale !!

Si ce n'est pas le cas, rendez-vous à la partie II pour réaliser concrètement l'analyse qualitative et cartographique du risque d'introduction en suivant l'exemple proposé en Travaux pratiques, chapitre 9. Cela vous permettra de de vous entrainer avec des données fictives et avec les facteurs de risque proposés.

5. Risque d'exposition

Objectif

Qualifier la probabilité de survenue d'une épizootie locale suite à l'introduction d'une maladie donnée sur un territoire donné. On fait ici référence aux risques d'établissement (endémicité) et de dispersion de la maladie sur le territoire une fois celle-ci introduite. L'identification des zones les plus exposées à la maladie permettra d'orienter l'établissement de protocoles de surveillance basée sur le risque en vue d'une détection précoce d'éventuelles épizooties.

La méthode d'analyse du risque d'exposition étant sensiblement la même que pour le risque d'introduction, nous vous proposons de suivre les mêmes quatre grandes étapes.

5.1 Première étape: Quels sont les facteurs de risque pouvant entrainer l'installation et la dispersion de la maladie dans votre pays ?

La première étape consiste à identifier les facteurs favorisant l'installation et/ou la dispersion de la maladie étudiée sur le territoire étudié une fois celle-ci introduite. On fait là encore référence aux facteurs de risque.

Comment procéder ?

Rassemblez toujours un groupe d'experts de la maladie, du contexte épidémiologique, des filières concernées, de la zone d'étude et du fonctionnement des services vétérinaires du pays. Réfléchissez ensemble aux questions suivantes :

- Quels sont les facteurs favorisant l'installation de la maladie ?
- Quels sont les facteurs favorisant sa dispersion ?

A partir de vos réflexions et d'éventuelles recherches bibliographique, listez tous les facteurs de risques auxquels vous pensez, puis validez ensemble ceux que vous considérez comme les principaux.

NB Nous recommandons de vous limiter à un maximum de 5 facteurs de risque.

Il est important d'arriver à une validation consensuelle où tous les participants sont d'accord sur les facteurs de risque listés et ceux retenus comme prioritaires.

NB Vous pouvez organiser une seule réunion pour réfléchir aux facteurs de risque d'introduction et aux facteurs de risque d'exposition. Cependant différenciez bien les facteurs en fonction de l'analyse de risque, en évitant les redondances.

Quelques conseils

- Une maladie ne peut s'établir sans la présence d'animaux ; lister donc toujours la densité animale comme facteur de risque.
- La dispersion d'une maladie est dépendante des mouvements des animaux ; réfléchissez donc aux différents mouvements d'animaux (transhumance, lieu d'élevage $\longmapsto$ lieu d'abattage $\longmapsto$ lieu de vente, etc) et cherchez les sources d'informations relatives à la mobilité animale.
- La survenue d'une épizootie est plus probable sur les sites de rassemblement des animaux que lorsque les animaux sont isolés. Identifiez et listez donc les lieux de concentration d'animaux (points d'eau, marchés d'animaux vivants, etc.). Attention les types de lieu de rassemblement peuvent varier selon la filière et les pratiques nationales.

Définir votre échelle de travail

Comme pour l'analyse du risque d'introduction, vous devez définir votre échelle de travail en fonction de la structure de vos activités vétérinaires et de la disponibilité des données. Cependant, il est fortement recommandé d'utiliser la même échelle de travail pour le risque d'introduction et pour le risque d'exposition afin d'obtenir des cartes de risque harmonisées.

Recenser, récupérer et préparer les données

Comme pour le risque d'introduction, recensez les données relatives à chaque facteur de risque pour chaque division administrative que ce soit sur des plateformes publiques fournissant des données en libre accès (comme pour la densité animale ou l'accessibilité, vous trouverez des sources fiable chapitre 7.2.2 page 47), auprès des services d'état (comme les données de mobilité animale ou les laissez-passer sanitaire), ou encore en mettant en place des enquêtes sur le terrain.

Une fois que vous avez récupéré toutes les données nécessaires, mettez les à l'échelle que vous avez définit précédemment, autrement dit, vous devez avoir une valeur (quantitative ou qualitative selon le facteur de risque) par division administrative pour chaque facteur de risque.

Enfin, assurez-vous que le support de vos données est compatible avec le logiciel SIG que vous allez utiliser pour l'étape de cartographie du risque (ex. si vous utilisez QGIS, vos données doivent être au format csv, au format shapefile ou au format raster).

Les étapes 2, 3 et 4 sont exactement les mêmes que pour l'analyse du risque d'introduction.

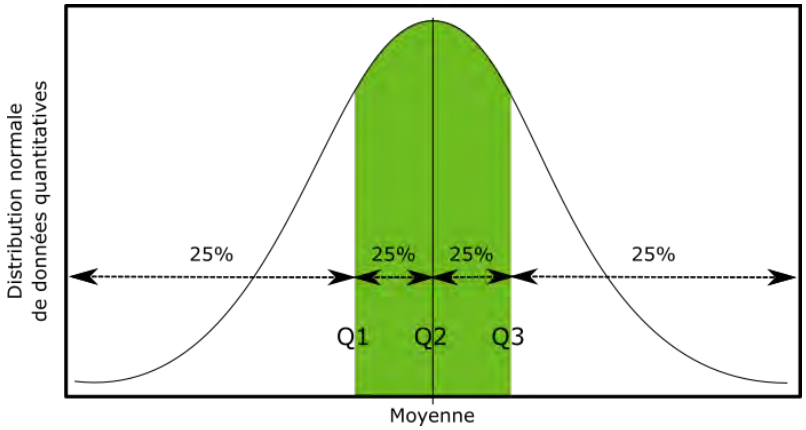
5.2 Deuxième étape: Catégoriser les facteurs de risque

Comme pour l'analyse du risque d'introduction, une fois que vos données sont prêtes, il vous faut définir des catégories/classes pour chaque facteur de risque.

La classification/catégorisation dépend toujours de la nature et de la distribution des données :

Variables qualitatives : Présence/absence, proche/éloigné, peu/moyennement/beaucoup, etc. Dans ce cas, les catégories de risque sont assez évidentes à définir.

Variables quantitatives : données numériques (par exemple : nombre de bête au km^2, temps de parcours moyen depuis une zone jusqu'à une autre, etc). Pour ce type de variables, la distribution des données suit généralement une loi normale, aussi on préconise la catégorisation en quatre classes dont les seuils sont définis par les quantiles. On considère que le facteur de risque est représenté de façon négligeable si sa valeur est comprise entre 0 et le 1er quantile (Q1), de façon faible si sa valeur est comprise entre le 1er (Q1) et le 2ème quantile (Q2), de façon élevée pour les valeurs comprises entre le 2ème quantile (Q2) et le 3ème quantile (Q3) et enfin de façon très élevée pour les valeurs supérieures au 3ème quantile (Q3). Selon la distribution des données, il est possible que l'utilisation des quantiles ne soit pas appropriée, aussi il faut choisir un autre type de classification.



Pour résumer

Il faut définir des classes qualitatives, que ce soit pour des facteurs de risque d'ors et déjà qualitatifs (ex. : Pour les points d'eau on peut choisir de définir deux classes : présence ou absence), ou pour des facteurs de risque quantitatifs (ex. Pour la densité animale, on peut définir quatre classes en fonction des quantiles, ces classes traduisant respectivement de conditions où l'on considère que la densité animale est négligeable, faible, élevée ou très élevée).

5.3 Troisième étape: Caractériser les niveaux de risque

Il faut ensuite pondérer les facteurs de risque les uns par rapport aux autre pour obtenir une qualification (négligeable, faible, élevé ou très élevé) des probabilités d'exposition (installation et dispersion).

Rappel

On parle de **pondération des facteurs de risque** les uns par rapport aux autres. Les niveaux de risque d'exposition ainsi définis peuvent être assimilés à des probabilités d'exposition (AFSSA, 2008).

Avec un groupe d'experts adaptés, il faut donc chercher à répondre aux questions suivantes :

- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque très élevé d'exposition / l'installation et la diffusion du pathogène y sont très probable ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque élevé d'exposition / l'installation et la diffusion du pathogène y sont probable ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque faible d'exposition / l'installation et la diffusion du pathogène y sont peu probable ?

Toutes les divisions administratives qui ne remplissent aucune de ces conditions présenteront un risque d'exposition négligeable ; l'installation et la diffusion du pathogène via les animaux vivants ou produits d'animaux y est improbable.

NB Comme pour le risque d'introduction, vous pouvez préférer vous interroger directement sur les facteurs de risque.

- Est ce que le facteur de risque α à lui seul entraine un risque très élevé/élevé/faible ?
- Si non, est ce qu'en l'associant à un ou plusieurs autres facteurs de risque le risque pourrait devenir très élevé/élevé/faible ?

Comment procéder ?

Pour minimiser au maximum la subjectivité des qualifications dans l'analyse (qualitative) et être le plus précis possible, la plupart des étapes doivent **toujours** être réalisées en groupe d'experts pertinents (*à dire d'experts*). La caractérisation des niveaux de risque (pondération des facteurs de risque les uns par rapport aux autres) est l'une de ces étapes.

Exercise 5.1 Une fois de plus, à l'issue des discussions en groupe d'experts, vous devez être tous d'accord sur la façon de compléter le texte ci-dessous :
"Le risque est très élevé si ... , sinon le risque est élevé si ..., sinon le risque est faible si ..., sinon le risque est négligeable."

NB Les '...' peuvent être complété par plusieurs conditions séparées par 'OU', et les conditions peuvent être définies par une combinaison de conditions reliées par 'ET'.

Exercise 5.2 À partir des informations contenues dans ce texte, complétez le tableau ci-dessous :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**

NB Le risque négligeable n'apparait pas ici car si le risque n'est ni très élevé, ni élevé, ni faible, il est forcément négligeable. Nous n'avons donc pas besoin de caractériser ce niveau de risque si les trois niveaux de risque plus élevés sont correctement définis.

Exemple

Supposons qu'on ait sélectionné trois facteurs de risque : la densité animale (pour les bovins et les petits ruminants) ; l'accessibilité (correspondant à l'inverse du temps de parcours entre deux points) et la présence de points d'eau. La densité animale et l'accessibilité sont des facteurs de risque quantitatifs, ils ont donc été catégorisés en quatre classes : N (négligeable), F (faible), E (élevé) et TE (très élevé), et la présence de points d'eau est un facteur qualitatif qui a été catégorisé en deux classes : P (Présence) et A (Absence).

Le risque est très élevé si [la densité animale est très élevée (peu importe les autres facteurs)] OU si [la densité animale est élevée ET l'accessibilité est très élevée] OU si [la densité animale est élevée ET l'accessibilité est élevée ET qu'au moins un point d'eau est présent], sinon le risque est élevé si [la densité animale est élevée] OU si [l'accessibilité est très élevée] OU si [la

densité animale est faible ET l'accessibilité est élevée ET qu'au moins un point d'eau est présent], sinon le risque est faible si [la densité animale est faible] OU si [l'accessibilité est élevée] OU si [l'accessibilité est faible ET qu'au moins un point d'eau est présent], sinon le risque est négligeable. Ces informations ont été reportées dans le tableau ci-dessous:

	Le niveau de risque est ...		
	Très élevé, si	**Élevé, si**	**Faible, si**
	Densité animale (TE)	Densité animale (E)	Densité animale (F)
OU	Densité animale (E) ET Accessibilité (TE)	Accessibilité (TE)	Accessibilité (E)
OU	Densité animale (E) ET Accessibilité (E) ET Point d'eau (P)	Densité animale (F) ET Accessibilité (E) ET Point d'eau (P)	Accessibilité (F) ET Point d'eau (P)

5.4 Quatrième étape: Cartographier le risque d'exposition

Quand vos niveaux de risque sont caractérisés, il faut importer vos données dans un logiciel SIG et cartographier le risque d'exposition de la maladie sur le territoire de votre choix.

Comme pour l'analyse du risque d'introduction, il s'agit de passer en revue les caractéristiques de chaque division administrative (les différentes catégories de facteurs de risques qui leurs sont associées) pour savoir quel niveau de risque leur attribuer. Une fois que vous avez définit un niveau de risque d'exposition pour chaque division administrative, produisez une carte en colorant les divisions administratives en fonction de leur niveau de risque. Il est convenu de respecter les couleurs suivantes (table ci-dessous) :

Risque	**Couleur**	**Code (Hex et RVB)**
Négligeable	Vert	#13d604 (19,214,4)
Faible	Jaune	#ffe74d (255,231,77)
Elevé	Orange	#ff8c4a (255,140,74)
Très élevé	Rouge	#fc3232 (252,50,50)

Exemple Sur la base de l'exemple précédent, nous allons colorer en rouge toutes les divisions administratives où le risque d'exposition est très élevé, en orange toutes celles où le risque est élevé, en jaune toutes celles où le risque est faible et enfin en vert toutes celles où le risque est négligeable.

Ainsi, toutes divisions administratives présentant une densité animale très élevée doivent apparaitre en rouge sur la carte. Il en est de même pour les divisions administratives où la densité animale est élevée et associée à une accessibilité très élevée, et pour les divisions administratives où la densité animale est élevée et associée à une accessibilité élevée et à la présence au moins un point d'eau.

Selon la même logique, parmi les divisions administratives restantes, doivent apparaitre en orange :

- les divisions administratives où la densité animale est élevée mais où l'accessibilité n'est pas très élevée ;
- les divisions administratives où l'accessibilité est très élevée mais où la densité animale n'est ni élevée, ni très élevée ;
- les divisions administratives où la densité animale est faible et associée à une accessibilité élevée et à la présence d'au moins un point d'eau.

Enfin, parmi les divisions administratives restantes, doivent apparaitre en jaune :

- les divisions administratives où la densité animale est faible mais où l'accessibilité n'est ni très élevée, ni élevée et associée à la présence d'un point d'eau ;
- les divisions administratives où l'accessibilité est élevée mais où la densité animale n'est ni très élevée, ni élevée, ni faible et associée à la présence d'un point d'eau ;
- les divisions administratives où l'accessibilité est faible et associée à la présence d'au moins un point d'eau.

Toutes les autres divisions administratives ont un risque d'exposition négligeable puisqu'elles ne présentent pas de facteurs de risque majeur et doivent donc apparaitre en vert sur la carte.

Dans les travaux pratiques (chapitre 9), nous verrons comment utiliser des outils gratuits et simples d'usage pour produire les cartes de risque à partir de vos données dès lors que les quatre niveaux de risque ont été caractérisés en groupe d'experts.

Félicitations, si vous avez réussi toutes ces étapes,
vous avez produit une carte de risque d'exposition (installation et dispersion) d'une maladie animale !!

Si ce n'est pas le cas, rendez-vous à la partie II pour réaliser concrètement l'analyse qualitative et cartographique du risque d'exposition en suivant l'exemple proposé en Travaux pratiques, chapitre 9. Cela vous permettra de de vous entrainer avec des données fictives et les facteurs de risque proposés.

6. Surveillance et contrôle basés sur le risque

Les cartes de risque produites sont des outils pertinents et efficaces d'aide à la décision. Elles peuvent être utilisées dans le cadre de différentes activités, notamment pour aiguiller les prises de décisions sanitaires visant à optimiser les activités de surveillance et de contrôle en santé animale. Nous allons voir ensemble quelques exemples d'applications.

6.1 Surveillance basée sur le risque

Dans le cadre de la surveillance de la fièvre aphteuse, deux types de surveillance peuvent être mises en place :

La surveillance évènementielle via l'obligation de déclarer tout cas suspect de fièvre aphteuse sur le territoire. Ce type de surveillance est globalement appliqué dans tous les pays membres de l'OIE, puisque la fièvre aphteuse est une maladie à notification obligatoire (OIE, 2007).

La surveillance programmée via des enquêtes sérologiques ou virologiques que ce soit dans le cadre d'une recherche active de cas ou pour estimer la séro-prévalence sur un territoire donné. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2.1 (page 13), la surveillance programmée est généralement coûteuse mais son rapport coût/bénéfice peut être optimisé en allouant les ressources disponibles en fonction du risque, on dit alors qu'on fait de la **surveillance basée sur le risque**.

Pour rappel, l'objectif de la surveillance basée sur le risque est de maximiser la probabilité de détection d'une éventuelle introduction / diffusion d'un pathogène sur le territoire en diminuant les coûts. Il s'agit de prioriser les activités de surveillance selon le niveau de risque.

Les protocoles de surveillance basée sur le risque sont établis à partir de six critères principaux :

- Espèces (animaux) sensibles (ex. pour la fièvre aphteuse sont les animaux de l'ordre des artiodactyles, du sous-ordre des ruminants et de la famille des suidés, ainsi que des camélidés de l'espèce *Camelus bactrianus*) ;
- Zones à risque d'introduction et à risque d'exposition (Cf. cartes de risque) ;

- Points de rassemblement et d'échange (marchés, points d'eau, pâturages, postes d'inspection vétérinaire) et points de passage aux frontières ;
- Acteurs responsables de la surveillance ;
- Périodes de forte activité : commerciale, transhumance ou, si maladie vectorielle, saison des vecteurs ;
- Prévalence estimée de la maladie sur la zone (ex. pays) ou estimation d'un seuil de prévalence.

Ainsi, en s'appuyant sur ces critères, et tout en restant dans le cadre de la stratégie adoptée au niveau national et en tenant compte des activités de surveillance déjà en place dans le pays, il est possible d'adapter/d'optimiser les activités de surveillance de divers points de vue.

Avec l'AQCR, nous sommes capables de discriminer spatialement des zones de risque élevé et très élevé que ce soit pour l'introduction ou pour l'exposition au virus de la fièvre aphteuse. C'est donc en s'appuyant sur la distribution des zones à risque que nous allons pouvoir optimiser les stratégies de surveillance. La nécessité d'intensifier les efforts de surveillance dans les zones à risque élevé et très élevé est assez intuitive.

Sur la base des cartes de risque produites avec l'AQCR, réfléchissez à la possibilité de concentrer les efforts de surveillance programmée dans les zones à risque élevés et très élevés, tout en maintenant la surveillance évènementielle et les activités de sensibilisation dans les zones où le risque est faible ou négligeable.

Un exemple de plan de surveillance basée sur le risque vis à vis de la fièvre aphteuse

Un plan de surveillance de la fièvre aphteuse basée sur le risque pourrait être définit par une combinaison des deux types de surveillance appliqués de façon différentielle sur le territoire en fonction des niveaux de risque estimés.

Surveillance évènementielle sur l'ensemble du pays, pour assurer la détection précoce dans les élevages, en incitant à la déclaration et aux tests des animaux sensibles présentant des signes cliniques évocateurs de la maladie.

Surveillance programmée dans les zones à risque d'introduction ou d'exposition élevé et très élevé, pour :

1. Détecter précocement les infections subcliniques et la circulation du virus parmi certaines populations à risque ;
2. Contribuer à démontrer qu'une zone (ex. le pays entier ou une région spécifique) a un statut de zone indemne pour une maladie donnée.

Dans le cadre de la surveillance programmée mise en œuvre dans les zones à risque d'introduction ou d'exposition élevé et très élevé, différentes activités de surveillance peuvent être organisées et adaptées au risque.

Un exemple d'activité de surveillance basée sur le risque : Échantillonnage basé sur le risque

Les procédures d'échantillonnage pour la fièvre aphteuse sont élaborées conformément au Manuel des tests de diagnostic et des vaccins de l'OIE (OIE, 2012). L'OIE recommande l'utilisation de la technique ELISA qui détecte les antigènes du virus de la fièvre aphteuse et est utilisée pour le sérotypage.

L'objectif de l'échantillonnage basé sur le risque est de maximiser l'efficacité des inspections vétérinaires en adoptant une stratégie de hiérarchisation des activités en fonction du risque. Une activité basée sur le risque peut être optimisée en se basant sur différents critères.

Pour un échantillonnage efficace, il faut rigoureusement étudier et définir *a minima* quatre paramètres :

La période d'échantillonnage Celle-ci doit être adaptée à la saisonnalité l'élevage. Une analyse de risque peut ainsi mettre en évidence des périodes à risque, comme les fêtes religieuses où on observe une intensification de la mobilité animale. Les échantillonnages mis en œuvre pendant les périodes à risque sont les plus efficaces.

Le type de sites échantillonnés Sur la base d'une évaluation des risques, le plan d'échantillonnage doit également tenir compte du type de site échantillonné (élevage en plein air, marché d'animaux vivants, abattoir, etc) et des facteurs de risque qui lui sont associés (ex. la présence des différentes espèces dans une même exploitation).

Le nombre de sites échantillonnés Celui-ci doit être déterminé de manière à assurer la détection précoce du virus dès son introduction sur le territoire. Il est calculé en fonction de la prévalence de la maladie dans le pays (plus la prévalence est élevée, plus la probabilité de détection est élevée, moins le nombre minimal de sites à prélever est élevé). Le nombre de sites échantillonnés dans une zone devrait être proportionnel à la probabilité d'introduction et d'exposition de la zone. Dans le cas d'un pays indemne de fièvre aphteuse, les efforts d'échantillonnage doivent se concentrer sur les zones où la probabilité d'introduction ou d'exposition est élevée ou très élevée.

Le nombre d'animaux échantillonnés par site Celui-ci doit être déterminé de manière à assurer la détection d'au moins un animal présentant une réaction positive dans une population infectée. Il dépend de plusieurs paramètre, dont la taille des troupeaux et le taux de prévalence dans la population (Elnekave et al., 2016).

NB Dans le cas de la fièvre aphteuse, il semblerait que les bovins provenant de zones à forte couverture vaccinale présentent un risque d'infection moins élevé que les bovins provenant de zones où la couverture vaccinale est faible (Gonzales et al., 2014).

Ce type d'informations issu des recherches en cours peut également être pris en compte lors de la détermination d'un protocole de surveillance.

Pour aller plus loin

L'outil **Epitools**, développé par the Australian Biosecurity Cooperative Research Centre for Emerging Infectious Disease (AUSVET), propose une méthode pour calculer le nombre de sites et le nombre d'animaux/site à prélever pour un échantillonnage optimal. Cet outil est disponible en libre accès en ligne (The Australian Biosecurity Cooperative Research Centre for Emerging Infectious Disease, 2019).

Une autre approche donnant des résultats similaires est proposée dans la 4ème Édition du livre : Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures (Toma et al., 2018).

6.2 Contrôle basé sur le risque

Dans le cadre du contrôle de la fièvre aphteuse, quatre stratégies de contrôle et d'éradication de la fièvre aphteuse chez les animaux sensibles sont reconnues par l'OIE (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2013; OIE, 2007). Ces stratégies sont :

- Abattage de tous les animaux présentant des manifestations cliniques et des animaux sensibles ayant été en contact avec eux – comme au Royaume Unis en 2001
- Abattage de tous les animaux présentant des manifestations cliniques et des animaux sensibles ayant été en contact avec eux et vaccination des animaux à risque, suivi de l'abattage des animaux vaccinés – comme au Japon en 2010

- Abattage de tous les animaux présentant des manifestations cliniques et des animaux sensibles ayant été en contact avec eux et vaccination des animaux à risque, sans l'abattage des animaux vaccinés – comme en Corée du sud en 2010-2011
- Vaccination d'urgence sans abattage des animaux atteints, ni des animaux vaccinés – comme en Équateur en 2011, ou en Corée du sud en 2010-2011

Les principales activités de contrôles mises en œuvre dans ces stratégies sont l'abattage sanitaire et la vaccination. Cependant, il en existe bien d'autres, comme la restriction des mouvements animaux et de leurs produits ou l'augmentation des contrôles de biosécurité. Toujours avec l'objectif d'optimiser l'efficacité des stratégies de contrôle malgré des ressources limitées, nous allons voir deux exemples d'adaptation d'activités de contrôle basées sur l'utilisation des cartes de risques produites par l'AQCR.

Un exemple d'activité de contrôle basée sur le risque : Vaccination basée sur le risque

La vaccination est un des moyens de prévention et de contrôle de diffusion d'une maladie sur un territoire donné. Mise en place contre la fièvre aphteuse, elle a comme objectif d'obtenir une protection spécifique des animaux sensibles vis-à-vis d'une infection par une souche homologue de virus.

Généralement mise en œuvre à l'issue d'une évaluation de situation sur le terrain, la vaccination peut réduire significativement les signes cliniques et l'excrétion du virus liée à une épizootie, aussi les services vétérinaires y ont souvent recours lorsqu'un foyer de fièvre aphteuse est détecté sur le territoire ou si des pays voisins touchés représentaient une menace épidémiologique au regard de leur proximité géographique et de leux connexions commerciales.

Quelles que soient les mesures de gestion entreprises, les services vétérinaires doivent mettre au point un plan de vaccination en lien avec la stratégie de contrôle national en s'appuyant sur les experts nationaux et locaux, et sur des outils tels que les cartes de risque produites par l'AQCR.

Deux exemples de plans de vaccination basés sur le risque

Voyons deux exemples de plans de vaccination qui pourraient être mis en œuvre dans deux contextes différents : *i)* le cas d'un pays indemne qui mettrait en place un plan de vaccination visant à protéger son cheptel d'une éventuelle introduction, et *ii)* le cas d'un pays touché par une épizootie qui mettrait en place un plan de vaccination dans le but de contrôler la dispersion du virus et d'éradiquer la maladie.

Pays indemne Tout en appliquant des mesures de biosécurité et en contrôlant les mouvements animaux, la vaccination contre la fièvre aphteuse doit augmenter la résistance à l'infection par le virus et devrait réduire les niveaux d'excrétion virale et prévenir les signes cliniques en cas d'introduction du virus. En pays indemne, la vaccination sur l'ensemble du pays peut s'avérer très couteuse, une possibilité pour réduire les coûts liés à la vaccination serait donc de créer une zone tampon de vaccination le long des frontières ou de mener des campagnes de vaccination dans les zones à risque d'introduction élevé et très élevé (Cf. cartes de risques produites par l'AQCR).

Selon ces situations, une expertise est nécessaire pour sélectionner les animaux sensibles à vacciner, le vaccin adapté et la périodicité des campagnes (vaccination annuelle ou bi-annuelle). La réussite de la vaccination nécessite également la mise en place d'un suivi et d'une évaluation de sa réalisation et des moyens mis en œuvre pour son bon déroulement. Gardons toutefois à l'esprit que cette méthode de prophylaxie, n'empêche pas l'introduction du virus et sa propagation (AFSSA, 2009), et peut même retarder la détection précoce d'une introduction du virus de la fièvre aphteuse.

Pays touché par une épizootie En cas d'apparition de cas de la fièvre aphteuse au niveau national, la vaccination, doit être faite en combinaison avec d'autres mesures de contrôle, notamment l'abattage sanitaire, le contrôle des mesures de biosécurité, une séro-surveillance active et la sensibilisation. La mise en œuvre de ces mesures de contrôle sur l'ensemble du pays peut s'avérer très couteuse. Tout en mettant en œuvre la vaccination d'urgence au niveau des foyers et dans la zone tampon définie autour du foyer, une possibilité pour augmenter l'efficacité et réduire les coûts associés pourrait être de prioriser les zones présentant un risque d'exposition élevé ou très élevé (Cf. cartes de risque produites par l'AQCR).

Gardons à l'esprit que le contrôle de la fièvre aphteuse par la vaccination seule, sans abattre les animaux atteints, ne sera probablement pas efficace. L'efficacité d'une telle politique dépend aussi des caractéristiques de la souche virale impliquée, de la densité des élevages et du nombre des animaux, du niveau de biosécurité et de la collaboration entre les parties prenantes (industriels et éleveurs), mais aussi des capacités logistiques des services vétérinaires tels que la disponibilité des vaccins (banques de vaccins) et une administration adéquate (couverture des nombreux des élevages en temps court) selon les mesures plus strictes de biosécurité. De plus, les mouvements des équipes de vaccination peuvent présenter un risque non négligeable de propagation de l'infection (AFSSA, 2009).

Entraînement à la situation d'urgence

L'efficacité des mesures nationales en cas de foyers de fièvre aphteuse est plus efficace lorsque les acteurs concernés ont étés formés/informés au préalable. Pour cela quatre points doivent être prises en compte :

Constitution d'un groupe d'experts Il s'agit de maintenir un groupe des experts nationaux et internationaux en cas d'apparition des foyers (au niveau national ou dans la région) pour répondre aux questions tels que l'éventualité d'une vaccination préventive d'urgence, zonage et d'autres mesures adaptés à la lutte et la contrôle de la fièvre aphteuse ;

Exercices d'alerte sur le terrain Il s'agit de maintenir des simulations d'alerte de terrain pour maintenir une vigilance et une sensibilisation des gestionnaires (services vétérinaires) et des experts (laboratoire) ainsi que les acteurs du terrain (éleveurs, industrie, gendarmerie) sur l'éventualité d'une épizootie de fièvre aphteuse ;

Échanges scientifiques et sanitaires régionales en relation avec la fièvre aphteuse Il s'agit de mettre en place des échanges avec des services vétérinaires du région (et surtout avec les pays où la maladie est présente). Cela permettrait d'observer la maladie clinique, de faire face à des situations sanitaires et économiques différentes de celles du territoire national tout en tentant, en cas de besoin, d'apporter leur propre niveau d'expertise (organisation du laboratoire, du diagnostic et de la vaccination) ;

Évaluation de l'efficacité de la vaccination Il s'agit d'avoir l'information qui permet de suivre et l'efficacité de la campagne de vaccination organisée, tels que : la population ciblé, taux de couverture vaccinale, y compris le suivi sérologique de l'immunité de la population, les autorisations et spécifications techniques des vaccins utilisés et le calendrier pour la vaccination, respectant les normes du Manuel terrestre de l'OIE.

Un exemple d'activité de contrôle basée sur le risque : Restrictions des mouvements animaux

Les mouvements animaux constituent un des facteurs de risque les plus importants vis à vis de la dispersion des épizooties (Dubé et al., 2009; Hässig et al., 2015). Le contrôle de la mobilité animale est donc primordial pour contrôler de diffusion d'une maladie et pour son éradication.

La mise en œuvre d'enquêtes, d'intervention de contrôle, de prélèvements et d'analyses sérologiques peut, une fois de plus, être extrêmement coûteuse. Afin de réduire les coûts, vous pouvez utiliser les cartes de risque produites avec l'AQCR pour faire des propositions en concentrant

les efforts et les ressources disponibles sur les zones de présentant un risque élevé ou très élevé pour la dispersion virale.

Commerce international d'animaux vivants

Suite à la détection d'un cas de fièvre aphteuse, les cartes issues de l'AQCR liée au virus de la fièvre aphteuse peuvent aiguiller les autorités sanitaires sur la répartition des efforts de contrôle. Par exemple, les importations d'animaux vivants et de leurs produits provenant d'un pays avec :

Un risque d'émission négligeable pourraient être maintenues sans restriction, avec uniquement le contrôle des documents/certificats sanitaires ;

Un risque d'émission faible pourraient être soumises à l'application de certaines mesures de réduction du risque (ex. dans les zones à risque faible, on pourrait instaurer la mise en quarantaine des animaux importés) ;

Un risque d'émissionélevé pourraient être contraintes à une évaluation poussée des mesures de réduction du risque, de leur efficacité et faisabilité (ex. dans les zones à risque élevé, on pourrait instaurer la mise en quarantaine des animaux importés ainsi que des analyses sérologiques systématiques) ;

Un risque d'émission très élevé pourraient être interdite avec un embargo complet des importations animales.

De même, sur la base des cartes de risque et de concertations avec les experts, les autorités sanitaires nationales pourraient choisir d'intensifier les contrôles dans les zones à risque d'introduction élevé et très élevé, telles que les zones frontalières ou les point focaux du réseau de la mobilité animale internationale mis en évidence par l'analyse de mobilité (SNA).

Mobilité des animaux sur le territoire national

Une fois le virus introduit sur le territoire, des restrictions des mouvements devraient aussi être appliquées aux mouvements d'animaux sur le territoire national. Comme pour le commerce international, les cartes produites par l'AQCR réalisée pour la fièvre aphteuse peuvent aiguiller les autorités sanitaires dans l'allocation des ressources et des efforts de contrôle.

Par exemple, les mouvements des animaux s'effectuant depuis les zones présentant :

Un risque d'exposition négligeable pourraient être maintenus sans restrictions supplémentaires en continuant toutefois à appliquer la réglementation de base, comme la vérification des documents vétérinaires en cas de vente/abattage ;

Un risque d'exposition faible pourraient être soumis à des mesures de réduction du risque préalables (ex. contrôle de l'application des mesures sanitaires et de biosécurité) ;

Un risque d'exposition élevé pourraient être soumis à une évaluation poussée des mesures de réduction du risque, de leur efficacité et faisabilité (ex. l'acheminement à l'abattoir des animaux provenant d'exploitations dans les zones à risque élevé pourrait être contrôlé et surveillé pour empêcher tout contact avec d'autres animaux sensibles) ;

Un risque d'exposition très élevé pourraient être complètement interdits.

Réfléchissez maintenant aux dispositifs de surveillance et de contrôle mis en place dans votre pays et proposez des améliorations sur la base des cartes de risque produites avec l'AQCR.

Si vous rencontrer des difficultés à interpréter vos cartes de risque et à en tirer des recommandations, n'hésitez pas à contacter l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD pour en discuter (team.aqcr@cirad.fr).

Quelques exemples concrets :

- Au Burkina Faso, les campagnes de vaccination du programme d'éradication de la Peste des Petits Ruminants ont été stratifiées sur la base de cartes de risque produites par une AQCR.
- Au Sénégal, l'AQCR a été utilisée pour produire des cartes de de risque pour la Fièvre de la Vallée du Rift, Ebola et la Fièvre de Crimée-Congo

La vaccination d'urgence : une mesure controversée au sein des services d'États et des partenaires commerciaux

En l'absence d'abattage des animaux vaccinés, le rétablissement du statut indemne de fièvre aphteuse sans statut de vaccination par l'OIE ne peut avoir lieu avant 6 mois après élimination du dernier animal infecté ou de la dernière vaccination (article 8.8.7) par rapport à trois mois avec la stratégie de vaccination d'urgence suivie de l'abattage.

En l'absence de tests diagnostiques de qualité reconnus par l'OIE pouvant distinguer les animaux naturellement infectés des animaux vaccinés, la vaccination complique considérablement le processus de rétablissement du statut indemne de fièvre aphteuse après une épidémie et a un impact sur le délai d'attente nécessaire pour retrouver ce statut.

Par exemple, lorsqu'un cas de fièvre aphteuse survient dans un pays indemne de fièvre aphteuse où la vaccination n'est pas pratiquée, le rétablissement du «statut indemne de fièvre aphteuse sans vaccination» de l'OIE, sans abattage d'animaux vaccinés après une vaccination d'urgence, ne peut avoir lieu que 6 mois après élimination du dernier animal infecté ou de la dernière vaccination (OIE, 2019), alors que si la vaccination d'urgence est suivie d'une stratégie d'abattage ultérieure le statut peut être rétablie après trois mois.

Au niveau du commerce international, beaucoup de partenaires refusent de reprendre les échanges commerciaux suite à la mise en place d'une stratégie de vaccination sans abattage des animaux vaccinés (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2013).

Type	**Avantages**	**Inconvénients**
Sanitaires	Risque d'infection diminué chez les animaux sensibles en cas d'épizootie.	Protection conférée par la vaccination débute vers le 7ème jour, bien qu'une diminution de la diffusion du virus ait pu être observée dès le 4ème jour post-vaccination.
	Réplication et excrétion du virus limitées chez les animaux infectés avec un ralentissement de la vitesse de propagation de l'épizootie.	
	Nombre de foyers cliniques diminué et la diffusion diminuée.	Propagation du virus par les équipes de vaccination.
Socio-économiques	Nombre d'animaux abattus diminué.	Propagation du virus par les équipes d'abattage.
	Pertes pour les éleveurs diminuées.	Coûts élevés des tests sérologies nécessaires au recouvrement du statut indemne.
	Retentissement médiatique diminué.	Restrictions commerciales importantes.
	En fonction de l'ampleur de l'épizootie, moyens peu importants.	En fonction de l'ampleur de l'épizootie, moyens importants.

II Travaux pratiques

7 Prise en main de QGIS 45
7.1 Découverte de QGIS
7.2 Utilisation basique de QGIS
7.3 Utilisation avancée de QGIS

8 Prise en main de R 55
8.1 Découverte de R
8.2 Se former à l'utilisation basique de R

9 Application de la méthode : cas de la Tunisie 57
Prérequis
9.1 Risque d'introduction
9.2 Risque d'exposition

7. Prise en main de QGIS

Ce cours est une adaptation des bulletins SIG du réseau Caribéen de santé animale: CaribVET.

7.1 Découverte de QGIS

L'objectif de ce cours est de vous former aux bases des SIG (Système d'Information Géographique, voir détails chapitre 2.4). Les grands principes et la terminologie seront expliqués et accompagnés d'exemples. Même s'il y a beaucoup d'algorithmes complexes derrière les logiciels de SIG, il n'est pas nécessaire d'étudier les mathématiques appliquées avant de se lancer. Les SIG sont des sciences appliquées et le meilleur moyen de s'y former est de pratiquer, tester, rater, recommencer. Les parties les plus importantes de ce cours sont donc les exercices.

7.1.1 Qu'est-ce que QGIS ?

QGIS est un projet officiel de la fondation Open Source Geospatial (OSGeo). Anciennement connu sous le nom de Quantum GIS, QGIS est un logiciel de SIG **libre** et **open-source** (gratuit) permettant de **visualiser, modifier et analyser des données géospatiales**.

QGIS est un logiciel multiplateforme, compatible avec Windows, Mac OS X, Linux, Unix et Android. Il est capable d'intégrer de nombreux formats : vecteur, raster, base de données et fonctionnalités.

Ce logiciel, perpétuellement en développement, s'appuie sur une large communauté de volontaires et d'organisations qui lui confère une stabilité, un champ fonctionnel et une évolutivité équivalents, voire supérieurs, aux solutions payantes du marché telles que ArcGis, MapInfo ou GeoConcept.

Alliant la gratuité à la performance, QGIS est une référence dans le monde des SIG, c'est pourquoi il a été sélectionner pour réaliser l'analyse cartographique et qualitative de risque présentée dans ce guide.

7.1.2 Installer QGIS

Pour commencer, vous avez besoin d'un ordinateur et d'une connexion internet.

1. Ouvrez votre navigateur internet et rendez-vous sur la page : http://qgis.org/fr/site/forusers/download.html
2. Téléchargez la dernière version de QGIS, e.g. “Installateur indépendant de QGIS 3.6 (32 bits)”. Si vous travaillez sur un ordinateur 64-bit, ne vous en faites pas, cette version fonctionnera parfaitement quand même.
3. Une fois le fichier téléchargé, double-cliquez simplement dessus et suivez les instructions d’installation.

NB Les durées du téléchargement du fichier (taille du fichier > 300 Mo) et de l’installation du logiciel peuvent être longues si le débit de votre connexion internet est limité (de 20 min à 1h30). Soyez patient et profitez de cette attente pour faire autre chose et échanger avec vos collègues.

Si besoin, regardez la vidéo de la procédure d’installation QGIS

7.2 Utilisation basique de QGIS

7.2.1 Créer son premier projet

Rien de plus facile, ouvrez QGIS et, dans la barre des tâches en haut à gauche, cliquez sur Projet » Nouveau. Par la suite, n’oubliez pas de sauvegarder votre projet avant de quitter.

7.2.2 Importer ses premières données

Qu’est ce qu’une donnée spatiale ?

Les données spatiales sont des objets référencés géographiquement. Elles comprennent donc forcément des informations relatives à l’emplacement physique et à la forme d’objets géométriques. Ces objets peuvent être des emplacements de points ou d’objets plus complexes tels que des pays, des routes ou des lacs.

Dans un SIG, les données sont représentées sous forme de couches contenant des objets spatialisés. Il existe trois classes d’objets spatialisés définissant ce qu’on appelle la géométrie de la couche : (i) les points, (ii) les lignes et (iii) les polygones. Les points sont souvent utilisés pour représenter des villes, des adresses ou des observations de terrain. Les rivières et les routes sont généralement représentées par des lignes. Enfin, les unités administratives (ex : pays, communes) sont un bon exemple d’utilisation de polygones.

Quels formats peuvent avoir les données spatiales ?

Dans un SIG, on peut importer des données sous différentes formes :

- Sous forme tabulaire (Tableaux: xls, csv, txt, ...);
- Sous forme vectorielle (shp, dxf, ...);
- Sous forme d’images ou rasters (jpeg, tiff, ...)

Les formats les plus communément utilisés sont les vecteurs et les rasters. Alors que la forme tabulaire gère uniquement les points, le format vectoriel gère les points, les lignes et les polygones. Les objets spatialisés contenus dans les vecteurs et les tableaux peuvent être complétés par des informations alphanumériques non-spatialisées (eg. le nom de la ville ou le nombre d'habitants). Les données raster sont stockées sous formes de cellules formant une maille. Ces données sont aussi complétées par des données alphanumériques telles que la moyenne, le maximum ou encore le minimum.

Toutes les informations non-spatialisées des objets spatialisés, autrement dit les données alphanumériques des vecteurs et des tableaux, sont recensées dans ce qu'on appelle une table attributaire ou table d'attributs.

D'où proviennent les données spatiales ?

Les données spatiales sont obtenues par télédétection ou via la cartographie.

Il existe beaucoup de données en libre-service sur internet. Avant de mettre en place un échantillonnage sur le terrain, assurez-vous que les données que vous recherchez ne sont pas disponibles en ligne.

Quelques sites pour trouver des données de qualité en ligne

DIVA-GIS Données spatiales gratuites pour le monde entier, avec notamment les frontières administratives, routes, densités de population, etc.
http://www.diva-gis.org/

GADM maps and data Données spatiales gratuites illustrant les frontières administratives des pays du monde entier.
http://www.gadm.org/country

FAO GeoNetwork Données spatiales gratuites pour le monde entier, avec notamment les densités animales, les systèmes d'élevage, etc.
http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/main.home

Esri Open Data Données spatiales gratuites pour le monde entier, avec notamment des zones d'aires protégées, des réseaux de transport, etc.
https://hub.arcgis.com/pages/open-data

NASA Earth Observations (NEO) Données climatiques et météorologiques mondiales gratuites.
https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/

Quelques conseils et outils pour récolter des données spatiales sur le terrain Si vous n'avez pas trouvé les données que vous cherchez en ligne, il est toujours possible de récolter des données spatiales au travers d'enquêtes à la condition d'utiliser un appareil géo-localisé (eg. GPS, smartphone, tablette).

Deux options s'offrent à vous :

- Créer votre questionnaire dans un éditeur de texte comme MS word (un exemple de questionnaire créé pour une collecte de données sur la mobilité animale en Mauritanie est présenté en Annexe 9.2.4) et compléter les informations manuellement en reportant les coordonnées GPS de chaque donnée dans le formulaire.
- Utiliser un outil informatique dédié comme **Kobotoolbox** (vous pouvez suivre la formation en ligne du Cirad : **ICI**).

Comment importer des données spatiales dans QGIS ?

Pour importer des données spatiales dans QGIS, vous devez choisir l'outil en fonction du format de vos données.

Couche vecteur Pour ajouter une **couche vecteur**, vous avez deux options :

- Utilisez le menu en haut de l'écran
  Couche » Ajouter une couche » Ajouter une couche vecteur...
- Cliquez sur l'icône : sur la gauche de l'écran

Couche raster Pour ajouter une **couche raster**, vous avez deux options :

- Utilisez le menu en haut de l'écran
  Couche » Ajouter une couche » Ajouter une couche Raster...
- Cliquez sur l'icône : sur la gauche de l'écran

Couche tabulaire Pour ajouter une **couche tabulaire**, vous avez deux options :

- Utilisez le menu en haut de l'écran
  Couche » Ajouter une couche » Ajouter une couche de texte délimité...
- Cliquez sur l'icône : sur la gauche de l'écran

Dans tous les cas, une fenêtre s'ouvre afin que vous puissiez sélectionner votre fichier.

Exercise 7.1 Importer une couche vecteur

- Créez un nouveau projet que vous appellerez Exercice 7.1
- Rendez-vous sur le site de GADM maps and data et téléchargez les données spatiales représentant les frontières administratives de votre pays.
  NB: adm0, adm1, adm2, etc correspondent à différents découpages administratifs, vous pouvez en essayer plusieurs pour choisir celui qui vous convient le mieux.
- Ajoutez la couche (.shp) à votre projet QGIS.

Question 1 Quel est le format de votre couche (vecteur, tabulaire, raster) ?

Question 2 Quel type d'objets contient votre couche (points, lignes, polygones, cellules) ?

Correction : regardez la vidéo de réalisation de l'exercice 7.1 pour le Mali.

Exercise 7.2 Créer et importer une couche tabulaire

- Créez un nouveau projet que vous appellerez Exercice 7.2
- Téléchargez en ligne des données spatiales représentant les frontières administratives du Maroc (Cf. exercice 7.1).
- Ajoutez la couche représentant les frontières administratives du Maroc dans votre projet QGIS.
- Créer un tableau Excel avec trois colonnes, en suivant l'exemple ci-dessous, complétez la dernière ligne à l'aide du site :
  https://www.coordonnees-gps.fr/conversion-coordonnees-gps
  Puis, enregistrez-le au format .csv

Ville	Longitude	Latitude
Rabat	-6.8325500	34.0132500
Casablanca	-7.6113800	33.5883100
Marrakech	-7.9999400	31.6341600
Essaouira	- - -	- - -

- Ajoutez la couche tabulaire (.csv) représentant les villes dans votre projet QGIS.
  Conseil : Utilisez le même système de coordonnées de référence pour toutes les couches de votre projet

Question 1 De combien de couches est composé votre projet ?
Question 2 Quel type d'objets contiennent vos couches (points, lignes, polygones, cellules) ?

Correction : regardez la vidéo de réalisation de l'exercice 7.2 pour le Maroc.

Exercise 7.3 Importer une couche raster

- Créez un nouveau projet que vous appellerez Exercice 7.3
- Rendez-vous sur le site FAO GeoNetwork
- Téléchargez les données spatiales représentant la distribution mondiale des bovins (Cattle distribution - Gridded Livestock of the World v 2.01).
- Ajoutez (.tif) la couche à votre projet QGIS.

Question 1 De combien de couches est composé votre projet ?
Question 2 Quel type d'objets contient votre couche raster (point, ligne, polygone, cellules)?

Correction : regardez la vidéo de réalisation de l'exercice 7.3

7.2.3 Changer l'ordre des couches

Les couches sont superposées dans l'ordre affiché dans la légende à gauche. Vous pouvez changer l'ordre des couches en cliquant sur le nom d'une couche dans la légende à gauche et en la déplaçant.

7.2.4 Rendre une couche invisible

Pour rendre une couche invisible, cliquez sur la case avant le nom de la couche dans la légende. Une fois que la case n'est plus cochée, la couche n'est plus visible sur la carte.

7.2.5 Supprimer une couche

Vous pouvez supprimer une couche de la carte en faisant un clique-droit sur le nom de la couche dans la légende et en sélectionnant Supprimer.

7.2.6 Zoomer et dézoomer

Avec le menu Vue » Zoom + / Zoom -, vous pouvez zoomer sur une zone donnée en cliquant sur l'écran ou en dessinant des rectangles sur la carte. Vous pouvez aussi directement utiliser les boutons de raccourci dans la barre du haut : et .

7.2.7 Obtenir des informations sur les différents objets de la carte

Les informations non-spatialisées des objets spatialisés (couches vecteurs et des couches tabulaires) sont contenus dans ce qu'on appelle la Table attributaire. Chaque ligne représente une entité/un objet spatialisé (un polygone, un point, une ligne selon la géométrie de vos données) avec ses attributs répartis dans plusieurs colonnes.

Pour naviguer dans cette table, réalisez un clic-droit sur la couche qui vous intéresse et sélectionnez Ouvrir la table attributaire ( ).

Pour avoir des informations sur un objet précis, vous avez deux options :

- Si vous sélectionnez une ligne dans la table attributaire, l'objet spatial correspondant apparaitra en jaune sur la carte. Inversement, en utilisant l'outil Vue » Select » Sélectionner des entités par zone ou par simple clic ( ), vous pouvez sélectionner un objet sur la carte en cliquant dessus, celui-ci apparaitra alors en jaune sur la carte et la ligne correspondante sera sélectionner dans la Table attributaire.
- Vous pouvez utiliser l'outil Vue » Identifier les entités ( ) et cliquez sur la partie de la carte qui vous intéresse.

La table attributaire permet de visualiser les données mais aussi de les trier et de les éditer.

7.2.8 Modifier les données dans la table attributaire

Pour modifier les données dans une table attributaire, cliquez sur la couche de votre choix et ouvrez la table attributaire ( ). Passez en mode édition ( ), vous pouvez maintenant éditer la table de la même façon que dans un tableau Excel:

- Effectuez un double-clique dans la cellule à éditer
- Utilisez les icones : pour ajouter (jaune) ou supprimer (rouge) des colonnes
- Sauvegardez vos modifications .

Cliquez de nouveau sur pour arrêter l'édition. Vous noterez que tant que la table attributaire est en cours d'édition, les contours de la carte sont recouverts de croix rouges (même si vous fermez la table attributaire)

Pour en savoir plus, rendez-vous sur : https://docs.qgis.org/2.14/fr/docs/user_manual/working_with_vector/attribute_table.html

Exercise 7.4 Trouver des informations dans la Table attributaire

- Créez un nouveau projet que vous appellerez Exercice 7.4.
- Rendez-vous sur le site de Diva-GIS pour télécharger le fichier shapefile (vecteur) représentant les divisions administratives de Guinée.
- Ajoutez la couche GIN_adm3.shp à votre projet.
- Sélectionnez les 5 sous-préfectures de la préfecture de Conakry dans la région de Conakry et observer où elles se trouvent sur la carte.
- Utilisez l'outil pour sélectionner sur la carte les sous-préfectures côtières et trouvez dans la Table attributaire à quel département elles appartiennent.
- Ajouter une nouvelle colonne, nommez la "Statut", définissez en le Type comme un Texte (chaine de caractères) et fixez sa Longueur à 50. Puis cliquez sur OK. Inscrivez 'côtier' pour les communes côtières et 'intérieur' pour les autres communes.

Question 1 Où sont localisées les cinq sous-préfectures de la préfecture de Conakry ?

Question 2 De combien de sous-préfectures est composée la Guinée ? Combien de ces sous-préfectures sont côtières ?

Correction : regardez la vidéo de réalisation de l'exercice 7.4

7.2.9 Modifier les couleurs

Pour changer les couleurs d'une couche, vous devez accéder à ses propriétés. Lorsque vous réalisez un double-clique sur une couche une fenêtre Propriétés de la couche s'ouvre. Vous pouvez aussi y accéder en utilisant le clique-droit et en sélectionnant Propriétés.

Cette fenêtre des Propriétés de la couche présente différents onglets listés dans le bandeau de gauche. C'est dans le second onglet (Style) que vous pouvez changer les couleurs et symboles de votre carte.

Pour changer la couleur d'une couche polygone, il existe différentes options que vous pourrez définir en haut de la fenêtre. Les trois plus communément utilisés sont :

Symbole unique Modifier uniformément l'ensemble de la couche

Catégorisé Colorer en fonction d'un attribut qualitatif (pays, présence/absence de poste vétérinaire dans une commune, etc). Sélectionner dans colonne l'attribut de votre choix, puis sélectionner l'une des Palettes de couleurs proposées, vous pourrez ensuite changer les couleurs individuellement pour chaque catégorie en cliquant sur le carré de couleur devant le nom de la catégorie. Cliquez sur Classer pour attribuer des couleurs aux catégories de votre attribut.

Gradué Colorer en fonction d'un attribut quantitatif. Le principe est le même que pour les catégories, cependant vous créez des classes regroupant les objets par intervalles de valeurs. Vous pouvez choisir la couleur, le nombre de classe et le mode de classification (intervalle, quartile, etc).

Vous pouvez dans tous les cas modifier :

- La **Couleur de Remplissage** du polygone. Pour que le polygone soit transparent, vous pouvez sélectionner soit Pas de remplissage dans Remplissage (attention à cliquer sur la flèche et pas sur le rectangle de couleur pour cette option), soit remplissage transparent dans Style de remplissage.
- La **Couleur de la Bordure externe** du polygone.
- La **Largeur de la bordure externe** du polygone.

Si vous voulez seulement mettre en valeur une ou deux catégories, retirez toutes les autres pays de la liste (cliquez sur les noms des pays puis sur). Vous remarquerez qu'à la fin de la liste, il y a un carré coloré sans Valeur, ni Légende. Cette ligne fait référence à toutes les 'autres valeurs' qui ne sont pas énoncées dans la liste. Cliquez sur OK pour voir le résultat sur la carte.

Prenez le temps d'essayer les différentes options. Lorsque vous utilisez l'option Catégorisé, vous ne pouvez pas changer les entrées dans la colonne Valeur, mais vous pouvez éditer la légende (double-clique sur le nom que vous voulez modifier).

7.2.10 Ajouter des étiquettes

Le 3ème onglet de la fenêtre des Propriétés de la couche s'intitule "Étiquettes". Il permet d'ajouter des étiquettes/labels à la carte. Toutes les informations présentent dans la table attributaire peuvent être affichées. Par défaut, elles apparaitront dans le centre du polygone auquel elles sont associées.

Pour ajouter des étiquettes, sélectionnez Montrer les étiquettes pour cette couche au lieu de Pas d'étiquettes. Puis, dans le menu déroulant de Étiqueté avec sélectionnez l'attribut que vous voulez voir apparaitre. Cliquez sur OK.

Exercise 7.5 Modifier les couleurs

- Créez un nouveau projet que vous appellerez Exercice 7.5.
- Rendez-vous sur gadm.org pour télécharger les divisions administratives de la Mauritanie.
- Ajoutez la couche MRT_adm2.shp à votre projet.
- Colorez les polygones en orange avec une bordure noire de 0.5mm et appliquer pour voir le résultat.
- Colorez chaque région administrative (NAME_1) avec une couleur différente.
- Ajoutez les noms des départements (NAME_2) et amusez-vous avec les différentes options.

Correction : regardez la vidéo de réalisation de l'exercice 7.5

7.3 Utilisation avancée de QGIS

Nous vous recommandons de suivre les deux MOOC gratuits (formation en ligne) proposés par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne :

- Introduction aux Systèmes d'Information Géographique - Partie 1 (Coursera)
- Introduction aux Systèmes d'Information Géographique - Partie 2 (Coursera)

8. Prise en main de R

L'objectif de ce cours est de vous donner des pistes pour vous former au logiciel de statistiques R.

8.1 Découverte de R

8.1.1 Qu'est-ce que R

R est un logiciel et un langage de statistiques **libre** et **open-source** (gratuit) permettant de **d'analyser, de modifier et de visualiser des données**. Il est très puissant et fournit les procédures usuelles pour l'analyse statistique des données.

R est un logiciel multiplateforme, compatible avec Windows, Mac OS et Linux. Il fournit une grande variété de statistiques (modélisation linéaire et non linéaire, tests de statistiques classiques, classification, clustering...) et de techniques graphiques, auxquels peut s'ajouter des éléments complémentaires. Enfin, Un des points forts de R réside dans sa capacité à faciliter la production des graphiques en incluant des symboles mathématiques et des formules lorsque c'est nécessaire.

Ce logiciel, en essor permanent, s'appuie sur une large communauté de volontaires et d'organisations qui lui confère une stabilité, un champ fonctionnel et une évolutivité équivalents voire supérieurs aux solutions payantes du marché telles que XLSTAT, Minitab ou Stata.

R allie la gratuité à la performance pour devenir une référence dans le monde des statistiques tant dans le monde universitaire que dans celui de l'entreprise.

8.1.2 Installer R et RStudio

Pour commencer, vous avez besoin d'un ordinateur et d'une connexion internet.

1. Ouvrez votre navigateur internet et rendez-vous sur la page :
   https://cran.r-project.org/
2. Téléchargez la dernière version de R adaptée à votre système d'exploitation (Linux, Mac Os ou Windows), e.g. cliquez sur "Download R for ..." puis suivez les instructions pour télécharger votre le fichier d'installation.

3. Une fois le fichier téléchargé, double-cliquez simplement dessus et suivez les instructions d'installation.

NB : Les durées du téléchargement du fichier et de l'installation du logiciel peuvent être longues si le débit de votre connexion internet est limité. Soyez patient et profiter de cette attente pour faire autre chose et échanger avec vos collègues.

Pour faciliter votre utilisation du logiciel R, nous vous recommandons d'installer l'interface graphique RStudio.

1. Ouvrez votre navigateur internet et rendez-vous sur la page : https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/#download
2. Téléchargez la dernière version de RStudio adaptée à votre système d'exploitation (Linux, Mac Os ou Windows), e.g. Faites défiler la page pour atteindre la section avec les 'Installers', cliquez sur l'installateur "RStudio ..." adapté à votre ordinateur.
3. Une fois le fichier téléchargé, double-cliquez simplement dessus et suivez les instructions d'installation.

Si besoin, regardez la vidéo de la procédure d'Installation R et RStudio.

8.2 Se former à l'utilisation basique de R

Bien qu'il ne soit pas indispensable de savoir utiliser R dans les détails, nous vous recommandons de suivre le MOOC gratuit (formation en ligne) proposé par l'Université Paris-Sud :

- Introduction à la statistique avec R

9. Application de la méthode : cas de la Tunisie

Nous vous proposons dans cette partie de réaliser une analyse qualitative et cartographique du risque (AQCR), étape par étape, pour le cas de la fièvre aphteuse (FA) en Tunisie. Pour le TP, nous utilisons des données **fictives** qui ont été créées pour le bon déroulement de l'exercice.

L'analyse a cependant aussi été réalisée avec des données réelles (confidentielles) et est décrite en détails dans un article en cours d'écriture : *Optimization of disease surveillance programs using risk assessment, risk mapping and animal movements: application to foot-and-mouth disease in Tunisia*.

Prérequis

Connaissance en méthodologie & épidémiologie

- Analyse qualitative du risque (Cf. Chapitre 2.2)
- Analyse des réseaux sociaux (SNA ; Cf. Chapitre 2.3)
- Cartographie du risque
- Surveillance basée sur le risque

Compétences techniques

- Bases sur Excel ou OpenOffice Calc
- Bases sur R
- Avancées en GIS notamment avec QGIS

Logiciels nécessaires

- QGIS
- R
- Excel ou OpenOffice Calc

9.1 Risque d'introduction

Un tutoriel vidéo et un diaporama décrivant les étapes détaillées de l'analyse sont disponibles.

Application Risque d'Introduction

Objectif Dans cette première étape, nous cherchons à estimer et cartographier le risque d'introduction du virus de la FA en Tunisie.

9.1.1 Première étape: Quels sont les facteurs de risque concernant l'introduction de la maladie dans votre pays ?

Avant toute chose, il faut lister les facteurs de risque d'introduction du virus de la FA en Tunisie.

⁕ Qu'est ce qui est susceptible d'entrainer ou de favoriser l'introduction du virus de la FA en Tunisie ? ⁕

Facteurs de risque susceptibles d'entrainer ou de favoriser l'introduction du virus de la FA en Tunisie

Nous vous proposons de travailler sur certains facteurs de risque qui ont été définis et validés par des experts dans le cadre de l'utilisation de la méthode pour la FA en Tunisie. Cependant, il est important de noter que **les facteurs proposés ici ne constituent pas une liste exhaustive**, ils peuvent être différents selon le territoire et la maladie étudiés. Si vous vous intéressez à un autre cas d'étude, vous devrez définir les facteurs de risque que vous considérez comme importants à prendre en compte en considérant les caractéristiques de la maladie et les spécificités du contexte national (filière, acteurs, pays frontaliers, etc) que vous voulez étudier.

Comme nous l'avons décrit dans la partie I, le risque d'introduction est fonction du pays d'origine et des voies d'importation. Des mouvements d'animaux provenant d'un pays indemne de FA présenteront moins de risque que des mouvements d'animaux provenant d'un pays où la maladie est endémique. De même, des mouvements d'animaux provenant d'un pays ayant mis en place des mesures strictes de surveillance et de contrôle présenteront moins de risques que des mouvements d'animaux provenant d'un pays où les mesures de surveillance et de contrôle mises en place sont limitées.

Les facteurs de risques sélectionnés par les experts pour la FA en Tunisie sont les suivants :

- les voies d'introduction (légales/contrôlées ou illégales/non contrôlées),
- le statut épidémiologique des pays depuis lesquels la Tunisie importe des animaux vivants (pays exportateurs),
- les systèmes de surveillance et de contrôle mis en œuvre dans ces pays exportateurs,
- le degré entrant (*in-degree* en anglais) estimé en analysant le réseau de mobilité animale internationale. Il s'agit d'un paramètre issu d'une analyse de réseau qui permet de mettre en évidence les principales destinations des mouvements/flux. Dans notre cas, comme on s'intéresse à un réseau de mobilité animale internationale, ce paramètre mettra en évidence les lieux qui reçoivent le plus d'animaux venus de l'étranger, et

- l'accessibilité qui correspond au temps de parcours pour aller d'un endroit à un autre. On considère ici que la probabilité d'importation d'animaux depuis l'étranger est plus élevée dans les zones les plus accessibles, augmentant ainsi le risque d'introduction du virus via un animal infecté.

Exercise 9.1

- Inventoriez les facteurs de risque d'introduction du virus de la FA dans votre pays. Inspirez-vous de la bibliographie et réunissez des experts nationaux et sous-régionaux (experts de la filière, du contexte, etc) pour en discuter.
- Avec l'ensemble des experts, listez tous ces facteurs de risques puis classez les par ordre d'importance, et retenez les principaux en essayant de vous limiter à 5 facteurs de risque.

NB Vous pouvez vous inspirer de la liste (**Non-exhaustive**) proposée en Annexe page 127.

Définissez votre échelle de travail Dans le cas de la Tunisie, nous avons des données à l'échelle des délégations (ADMIN 2), c'est donc à cette échelle que nous allons travailler.

Exercise 9.2 Définissez l'échelle la plus fine que vous pouvez utiliser pour votre territoire. Si vous n'avez pas de fichier vecteur (.shp) avec les divisions administratives de votre pays, rendez-vous sur le site de DIVA-GIS et regardez quelles données sont disponibles en accès libre.

NB Sur DIVA-GIS, vous pourrez télécharger un fichier (.zip) contenant différents découpages de votre territoire. Ces découpages sont reconnaissables par leur nom : adm0, adm1, adm2, etc. Plus le chiffre est élevé, plus le découpage est fin et donc décrit des divisions administratives plus petites.

Recensez, récupérez et préparez les données Maintenant que nous avons sélectionné les facteurs de risque prioritaires sur lesquels nous allons travailler, il faut récolter, "nettoyer", valider et formater les données.

Afin d'estimer le risque d'introduction lié aux voies d'introduction, au statut épidémiologique et aux systèmes de surveillance et de contrôle des pays exportateurs (pays qui exportent des animaux vivants en Tunisie), nous allons utiliser un tableau croisé permettant de qualifier le risque d'émission d'un pathogène donné par un pays donné. En utilisant ce fichier, nous allons :

- Vérifier le risque d'émission de la Tunisie (Cf. page 60).
- Lister les échanges commerciaux frontaliers en différenciant les échanges légaux soumis aux mesures de surveillance et de contrôle (Cf. page 62), des échanges illégaux présentant un risque plus élevé d'introduction du virus (Cf. page 63).
- Définir le risque d'émission des pays exportant en Tunisie des animaux vivants sensibles à la FA.

Ensuite,

* Nous localiserons et listerons les points d'entrée légaux/contrôlés et illégaux/non-contrôlés.
* Nous verrons comment analyser la mobilité animale en réalisant une analyse des réseaux sociaux (SNA). Ce type d'analyse nous permettra d'obtenir des paramètres synthétiques, tels que le degré entrant.
* Enfin, nous verrons comment et pourquoi prendre en compte l'accessibilité dans l'analyse de risque.

Début de l'application

Risques d'émission des pays exportateurs

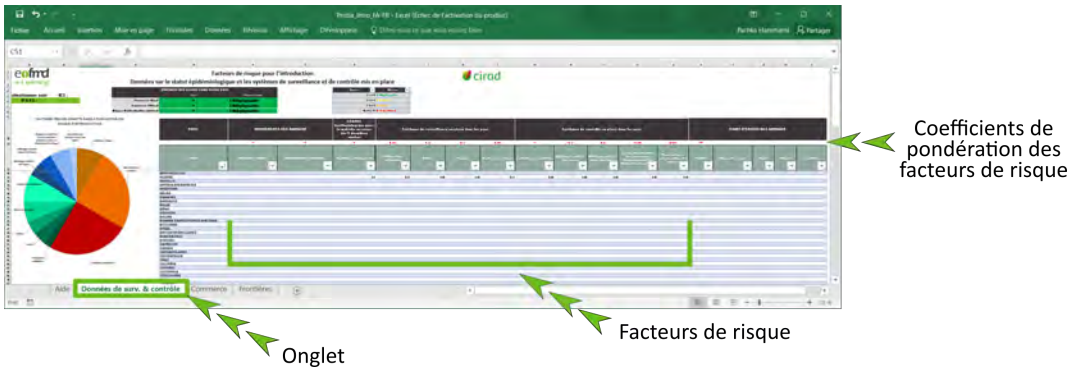
Téléchargez en ligne la dernière version de la table d'estimation du risque d'introduction : Proba_intro_FA-FR.xls. Ouvrez le fichier dans Excel ou dans un autre tableur tel que OpenOffice Calc.

Le ficher contient quatre onglets :

1. Aide : cet onglet présente succinctement le reste du fichier et donne les indications nécessaires à sa bonne utilisation.
2. Activités de surv. & contrôle : cet onglet présente une synthèse des risques d'introduction estimés pour le pays que vous étudiez, ainsi que des informations sur les systèmes de surveillance et de contrôle de la FA mis en œuvre concrètement sur le terrain dans différents pays.
3. Flux commerciaux : cet onglet présente la liste des échanges et mouvements commerciaux internationaux d'animaux vivants susceptibles de transporter le virus de la FA d'un pays à un autre (bovins, porcs, chèvres, moutons). Lorsque vous travaillez sur un pays donné, les pays avec lesquels il y a du commerce international apparaîtront dans les 5 dernières colonnes.
4. Frontières : cet onglet recense les pays frontaliers pour chaque pays. Les pays qui partagent une frontière physique avec le pays sur lequel vous travaillez apparaîtront dans la section verte.

Les systèmes de surveillance et de contrôle mis en œuvre concrètement sur le terrain

1 Rendez-vous sur l'onglet Activités de surv. & contrôle



Ce tableau permet d'estimer le risque d'émission du virus de la FA pour chaque pays de la première colonne. Ce risque d'émission est estimé en fonction des mesures de surveillance et de contrôle réellement mises en œuvre sur le territoire. Des experts ont défini **neuf mesures prioritaires** pour la FA qui, si elles ne sont pas mises en œuvre dans le pays, constituent un **facteur de risque d'émission de la FA**.

NB **Pour chaque pays** : Si une mesure est mise en œuvre, le risque associé sera nul (0). Néanmoins, si la mesure n'a pas été mise en œuvre dans le pays, le risque de FA dans le pays augmente (>0). La somme de tous ces risques donne **un score sur 8**. Ce score calculé pour chaque pays reflète **qualitativement** la probabilité d'émission de la FA via des animaux infectés.

L'objectif étant de définir le risque d'introduction du virus depuis un pays vers un autre, trois autres facteurs de risque prioritaires ont été définis : les voies d'importation (légale

ou illégale) et le statut épidémiologique du pays d'origine. Ces **douze facteurs de risque prioritaires** (Cf. les douze colonnes du tableau) ont été pondérés selon leur importance dans la gestion du risque. Les **coefficients de pondération** sont indiqués en rouge en entête des colonnes et leur importance relative dans le risque global d'introduction de FA est représentée graphiquement sur la gauche de l'onglet.

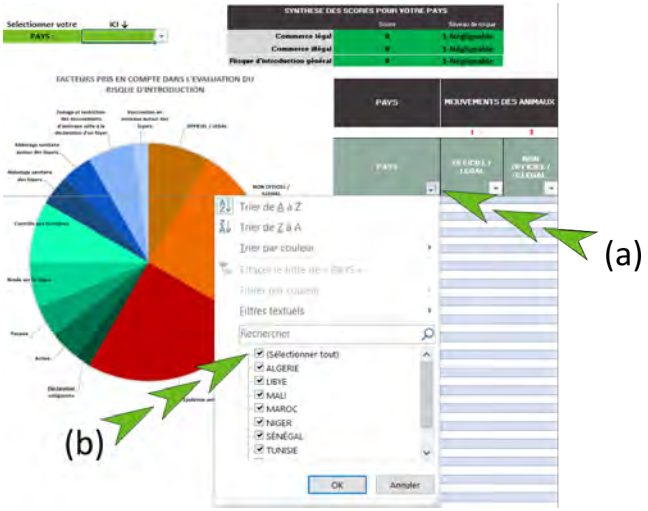
2 Sélectionnez la Tunisie dans la colonne PAYS du tableau principal. Pour ce faire,

(a) Cliquez sur la flèche dans la cellule de l'entête

(b) Désélectionnez tous les pays en cliquant sur (sélectionner tout) puis,

(c) Cochez la cellule devant 'Tunisie' et cliquez sur OK.

Vous venez d'appliquer un filtre pour ne visualiser que les caractéristiques de la Tunisie. À présent, seule la ligne concernant la Tunisie doit apparaître dans le tableau.



3 Dans les colonnes "Systèmes de surveillance en place dans les pays" et "Systèmes de contrôle en place dans les pays", vérifions les scores et modifions-les si nécessaire. Pour chaque colonne, si la mesure est réellement mise en œuvre en Tunisie, le score est 0. Si elle n'est pas mise en œuvre sur le terrain, il faut appliquer le coefficient indiqué en rouge dans l'en-tête de la colonne.

NB **Pour chaque facteur de risque** : Une description plus précise de chaque facteur de risque est disponible en cliquant sur l'entête de la colonne.

4 Réaffichez tous les pays dans la colonne PAYS en cliquant sur la flèche dans la cellule et en cochant (sélectionner tout) avant de cliquer sur OK. Désormais, tous les pays de notre base de données doivent apparaître dans le tableau.

Exercise 9.3 Réalisez cette étape pour votre pays.

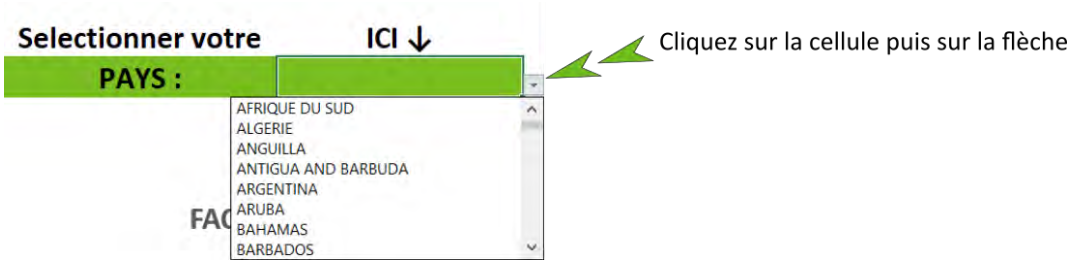
NB Si vous remarquez une erreur ou une information manquante, effectuez la modification nécessaire dans le fichier et, **s'il vous plait**, envoyez un courrier électronique pour informer l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD (team.aqcr@cirad.fr). Le fichier en ligne sera mis à jour en y intégrant vos informations.

Dans un objectif de collaboration, il est primordial de mettre à jour les données de son

pays régulièrement. Vous avez besoin de connaitre les activités de surveillance mises en œuvre dans les pays voisins et les pays exportateurs.

Maintenant, nous sommes prêts à commencer l'AQCR !

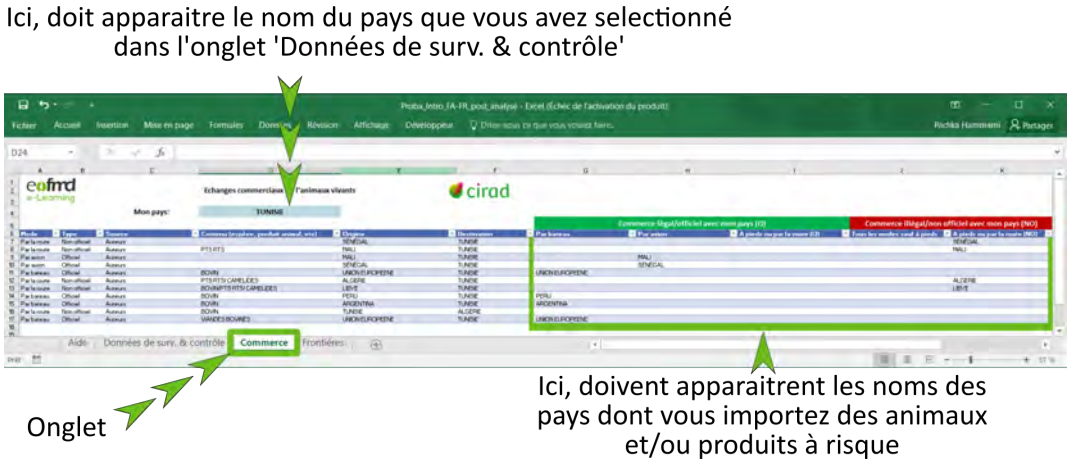
5 Sélectionnez la Tunisie en haut à gauche dans la cellule verte en utilisant le menu déroulant.



Le tableau doit être rempli en fonction des échanges internationaux et des frontières nationales de la Tunisie. Les données utilisées pour ce tableau sont disponibles dans les onglets Flux commerciaux et Frontières. La suite du travail consistera à contrôler/valider ces données à dire d'experts et à les mettre à jour si nécessaire.

Les voies d'importation d'animaux vivants susceptibles d'introduire la FA en Tunisie

1 Rendez-vous sur l'onglet Flux commerciaux. Le nom de la Tunisie apparaît automatiquement dans la cellule bleue en haut de la page. Les cinq dernières colonnes affichent les noms des pays connus comme exportateurs d'animaux ou de produits à risque vers la Tunisie.



2 Sélectionnez 'Tunisie' dans l'en-tête de la colonne Destination. Maintenant, seuls les mouvements commerciaux **vers la Tunisie** doivent apparaître dans le tableau.

3 **C'est le moment de vérifier et valider (ajouter ou supprimer) les échanges/mouvements en fonction des connaissances (à dire d'experts)**.
Pour les besoins de l'exercice, nous supposons que vous avez réunis un groupe d'experts pour vérifier et valider la liste des échanges. Une réunion de travail avec les experts a permis de soulever trois erreurs dans la liste du fichier :

- Des petits ruminants sont importés non-officiellement par la route depuis le Mali vers la Tunisie.

- Aucun bovins n'est importé par la route en Tunisie depuis le Pérou.
- En plus des bovins et des petits ruminants, des camélidés sont aussi importés par la route de façon non-officielle depuis la Libye.

Il faut donc modifier la liste dans le tableur.

- **Ajouter un échange** Nous allons ajouter un flux non-officiel de petits ruminants importés par la route depuis le Mali vers la Tunisie.
  Sélectionnez la dernière ligne du tableau en cliquant sur le numéro au début de la ligne. Effectuez un clic-droit sur cette ligne et sélectionnez Insérer une ligne.
  Placez-vous sur la ligne vide qui vient d'apparaitre et renseignez les caractéristiques du flux d'animaux en complétant les 6 premières colonnes.

  NB Pour les colonnes : Mode, Type, Origine, Destination, il est important d'utiliser les menus déroulants afin que les dernières colonnes et l'onglet Activités de surv. & contrôle soient automatiquement mis à jour.

- **Supprimer un flux** Nous allons supprimer la ligne correspondant à l'importation de bovins par la route depuis Pérou.
  Effectuez un clic-droit sur la ligne que vous voulez supprimer, puis cliquez sur :

  Supprimer » Lignes de tableau ou Ligne entière de la feuille

- **Modifier un flux** Nous allons modifier le contenu des importations non-officielles par la route qui ont lieu depuis la Libye vers la Tunisie pour ajouter les camélidés.
  Cliquez sur la cellule que vous souhaitez modifier, puis modifiez son contenu en utilisant le menu déroulant quand il est disponible.

  NB Pensez à indiquer votre nom dans la colonne 'Source' lorsque vous modifiez ou ajoutez une information.

4. Une fois que vous avez validé les informations concernant la Tunisie (NB : la validation se fait normalement en groupe d'experts), il faut réafficher tous les pays dans la colonne Destination. Pour ce faire, cliquez sur la flèche de l'entête et cochez la case (Sélectionner tout).

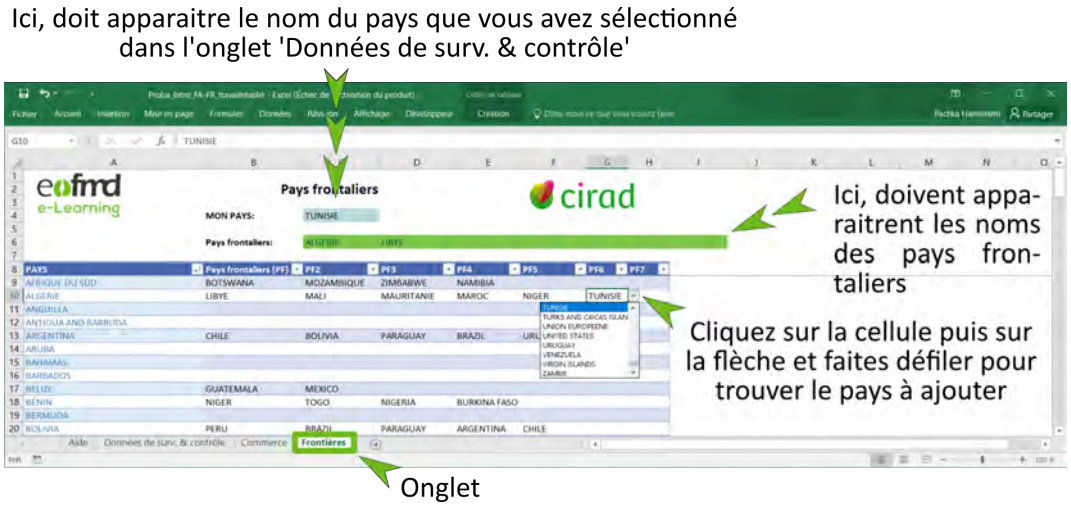
Exercise 9.4 Réunissez des experts de votre pays et réalisez ensemble cette étape pour votre pays.

NB Il est important de **notifier toute modification** à l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD (team.aqcr@cirad.fr) afin que les documents collaboratifs soient mis à jour et que la base de données évolue.

■

Les pays frontaliers de la Tunisie

1. Rendez-vous sur l'onglet Frontières. Le nom de la Tunisie doit apparaître dans la cellule bleue en haut de la page. Dans les cellules vertes devraient apparaître les noms de tous les pays avec lesquels la Tunisie partage une frontière.
2. Vérifiez ces données et corrigez-les si nécessaire.



3 Retournez sur l'onglet Activités de surv. & contrôle. Si vous avez effectué des modifications dans les onglets Flux commerciaux et Frontières, les informations de ce tableau se sont mises à jour automatiquement. Sauvegardez le fichier en indiquant la date de mise à jour dans le titre, nous le réutiliserons pour la suite de l'AQCR.

Exercise 9.5 Réalisez cette étape pour votre pays.

La base de données est en cours de construction, aussi il est possible que les pays frontaliers n'aient pas encore été renseignés pour votre pays ou qu'il y ait quelques erreurs. Le cas échéant :

- Sélectionnez votre pays dans l'en-tête de la colonne PAYS (désélectionnez tout puis cochez la case devant le nom de votre pays).
- Complétez les cases vides ou modifiez les cases comportant une erreur **en utilisant les menus déroulants**.
- Réaffichez tous les pays dans la colonne PAYS.

NB Il est important de **notifier toute modification** à l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD (team.aqcr@cirad.fr) afin que les documents collaboratifs soient mis à jour et que la base de données évolue en lien avec l'actualité du terrain.

Si vous avez effectué les étapes précédentes sans problème, vous avez recensé toutes les données d'importation nécessaires à l'étude des voies d'importation.

Points d'entrée légaux/contrôlés et illégaux/non-contrôlés des animaux et produits à risque

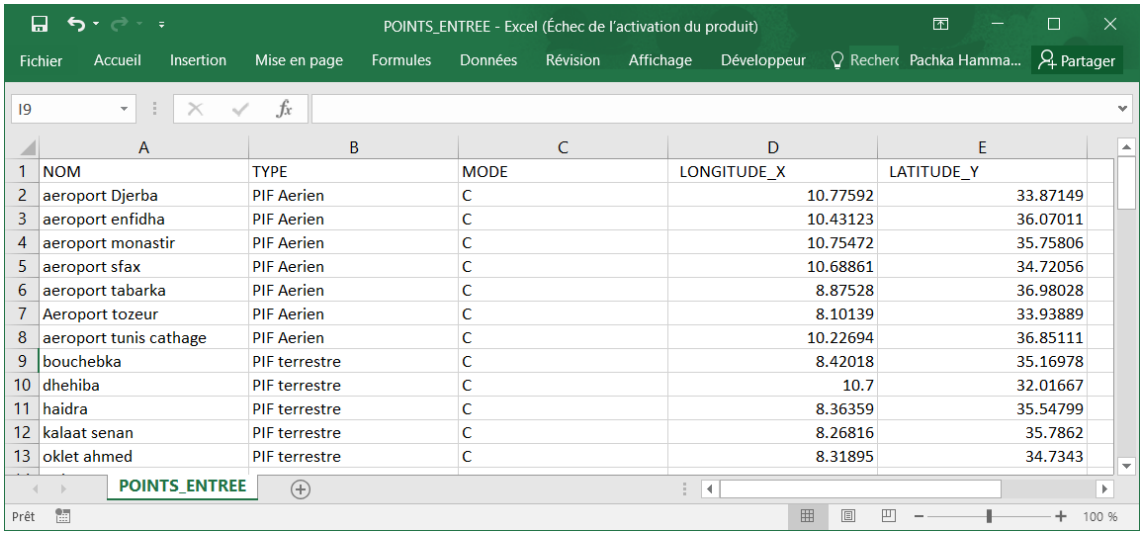
On travaille dans cette partie sur la phase d'introduction du virus, on recherche donc par où le virus serait le plus susceptible d'entrer sur le territoire.

Pour ce faire, il faut recenser tous les points d'entrée connus en Tunisie :

- aéroport commerciaux
- port commerciaux
- postes d'inspection frontaliers (PIF)
- points d'entrée illégaux terrestre aux frontières
- points d'entrée illégaux maritimes
- etc.

Pour l'exercice, nous supposons qu'une enquête de terrain a été réalisée et nous a permis de compléter le tableau POINTS_ENTREE.csv ; téléchargez ce fichier pour pouvoir réaliser la suite de l'exercice.

NB Notez que les informations contenues dans ce fichier sont fictives et ont été créées pour réaliser l'exercice.



	A	B	C	D	E
1	NOM	TYPE	MODE	LONGITUDE_X	LATITUDE_Y
2	aeroport Djerba	PIF Aerien	C	10.77592	33.87149
3	aeroport enfidha	PIF Aerien	C	10.43123	36.07011
4	aeroport monastir	PIF Aerien	C	10.75472	35.75806
5	aeroport sfax	PIF Aerien	C	10.68861	34.72056
6	aeroport tabarka	PIF Aerien	C	8.87528	36.98028
7	Aeroport tozeur	PIF Aerien	C	8.10139	33.93889
8	aeroport tunis cathage	PIF Aerien	C	10.22694	36.85111
9	bouchebka	PIF terrestre	C	8.42018	35.16978
10	dhehiba	PIF terrestre	C	10.7	32.01667
11	haidra	PIF terrestre	C	8.36359	35.54799
12	kalaat senan	PIF terrestre	C	8.26816	35.7862
13	oklet ahmed	PIF terrestre	C	8.31895	34.7343

Exercise 9.6 Réalisez cette étape pour votre pays.

Organisez une enquête si besoin pour compléter un tableau équivalent à celui de la Tunisie avec les données concernant votre pays.

1. Créez un tableau (Microsoft Excel ou OpenOffice Calc).
2. Créez 5 colonnes que vous nommerez:
   NOM Nom du point d'entrée (optionnel)
   TYPE Type de point (port, aéroport, PIF, etc)
   MODE S'agit-il d'un point d'entrée officiel/contrôlé/légal (C) ou non-officiel/non-contrôlé/illégal (NC) ?
   LONGITUDE_X en degrés décimaux (ie. aéroport de Tunis : 10.219074500000033)
   LATITUDE_Y en degrés décimaux (ie. aéroport de Tunis : 36.8458578)
3. Complétez ces colonnes

   NB Pour les coordonnées GPS, si besoin, vous pouvez utiliser cet outil : https://www.coordonnees-gps.fr/conversion-coordonnees-gps)

4. Sauvegardez au format .csv

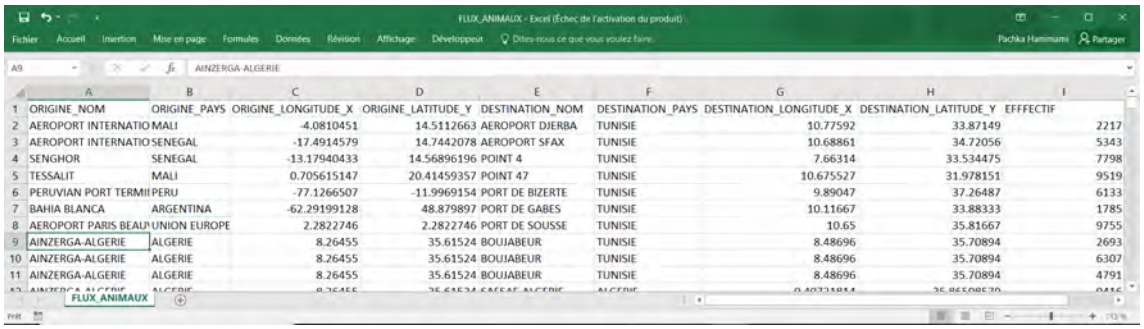
Degré entrant

Maintenant que nous avons la liste des points d'entrée sur le territoire, nous allons analyser les mouvements/flux transfrontaliers d'animaux vivants afin de mettre en évidence la destination finale des animaux vivants introduits. C'est à cette destination qu'il est le plus probable que le virus entre en contact avec la population animale susceptible locale et puisse entrainer une épizootie.

Nous devons recenser les différents flux d'animaux vivants sensibles à la maladie qui ont lieu depuis l'étranger vers la Tunisie. Pour les besoins de l'exercice, nous supposons qu'une enquête a

été réalisée et a permis de compléter le fichier FLUX_ANIMAUX.csv qui contient des flux fictifs que nous avons créés pour l'exercice. Téléchargez ce fichier pour réaliser la suite de l'exercice.

Pour le risque d'introduction, nous n'utiliserons que les flux internationaux, cependant les flux nationaux seront analysés dans le cadre de l'AQCR appliqué au risque d'exposition de la FA en Tunisie (Chapitre 9.2). Aussi, vous remarquerez que nous avons recensé des flux internationaux et des flux nationaux dans un même fichier en prévision de l'analyse du risque d'exposition.



ORIGINE_NOM	ORIGINE_PAYS	ORIGINE_LONGITUDE_X	ORIGINE_LATITUDE_Y	DESTINATION_NOM	DESTINATION_PAYS	DESTINATION_LONGITUDE_X	DESTINATION_LATITUDE_Y	EFFFECTIF
AEROPORT INTERNATIO	MALI	-4.0810451	14.5112663	AEROPORT DJERBA	TUNISIE	10.77592	33.87149	2217
AEROPORT INTERNATIO	SENEGAL	-17.4914579	14.7442078	AEROPORT SFAX	TUNISIE	10.68861	34.72056	5343
SENGHOR	SENEGAL	-13.17940433	14.56896196	POINT 4	TUNISIE	7.66314	33.534475	7798
TESSALIT	MALI	0.705615147	20.41459357	POINT 47	TUNISIE	10.675527	31.978151	9519
PERUVIAN PORT TERMI	PERU	-77.1266507	-11.9969154	PORT DE BIZERTE	TUNISIE	9.89047	37.26487	6133
BAHIA BLANCA	ARGENTINA	-62.29199128	48.879897	PORT DE GABES	TUNISIE	10.11667	33.88333	1785
AEROPORT PARIS BEAU	UNION EUROPE	2.2822746	2.2822746	PORT DE SOUSSE	TUNISIE	10.65	35.81667	9755
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	2693
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	6307
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	4791

Exercise 9.7 Réalisez cette étape pour votre pays.

Organisez une enquête si besoin pour compléter un tableau équivalent à celui de la Tunisie avec les données concernant votre pays.

1. Créez un nouveau tableau sous Microsoft Excel ou OpenOffice Calc.
2. Créez 9 colonnes que vous nommerez:
   ORIGINE_NOM
   ORIGINE_PAYS
   ORIGINE_LONGITUDE_X
   ORIGINE_LATITUDE_Y
   DESTINATION_NOM
   DESTINATION_PAYS
   DESTINATION_LONGITUDE_X
   DESTINATION_LATITUDE_Y
   EFFECTIF

   NB Écrivez les noms en majuscule, sans accent et en faisant bien attention de conserver la même orthographe. Écrivez les longitudes et latitudes en degrés décimaux. Vous pouvez effectuer l'analyse sans les effectifs d'animaux échangés mais l'analyse sera plus précise si vous les avez.
3. Complétez ces colonnes avec vos données.

   NB Notez que les flux que vous indiquez ici doivent correspondre aux informations que vous avez complété dans l'onglet Flux commerciaux de la table d'estimation du risque d'émission par les pays exportateurs. Si ce n'est pas le cas, c'est qu'il vous faut corriger l'un des deux fichiers.
4. Sauvegardez au format .csv

Analyse des flux - analyse des réseaux

L'ensemble des mouvements forme un réseau. En utilisant des méthodes d'analyse de réseaux (SNA), nous allons discriminer les divisions administratives en fonction de leur rôle/importance

dans le réseau de mobilité animale. L'analyse de réseau nous permet d'analyser et de synthétiser ces flux sous la forme de différents paramètres reflétant la structure des mouvements intra- et inter-nationaux.

Nous travaillons ici sur le risque d'introduction du virus, donc nous nous intéresserons uniquement au réseau international, dont l'analyse nous permettra de mettre en évidence les zones qui reçoivent le plus d'animaux/produits à risque et où l'introduction est la plus probable.

Les experts ont choisi pour la Tunisie de prendre en compte un seul paramètre, le **degré entrant** (*in-degree* en anglais). Plus il y a de flux d'animaux à destination d'une localité, plus le degré entrant de cette localité sera élevé. Nous allons donc calculer un degré entrant pour chaque localité de notre réseau de mobilité animale internationale.

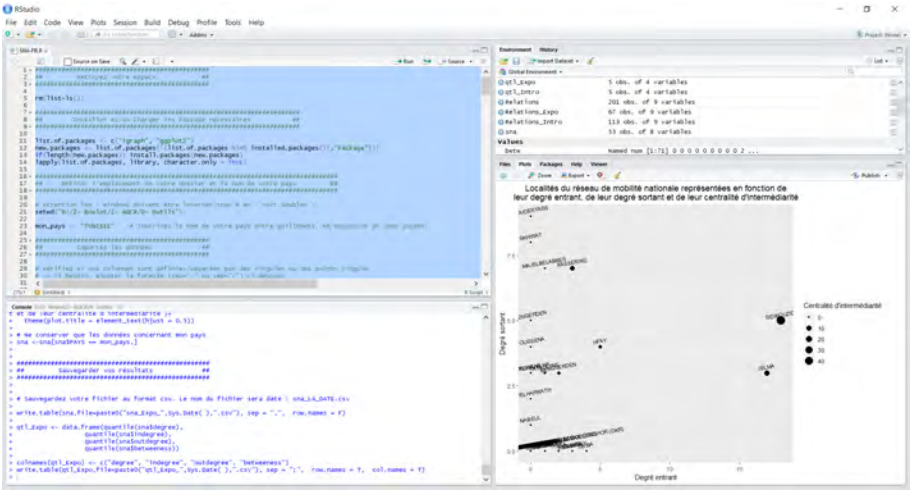
1. Téléchargez en ligne la dernière version du script R d'analyse de réseaux : SNA-FR.R.
2. Ouvrez le fichier dans R ou RStudio - les illustrations dans ce tutoriel utilisent l'interface RStudio (si vous avez besoin d'aide pour installer et lancer R et RStudio, rendez-vous au chapitre 8).
3. Faites défiler le script pour attendre la section:

```
##############################################
## Definir l'emplacement de votre dossier  ##
##          et le nom de votre pays         ##
##############################################
```

4. Indiquez ici le chemin vers le dossier où vous voulez enregistrer les résultats et vérifiez que le nom de pays inscrit en majuscule entre guillemets est bien celui de la Tunisie. Attention, les '\' Windows doivent être remplacé par '/' ou '\\' dans le chemin de votre dossier et le nom du pays doit être orthographié comme dans le fichier FLUX_ANIMAUX.csv.
   Exemple :

```
setwd("C:/AQCR/Donnees/SNA")
mon_pays <- "TUNISIE"
```

5. Lancez le script en cliquant sur Ctrl + A pour sélectionner tout le script, puis Ctrl + Entrée pour lancer le script.
6. Une fenêtre va s'ouvrir pour vous permettre de sélectionner le fichier avec les mouvements d'animaux décrivant le réseau de mobilité. Si la fenêtre n'apparait pas, vérifier qu'elle ne s'est pas ouverte derrière RStudio.
7. Une fois que vous avez sélectionné votre fichier données "FLUX_ANIMAUX", cliquez sur Ouvrir.
8. Des graphiques apparaissent sur la section en bas à droite. Une fois que l'analyse sera terminée, vous pourrez tous les regarder en utilisant les flèches en haut à gauche du graphique.
9. A la fin de l'analyse, quatre fichiers texte (.csv) seront automatiquement sauvegardés dans le dossier que vous avez indiqué au début. Le fichier qui nous intéresse s'appelle sna_Intro_*Date*.csv ; le mot date sera remplacé par la date du jour où vous avez fait l'analyse.



Exercise 9.8 Réalisez l'analyse de réseau pour votre pays.

NB Pensez à remplacer le nom du pays par le vôtre en l'orthographiant **exactement** de la même manière que dans le fichier FLUX_ANIMAUX.csv complété avec les données de votre pays.

Accessibilité

Plus une localité est accessible, plus la probabilité que le virus y soit introduit est élevée. Aussi, les experts tunisiens ont choisi de considérer l'accessibilité (temps de trajet en minutes pour aller d'un point à un autre) comme un facteur de risque d'introduction.

Des modèles permettant d'estimer les variations spatiales d'accessibilité ont été développés et de nombreuses données sont disponibles en libre accès (Weiss et al., 2018).

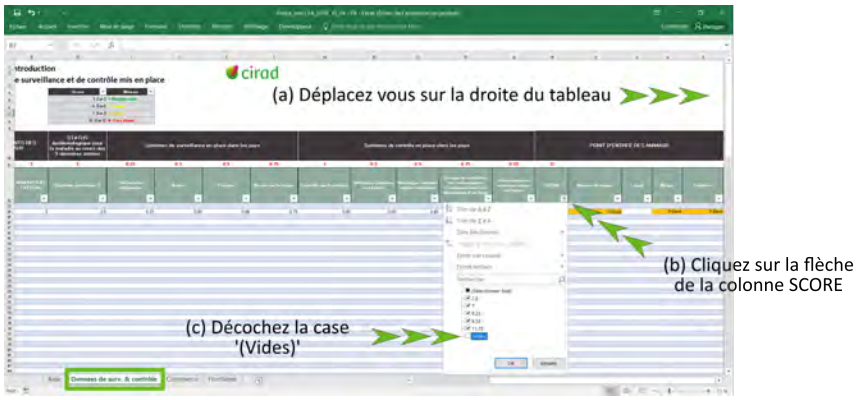
1. Téléchargez le raster de la carte mondiale d'accessibilité sur http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/gam/download.php.

9.1.2 Deuxième étape: Catégoriser les facteurs de risque

Risques d'émission des pays exportateurs

1. Reprenez la table d'estimation du risque d'introduction : Proba_intro_FA-FR.xls .

2. Rendez-vous sur l'onglet Activités de surv. & contrôle et vérifiez que la Tunisie est toujours bien sélectionnée dans la cellule verte en haut à gauche.
Nous allons maintenant nous intéresser à la deuxième partie du tableau.



(a) Déplacez-vous sur la droite du tableau principal.

(b) Pour avoir une meilleure visibilité des données prises en compte dans les calculs, cliquez sur la flèche dans l'entête de la colonne Score , et

(c) Décochez la case devant la ligne (Vides) .

Seuls les pays présentant un risque d'introduction en Tunisie seront affichés. Ces pays sont susceptibles d'exporter des animaux infectés par la FA vers la Tunisie. S'afficheront aussi les pays frontaliers, puisqu'on considère que toute frontière est potentiellement poreuse et donc présente un risque d'introduction du virus.

3. Revenez maintenant sur la gauche du tableau et vérifiez les informations renseignées pour le statut épidémiologique et les systèmes de surveillance et de contrôle des pays *à risque*. Pour les besoins de l'exercice, on suppose que vous avez rassemblé un groupe d'experts pour évaluer la cohérence et la fiabilité de ces informations et que celles-ci ont été validées par tous les experts du groupe. Dans la réalité, si vous aviez modifié des informations, il aurait fallu prendre contact avec les autorités locales et/ou l'équipe d'experts formateurs du Cirad pour que celles-ci soient mises à jour.

NB Si vous aviez noté des erreurs, il aurait fallu prendre contact avec les autorités locales et/ou l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD pour que ces informations soient mises à jour (team.aqcr@cirad.fr).

4. Description des cinq dernières colonnes du tableau :
• **SCORE**: la première colonne donne le risque global d'introduction depuis un pays donné. Ce risque est défini sous la forme d'un score sur 12 arrondi à l'unité (Rappel pour l'arrondi à l'unité : Si le chiffre après la virgule est inférieur à 5, on arrondit à l'entier inférieur. Si le chiffre après la virgule est supérieur ou égal à 5, on arrondit à l'entier supérieur. Ex. un score de 3.2/12 est arrondi à 3/12 et un score de 6.5/12 est arrondi à 7/12). Ce score prend en considération les voies d'importation utilisées (sachant que toute frontière est considérée

comme une voie d'importation non-contrôlée), le statut épidémiologique du pays et les systèmes de surveillance et de contrôle mis en œuvre dans le pays d'origine.

NB Une fois que chaque onglet a été vérifié, vous pouvez considérer que les scores (/ 12) de risque d'introduction de la FA résumés dans «Surveillance et contrôle des données» sont à jour.

• **Niveau de risque**: le score global (/12) peut être requalifié en niveau de risque d'émission du virus. On considère **4 niveaux de risque**. Le risque associé à un score entre 0 et 3 est négligeable et illustré par la couleur verte. Celui associé à un score entre 4 et 6 est faible et illustré par la couleur jaune. Un score entre 7 et 9 traduit un risque élevé associé à la couleur orange et un score entre 10 et 12 traduit un risque très élevé associé à la couleur rouge. Un rappel de ces valeurs et couleurs est disponible dans un encart en haut à gauche de la page.

Score	Niveau
1. 2 et 3	1-Négligeable
4. 5 et 6	2-Faible
7. 8 et 9	3-Elevé
10. 11 et 12	4-Très élevé

Le score global cumule les risques liés au commerce légal (contrôlé) et ceux liés aux flux illégaux (non déclarés et/ou non contrôlés). On a donc, pour les pays qui exportent des animaux par des voies contrôlées ET des voies non-contrôlées un risque lié aux mouvements d'animaux de 4/4 (+1 [légal] ; +3 [illégal]). On peut également discriminer le risque selon la voie d'introduction.

• **Légal** : Ici, s'affiche le score lié au commerce légal, sans prendre en compte d'éventuel flux d'animaux non déclarés (1/4). C'est le risque lié aux importations contrôlées.

• **Illégal** : Ici, s'affiche le score lié au commerce illégal, sans prendre en compte le risque lié au commerce légal (3/4). C'est le risque lié aux importations non-contrôlées.

• **Frontière** : Ici, s'affiche le score lié au commerce illégal, sans prendre en compte le risque lié au commerce légal dans le cas de frontières terrestres partagées avec un pays (3/4).

5 Dans l'encadré SYNTHESE DES SCORES POUR VOTRE PAYS en haut à gauche, vous trouverez une synthèse des risques d'introduction pour le pays étudié (la Tunisie dans notre cas). Par principe, dans les analyses de risque qualitative, le risque est toujours majoré (voir chapitre 2.2 page 14), on gardera donc pour chaque voie d'importation le risque maximal estimé. Autrement dit, on se place dans le scénario le plus dangereux pour mieux se préparer.

SYNTHESE DES SCORES POUR VOTRE PAYS		
	Score	Niveau de risque
Commerce légal	0	1-Négligeable
Commerce illégal	0	1-Négligeable
Risque d'introduction général	0	1-Négligeable

Dans le cas de la Tunisie, nous avons un risque d'introduction global très élevé, un risque lié aux importations légales/contrôlées élevé et un risque lié aux importations illégales/non-contrôlées très élevé.

6 Sauvegardez votre fichier. Ces niveaux de risque d'émission seront utilisés pour l'étape 3 de caractérisation des niveaux de risque d'introduction.

Exercise 9.9 Réalisez cette étape pour votre pays. Vous devez être capable de répondre aux questions suivantes.

Question 1 Comment est calculé le risque global d'introduction de la FA dans votre pays ?
Question 2 Quel est le risque global d'introduction de la FA dans votre pays ?
Question 3 Quels sont les pays exportateurs les plus à risque pour votre pays pour chaque voie d'importation ?
Question 4 Quels sont les niveaux de risque associés *i)* aux entrées contrôlées d'animaux vivants et *ii)* aux entrées non-contrôlées d'animaux vivants dans votre pays ?

■

Points d'entrée légaux/contrôlés et illégaux/non-contrôlés des animaux et produits à risque

Les points d'entrée permettent d'affecter les niveaux de risque calculés ci-dessus aux différentes divisions administratives. On aura trois catégories :

- Absence de point d'entrée ;
- Présence d'au moins un point d'entrée Illégal/Non-contrôlé ;
- Présence d'au moins un point d'entrée Légal/Contrôlé en l'absence de point d'entrée Illégal/Non-contrôlé.

NB Les points d'entrée non-contrôlés présentent un risque bien plus élevé que les points d'entrée contrôlés, c'est pourquoi leur présence induit un risque très élevé qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de point d'entrée contrôlé.

Degré entrant

Concernant les facteurs de risque quantitatifs, comme le degré entrant (une valeur numérique quantifiable est associée à chaque localité du réseau de mobilité animale), les catégories de risque sont généralement définies en fonction des quantiles.

Lorsque vous avez réalisé l'analyse SNA en partie 9.1.1, quatre fichiers (.csv) ont été créés :

sna_Intro Contient les paramètres de mobilité pour toutes les localités de votre réseau de mobilité animale internationale.
qtl_Intro Contient les quantiles des paramètres calculés pour votre réseau international.
sna_Expo Contient les paramètres de mobilité pour toutes les localités de votre réseau de mobilité animale nationale (on ne l'utilisera pas pour l'analyse du risque d'introduction).
qtl_Expo Contient les quantiles des paramètres calculés pour votre réseau national (on ne l'utilisera pas pour l'analyse du risque d'introduction).

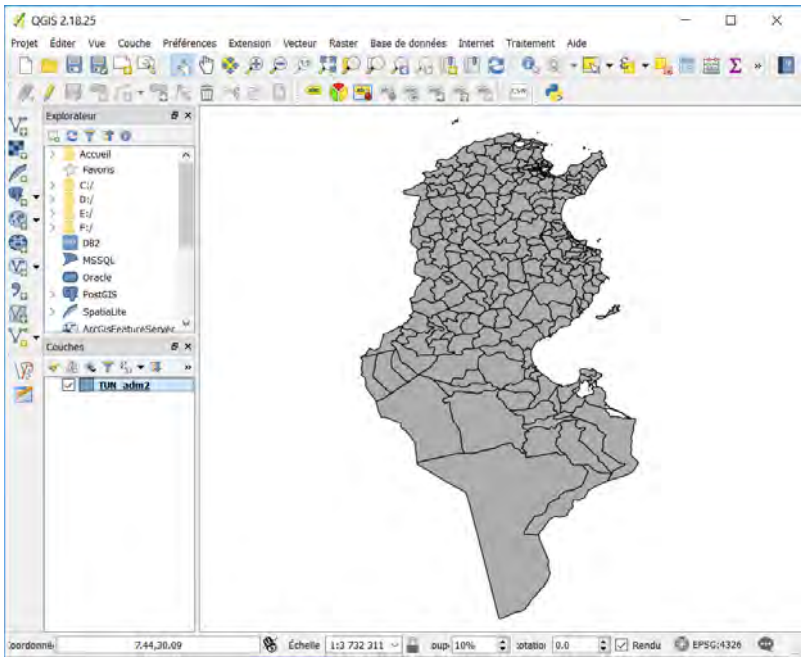
Dans le fichier qtl_Intro, vous trouverez une première approximation des quantiles calculés pour le degré entrant. Ces quantiles pourraient être les bornes de vos quatre catégories. Cependant, comme nous travaillons à l'échelle de la délégation (division administrative adm2), nous devons calculer les quantiles parmi un jeu de données contenant un degré entrant par délégation. Nous allons donc réaliser cette étape sous QGIS - pour cette étude de cas, nous avons utilisé la version 2.18.25 de QGIS.

1. Télécharger en ligne le shapefile représentant les divisions administratives ADMIN 2 de la Tunisie (par exemple sur le site de DIVA-GIS).
2. Ouvrez QGIS (si vous avez besoin d'aide pour installer et utiliser le logiciel QGIS, rendez-vous au chapitre 7 page 45).

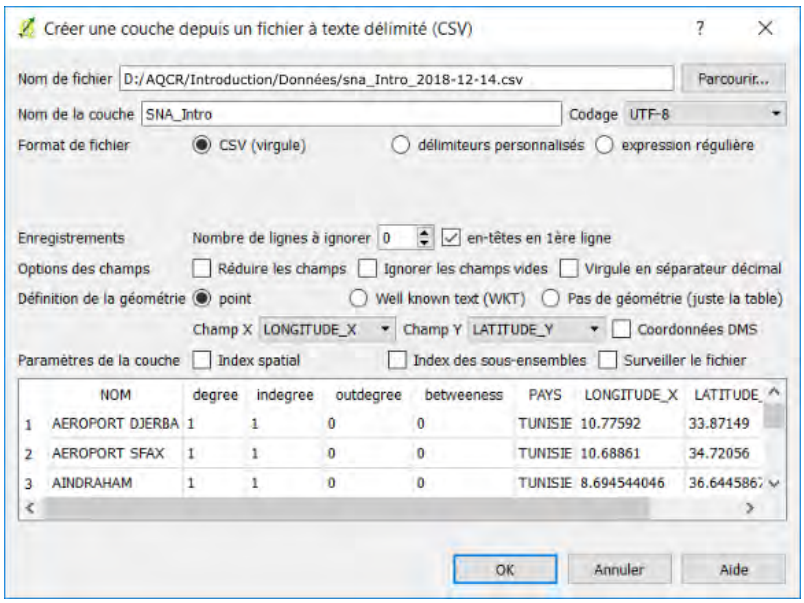
NB Toutes les explications pratiques et impressions d'écran sont basées sur l'utilisation de la version 2.18.25 de QGIS.

3 En utilisant la fonction Ajouter une couche vecteur (Cf. chapitre 7.2.2 page 47), importez dans QGIS les frontières de la Tunisie avec le découpage adm2 (découpage le plus fin disponible en ligne) que nous allons utiliser pour l'analyse.

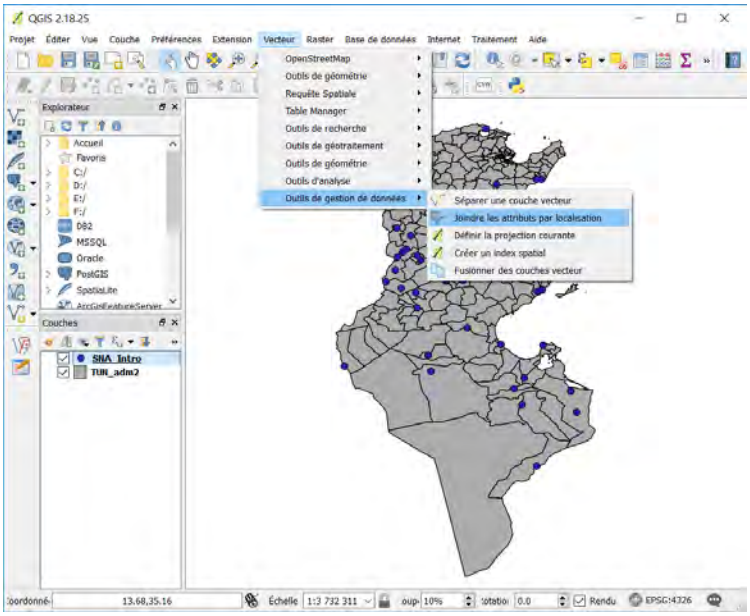
NB **Rappel** : Plus la division administrative est petite, plus l'analyse est précise.



4 Importez le fichier de données SNA (sna_Intro_*Date*.csv) issu de l'analyse de la mobilité animale internationale en Tunisie réalisée au chapitre 9.1.1 en utilisant la fonction Ajouter une couche de texte d
Choisissez le SCR approprié (le même que votre projet).

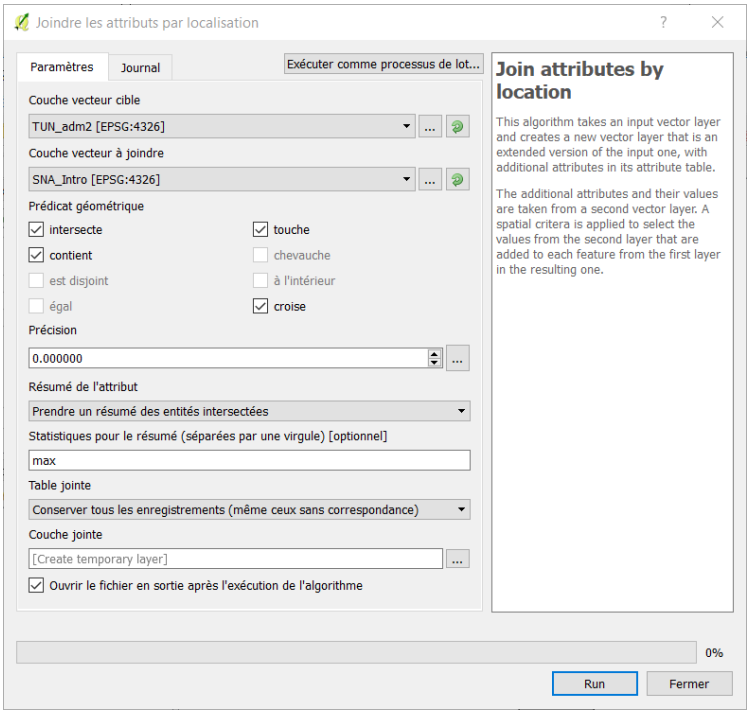


5 Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ).



Définissez les paramètres suivants :

- Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche délimitant les divisions administratives de la Tunisie.
- Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche des données SNA.
- Prédicat géométrique : Cochez toutes les cases disponibles sauf Est disjoint.
- Précision : Laissez 0.
- Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre un résumé des entités intersectées.
- Statistiques pour le résumé : Inscrivez max, car on majore le risque et on conserve donc uniquement la valeur maximale dans chaque commune.
- Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.



6. Enfin, cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient les données de mobilité.

   NB On conserve pour chaque division administrative le degré entrant le plus élevé puisque dans les analyses qualitatives de risque, on applique le principe de majoration du risque.

7. Renommez votre Couche jointe et sauvegardez-là au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...).

   NB Pour plus de clarté, supprimez les anciennes couches.

8. Explorez la table des attributs de votre nouvelle couche principale. Vous remarquerez que, pour la plupart des divisions administratives, la colonne maxindegre (degré entrant) est vide. Nous allons donc y inscrire '0'.

9. Utilisez l'outil 'Sélectionner les entités en utilisant une expression' ( ).

10. Indiquez l'expression suivante :

```
"maxindegre" IS NULL
```

    Vous demandez à QGIS de sélectionner toutes les divisions administratives qui n'ont pas de valeur de degré entrant.

11. Cliquez sur 'Sélection' puis 'Fermé'.

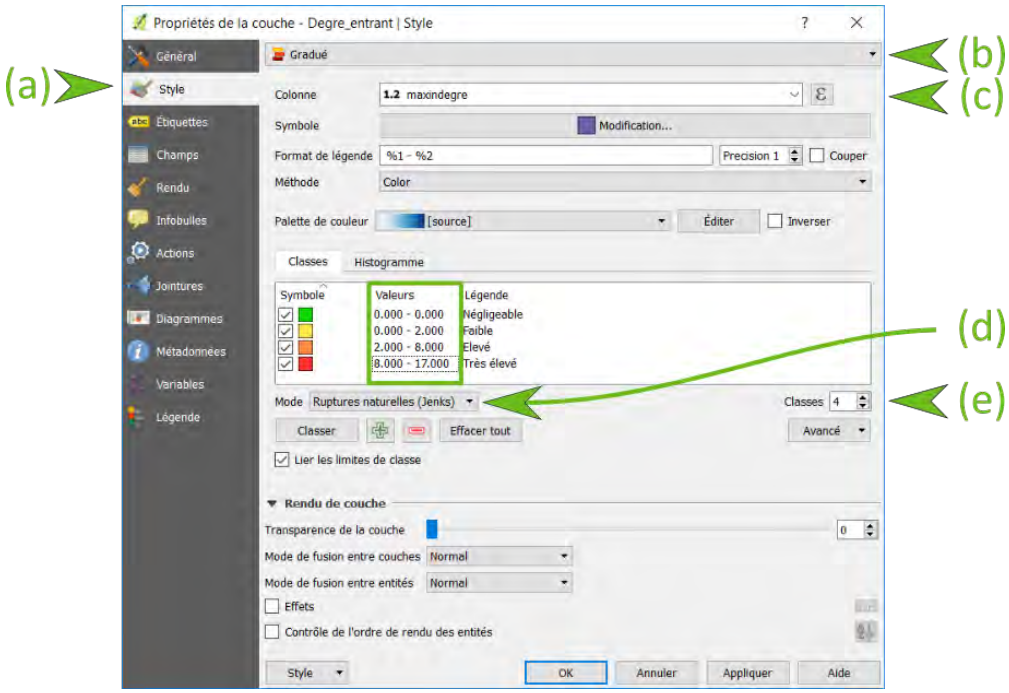
12. Une fois que vous vous êtes assuré que la sélection a bien été réalisée, activez le mode 'Edition' ( ) et sélectionnez 'maxindegre' dans la cellule en haut à gauche en utilisant le menu déroulant disponible, inscrivez '0' dans l'encart blanc et cliquez sur 'Mettre à jour la sélection'.

13. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications, sélectionnez vos entités/délégations/lignes ( ) et fermez la table des attributs.

Nous allons maintenant pouvoir définir quatre classes:

1. Ouvrez les Propriétés de la couche (clic-droit sur son nom dans la légende).
   (a) Rendez-vous sur l'onglet Style.
   (b) Sélectionnez Gradué à la place de Symbole unique.
   (c) Indiquez le nom de la colonne sur laquelle vous voulez travailler : *maxindegre* dans notre cas.
   (d) L'idéal pour les données numériques est de choisir comme Mode de classification les Quantiles (effectifs égaux). Cependant, on voit ici que le nombre très élevé de '0' dans nos données ne nous permet pas de créer quatre classes en utilisant ce mode. Testez les différents Modes de classification disponibles et arrêtez-vous, pour l'exercice, sur Ruptures naturelles (Jenks), ce mode propose des classes de seuils naturels regroupant les valeurs similaires et optimisant les différences entre les classes.

(e) Indiquez que vous voulez quatre Classes.



Les intervalles de valeurs délimitant vos classes s'affichent :

- les divisions administratives ont un degré entrant **très élevé** si sa valeur est comprise entre les quantiles 8 et 17.
- les divisions administratives ont un degré entrant **élevé** si sa valeur est comprise entre les quantiles 2 et 8.
- les divisions administratives ont un degré entrant **faible** si sa valeur est comprise entre les quantiles 0 et 2.
- les divisions administratives ont un degré entrant **négligeable** si sa valeur est 0.

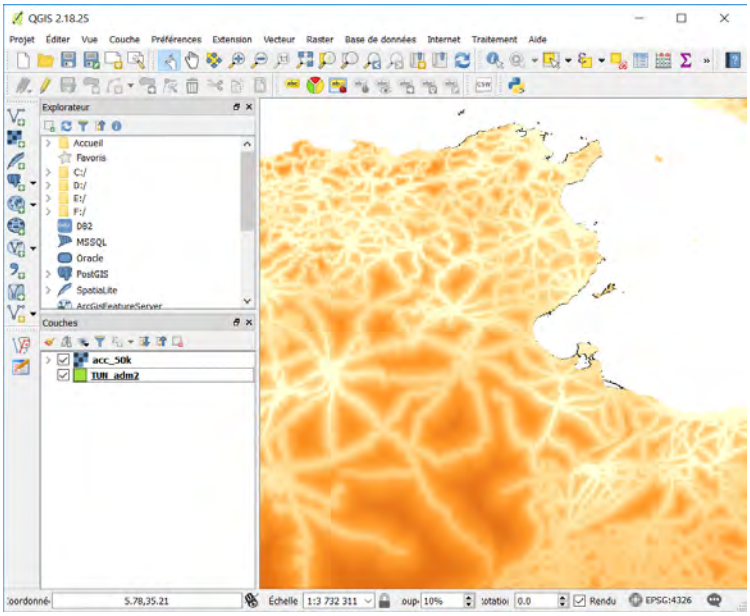
Exercise 9.10 Réalisez cette étape pour votre pays.

NB Le mode de classification dépendra de la distribution de vos données.
Commencez toujours par tester les quantiles et s'ils ne vous permettent pas de définir quatre catégories alors, testez les autres modes de classification pour choisir le plus adapté.

Accessibilité

L'accessibilité est, elle aussi, un facteur de risque quantitatif, nous allons donc procéder de la même façon pour déterminer quatre catégories de valeur d'accessibilité de la Tunisie.

1. Importer dans QGIS (soit dans un nouveau projet, soit dans celui que vous avez utilisé pour le degré entrant) les frontières de la Tunisie avec le découpage ADMIN 2.
2. Importez le fichier raster de l'accessibilité (.tif), en utilisant la fonction Ajouter une couche raster (Cf. chapitre 7.2.2).



3 Pour l'analyse, vous n'avez pas besoin de la couche à l'échelle mondiale, mais seulement des données concernant la Tunisie. Nous allons donc découper la couche raster selon les frontières de la Tunisie.
Pour ce faire, rendez-vous dans le menu Raster » Extraction » Découper ... .

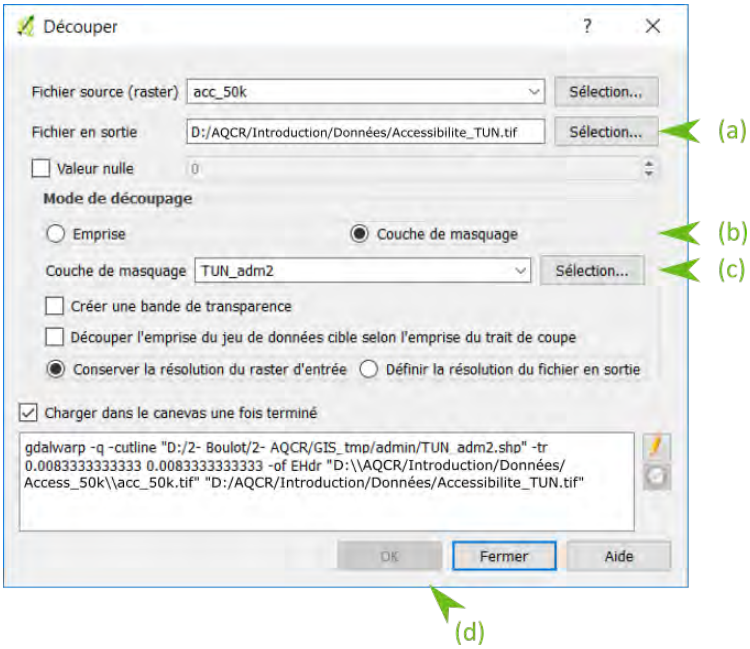
(a) Indiquez où vous voulez enregistrer la nouvelle couche découpée et quel nom (.tif) vous voulez lui donner.

(b) Sélectionnez l'option Couche de masquage, cela signifie que vous voulez découper votre raster en suivant les contours d'une autre couche.

(c) Sélectionnez la couche délimitant les frontières de la Tunisie.

(d) Cliquez sur OK.

NB Le découpage peut prendre du temps, soyez patient.



Nous allons maintenant calculer l'accessibilité moyenne de chaque division administrative.

4 Utilisez le menu Raster » Statistiques de zones » Statistiques de zones

NB L'outil 'Statistiques de zones' est une extension. S'il n'est pas disponible dans le menu Raster, c'est que vous ne l'avez pas encore installé. Vous pouvez l'installer en vous rendant dans le menu Extension » Installer/Gérer les extensions... et en recherchant Extension de statistiques de zone.

Définissez les paramètres suivants :

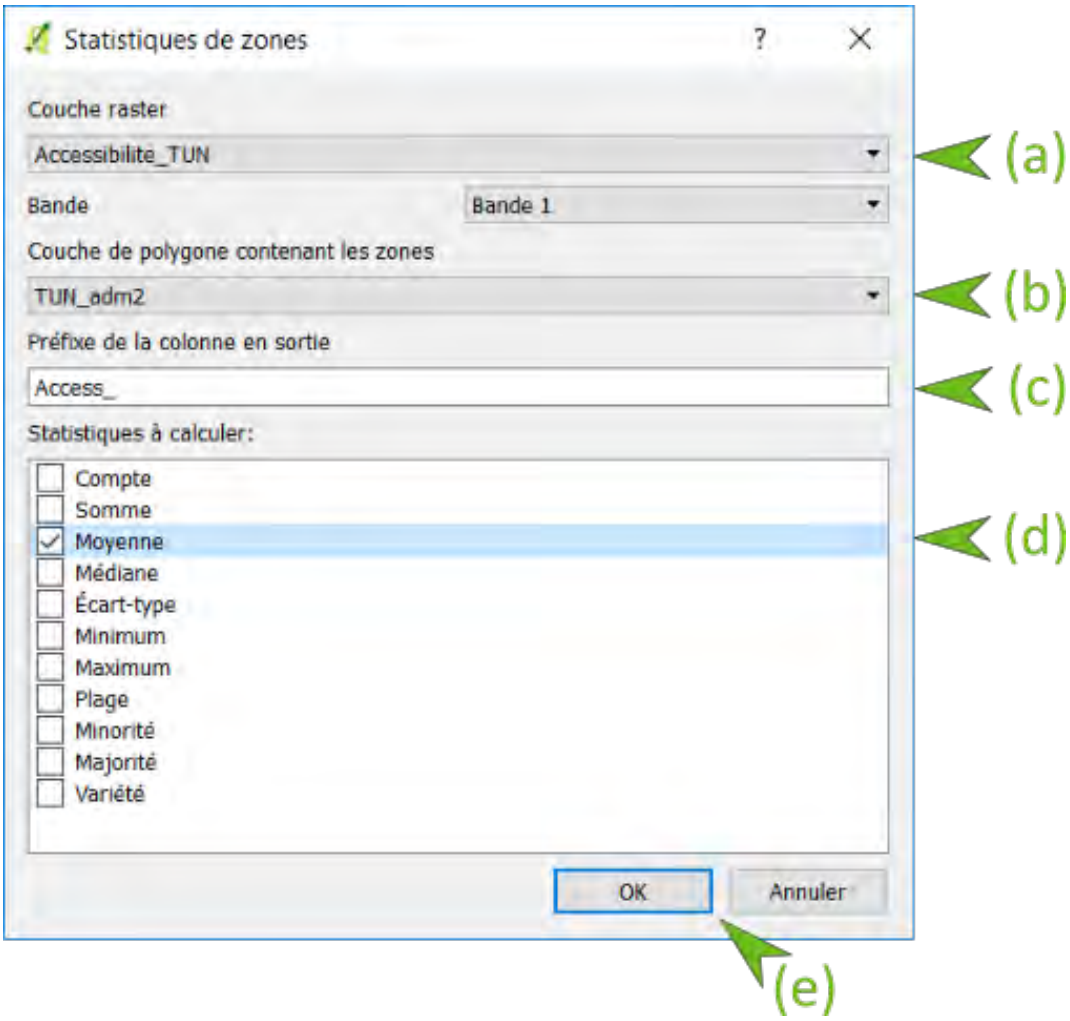
(a) Sélectionnez votre couche raster d'accessibilité nationale.

(b) Sélectionnez la couche des frontières administratives de la Tunisie.

(c) Indiquez 'Access_' comme Préfixe de la colonne en sortie

(d) Décochez toutes les cases pour ne conserver que la moyenne.

(e) Cliquez sur OK.



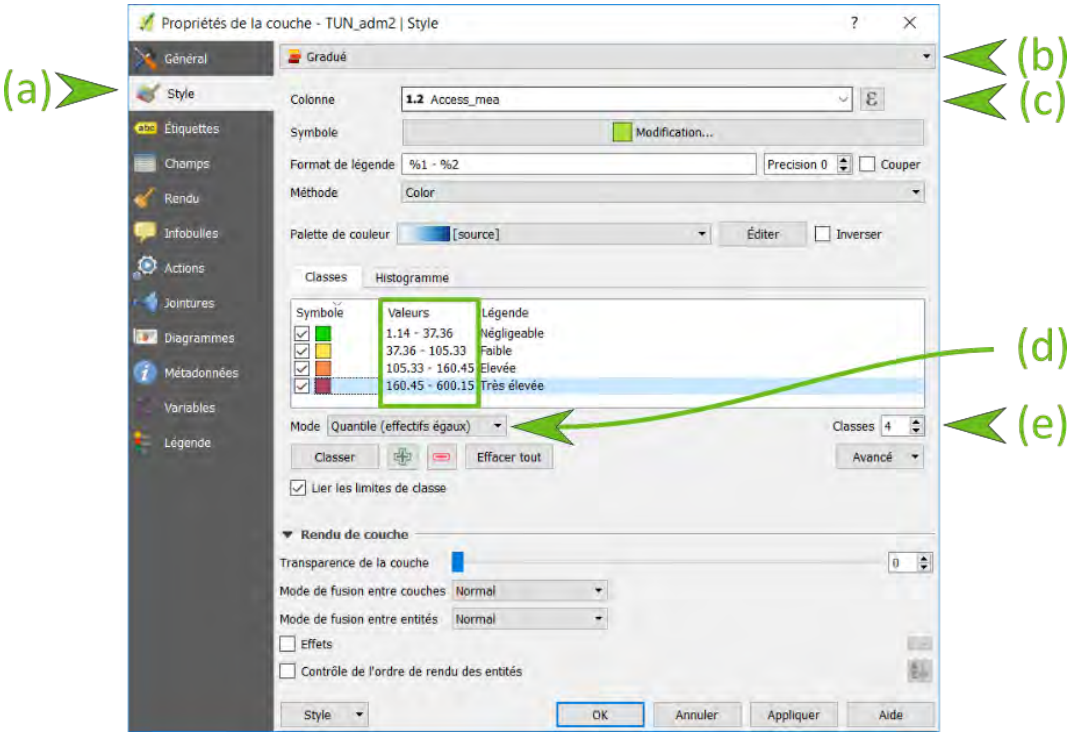
5 Ouvrez la table des attributs de la couche des frontières administratives de la Tunisie, vous verrez qu'à la fin une nouvelle colonne a été ajoutée : Access_mea.

Nous allons maintenant pouvoir définir nos classes.

1. Ouvrez les Propriétés de la couche des frontières administratives (clic-droit sur son nom dans la légende).
   (a) Rendez-vous sur l'onglet Style.
   (b) Sélectionnez Gradué à la place de Symbole unique.
   (c) Indiquez le nom de la colonne sur laquelle vous voulez travailler : Access_mea dans notre cas.
   (d) Choisissez Quantiles (effectifs égaux) comme Mode de classification.
   (e) Indiquez que vous voulez quatre Classes.

   Les intervalles de valeurs délimitant vos quantiles s'affichent.

   NB N'hésitez pas à modifier la légende et les couleurs pour bien visualiser vos catégories sur la carte.



2. Enregistrez cette couche contenant l'accessibilité par délégation tunisienne au format shapefile, vous en aurez de nouveau besoin plus tard.

Exercise 9.11 Réalisez cette étape pour votre pays.

NB Grâce à la classification du style 'Gradué', vous pouvez définir les quantiles de nombreux facteurs de risque quantitatifs. N'hésitez pas à utiliser cet outil pour catégoriser d'autres facteurs de risque, ceux utilisés ici ont été définis à titre d'exemple pour cet exercice sur la Tunisie.

N'hésitez pas à contacter l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD si vous avez besoin d'être aiguillé sur la classification d'un facteur de risque (team.aqcr@cirad.fr).

9.1.3 Troisième étape: Caractériser les niveaux de risque

Maintenant que nous connaissons nos facteurs de risques et leurs classes, nous allons caractériser les quatre niveaux de risque d'introduction de FA en Tunisie : très élevé, élevé, faible et négligeable.

Dans l'exercice, nous utilisons les critères définis par un groupe d'experts de la FA et des filières animales tunisiennes. Les experts ont réfléchi ensemble aux questions suivantes :

- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque très élevé d'introduction du virus de la fièvre aphteuse ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque élevé d'introduction du virus de la fièvre aphteuse ?
- Dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque faible d'introduction du virus de la fièvre aphteuse ?

L'objectif étant de pondérer les facteurs de risque les uns par rapport aux autres, les experts se sont longuement concertés pour se mettre d'accord sur la caractérisation suivante :

Le risque est très élevé si la division administrative est frontalière à la Libye (Cf. table d'estimation du risque d'introduction) OU si la division administrative contient au moins un point d'entrée illégal OU si le degré entrant de la division administrative est très élevé (compris entre le 3ème et le 4ème quantile) OU si son accessibilité moyenne est très élevée (comprise entre le 3ème et le 4ème quantile),

sinon le risque est élevé si la division administrative est frontalière à la l'Algérie (Cf. table d'estimation du risque d'introduction) OU si la division administrative contient au moins un point d'entrée légale OU si le degré entrant de la division administrative est élevé (compris entre le 2ème et le 3ème quantile) OU si son accessibilité moyenne est élevée (comprise entre le 2ème et le 3ème quantile),

sinon le risque est faible si le degré entrant de la division administrative est faible (compris entre le 1ème et le 2ème quantile) OU si son accessibilité moyenne est faible (comprise entre le 1ème et le 2ème quantile),

sinon le risque est négligeable.

Ces caractéristiques/conditions ont été retranscrites sous la forme d'un tableau :

	Niveaux de risque		
	Très élevé	**Élevé**	**Faible**
	Frontières Libye	Frontières Algérie	
OU	Entrées illégales	Entrées légales	
OU	Degré entrant entre 8 et 17	Degré entrant entre 2 et 8	Degré entrant entre 0 et 2
OU	Access. moy. entre 160.45 et 600.15	Access. moy. entre 105.33 et 160.45	Access. moy. entre 34.36 et 105.33

Toutes les divisions administratives qui ne remplissent aucune des conditions de ces trois colonnes présenteront un risque d'introduction négligeable.

Rappelons que dans le cadre de cet exercice sur la FA en Tunisie, nous travaillons sur différentes voies d'introduction potentielles du virus : le commerce légal, le commerce illégal et les flux non commerciaux, comme la transhumance. Ces voies d'introduction présentent des facteurs de risque que nous avons défini pour la Tunisie :

Quel est le risque associé à chaque frontière ?

* On considère que chaque frontière peut être perméable au commerce illégal/non-déclaré. Nous allons donc affecter à chaque division administrative frontalière le niveau de risque calculé en 9.1.2 pour la frontière donnée.
* On considère que le commerce illégal/non-déclaré est un risque majeur puisqu'il n'est soumis à aucun contrôle. Aussi, on affectera un risque très élevé à toutes les divisions administratives contenant un point d'entrée illégal.

Quel sont les risques respectivement associés aux importations légales et illégales?

* Comme on travaille sur le principe de majoration du risque, on affectera le risque maximal liée au commerce légal à toutes les divisions administratives contenant un point d'entrée légal. (Cf. 9.1.2).
* Comme indiqué ci-dessus, toutes les divisions administratives contenant un point d'entrée illégal présentent un risque très élevé.

Quel est le risque associé aux différents paramètres de mobilité ?

* Que ce soit pour le degré entrant ou l'accessibilité (comme ce sont des variables quantitatives), on classe les divisions administratives selon les quantiles qui refléteront les quatre niveaux de risque.

Remplissons le tableau ensemble étape par étape

Commençons par prendre une feuille de papier (ou un tableur numérique [Ex. Microsoft Excel]) et y dresser trois colonnes :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**

Frontière

1. Reprenez le fichier Proba_intro_FA-FR.xls.
2. Rendez-vous sur la droite du tableau principal de l'onglet Activités de surv. & contrôle.
3. Cliquez sur la flèche de l'entête de la colonne Frontière et décochez la case devant (Vides).
4. Complétez votre feuille de papier en fonction des niveaux de risque qui s'affichent.

Pour la Tunisie :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**
Frontières Libye	Frontières Algérie	

Commerce

1. Restez sur le fichier Proba_intro_FA-FR.xls.
2. Rendez-vous en haut à gauche de l'onglet Activités de surv. & contrôle.
3. Complétez votre feuille de papier avec le niveau de risque indiqué dans la ligne Commerce légal du tableau SYNTHESE DES SCORES POUR VOTRE PAYS. Pour le commerce illégal, nous avons décidé que, peu importe le score calculé, tous les points d'entrée illégaux représentent un risque très élevé.

Pour la Tunisie :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**
Frontières Libye Entrées illégales	Frontières Algérie Entrées légales	

Mobilité (degré entrant et accessibilité)

1. Complétez votre feuille de papier avec les intervalles des quatre catégories que vous avez déterminées pour le degré entrant et pour l'accessibilité.

Pour la Tunisie :

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**
Frontières Libye Entrées illégales Degré entrant entre 8 et 17 Access. moy. entre 160.45 et 600.15	Frontières Algérie Entrées légales Degré entrant entre 2 et 8 Access. moy. entre 105.33 et 160.45	Degré entrant entre 0 et 2 Access. moy. entre 34.36 et 105.33

Exercise 9.12 Réalisez cette étape pour votre pays. Complétez le texte à trou ci-dessous et produisez un tableau de risques associé.

▶ Le risque d'introduction est très élevé si ... , sinon le risque est élevé si ..., sinon le risque est faible si ..., sinon le risque est négligeable.

NB Les [...] peuvent être complétés par plusieurs conditions séparées par 'OU', et les conditions peuvent être définies par une combinaison de facteurs reliés par 'ET'.

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**

NB Si vous avez un doute n'hésitez pas à vous reporter à la présentation de la méthode (partie 4.3 page 25), ou à contacter l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD (team.aqcr@cirad.fr).

9.1.4 Quatrième étape: Cartographier le risque d'introduction de la FA en Tunisie

Maintenant que nous avons caractérisé nos niveaux de risque et comme nous avons toutes nos données, il ne reste plus qu'à réaliser la cartographie du risque à proprement parler. Cette étape est réalisée sous QGIS.

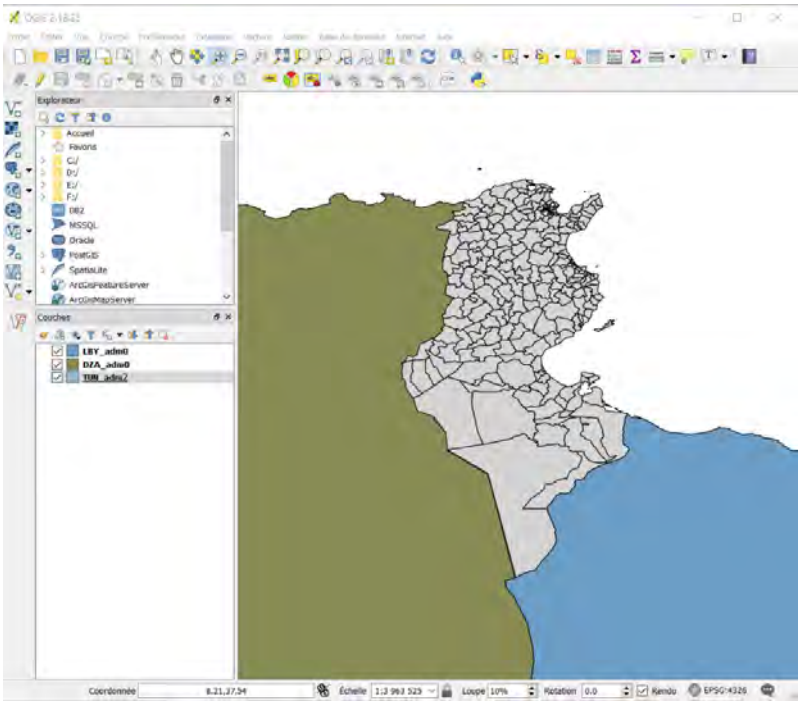
1. Ouvrez QGIS - si vous avez besoin d'aide pour installer et utiliser le logiciel QGIS, rendez-vous au chapitre 7.
2. Créez un nouveau projet.

Importons les données nécessaires à l'analyse

Les frontières et divisions administratives

Comme vous l'avez fait au moment de catégoriser l'accessibilité, utilisez la fonction Ajouter une couche vecteur (Cf. chapitre 7.2.2), pour importer les frontières administratives de la Tunisie et de ses pays frontaliers.

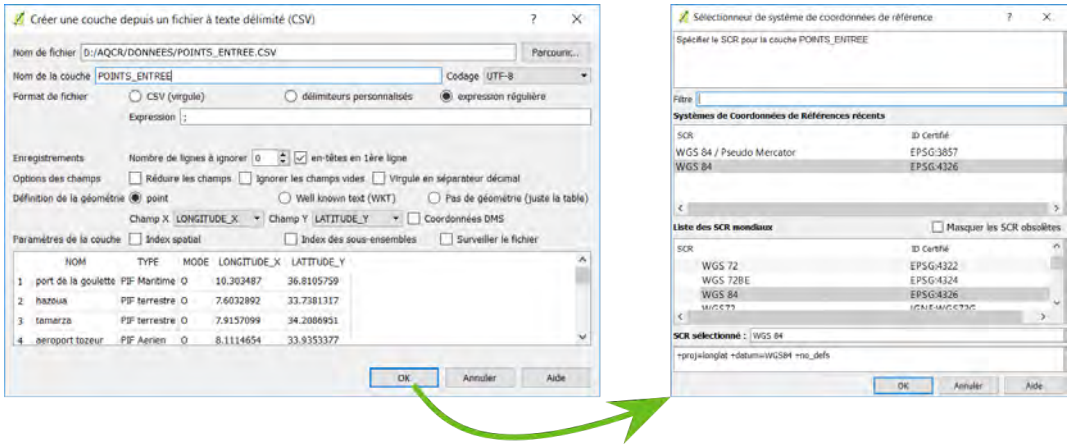
1. Importez le découpage administratif admin 2 représentant les frontières des délégations tunisiennes.
2. Téléchargez sur DIVA-GIS les frontières des pays frontaliers : la Libye et l'Algérie. Importez les découpages administratifs admin0 de la Libye et de l'Algérie. Ces découpages représentent les frontières respectives de ces deux pays.



Points d'entrée

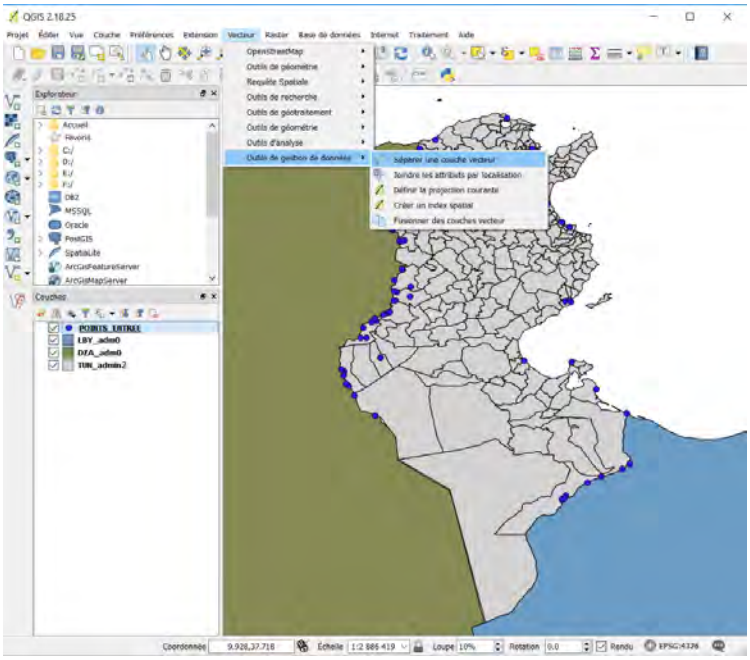
1. Importez les points d'entrée grâce au fichier que vous avez téléchargé au chapitre 9.1.1. Pour ce faire utilisez la fonction Ajouter une couche de texte délimité ( ) (si vous avez un

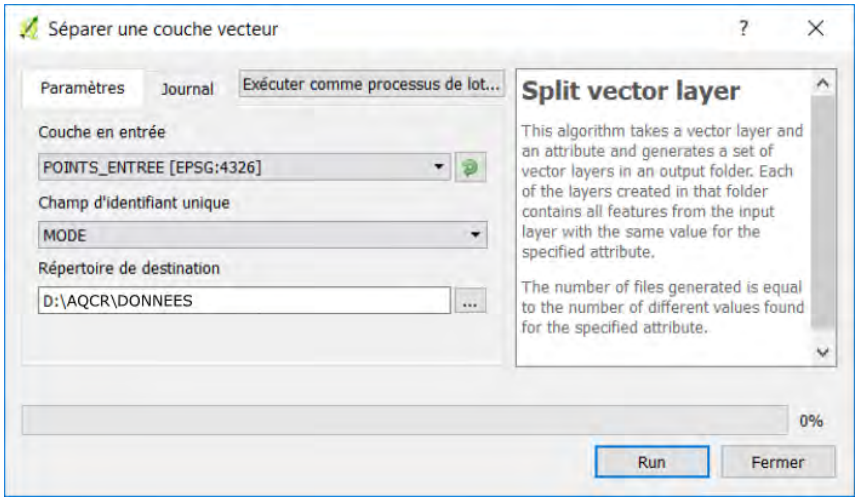
doute sur la manière de procéder rendez-vous au chapitre 7.2.2).



2. Séparez la couche des points d'entrée en deux couches selon qu'il s'agisse de mouvements officiels/contrôlés/légaux ou de mouvements non-officiels/non-contrôlés/illégaux. Pour ce faire, rendez-vous dans le menu **Vecteur** » **Outils de gestion de données** » **Séparer une couche vecteur** ( ). Définissez les paramètres suivants :
   - Couche en entrée : votre couche de points d'entrée.
   - Champs d'identifiant unique : votre colonne **MODE**.
   - Répertoire de destination : choisissez le répertoire où vous désirez que soient enregistrées les deux couches produites.

3. Enfin cliquez sur **Run** pour lancer la création des deux couches.





4. Importez ces couches vecteur POINTS_ENTREE_MODE_NC.shp (NC : non-contrôlés) et POINTS_ENTREE_MODE_C.shp (C : contrôlés) avec l'outil Ajouter une couche vecteur ( ).

   NB Pour plus de clarté, vous pouvez supprimer l'ancienne couche POINTS_ENTREE.

Degré entrant

1. Importez le fichier vecteur contenant les données SNA (sna_Intro_*Date*) que vous avez créé en partie 9.1.2.

Accessibilité

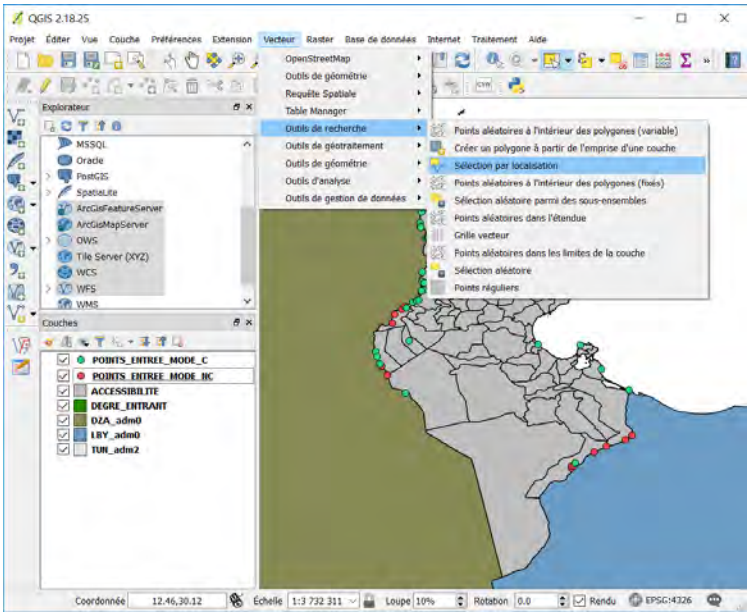
1. Importez pour finir le fichier vecteur contenant l'accessibilité moyenne par délégation que vous avez créé dans la partie 9.1.2.

Rassemblons toutes les données dans un même shapefile

Les frontières et divisions administratives

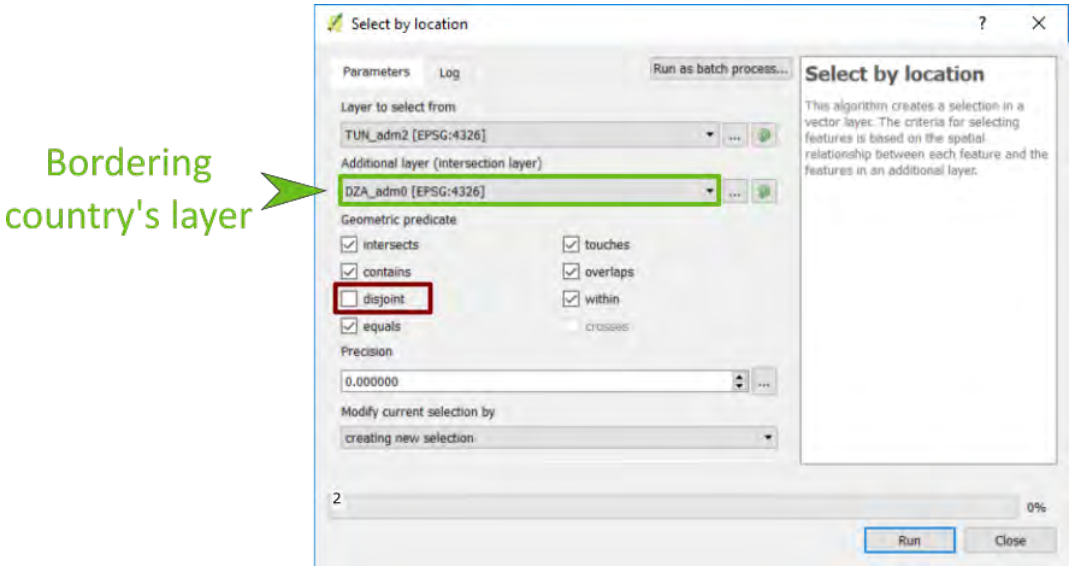
Nous allons partir de la couche représentant les divisions administratives de la Tunisie, on l'appellera dans la suite de l'exercice la couche principale. Dans un premier temps, nous cherchons à identifier les divisions administratives qui partagent une frontière avec l'Algérie et la Libye.

1. Ouvrez la table des attributs de votre couche principale (TUN adm2).
2. Créez une nouvelle colonne pour chaque pays frontalier : Algerie, Libye.
   (a) Activez le mode 'Édition'.
   (b) Cliquez sur l'icône .
   (c) Ajoutez successivement les deux colonnes de nombres entiers (entier).
   (d) Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications.
3. Fermez la table des attributs.
4. Utilisez le menu Vecteur » Outils de recherche » Sélection par localisation.



Définissez les paramètres suivants :

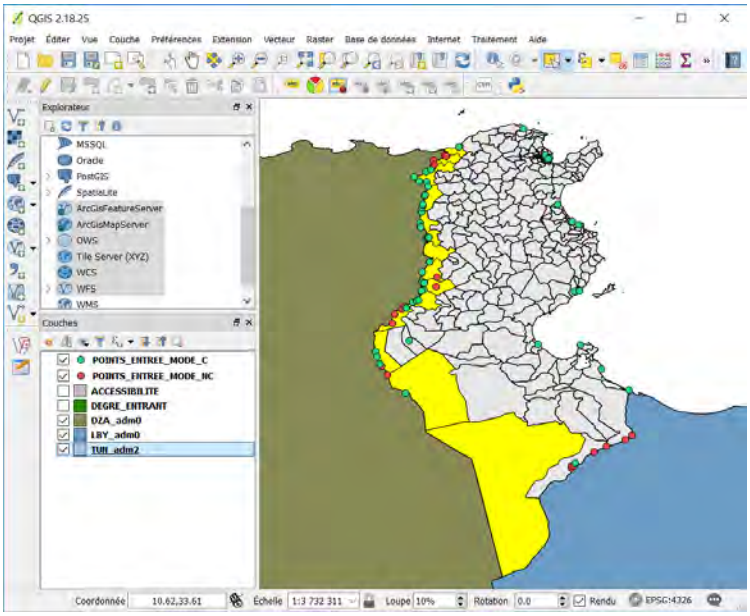
- Couche où effectuer la sélection : Sélectionnez la couche principale délimitant les frontières de votre pays.
- Couche supplémentaire (couche d'intersection): Sélectionnez la couche du pays frontalier qui vous intéresse, par exemple l'Algérie.
- Prédicat géométrique : Cochez toutes les cases **sauf** Est disjoint .
- Précision : Laissez 0.
- Modifier la sélection actuelle en : Sélectionnez Créer une nouvelle sélection .



5 Cliquez sur Run et soyez patient la sélection peut prendre du temps.

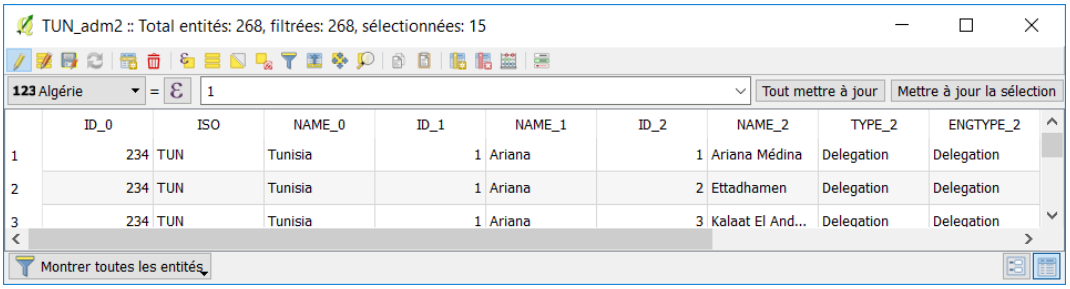
6 Vérifiez que toutes les divisions administratives frontalières à l'Algérie ont bien été sélectionnées, elles doivent apparaitre en jaune.

NB **Attention**, si les couches d'accessibilité et de degré entrant sont disposées au-dessus de votre couche principale - ie. plus haut dans la légende, vous ne verrez pas la sélection sur la carte. Déplacer la couche principale au-dessus des autres si besoin.



Si certaines communes frontalières n'ont pas été sélectionnées, utilisez la fonction Sélectionner les entités avec un rectangle ou un simple clic (), maintenez la touche shift enfoncée et ajoutez les divisions administratives manquantes à votre sélection.
Nous allons maintenant inscrire un 1 dans la colonne 'Algérie' de toutes ces divisions administratives.

7. Ouvrez la table des attributs de votre couche principale.
8. Activez le mode 'Édition' ().
9. Sélectionnez la colonne Algérie en haut à gauche entre le bouton 'Edition' et la table de attributs.
10. Inscrivez 1 dans l'encart blanc en haut.
11. Cliquez sur Mettre à jour la sélection.
12. Quittez le 'Édition' () en sauvegardant vos modifications.



	ID_0	ISO	NAME_0	ID_1	NAME_1	ID_2	NAME_2	TYPE_2	ENGTYPE_2
1	234	TUN	Tunisia	1	Ariana	1	Ariana Médina	Delegation	Delegation
2	234	TUN	Tunisia	1	Ariana	2	Ettadhamen	Delegation	Delegation
3	234	TUN	Tunisia	1	Ariana	3	Kalaat El And...	Delegation	Delegation

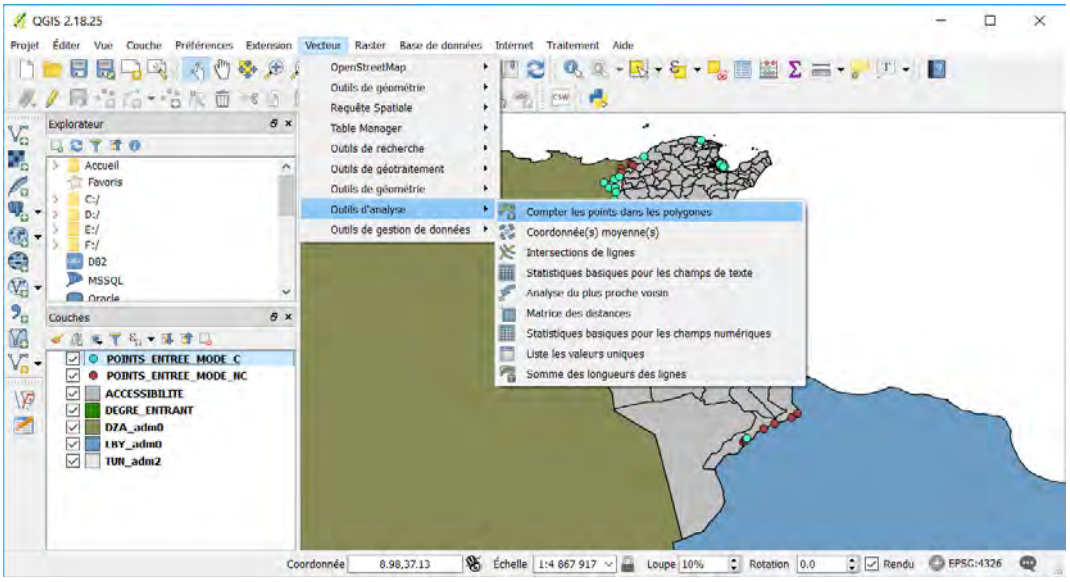
13. Recommencez la manœuvre (points 3 à 10) pour la Libye.
14. Fermez la table des attributs.

Points d'entrée

Nous voulons savoir, pour chaque division administrative, si elle reçoit des animaux à risque importés de l'étranger et, si c'est le cas, par quelle voie (contrôlée/légale ou non-contrôlée/illégale). Nous allons donc compter le nombre de point d'entrée légaux et illégaux par division administrative.

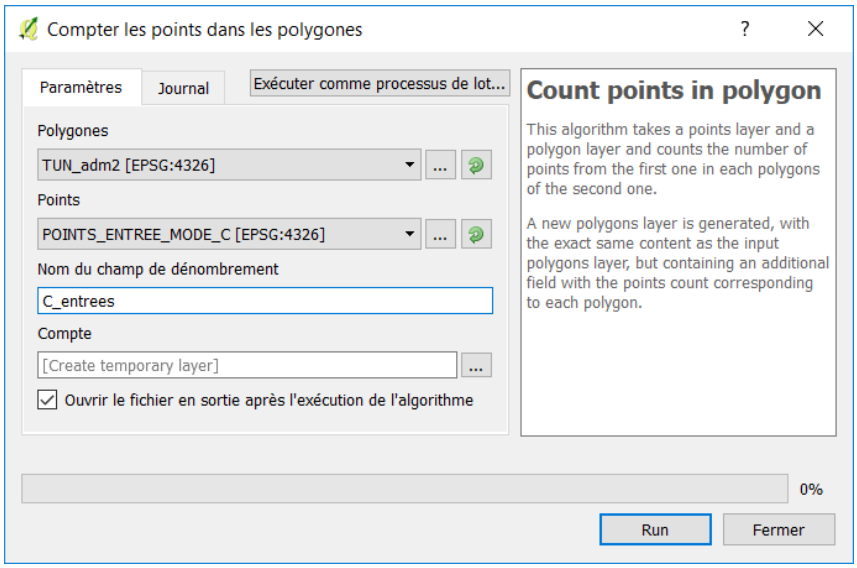
NB Avant de commencer une nouvelle action, vérifiez toujours que vous n'avez plus d'entité sélectionnée ( ).

1 Utilisez le menu Vecteur » Outils d'analyse » Compter les points dans les polygones



2 Définissez les paramètres suivants :
Polygones : Sélectionnez votre couche principale.
Points : Sélectionnez la couche des points d'entrées contrôlés.
Nom du champ de dénombrement Définissez le nom de la nouvelle colonne. Par exemple : C_entrees.

3 Cliquez sur Run



Une nouvelle couche est créée dans laquelle votre colonne a été ajoutée. Sauvegarder cette nouvelle couche au format shapefile : c'est votre nouvelle couche principale.

NB Pour plus de clarté, supprimez vos couches 'Compte', 'TUN_adm2' et 'POINTS_ENTREE_MODE_C'.

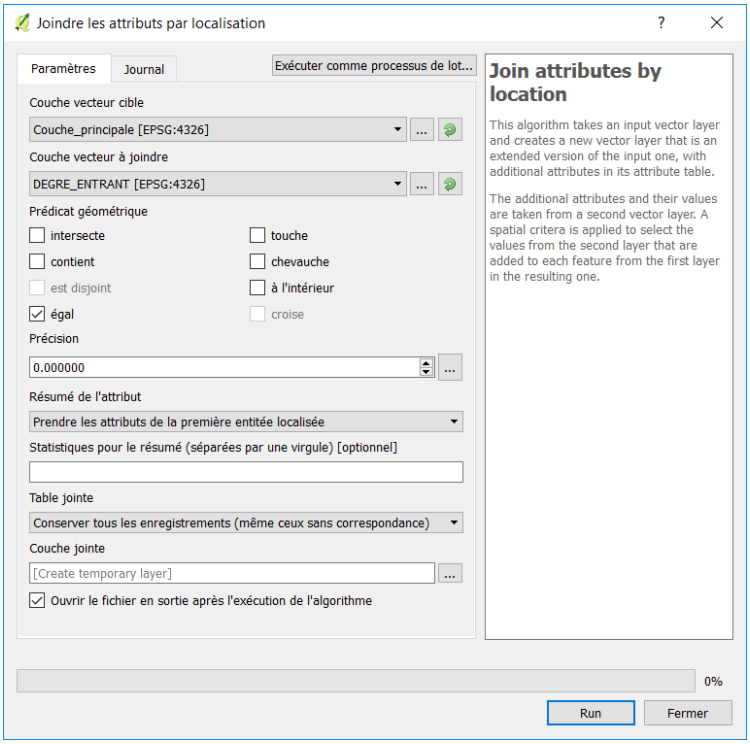
4. Recommencez l'opération pour les points d'entrée illégaux. Pensez à sélectionner la nouvelle couche comme couche principale et à mettre un nom de colonne différent, par exemple : NC_entrees.

Vous avez maintenant sur une même couche les informations concernant les pays frontaliers et les points d'entrée d'animaux à risque (vous pouvez vérifier dans la table des attributs).

Degré entrant

Nous devons maintenant ajouter à chaque division administrative le degré entrant qui lui est associé. Pour ce faire,

1. Ouvrez la table des attributs de la couche contenant les degrés entrants ("maxindegre").
2. Activez le mode 'Édition'.
3. Supprimez toutes les colonnes ( ), excepté la colonne "maxindegre".
4. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications.
5. Fermez la table des attributs.
6. Assurez-vous qu'aucune entité n'est sélectionnée ( ).
7. Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ). Définissez les paramètres suivants :
   - Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche principale.
   - Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche contenant le degré entrant.
   - Prédicat géométrique : Cochez uniquement la case Égal.
   - Précision : Laissez 0.
   - Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre les attributs de la première entité localisée.
   - Statistiques pour le résumé : n'inscrivez rien (c'est seulement si vous voulez un résumé des attributs).
   - Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.



8. Enfin, cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient les données de mobilité, les frontières et les points d'entrée. Il s'agit de votre nouvelle couche principale.
9. Supprimez l'ancienne couche principale.
10. Sauvegardez la nouvelle Couche jointe au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...) comme votre nouvelle couche principale.

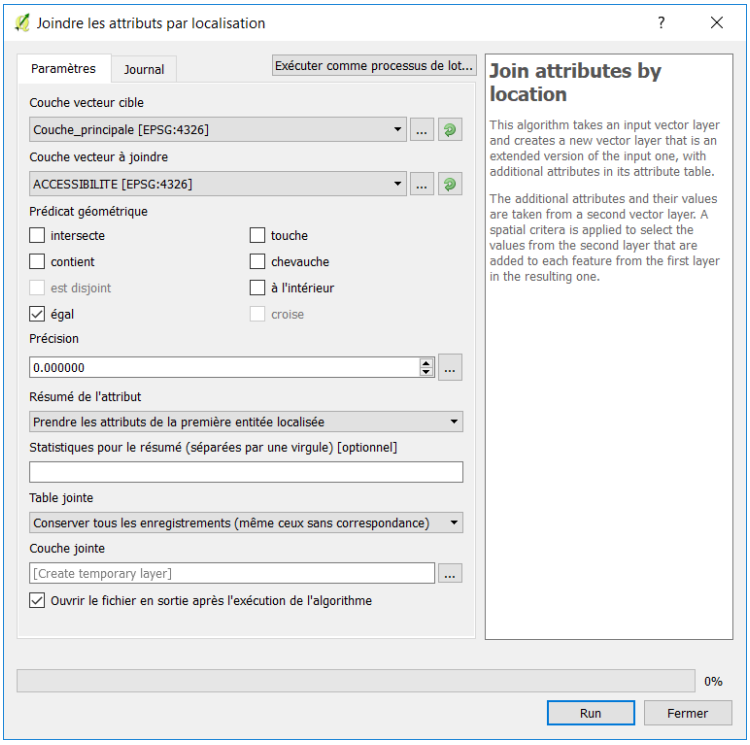
NB Pour plus de clarté, vous pouvez supprimer les anciennes couches : la couche du degré entrant et la couche jointe.

Accessibilité

Vous n'avez maintenant plus qu'à ajouter un paramètre d'accessibilité pour chaque division administrative. Nous allons procéder de la même manière que pour le degré entrant.

1. Ouvrez la table des attributs de la couche d'accessibilité.
2. Activez le mode 'Édition'.
3. Supprimez toutes les colonnes excepté la colonne "Access_mea".
4. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications.
5. Fermez la table des attributs.
6. Assurez-vous qu'aucune entité n'est sélectionnée ( ).
7. Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ). Définissez les paramètres suivants :

- Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche principale.
- Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche contenant l'accessibilité moyenne par délégation tunisienne.
- Prédicat géométrique : Cochez uniquement la case Égal.
- Précision : Laissez 0.
- Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre les attributs de la première entité localisée.
- Statistiques pour le résumé : n'inscrivez rien (c'est seulement si vous voulez un résumé des attributs).
- Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.



8. Enfin, cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient l'accessibilité, le degré entrant, les frontières et les points d'entrée. Il s'agit de votre nouvelle couche principale.
9. Supprimez l'ancienne couche principale.
10. Sauvegardez la nouvelle Couche jointe au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...) comme votre nouvelle couche principale.

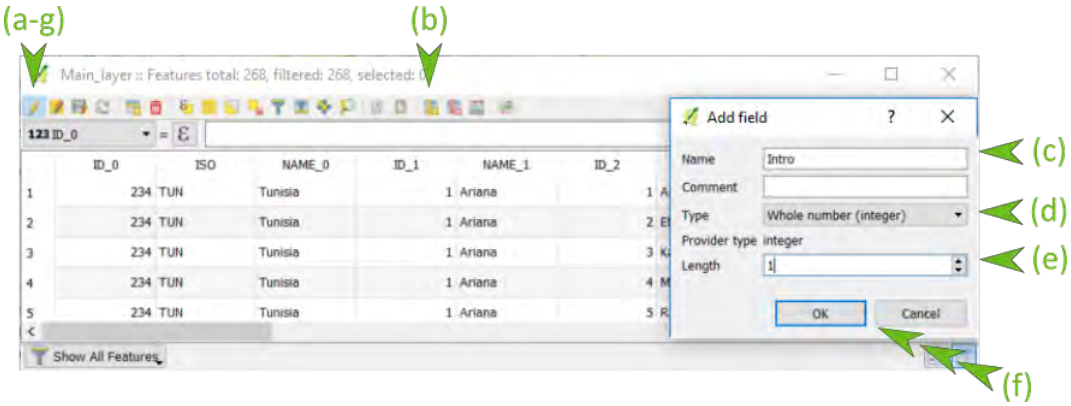
NB Pour plus de clarté, vous pouvez supprimer les anciennes couches : la couche d'accessibilité et la couche jointe.

Toutes vos données doivent maintenant se trouver dans une même couche. Pensez à la sauvegarder, c'est votre couche principale, celle que nous allons utiliser pour la cartographie finale. Prenez le temps d'explorer la table des attributs de cette nouvelle couche principale pour bien comprendre ce que vous avez fait.

Cartographions le risque d'introduction

Vous avez maintenant tout en main pour vous lancer dans l'estimation et la cartographie des zones à risque ! Nous allons mettre en évidence les divisions administratives associées à chaque niveau de risque d'introduction.

1. Ouvrez la table des attributs de votre couche principale.
2. Créez un nouveau champ dans lequel sera défini le niveau de risque d'introduction



(a) Activez le mode 'Édition'.

(b) Ajoutez un nouveau champ.

(c) Appelez ce champ 'Intro'.

(d) Définissez le comme étant de type 'Nombre entier (entier)',

(e) et de longueur '1'.

NB Nous allons discriminer quatre niveaux de risque

1 ⇒ Risque Négligeable

2 ⇒ Risque Faible

3 ⇒ Risque Élevé

4 ⇒ Risque Très Élevé

(f) Validez en cliquant sur OK.

(g) Sauvegardez vos modifications.

(h) Quittez le mode 'Édition'.

3. Nous allons maintenant mettre à jour ce champ grâce à la

Calculatrice de champ : vérifiez qu'aucune ligne n'est sélectionnée ( ) et cliquez sur l'icône : .

Nous allons utiliser une expression décrivant les critères caractérisant le risque très élevé, le risque élevé et le risque faible. Les divisions administratives qui ne remplissent aucun de ces critères présenteront un risque négligeable.

Rappel de la caractérisation des niveaux de risque :

- Si une division administrative est frontalière avec la Libye, si elle comporte un point d'entrée illégal, si son degré entrant est compris entre 8 et 17 ou si son accessibilité moyenne est comprise entre 160.45 et 600.15, alors elle est considérée comme présentant un risque très élevé (4) pour l'introduction de FA.

- Sinon, parmi les divisions administratives restantes, si une division administrative est frontalière avec l'Algérie, si elle comporte un point d'entrée légal, si son degré entrant est compris entre 2 et 8 ou si son accessibilité moyenne est comprise entre 105.33 et 160.45, alors elle est considérée comme présentant un risque élevé (3) pour l'introduction de FA.
- Sinon, parmi les divisions administratives restantes, si une division administrative présente un degré entrant compris entre 0 et 2 ou si son accessibilité moyenne est comprise entre 34.36 et 105.33, alors elle est considérée comme présentant un risque faible (2) pour l'introduction de FA.
- Toutes les autres divisions administratives sont considérées comme présentant un risque négligeable (1) pour l'introduction de FA.

NB Pour rappel, les seuils des catégories des facteurs de risque qualitatifs : degré entrant et accessibilité ont été défini dans la partie 9.1.2 en fonction respectivement des ruptures naturelles et des quantiles.

La caractérisation en EXPRESSION dans QGIS

```
if("Libye" > 0 OR
"NC_entrees" > 0 OR
("maxindegre" <= 17  AND "maxindegre" > 8) OR
("Access_mea" <= 600.15 AND  "Access_mea" > 160.45),
4,
if("Algerie" > 0 OR
"C_entrees" > 0 OR
("maxindegre" <= 8  AND "maxindegre" > 2 ) OR
("Access_mea" <= 160.45 AND "Access_mea" > 105.33),
3,
if(("maxindegre" <= 2  AND "maxindegre" > 0 ) OR
("Access_mea" <= 105.33 AND  "Access_mea" > 34.36),
2,
1
)))
```

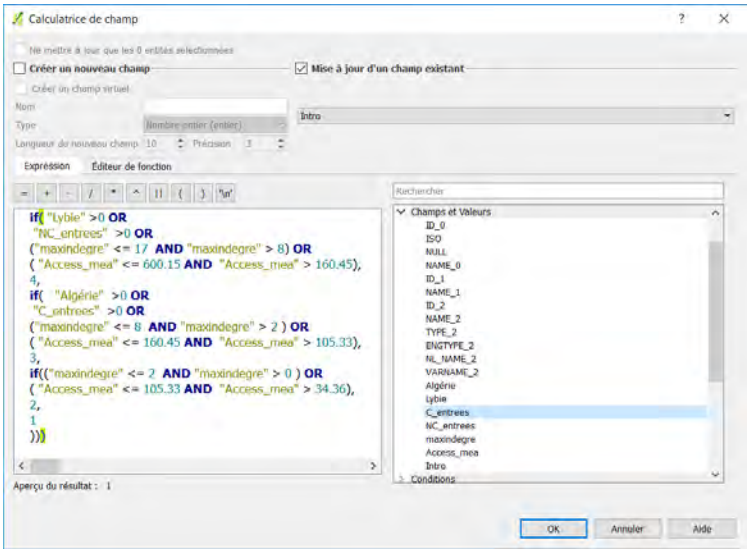
4 Dans la calculatrice de champ :

(a) Cochez 'Mise à jour d'un champ existant'.

(b) Sélectionnez le champ 'Intro'.

(c) Copiez l'expression ci-dessus dans l'encart dédié (encart blanc sous 'Expression').

(d) Cliquez sur 'OK'.



5 Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications et fermez la table des attributs.

Il ne vous reste plus qu'à modifier le Style de votre couche pour produire votre carte finale de risque d'introduction.

1 Accédez aux propriétés de votre couche principale (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende).

2 Dans l'onglet Style :

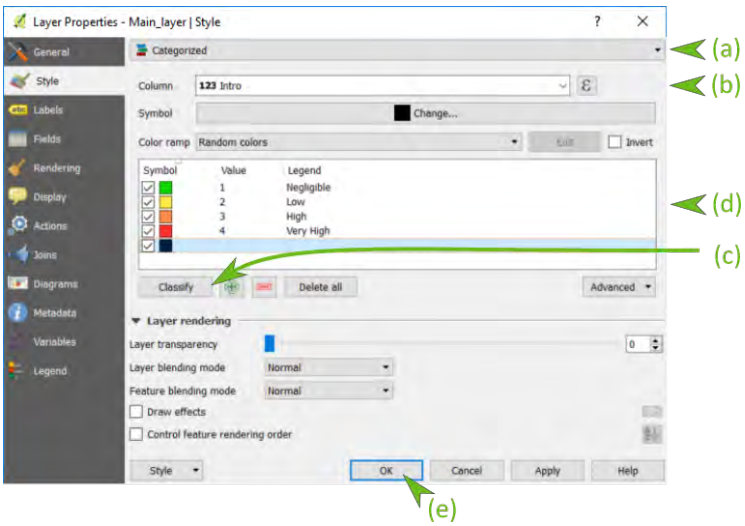
(a) Sélectionnez Catégorisé à la place de Symbole unique.

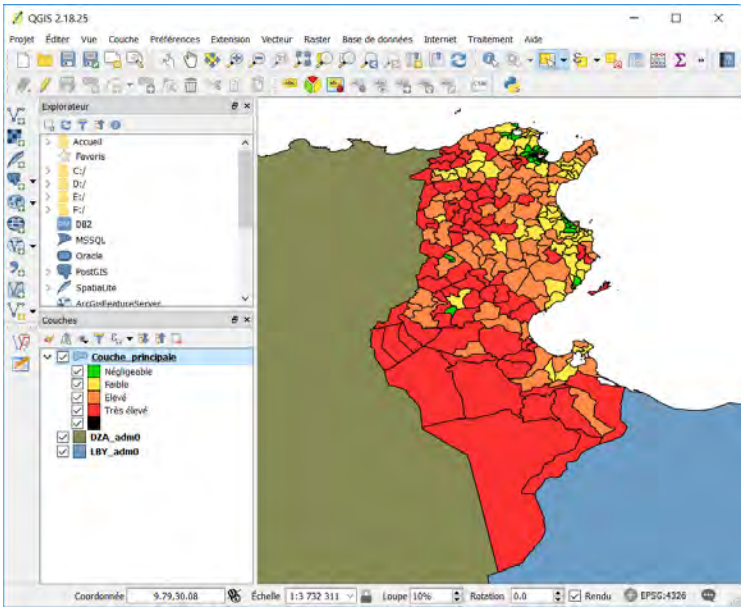
(b) Sélectionnez la colonne Intro que vous venez de mettre à jour avec le risque d'introduction de FA en Tunisie.

(c) Cliquez sur Classez.

(d) Ajustez la légende et les couleurs.

(e) Cliquez sur OK.





Exercise 9.13 Réalisez cette 4ème étape pour votre pays.

NB Si vous rencontrez des difficultés n'hésitez pas à vous reporter au tutoriel vidéo et au diaporama d'accompagnement. Pensez aussi que l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD peut vous aider (team.aqcr@cirad.fr).

Félicitations, si vous avez réussi toutes ces étapes, vous avez produit une carte de risque d'introduction de FA pour la Tunisie !! Essayez d'appliquer la méthode à votre pays !

9.2 Risque d'exposition

Un tutoriel vidéo et un diaporama décrivant les étapes détaillées de l'analyse sont également disponibles.

Application Risque d'Exposition

Objectif

Dans cette seconde étape, nous cherchons à estimer et cartographier le risque d'endémicité et de dispersion du virus de la FA en Tunisie appelé le risque d'exposition.

9.2.1 Première étape: Quels sont les facteurs de risque pouvant entrainer l'installation et la dispersion de la maladie dans votre pays ?

Définir les facteurs de risque

La première étape consiste à identifier les facteurs qui pourraient favoriser l'endémicité et/ou la dispersion de la FA, une fois celle-ci introduite en Tunisie. On parle de facteurs de risque entrainant ou favorisant l'installation de la maladie et sa dispersion.

Nous vous proposons de travailler sur des facteurs de risque qui ont été définis et validés par des experts dans le cadre de l'application de la méthode à la FA en Tunisie. Ces facteurs sont :

La densité animale de bovins et de petits ruminants (caprins/ovins)
L'introduction du virus peut entrainer une épizootie et se disperser uniquement en présence d'animaux sensibles. Cela a été confirmé par de nombreuses études attestant d'une forte corrélation entre la densité de bovins et de petits ruminants et la survenue d'une épizootie de FA (Dukpa et al., 2010; Hegde et al., 2014). De plus, on sait par expérience que le contrôle d'une épizootie de FA est plus difficile dans les zones à forte densité de ruminants (Bouma et al., 2003; Muroga et al., 2012; Park et al., 2013).

La densité routière
La dispersion de la FA est influencée par la densité de route, notamment au cours des phases précoces de l'épizootie (Rivas et al., 2003). Pour la Tunisie, les experts ont considéré que le réseau routier était plus représentatif des grands axes de mobilité que la carte d'accessibilité. On considèrera donc ici que plus le réseau routier est dense, plus la probabilité de rencontre avec un animal infecté est élevée, autrement dit la probabilité de dispersion augmente avec la densité du réseau routier.

Présence/Absence de marchés d'animaux vivants
Les marchés d'animaux vivants, foires aux animaux et pâturages communaux sont des lieux de rassemblement où les animaux se retrouvent en contact étroit les uns avec les autres. Ces lieux de concentration d'animaux favorisent l'infection de nouveaux animaux et donc la dispersion du virus (Abbas et al., 2012).

Présence/Absence de centres d'engraissement
Comme les marchés d'animaux vivants, les centres d'engraissement mettent en contact étroit de nombreux animaux venus de différents endroits du pays avant que ceux-ci ne se redispersent dans le pays. Ce sont des lieux propices à la transmission et à la dispersion du virus sur de grandes échelles (Gezahegn et al., 2014; Lindholm et al., 2007).

Présence/Absence d'un point d'eau
Sur le même principe que pour les marchés d'animaux vivants et les centres d'engraissement, les zones d'abreuvement sont connues pour être un important facteur de risque de dispersion de la FA. Ce facteur est d'autant plus important qu'il peut potentiellement rassembler faune sauvage et faune domestique (Abbas et al., 2012; Hayama et al., 2016; Wungak et al., 2016).

Deux paramètres de mobilité animale
La mobilité animale est connue pour son rôle significatif dans l'introduction du virus (Ayelet et al., 2012), mais aussi pour son rôle dans le maintien de la circulation du virus lors d'une épizootie (Gibbens et al., 2001). Comme nous l'avons fait pour le risque d'introduction, il est possible d'analyser la mobilité animale en réalisant une analyse des réseaux sociaux (SNA, *Social Network Analysis* (Ortiz-Pelaez et al., 2006)). Les SNA permettent de représenter des réseaux sous forme de nœuds (lieux dans notre cas) reliés entre eux par des liens orientés (flux d'animaux dans notre cas). Contrairement à l'analyse du risque d'introduction, nous nous intéressons maintenant à la mobilité animale à l'intérieur du pays. Nous allons donc étudier les flux intérieurs et non les flux transfrontaliers. Pour cette étude, nous utiliserons comme facteurs de risque, deux paramètres issus de l'analyse du réseau de mobilité animale nationale :

Le degré , *degree* en anglais, est un paramètre de mobilité qui représente le nombre de flux (entrant et sortant) associés à une localité (si besoin une définition plus détaillée est

fournie en Annexe 9.2.4).

La centralité d'intermédiarité , *betweeness* en anglais, est un paramètre de mobilité permettant d'évaluer l'importance d'une localité dans le réseau. Elle mettra notamment en évidence les localités qui représentent des ponts incontournables (ie. qui relient d'autres localités entre elles par cet intermédiaire). Plus une localité est en contact avec différentes localités, plus sa centralité d'intermédiarité sera élevée, elle sera d'autant plus élevée si elle est la seule localité reliant différents groupes.

Exercise 9.14 Réfléchissez aux facteurs de risque d'exposition au virus de la FA sur votre territoire. Quels sont les facteurs nécessaires à l'installation de la maladie ? Quels sont les facteurs favorisant sa dispersion ?

Listez tous les facteurs de risques auxquels vous pouvez penser puis conservez les principaux. Dans cet exemple, nous présentons 7 facteurs de risque pour utiliser un maximum d'exemples. Cependant, essayez de vous limiter à un maximum de 5/6 facteurs de risque. Vous pouvez vous inspirer de la liste (**Non-exhaustive**) proposée en Annexe page 127.

NB Par définition, les facteurs de risque définis pour le risque d'exposition sont différents de ceux du risque d'introduction.

■

Définir votre échelle de travail

Comme pour l'introduction, nous allons travailler à l'échelle des délégations tunisiennes (Admin2), il s'agit de la plus petite échelle disponible en libre-service sur DIVA-GIS.

Recenser les données

Comme pour l'introduction, nous vous proposons d'utiliser des données en accès libre lorsqu'elles sont disponibles et des données fictives que nous avons créé pour l'exercice. Lorsque vous réaliserez l'exercice pour votre territoire, gardez à l'esprit que toutes les données doivent être validées par des experts locaux et peuvent être modifiées, complétées en fonction de vos connaissances, de l'actualité ou en réalisant des enquêtes de terrain.

La densité animale de bovins et de petits ruminants (caprins/ovins) Des cartes/raster de densité animale sont disponibles en libre accès sur le site de la FAO - GeoNetwork.

1. Rendez-vous sur le site de la FAO - GeoNetwork : http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/main.home.
2. En haut à gauche, dans le cadre blanc sous la question 'QUOI ?', indiquez que vous cherchez la densité de bovin ('cattle density').
3. En dessous, sous la question 'Où ?', utilisez le menu déroulant pour sélectionner 'Tunisia'.
4. Cliquez sur 'Rechercher'.
   Vous devriez voir s'afficher sur le panneau de droite différentes cartes, dont 'Cattle distribution - Gridded Livestock of the World v 2.01'
5. Cliquez sur 'Télécharger" puis sur un lien accolé à 'Données à télécharger', par exemple : Global model of cattle density (GLW 2.01) Cell resolution 0.08333333; AD stands for animal density; The year of reference is 2010 (country totals are adjusted to FAOSTAT values in 2010) GeoTiff

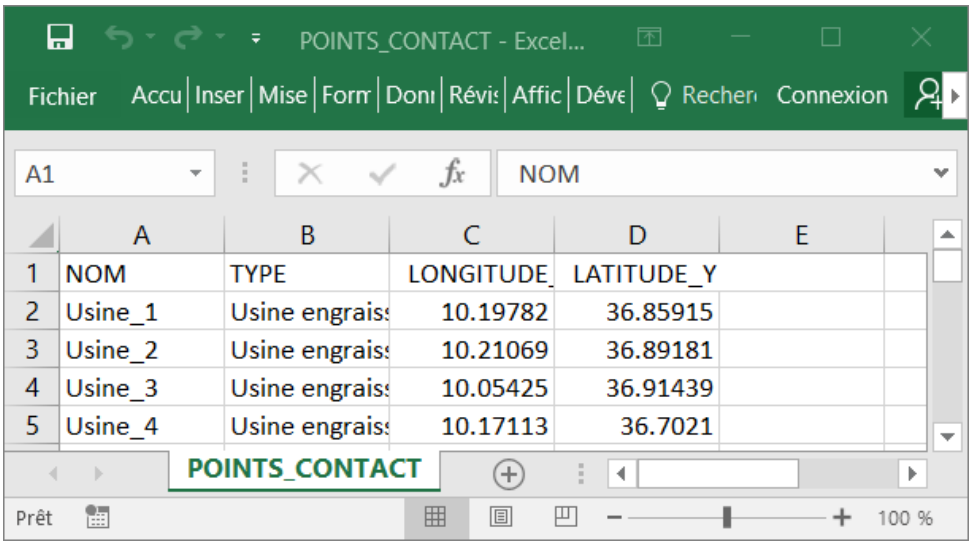
6. Un fichier zip est téléchargé, vous pouvez le décompresser pour avoir accès au fichier raster (.tif).
7. Recommencez la même opération pour télécharger les données de densité des petits ruminants (*small ruminant density* en anglais, ou *goat density* et *sheep density*).

La densité routière La densité routière est disponible en libre accès sur le site de DIVA-GIS.

1. Rendez-vous sur le site de DIVA-GIS : http://www.diva-gis.org/.
2. Cliquez sur 'free spatial data'.
3. Cliquez sur 'Country level data'.
4. Utilisez le menu déroulant sous 'Country' pour sélectionner 'Tunisia'.
5. Utilisez le menu déroulant sous 'Subject' pour sélectionner 'Roads'.
6. Cliquez sur 'OK'.
7. Cliquez sur 'Download'
8. Un fichier zip est téléchargé, vous pouvez le décompresser pour avoir accès au fichier shapefile (.shp).

Les points de regroupement : points d'eau, marchés d'animaux vivants, centres d'engraissement Plusieurs données sur le réseau d'eau sont disponibles en libre accès sur le site de DIVA-GIS. Vous pouvez aussi recenser vous-même les points d'abreuvement de votre territoire.

Pour l'exercice, nous allons supposer qu'une enquête a été réalisée sur le territoire tunisien afin de recenser les points de regroupement des petits ruminants et des bovins. Cette enquête fictive a recensé les informations nécessaires pour compléter le tableau POINTS_CONTACT.csv, téléchargez ce fichier pour pouvoir réaliser la suite de l'exercice.



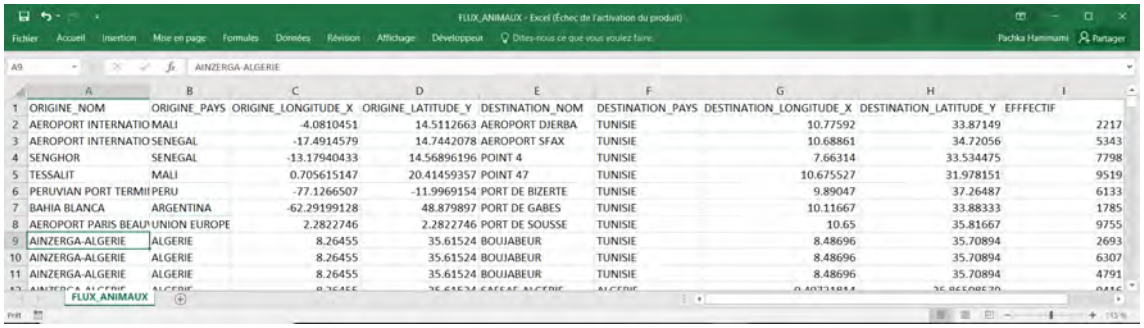
	A	B	C	D	E
1	NOM	TYPE	LONGITUDE_	LATITUDE_Y	
2	Usine_1	Usine engrais	10.19782	36.85915	
3	Usine_2	Usine engrais	10.21069	36.89181	
4	Usine_3	Usine engrais	10.05425	36.91439	
5	Usine_4	Usine engrais	10.17113	36.7021	

Les paramètres de mobilité animale : le degré et la centralité d'intermédiarité Si vous avez déjà analysé la mobilité animale de votre pays (par exemple en effectuant l'analyse de risque d'introduction - partie 9.1.1), prenez directement le fichier sna_Expo_*Date* généré au cours de l'analyse de réseau effectuée dans le cadre de l'analyse du risque d'introduction et passez à l'étape 2 (partie 9.2.2 page 100).

Dans le cas contraire, réalisez les étapes suivantes :

Pour calculer les paramètres de mobilité animale, il faut recenser les différents flux d'animaux vivants sensibles à la maladie qui ont lieu en Tunisie. Dans le cadre de l'exercice, nous supposons qu'une enquête a été réalisée et a permis de compléter le fichier FLUX_ANIMAUX.csv. Téléchargez ce fichier pour pouvoir réaliser la suite de l'exercice.

NB Vous remarquerez que ce fichier recense les flux nationaux et les flux internationaux. Cependant gardez à l'esprit que, pour l'exposition, nous ne nous intéresserons qu'à la mobilité animale nationale (mouvements depuis un endroit en Tunisie vers un autre endroit en Tunisie par exemple d'une zone d'élevage vers un marché).



ORIGINE_NOM	ORIGINE_PAYS	ORIGINE_LONGITUDE_X	ORIGINE_LATITUDE_Y	DESTINATION_NOM	DESTINATION_PAYS	DESTINATION_LONGITUDE_X	DESTINATION_LATITUDE_Y	EFFFECTIF
AEROPORT INTERNATIO	MALI	-4.0810451	14.5112663	AEROPORT DJERBA	TUNISIE	10.77592	33.87149	2217
AEROPORT INTERNATIO	SENEGAL	-17.4914579	14.7442078	AEROPORT SFAX	TUNISIE	10.68861	34.72056	5343
SENGHOR	SENEGAL	-13.17940433	14.56896196	POINT 4	TUNISIE	7.66314	33.534475	7798
TESSALIT	MALI	0.705615147	20.41459357	POINT 47	TUNISIE	10.675527	31.978151	9519
PERUVIAN PORT TERMI	PERU	-77.1266507	-11.9969154	PORT DE BIZERTE	TUNISIE	9.89047	37.26487	6133
BAHIA BLANCA	ARGENTINA	-62.29199128	48.879897	PORT DE GABES	TUNISIE	10.11667	33.88333	1785
AEROPORT PARIS BEAU	UNION EUROPE	2.2822746	2.2822746	PORT DE SOUSSE	TUNISIE	10.65	35.81667	9755
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	2693
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	6307
AINZERGA-ALGERIE	ALGERIE	8.26455	35.61524	BOUJABEUR	TUNISIE	8.48696	35.70894	4791

Réalisons l'analyse de la mobilité animale nationale à partir de ces données en utilisant le logiciel R.

1. Téléchargez en ligne la dernière version du script R d'analyse de réseaux : SNA-FR.R.
2. Ouvrez le fichier dans R ou RStudio - les illustrations dans ce tutoriel utilisent l'interface RStudio (si vous avez besoin d'aide pour installer et lancer R et RStudio, rendez-vous au chapitre 8).
3. Faites défiler le script pour attendre la section:

```
#############################################
## Definir l'emplacement de votre dossier  ##
##          et le nom de votre pays        ##
#############################################
```

4. Indiquez ici le chemin vers le dossier où vous voulez enregistrer les résultats et vérifiez que le nom du pays inscrit en majuscule entre guillemets est bien celui de la Tunisie. Attention, les '\' Windows doivent être remplacé par '/' ou '\\' dans le chemin de votre dossier et le nom du pays doit être orthographié comme dans le fichier FLUX_ANIMAUX.csv.
Exemple :

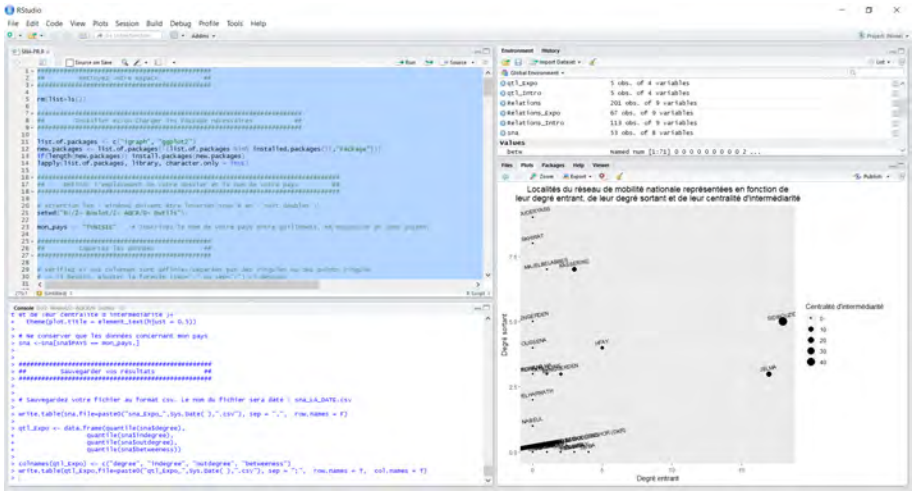
```
setwd("C:/AQCR/Donnees/SNA")
mon_pays <- "TUNISIE"
```

5. Lancez le script en cliquant sur Ctrl + A pour sélectionner tout le script, puis Ctrl + Entrée pour lancer le script.
6. Une fenêtre va s'ouvrir pour vous permettre de sélectionner le fichier avec les mouvements d'animaux décrivant le réseau de mobilité. Si la fenêtre n'apparait pas, vérifier qu'elle ne s'est pas ouverte derrière RStudio.

7. Une fois que vous avez sélectionnez votre fichier de données "FLUX_ANIMAUX", cliquez sur Ouvrir .

8. Des graphiques apparaissent sur la section en bas à droite. Une fois que l'analyse sera terminée, vous pourrez tous les regarder en utilisant les flèches en haut à gauche du graphique.

9. A la fin de l'analyse, quatre fichier texte (.csv) seront automatiquement sauvegardés dans le dossier que vous avez indiqué au début. Le fichier qui nous intéresse s'appelle sna_Expo_*Date*.csv ; le mot date sera remplacé par la date à laquelle vous avez fait l'analyse.



Exercise 9.15 Réalisez cette étape pour votre pays.

Utilisez en priorité les données nationales disponibles et, lorsque cela s'avère nécessaire, organisez des enquêtes pour produire des tableaux équivalent à ceux que nous avons réalisé pour l'exercice.

Pour les lieux de regroupement :

1. Créez un tableau (Microsoft Excel ou OpenOffice Calc).
2. Créez quatre colonnes que vous nommerez:
   NOM Nom du lieu (optionnel)
   TYPE Type de donnée (Point_Eau, Marché, Engraissement, etc)
   LONGITUDE_X en degrés décimaux (ie. aéroport de Tunis : 10.219074500000033)
   LATITUDE_Y en degrés décimaux (ie. aéroport de Tunis : 36.8458578)
3. Complétez ces colonnes

   NB Pour les coordonnées GPS, si besoin, vous pouvez utiliser cet outil : https://www.coordonnees-gps.fr/conversion-coordonnees-gps).
   Les types doivent TOUJOURS être écris de la même manière car, au cours de l'analyse, nous allons séparer les données en fonction de cette colonne.

4. Sauvegardez au format .csv

Pour la mobilité animale :

1. Créez aussi un nouveau tableau, mais avec 9 colonnes que vous nommerez:
   ORIGINE_NOM
   ORIGINE_PAYS
   ORIGINE_LONGITUGE_X
   ORIGINE_LATITUDE_Y

DESTINATION_NOM
DESTINATION_PAYS
DESTINATION_LONGITUGE_X
DESTINATION_LATITUDE_Y
EFFECTIF

NB Écrivez les noms en majuscule, sans accent et en faisant bien attention de conserver la même orthographe. Écrivez les longitudes et latitudes en degrés décimaux. Vous pouvez effectuer l'analyse sans les effectifs mais l'analyse sera plus précise si vous les avez.

2. Complétez ces colonnes avec vos données.
3. Sauvegardez au format .csv

9.2.2 Deuxième étape: Catégoriser les facteurs de risque

Maintenant que nous avons rassemblé toutes les données, il nous faut définir des catégories pour chaque facteur de risque. Rappelez-vous que la méthode de classification change selon la nature des données et ne sera donc pas la même pour tous les facteurs de risque :

Variables qualitative : Présence/absence, proche/éloigné, peu/moyennement/beaucoup, etc. Dans ce cas, les catégories sont généralement assez évidentes.

Variables quantitatives : Données numériques (par exemple : nombre de bête au km^2, temps de parcours moyen depuis une zone jusqu'à une autre, etc). Pour ce type de variables, on préconise la division en quatre classes dont les seuils sont définis par les quantiles : risque négligeable [0 - 1er quantile] ; risque faible [1er quantile - 2ème quantile] ; risque élevé [2ème quantile - 3ème quantile] ; risque très élevé [3ème quantile - 4ème quantile]. Cependant, vous pouvez rencontrer d'autres cas de figure selon la distribution des données où les quantiles ne sont pas adaptés. Le cas échéant, il faudra donc sélectionner un autre mode de classification.

L'étape suivante est réalisée sous QGIS.

NB Notez que, comme pour l'étude du risque d'introduction, toutes les explications pratiques et impressions d'écran de cette étude de cas sont basées sur l'utilisation de la version 2.18.25 de QGIS.

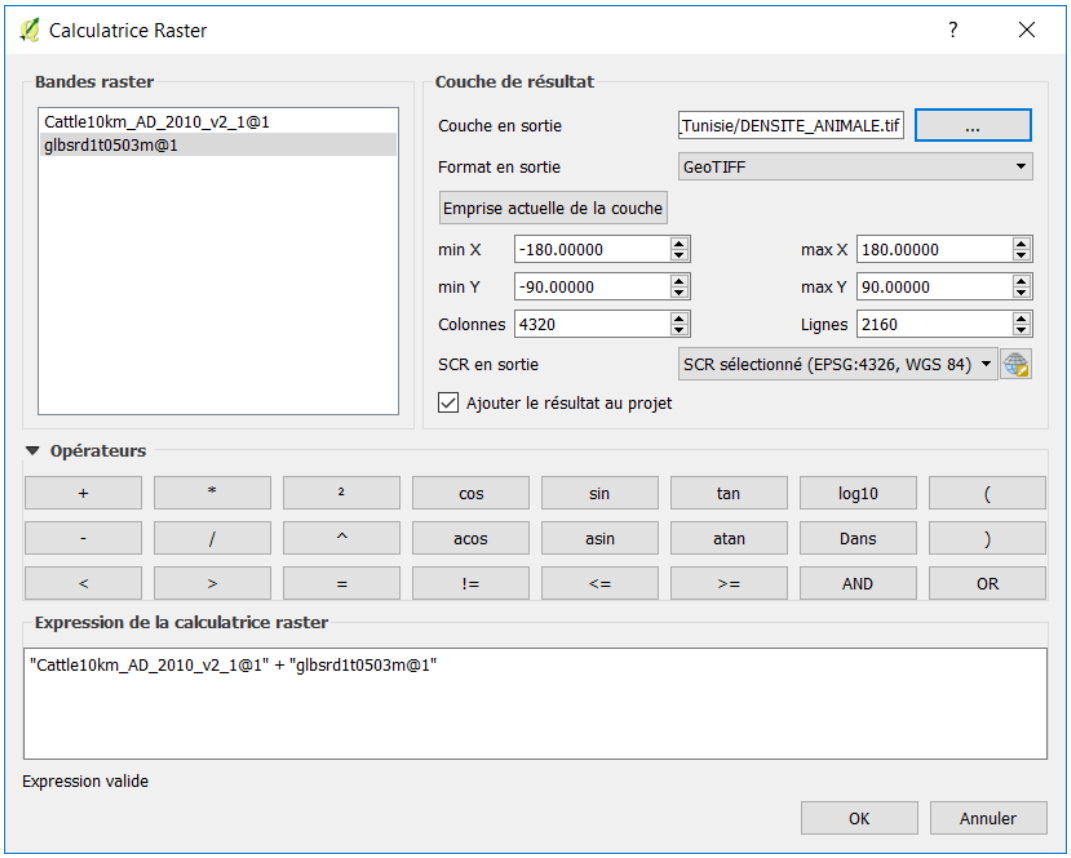
1. Commencez par ouvrir un nouveau projet dans QGIS.
2. Importez les frontières administratives de la Tunisie (adm2), comme vous l'avez fait pour l'analyse qualitative et cartographique du risque d'introduction de la FA (Cf. chapitre 9.1.2).

La densité animale de bovins et de petits ruminants (caprins/ovins)

1. Importez les couches de densité animale avec l'outil Ajouter une couche Raster... ( ). Si vous avez un doute allez au chapitre 7.2.2.
2. Sommez le raster de densité des petits ruminants et le raster de densité des bovins pour obtenir un nouveau raster 'DENSITE_ANIMALE'. Pour ce faire, utilisez l'outil Calculatrice Raster... que vous trouverez dans le menu Raster .
   (a) Indiquez dans la section couche de résultat , l'emplacement et le nom que vous voulez donner à votre nouveau Raster.

(b) Utilisez les Bandes raster et les Opérateurs disponibles pour écrire dans le champ Expression de la calculatrice raster : RasterBovin + RasterPR.

(c) Cliquez sur OK .



3 Découpez le nouveau raster en suivant les bordures administratives de la Tunisie en utilisant l'outil Découper... du menu Raster » Extraction

(a) Sélectionnez dans Fichier source (raster) la couche DENSITE_ANIMALE que vous voulez découper.

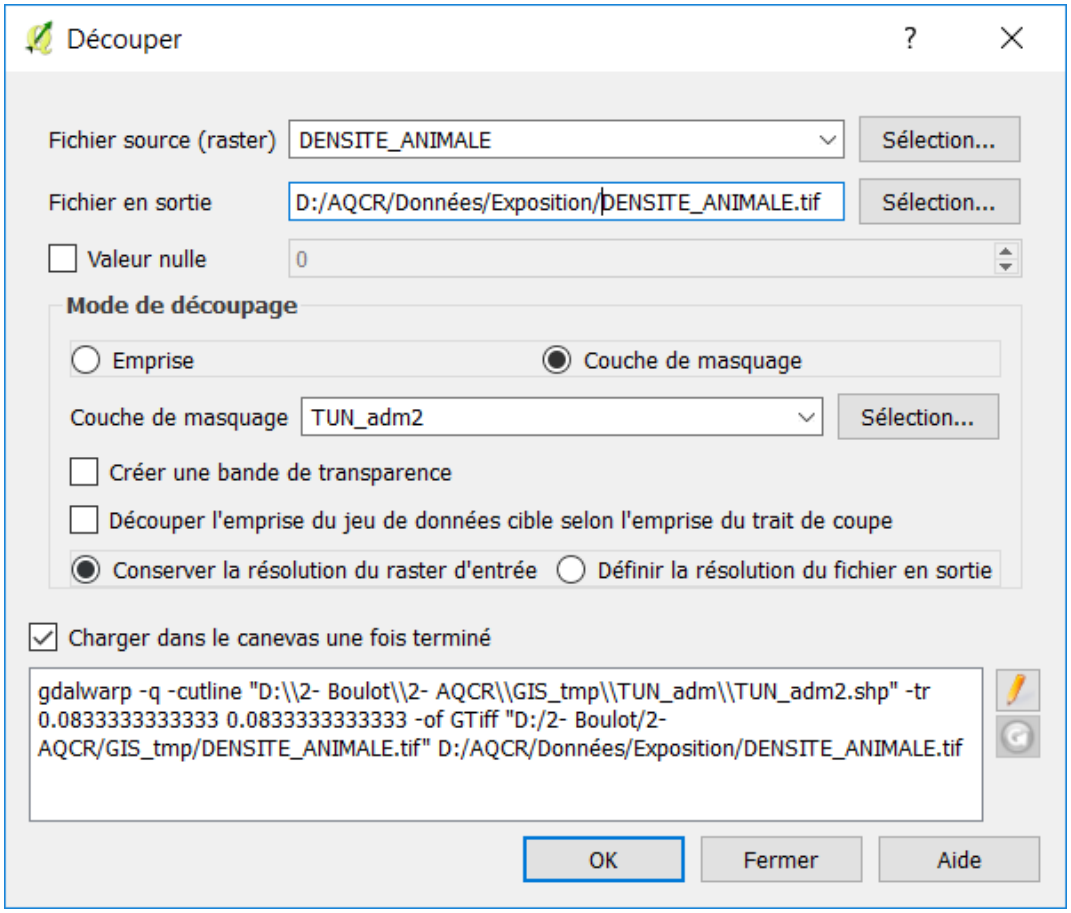
(b) En dessous, dans Fichier en sortie , indiquez où vous voulez enregistrer le fichier découpé et quel nom vous souhaitez lui donner.

(c) Sélectionnez Couche de masquage comme Mode de découpage .

(d) Utilisez le menu déroulant pour sélectionner la couche représentant les divisions administratives de la Tunisie (TUN_adm2) comme couche de masquage .

(e) Cliquez sur OK et quand le processus est terminé, cliquez sur Fermer .

NB Vous pouvez supprimer les couches mondiales et ne conserver que la couche nationale avec la somme des densités, ie. le raster DENSITE_ANIMALE nouvellement créé.



Calculons la densité moyenne pour chaque division administrative.

4 Utilisez le menu Raster » Statistiques de zones » Statistiques de zones

NB L'outil 'Statistiques de zones' est une extension. S'il n'est pas disponible dans le menu Raster, c'est que vous ne l'avez pas encore installé. Vous pouvez l'installer en vous rendant dans le menu Extension » Installer/Gérer les extensions... et en recherchant Extension de statistiques de zone.

5 Définissez les paramètres suivants :

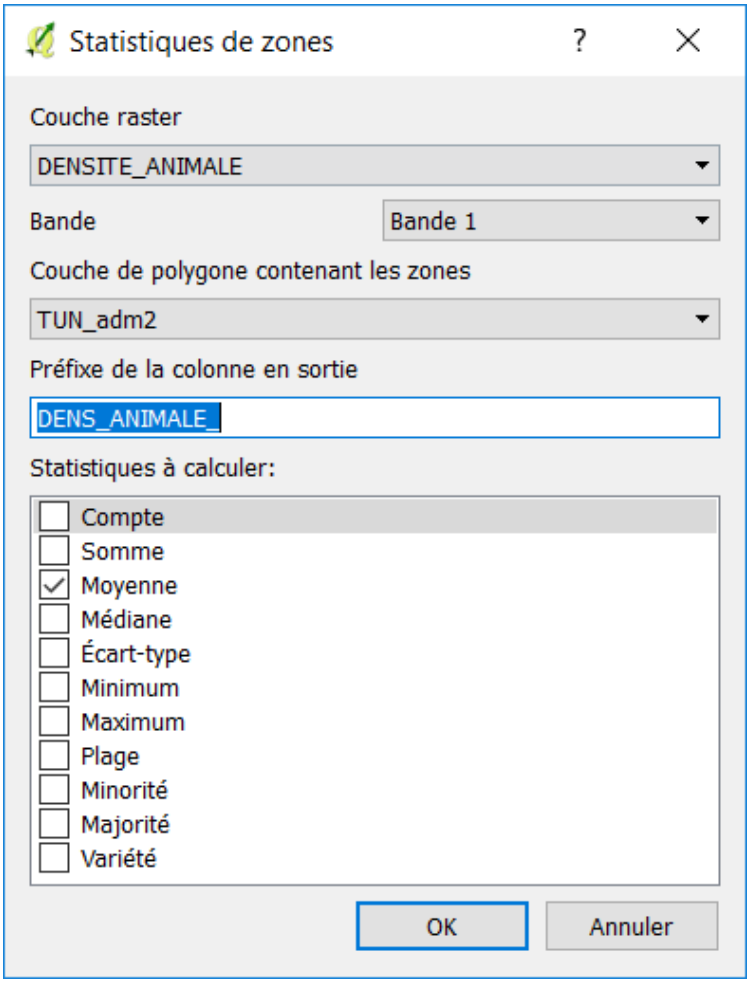
(a) Sélectionnez votre Couche raster de densité animale.

(b) Sélectionnez la couche représentant les divisions administratives comme Couche de polygone contenant les zones.

(c) Indiquez un préfixe de la colonne en sortie (par exemple: 'DENS_ANIMALE_' pour densité)

(d) Décochez toutes les cases pour ne conserver que la moyenne.

(e) Cliquez sur OK.



6 Ouvrez la couche des attributs de votre couche principale (celle avec les frontières administratives), à la fin une nouvelle colonne a été ajoutée : DENS_ANIMA, vous pouvez alors supprimer le raster de densité animale, vous n'en avez plus besoin.

Nous allons maintenant catégoriser le facteur de risque 'densité animale'.

1 Ouvrez la table des Propriétés de la couche (clic droit sur le nom de la couche dans la légende).

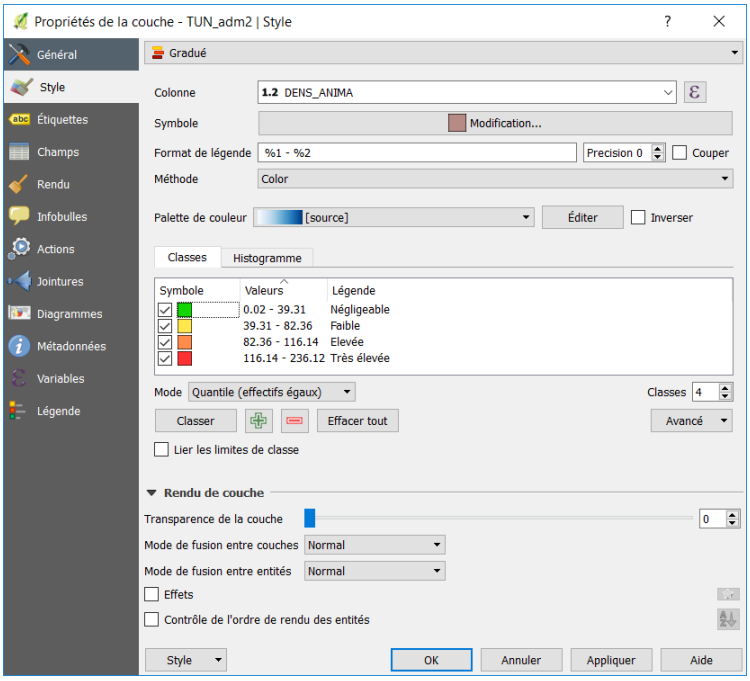
(a) Rendez-vous sur l'onglet Style.

(b) Sélectionnez Gradué.

(c) Sélectionnez votre colonne de Densité moyenne.

(d) Dans la partie Classes, indiquez que vous voulez classer vos données en quatre quantiles (effectifs égaux).

(e) Cliquez sur Classer.



2. Notez sur une feuille de papier les intervalles des catégories pour le facteur de risque "Densité Animale".
   Exemple :

Densité animale	Valeurs
Très élevée	> 116.14
Élevée	[82.36 ; 116.14]
Faible	[39.31 ; 86.36]
Négligeable	< 39.31

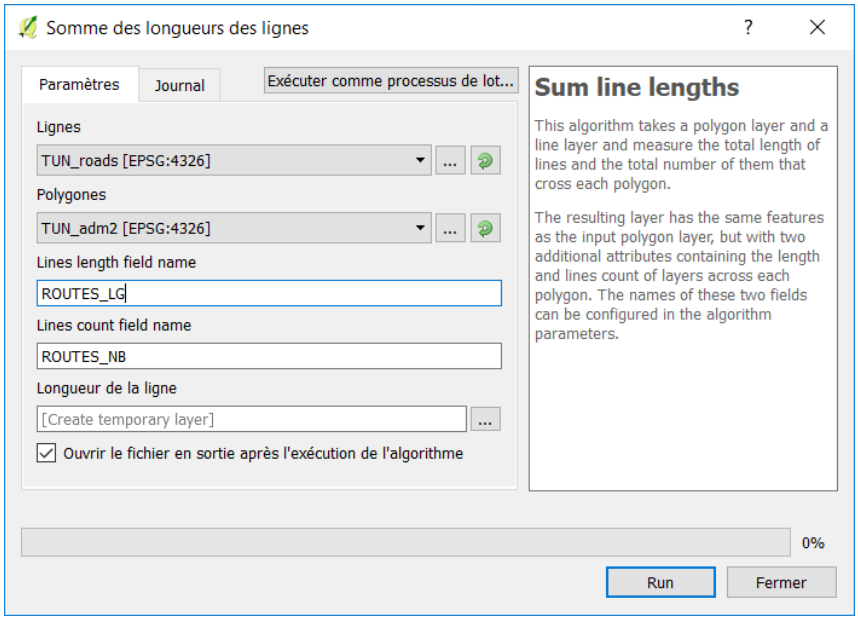
3. Enregistrez la couche, vous l'utiliserez pour la cartographie du risque d'exposition.

La densité des routes On procèdera à peu près de la même manière pour la densité de routes que pour la densité animale. Nous allons calculer la longueur totale de routes dans chaque division administrative, puis la diviser par la surface de la division administrative.

1. Importez la couche vecteur illustrant le réseau routier de Tunisie.
2. Calculez la longueur totale de routes dans chaque division administrative en utilisant l' Outils d'analyse » Somme des longueurs des lignes, du menu Vecteur que vous paramètrerez comme indiquez ci-dessous :
   (a) Indiquez la couche de votre réseau routier dans Lignes.
   (b) Indiquez votre couche principale (couche avec les frontières administratives) dans Polygones.
   (c) Indiquez le nom que vous voulez donner à la colonne indiquant la somme des longueurs de routes dans Lines length field name, par exemple : ROUTES_LG.
   (d) Indiquez le nom que vous voulez donner à la colonne indiquant le nombre de routes dans Lines count field name, par exemple : ROUTES_NB.

(e) Cliquez sur Run.

Une nouvelle couche est créée sous le nom de Longueur de la ligne.



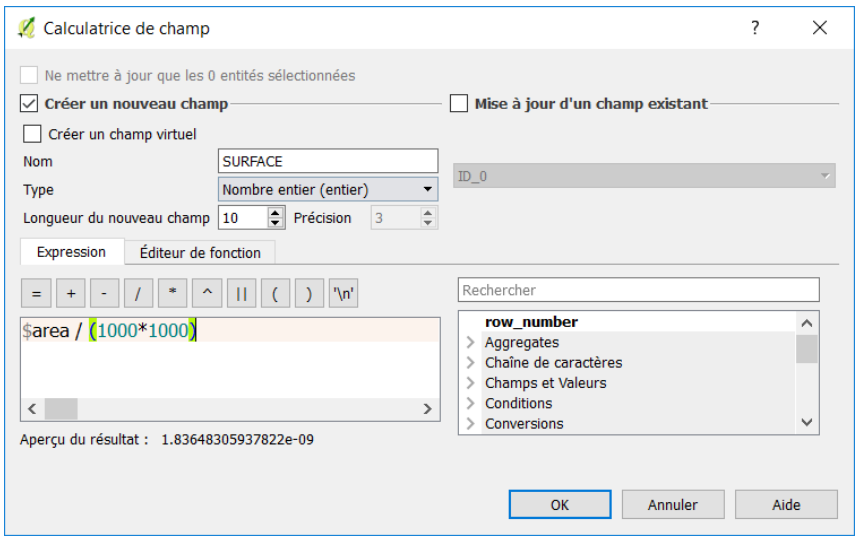
3. Sauvegardez cette nouvelle couche comme votre couche principale (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrez sous...).

4. Ouvrez la table des attributs ( ) de cette couche nouvellement enregistrée.

5. Activez le mode Edition ( ) et ouvrez la calculatrice de champ ( ).

6. Créez un nouveau champ que vous appellerez "SURFACE". QGIS calculera automatiquement la surface en km² de chaque division administrative si vous inscrivez l'expression :

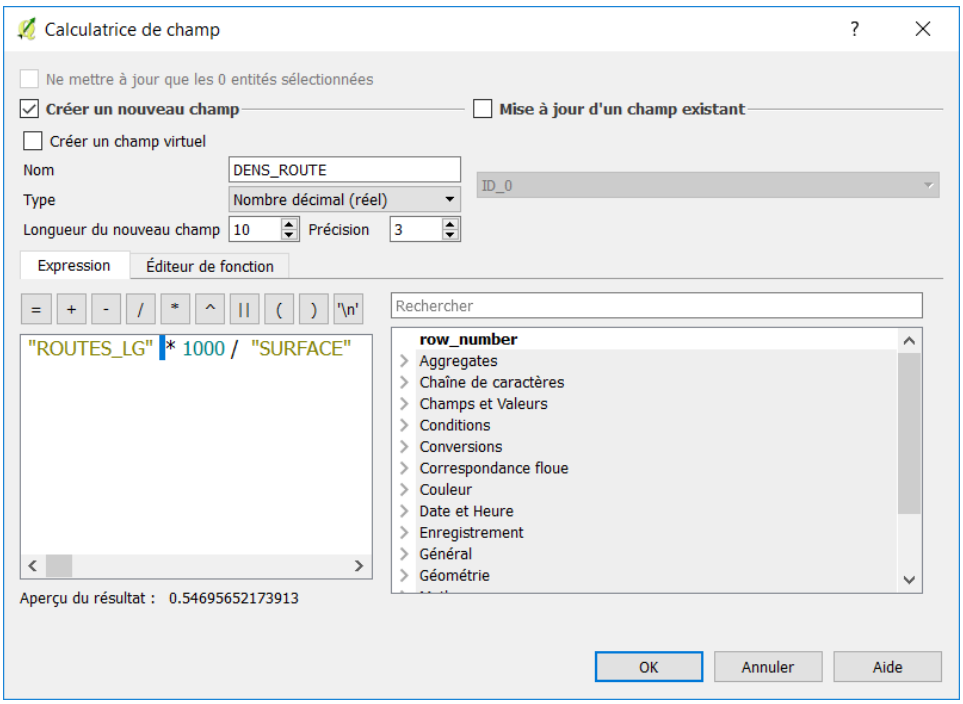
```
$area / (1000*1000)
```



7. Vous pouvez maintenant calculer la densité routière en divisant la longueur totale de route par la surface. Pour ce faire, utilisez une fois de plus la calculatrice de champ pour créer un

nouveau champ (nombre décimal réel) que vous nommerez 'DENS_ROUTE'. Comme la longueur de route est indiquée en mètres utilisez l'expression suivante :

```
"Route_long" * 1000 / "Surface"
```



8 Quittez ensuite le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications et fermez la table des attributs.

Nous allons maintenant catégoriser le facteur de risque 'densité routière'.

1 Accédez aux Propriétés de la couche (clic droit sur le nom de la couche dans la légende).

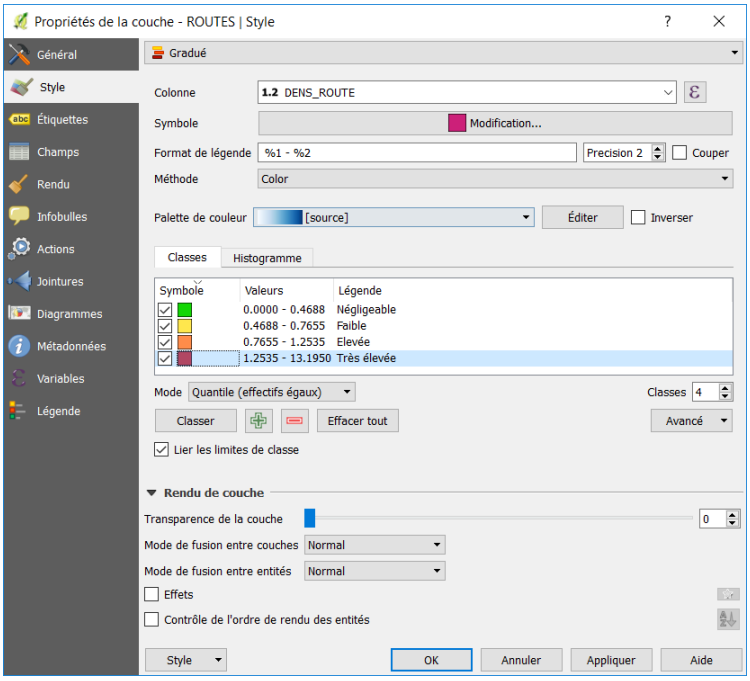
(a) Rendez-vous sur l'onglet Style.

(b) Sélectionnez Gradué.

(c) Sélectionnez votre colonne de Densité routière.

(d) Dans la partie Classes, indiquez que vous voulez classer vos données en quatre quantiles (effectifs égaux).

(e) Cliquez sur Classer.



2 Notez sur une feuille de papier les intervalles de vos catégories pour le facteur de risque "Densité routière".
Exemple :

Densité routière	Valeurs
Très élevée	> 1.2535
Élevée	[0.7655 ; 1.2535]
Faible	[0.4688 ; 0.7655]
Négligeable	< 0.4688

3 Enregistrez la couche contenant les valeurs de densité routière pour chaque délégation, vous en aurez besoin pour la cartographie.

Les points de regroupement : points d'eau, marchés d'animaux vivants, centres d'engraissement Dans l'exercice, nous avons décidé que les points d'eau, les marchés d'animaux vivants et les centres d'engraissement seraient considérés comme des variables qualitatives à deux catégories : Présence/Absence (sans prendre en compte la quantité).

Les paramètres de mobilité animale : le degré et la centralité d'intermédiarité Pour les facteurs de risque quantitatifs, comme le degré et la centralité d'intermédiarité (une valeur numérique quantifiable est associée à chaque localité du réseau), nous allons distinguer quatre catégories en fonction des quantiles.

Pour rappel : lorsque vous avez réalisé l'analyse SNA en partie 9.1.1, quatre fichiers (.csv) ont été créés :

sna_Intro Contient les paramètres de mobilité pour toutes les localités de votre réseau de mobilité animale international (on ne l'utilisera pas pour l'analyse du risque d'exposition).

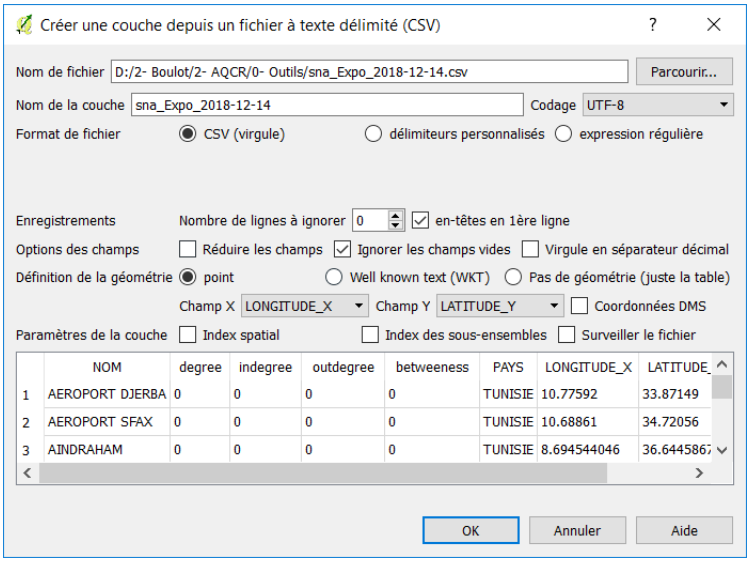
qtl_Intro Contient les quantiles des paramètres calculés pour votre réseau international (on ne l'utilisera pas pour l'analyse du risque d'exposition).

sna_Expo Contient les paramètres de mobilité pour toutes les localités de votre réseau de mobilité animale national.

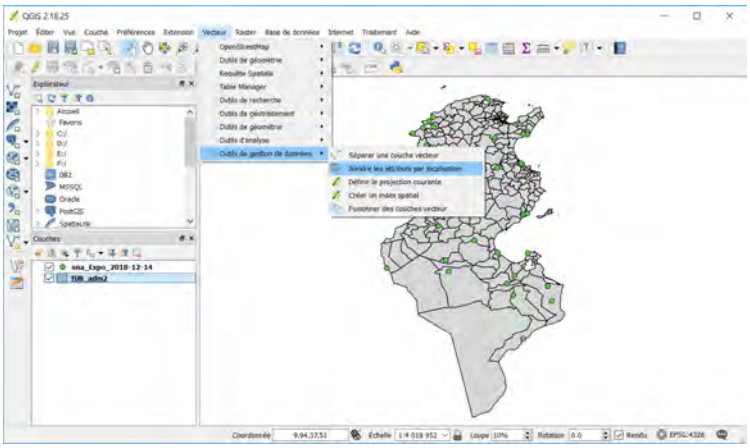
qtl_Expo Contient les quantiles des paramètres calculés pour votre réseau national.

Dans le fichier qtl_Expo, vous trouverez une première approximation pour les quantiles calculés pour le degré entrant. Ces quantiles pourraient être les bornes de vos quatre catégories. Cependant, nous travaillons à l'échelle de la délégation (division administrative adm2). Il faut donc calculer les quantiles parmi un jeu de données contenant une seule et unique valeur par délégation. Nous allons réaliser cette étape sous QGIS.

1. Ouvrez un nouveau projet dans QGIS.
2. Importez les frontières administratives de la Tunisie (adm2).
3. Importez le fichier de données SNA (sna_Expo_*Date*) issu de l'analyse de la mobilité animale internationale en Tunisie réalisée au cours de la 1ère étape (partie 9.2.1 en utilisant la fonction Ajouter une couche de texte délimité ( ).



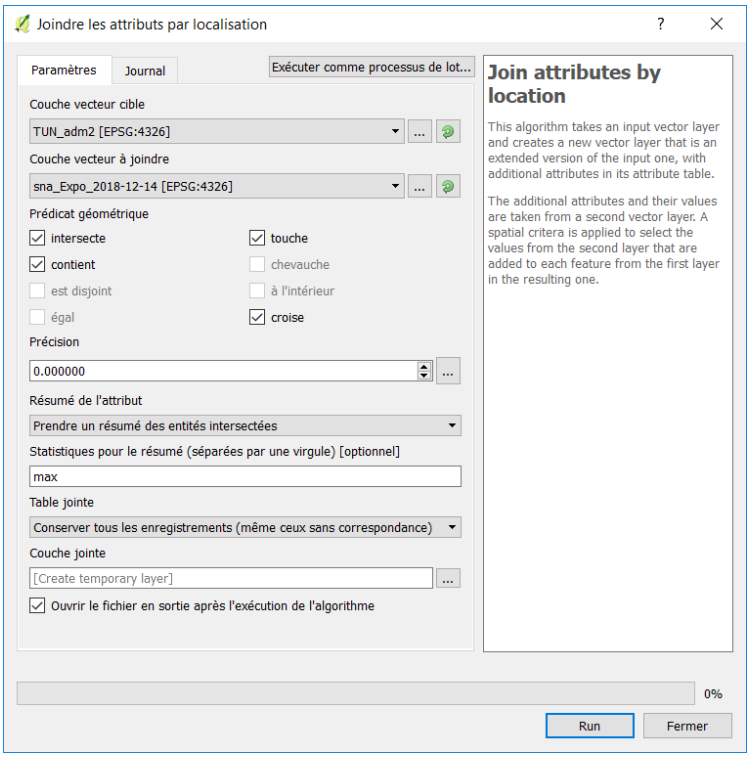
4. Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ).



Définissez les paramètres suivants :

- Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche délimitant les frontières de la Tunisie.
- Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche de vos données SNA.
- Prédicat géométrique : Cochez toutes les cases sauf Est disjoint .

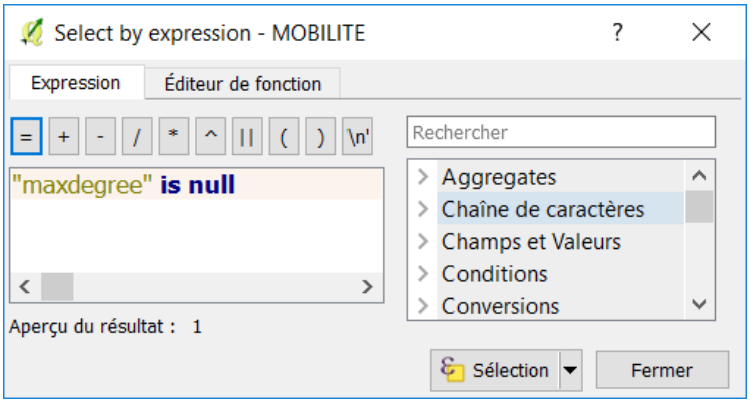
- Précision : Laissez 0.
- Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre un résumé des entités intersectées.
- Statistiques pour le résumé : Inscrivez max, car on majore le risque et on conserve donc uniquement la valeur maximale dans chaque commune.
- Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.



5. Enfin, cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient les données de mobilité.
6. Sauvegardez votre Couche jointe au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...).
7. Explorez la table des attributs. Vous remarquerez que les colonnes maxdegree (degré) et maxbetween (centralité d'intermédiarité) comportent des cases vides : il s'agit des divisions administratives qui ne contiennent aucune origine ni destination du réseau de mobilité animale que nous avons décrit dans le fichier FLUX_ANIMAUX.csv. Il faut donc inscrire '0' dans ces cases.
8. Utilisez l'outil 'Sélectionner les entités en utilisant une expression' ( ).
9. Indiquez l'expression suivante :

```
"maxdegree" IS NULL
```

   QGIS va sélectionner toutes les divisions administratives qui n'ont pas de valeur de degré.
10. Cliquez sur 'Sélection' puis 'Fermé'.



11 Une fois que la sélection a bien été réalisée, activez le mode 'Édition' ( ).

(a) Sélectionnez 'maxdegree' en utilisant le menu déroulant disponible en haut à gauche au-dessus du tableau,

(b) Inscrivez '0' dans l'encart blanc et

(c) Cliquez sur 'Mettre à jour la sélection'.

12 Recommencez ensuite la même manœuvre pour la centralité d'intermédiarité.

13 Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications et désélectionnez toutes les entités ( ).

Nous allons maintenant pouvoir définir nos classes.

1 Ouvrez les Propriétés de la couche (clic-droit sur son nom dans la légende).

(a) Rendez-vous sur l'onglet Style.

(b) Sélectionnez Gradué.

(c) Indiquez le nom de la colonne sur laquelle vous voulez travailler : *maxdegree* par exemple.

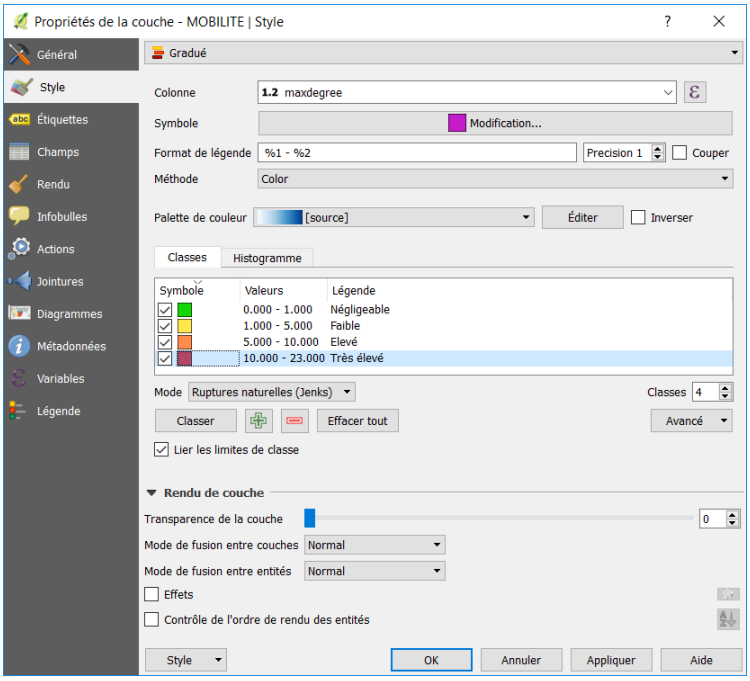
(d) Choisissez Quantiles (effectifs égaux) comme Mode de classification.

(e) Indiquez que vous voulez quatre Classes.

Les quantiles ne nous permettent pas de définir quatre catégories. Il faut donc utiliser la classification Ruptures naturelles (Jenks).

Les intervalles de valeur délimitant vos catégories s'affichent :

- les localités ont un degré **très élevé** si sa valeur est comprise entre 10 et 23.
- les localités ont un degré **élevé** si sa valeur est comprise entre 5 et 10.
- les localités ont un degré **faible** si sa valeur est comprise entre 1 et 5.
- les localités ont un degré **négligeable** si sa valeur est comprise entre 0 et 1.



2 Recommencez la classification en sélectionnant la colonne 'maxbetween'.
Les intervalles de valeur délimitant vos catégories s'affichent :

- les localités ont une centralité d'intermédiarité **très élevée** si sa valeur est comprise entre 10.792 et 44.717.
- les localités ont une centralité d'intermédiarité **élevée** si sa valeur est comprise entre 4.208 et 10.792.
- les localités ont une centralité d'intermédiarité **faible** si sa valeur est comprise entre 0 et 4.208.
- les localités ont une centralité d'intermédiarité **négligeable** si sa valeur est égale à 0.

3 Enregistrez votre couche au format shapefile, vous en aurez besoin pour la suite.

Exercise 9.16 Réalisez cette étape pour votre pays.

NB Il est possible que les quantiles vous permettent de définir quatre catégories mais ce n'est pas sûr. Vous pouvez tester les différents modes de classification pour choisir le plus adapté à la distribution des données.

9.2.3 Troisième étape: Caractériser les niveaux de risque

Maintenant que nous connaissons les facteurs de risques et leurs classes, nous allons caractériser les quatre niveaux de risque d'exposition à la FA en Tunisie : très élevé, élevé, faible et négligeable.

Dans l'exercice, on suppose que nous avons rassemblé un groupe d'experts de la FA et des filières tunisiennes pour répondre aux questions suivantes :

- En Tunisie, dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque d'exposition à la FA très élevé ?
- En Tunisie, dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative présente un risque d'exposition à la FA élevé ?
- En Tunisie, dans quelles conditions peut-on considérer qu'une division administrative

présente un risque d'exposition à la FA Faible ?

On déduit que toutes les divisions administratives qui ne remplissent aucune de ces conditions présentent un risque d'exposition négligeable.

L'objectif étant de pondérer les facteurs de risque les uns par rapport aux autres, les experts se sont longuement concertés pour se mettre d'accord sur la caractérisation suivante :

Le risque est très élevé si la densité animale est très élevée ET qu'il y a au moins un marché d'animaux vivants OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est très élevé OU si la division administrative contient un centre d'engraissement OU un point d'eau.

sinon le risque est élevé si la densité animale est très élevée OU si la densité animale est élevée en présence d'un marché d'animaux vivant OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est élevé.

sinon le risque est faible si la densité animale est très élevée OU si la densité animale est élevée en présence d'un marché d'animaux vivant OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est élevé.

sinon le risque est négligeable.

Ces caractéristiques/conditions ont été retranscrites sous la forme du tableau ci-dessous:

	Le niveau de risque est ...		
	Très élevé, si	**Élevé, si**	**Faible, si**
	Densité animale (TE) ET Marché (Présence)	Densité animale (TE)	Densité animale (E)
OU	Densité routière (TE)	Densité animale (E) ET Marché (Présence)	Densité animale (F) ET Marché (Présence)
OU	Degré (TE)	Densité routière (E)	Densité routière (F)
OU	Centralité d'intermédiarité (TE)	Degré (E)	Degré (F)
OU	Centre d'engraissement (Présence)	Centralité d'intermédiarité (E)	Centralité d'intermédiarité (F)
OU	Point d'eau (Présence)		

Exercise 9.17 Réalisez cette étape pour votre pays en pondérant les facteurs de risque les uns par rapport aux autres.

- Complétez le texte à trou ci-dessous.
  Le risque est très élevé si ... , sinon le risque est élevé si ..., sinon le risque est faible si ..., sinon le risque est négligeable.
- Remplissez le tableau en fonction de votre texte.

NB Les [...] peuvent être complétés par plusieurs conditions séparées par 'OU', et les conditions peuvent être définies par une combinaison de facteurs reliés par 'ET'.

Niveaux de risque		
Très élevé	**Élevé**	**Faible**

NB Si vous avez un doute n'hésitez pas à vous reporter à la présentation de la méthode (partie 4.3 page 25), ou à contacter l'équipe d'experts formateurs du Cirad et de l'EuFMD (team.aqcr@cirad.fr).

9.2.4 Quatrième étape: Cartographier le risque d'exposition

Maintenant que nous avons caractérisé les niveaux de risque et que nous avons toutes les données nécessaires, il ne reste plus qu'à réaliser la carte du risque d'exposition. Cette étape est réalisée sous QGIS.

1. Ouvrez QGIS.
2. Créez un nouveau projet.

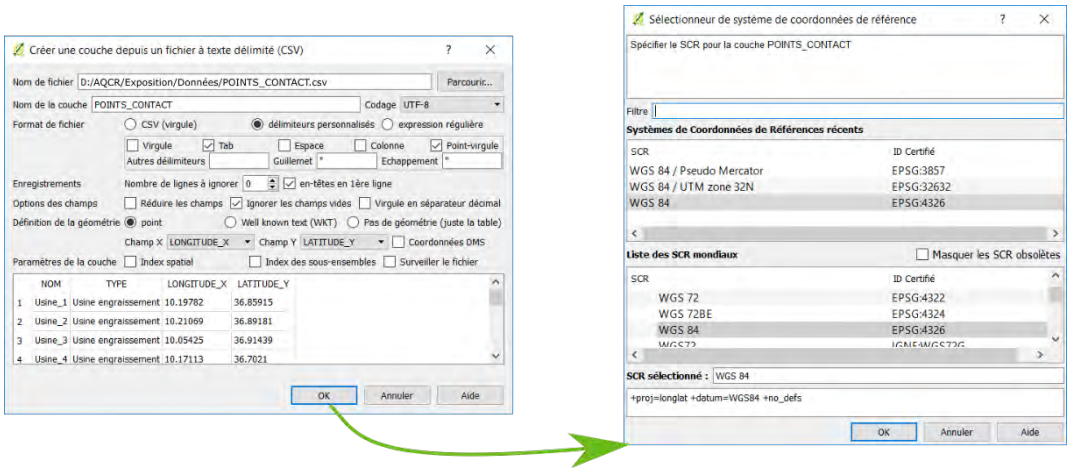
Importons les données nécessaires à l'analyse

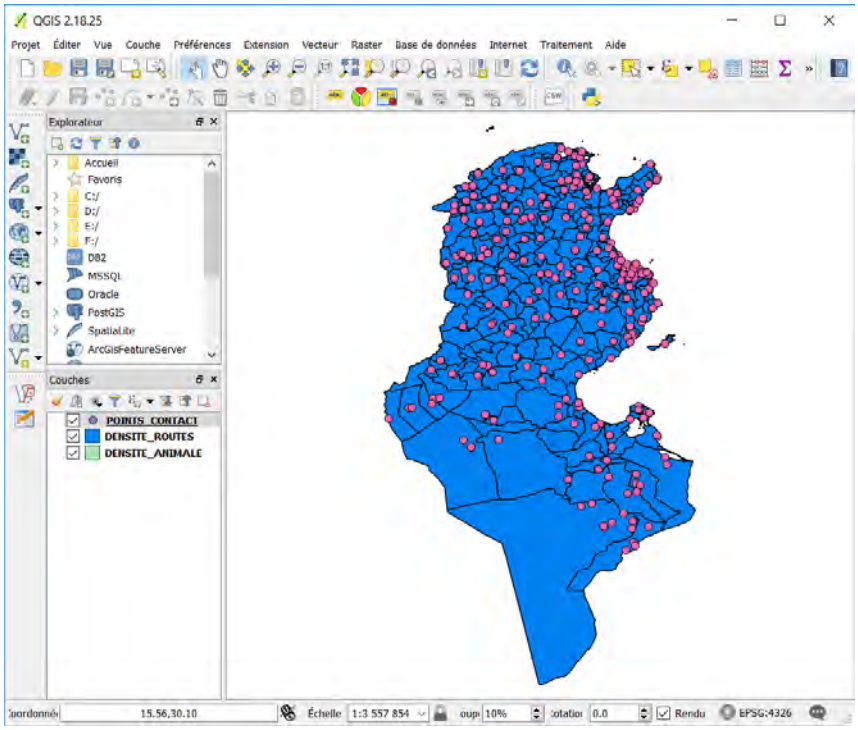
La densité animale de bovins et de petits ruminants (caprins/ovins) Importez la couche densité animale que vous avez créée quand vous avez catégorisé ce facteur de risque.

La densité des routes Importez la couche contenant les données de densité routière que vous avez créé quand vous avez catégorisé ce facteur de risque.

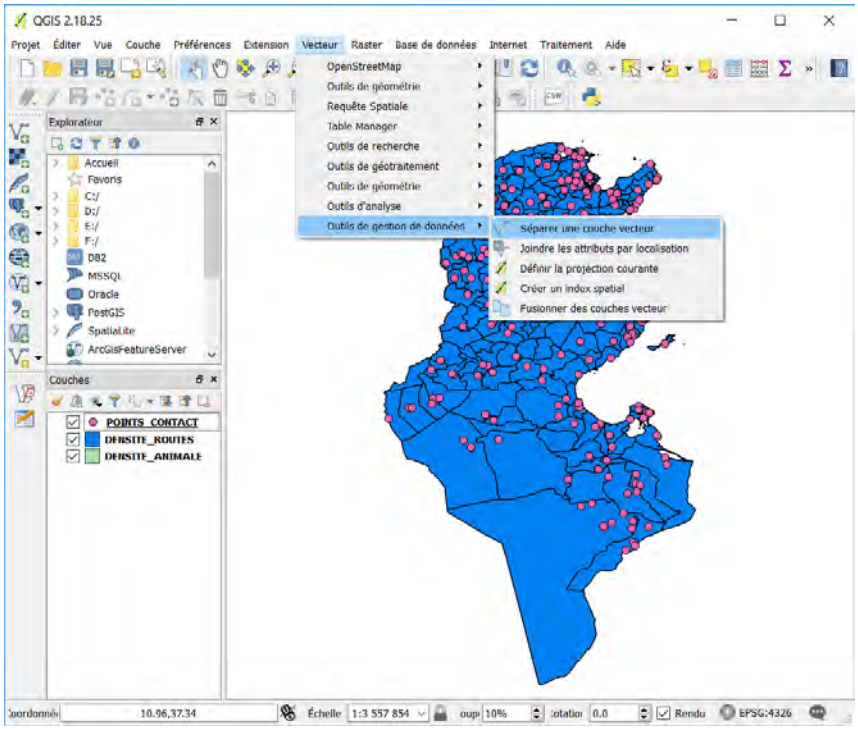
Les points de regroupement : points d'eau, marchés d'animaux vivants, centres d'engraissement

1. Importez les points de regroupement grâce au fichier POINTS_CONTACT que vous avez téléchargé au chapitre 9.2.1. Pour ce faire, utilisez la fonction Ajouter une couche de texte délimité ( ) (si vous avez un doute sur la manière de procéder, rendez-vous au chapitre 7.2.2).





2 Séparez la couche des points de regroupement en trois couches selon qu'il s'agisse de points d'eau, de centres d'engraissement ou de marché d'animaux vivants. Pour ce faire, rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Séparer une couche vecteur ( ).

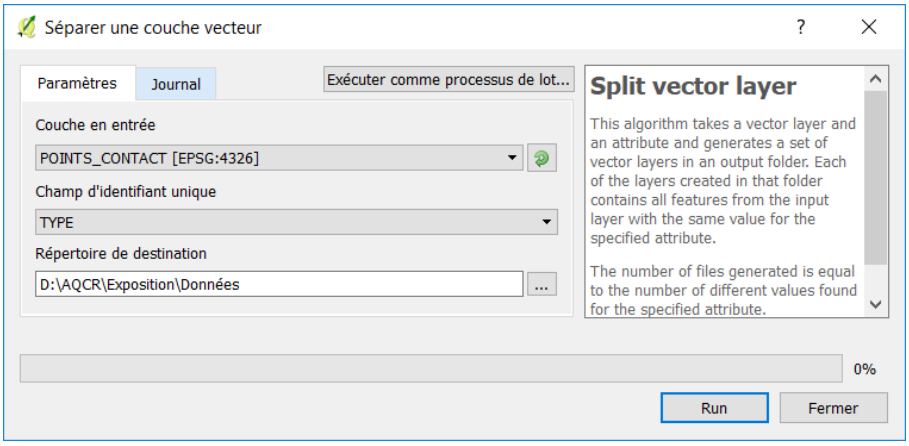


Définissez les paramètres suivants :

- Couche en entrée : votre couche de points de regroupements.

- Champs d'identifiant unique : votre colonne TYPE.
- Répertoire de destination : choisissez le répertoire où vous désirez que les trois couches produites soient enregistrées.

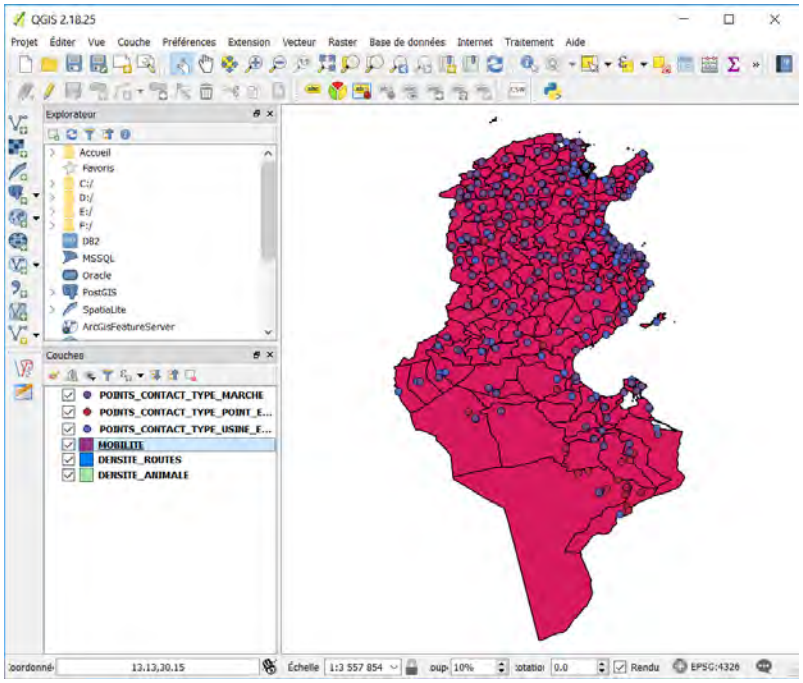
3 Enfin cliquez sur Run pour lancer la création des trois couches.



4 Importez les couches vecteur POINTS_CONTACT_TYPE_USINE_ENGRAISSEMENT.shp (ENGRAISSEMENT : centres d'engraissement), POINTS_CONTACT_TYPE_MARCHE.shp (MARCHE : marché d'animaux vivants) et POINTS_CONTACT_TYPE_POINT_EAU.shp (EAU : points d'eau) avec l'outil Ajouter une couche vecteur ( ).

NB Pour plus de clarté, supprimez l'ancienne couche POINTS_CONTACT.

Les paramètres de mobilité animale : le degré et la centralité d'intermédiarité Importez la couche contenant les données de mobilité animale que vous avez créée quand vous avez catégorisé les facteurs de risque : degré et centralité d'intermédiarité.



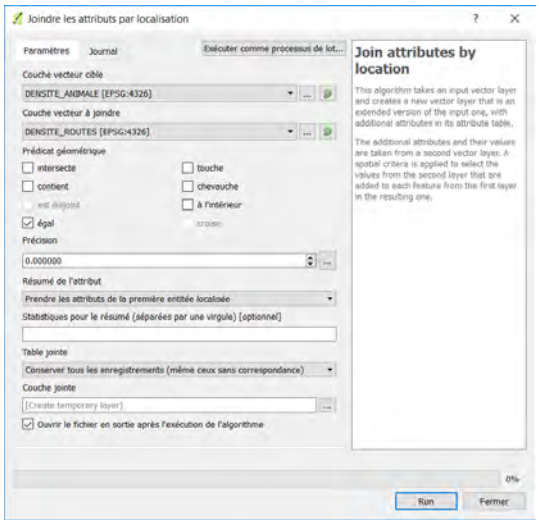
Rassemblons toutes les données dans un même shapefile

La densité animale de bovins et de petits ruminants (caprins/ovins) La densité animale a été ajoutée à la couche définissant vos divisions administratives. Nous allons partir de cette couche qui représente les divisions administratives de la Tunisie ainsi que la densité animale associée à chacune de ces divisions administratives. On l'appellera dans la suite de l'exercice la couche principale. C'est à cette couche que nous allons ajouter les autres facteurs de risque d'exposition : la densité routière, les différents points de regroupement et les paramètres de mobilité animale.

La densité des routes

1. Ouvrez la table des attributs de votre couche de densité routière.
2. Activez le mode 'Édition'.
3. Supprimez toutes les colonnes, excepté la colonne "DENS_ROUTE".
4. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications.
5. Fermez la table des attributs.
6. Assurez-vous qu'aucune entité n'est sélectionnée ( ).
7. Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ). Définissez les paramètres suivants :
   - Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche principale.
   - Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche contenant la densité routière calculée pour chaque délégation tunisienne.
   - Prédicat géométrique : Cochez uniquement la case Égal.
   - Précision : Laissez 0.
   - Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre les attributs de la première entité localisée.

- Statistiques pour le résumé : n'inscrivez rien (c'est encart sert seulement si vous voulez un résumé des attributs).
- Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.

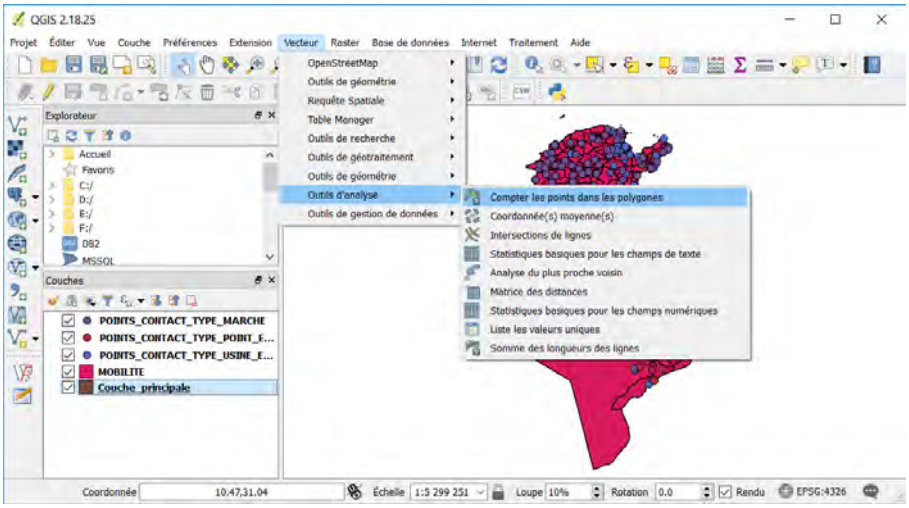


8. Cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient la densité routière et la densité animale.
9. Sauvegardez votre Couche jointe au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...). Il s'agit de votre nouvelle 'Couche principale'.
10. Explorez sa table des attributs.

NB Vous pouvez supprimer les couches de densité animale, de densité routière et la couche jointe. Vous avez toutes ces informations dans votre nouvelle couche principale.

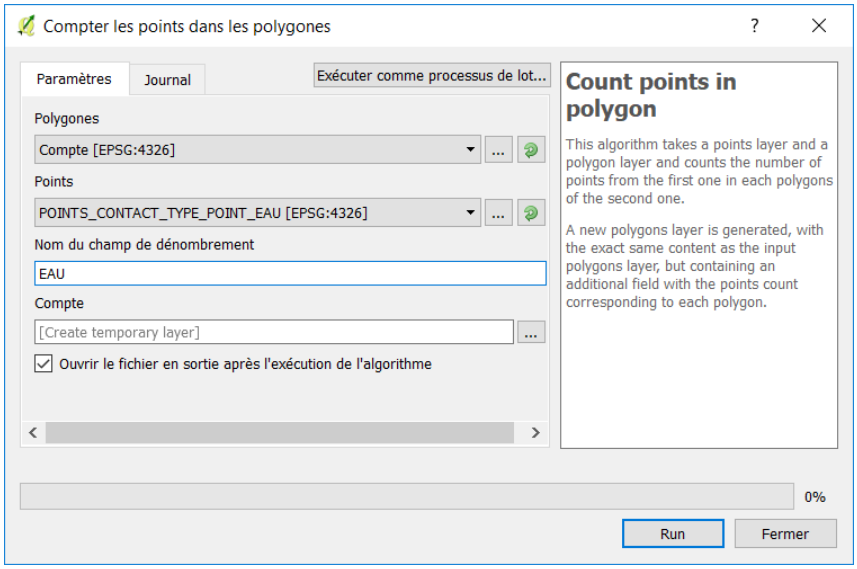
Les points de regroupement : points d'eau, marchés d'animaux vivants, centres d'engraissement
Nous voulons savoir combien de points de regroupement de chaque type sont contenus dans chaque division administrative. Nous allons donc les compter.

1. Utilisez le menu Vecteur » Outils d'analyse » Compter les points dans les polygones



2 Définissez les paramètres suivants :
Polygones : Sélectionnez votre couche principale.
Points : Sélectionnez la couche des points d'eau.
Nom du champ de dénombrement Définissez le nom de la nouvelle colonne. Par exemple : EAU.

3 Cliquez sur Run



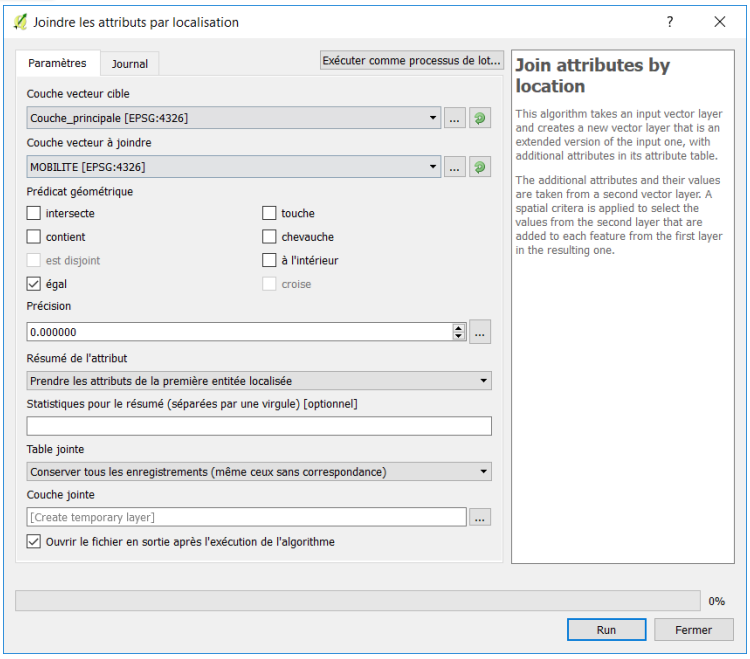
Une nouvelle couche 'Compte' est créée dans laquelle votre colonne a été ajoutée. Sauvegardez cette nouvelle couche au format shapefile : c'est votre nouvelle couche principale. Recommencez l'opération pour les centres d'engraissement et pour les marchés d'animaux vivants. Pensez à sélectionner la nouvelle couche comme couche principale et à mettre un nom de colonne différent, par exemple : ENGRAIS.

Vous avez maintenant sur une même couche les informations concernant les densités animales et routières et les lieux de regroupement d'animaux vivants. N'hésitez pas à supprimer les anciennes couches.

Les paramètres de mobilité animale : le degré et la centralité d'intermédiarité Nous n'avons plus qu'à ajouter à chaque division administrative le degré et la centralité d'intermédiarité qui lui sont associés.

Pour ce faire,

1. Ouvrez la table des attributs de la couche des données de mobilité.
2. Activez le mode 'Édition'.
3. Supprimez toutes les colonnes, excepté la colonne "maxdegree" et "maxbetween".
4. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardant vos modifications.
5. Fermez la table des attributs.
6. Assurez-vous qu'aucune entité n'est sélectionnée ( ).
7. Rendez-vous dans le menu Vecteur » Outils de gestion de données » Joindre les attributs par location ( ). Définissez les paramètres suivants :
   - Couche vecteur cible : Sélectionnez la couche principale.
   - Couche vecteur à joindre : Sélectionnez la couche contenant les paramètres de mobilité.
   - Prédicat géométrique : Cochez uniquement la case Égal.
   - Précision : Laissez 0.
   - Résumé de l'attribut : Sélectionnez Prendre les attributs de la première entité localisée.
   - Statistiques pour le résumé : n'inscrivez rien (c'est seulement si vous voulez un résumé des attributs).
   - Table jointe : Sélectionnez Conservez tous les enregistrements même ceux sans correspondance.



8. Enfin, cliquez sur Run pour lancer la création d'une nouvelle couche qui contient les données de densités animales et routières, les lieux de regroupement d'animaux vivants, et les paramètres de mobilité animale.

9 Renommez votre Couche jointe et sauvegardez-là au format shapefile (clic-droit sur le nom de la couche dans la légende » Enregistrer sous...). Il s'agit de votre nouvelle couche principale, celle que vous allez utiliser pour la cartographie à proprement parler.

10 Explorez la table des attributs de votre nouvelle couche principale.

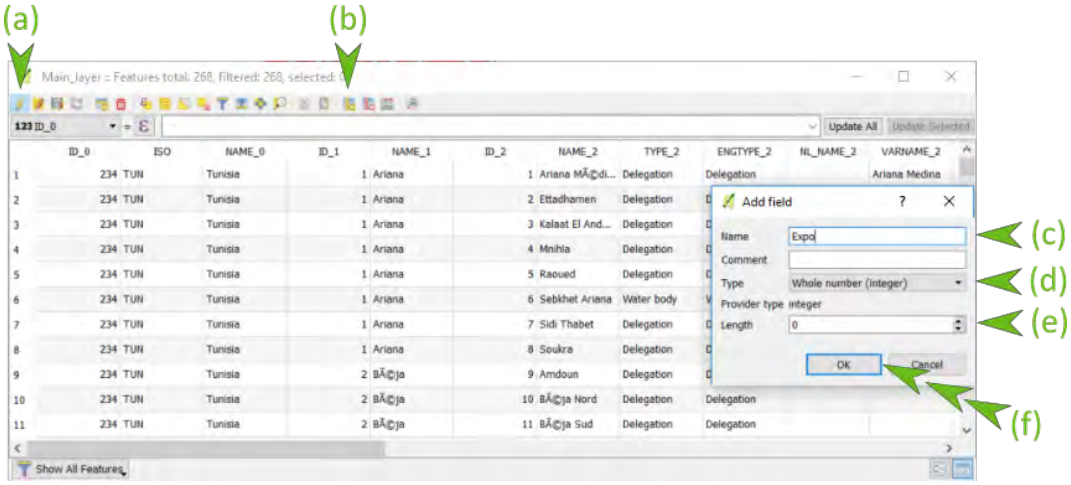
NB Une fois de plus, pour plus de clarté, vous pouvez supprimer les anciennes couches.

Cartographions le risque d'exposition de la fièvre aphteuse

Vous pouvez maintenant cartographier les niveaux de risque d'exposition à la fièvre aphteuse en Tunisie ! Nous allons mettre en évidence les divisions administratives associées à chaque niveau de risque d'exposition.

1 Ouvrez la table des attributs de votre couche principale.

2 Créez un nouveau champ dans lequel sera défini le niveau de risque d'exposition.



(a) Activez le mode 'Édition'.

(b) Ajoutez un nouveau champ.

(c) Appelez ce champ 'Expo'.

(d) Définissez le comme étant de type 'Nombre entier (entier)',

(e) et de longueur '1'.

NB Nous allons discriminer quatre niveaux de risque

1 ⇒ Risque Négligeable

2 ⇒ Risque Faible

3 ⇒ Risque Élevé

4 ⇒ Risque Très Élevé

(f) Validez en cliquant sur OK .

3 Nous allons maintenant mettre à jour ce champ grâce à la Calculatrice de champ . Vérifiez qu'aucune ligne n'est sélectionnée ( ) et cliquez sur l'icône : .

Nous allons utiliser une expression décrivant les critères caractérisant le risque très élevé, le risque élevé et le risque faible. Les divisions administratives qui ne remplissent aucun de ces critères présenteront un risque négligeable.

Rappel de notre caractérisation des niveaux de risque :

- Si la densité animale d'une division administrative est très élevée ET qu'il y a au moins un marché d'animaux vivants OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est très élevé OU si la division administrative contient un centre d'engraissement OU un point d'eau, alors elle est considérée comme présentant un risque 4- très élevé d'exposition à la FA.
- Sinon, parmi les divisions administratives restantes, si la densité animale est très élevée OU si la densité animale est élevée en présence d'un marché d'animaux vivant OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est élevé, alors elle est considérée comme présentant un risque 3- élevé d'exposition à la FA.
- Sinon, parmi les divisions administratives restantes, le risque est faible si la densité animale est élevée OU si la densité animale est faible en présence d'un marché d'animaux vivant OU si la densité routière OU le degré OU la centralité d'intermédiarité est faible, alors elle est considérée comme présentant un risque 2- faible d'exposition à la FA.
- Toutes les autres divisions administratives sont considérées comme présentant un risque 1- négligeable d'exposition à la FA.

La caractérisation en EXPRESSION

```
if(("DENS_ANIMA" > 116.14 AND  "MARCHE" > 0) OR
"DENS_ROUTE" > 1.255 OR
"maxdegree" > 10 OR
"maxbetween" > 10.792 OR
"ENGRAIS" > 0 OR
"EAU" > 0,
4,
if( "DENS_ANIMA"  > 116.14 OR
("DENS_ANIMA" > 82.36 AND  "MARCHE" > 0)  OR
"DENS_ROUTE" > 0.7655 OR
"maxdegree" > 5 OR
"maxbetween" > 4.208,
3,
if( "DENS_ANIMA"  > 82.36 OR
("DENS_ANIMA" > 39.31 AND  "MARCHE" > 0)  OR
"DENS_ROUTE" > 0.4688 OR
"maxdegree" > 1 OR
"maxbetween" > 0,
2,
1
)))
```

4. Dans la calculatrice de champ :
   (a) Cochez 'Mise à jour d'un champ existant'.
   (b) Sélectionnez le champ 'Expo'.
   (c) Copiez l'expression ci-dessus dans l'encart dédié (encart blanc sous 'Expression').
   (d) Cliquez sur 'OK'.

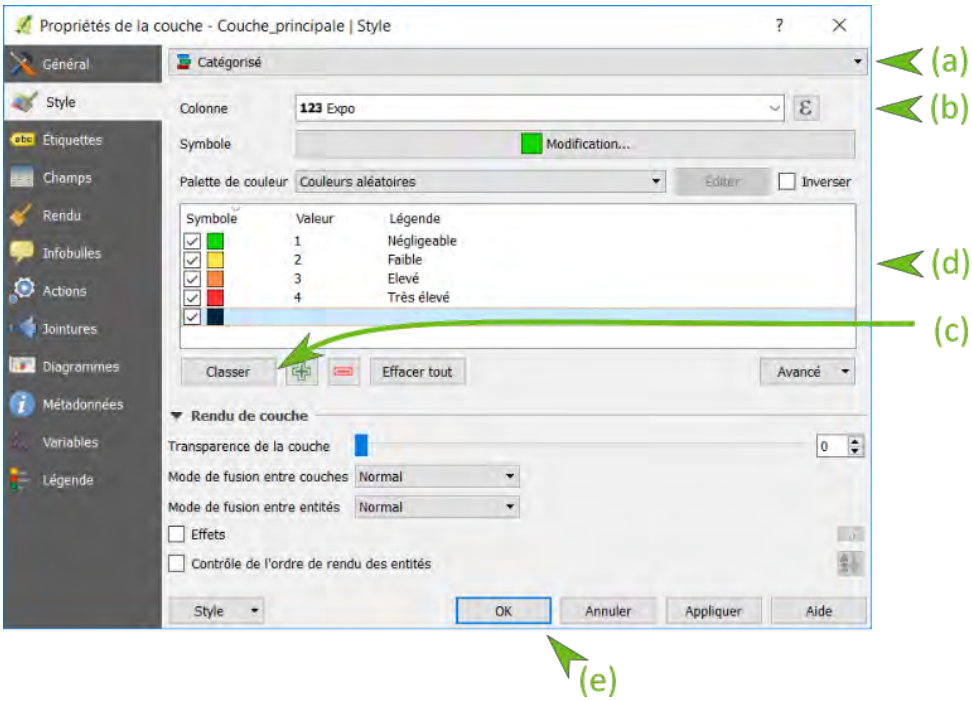
5. Quittez le mode 'Édition' en sauvegardez vos modifications.

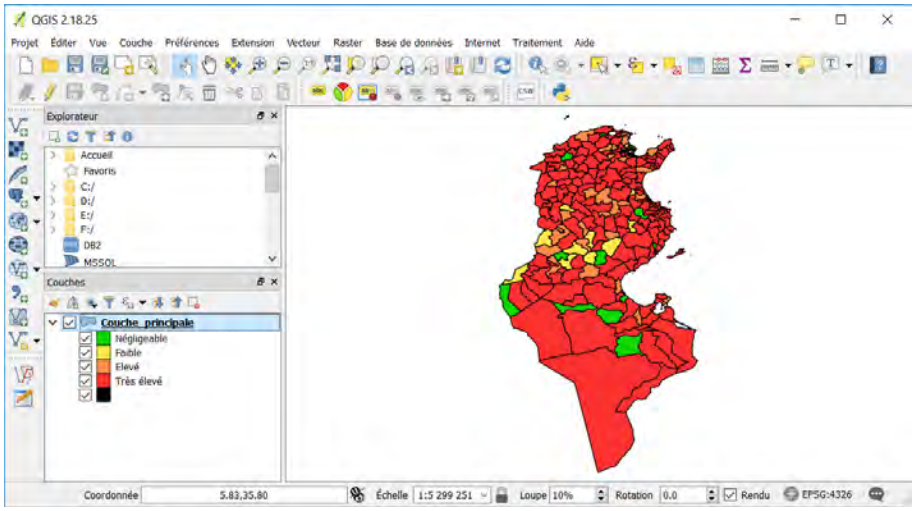
   Il ne vous reste plus qu'à modifier le Style de votre couche pour produire votre carte de risque d'exposition.

6. Cliquez-droit sur la couche principale.

7. Cliquez sur Propriétés.

8. Dans l'onglet Style :
   (a) Sélectionnez Catégorisé.
   (b) Sélectionnez la colonne Expo dans laquelle vous avez mis le niveau de risque à jour.
   (c) Cliquez sur Classer.
   (d) Ajustez la légende et les couleurs.
   (e) Cliquez sur OK.





Exercise 9.18 Réalisez cette 4ème étape pour votre territoire.

NB N'hésitez pas à vous aider de la vidéo et du diaporama disponibles. En cas de difficultés pensez aussi que l'équipe de formateurs peut vous aider.

Félicitations, si vous avez réussi toutes ces étapes, vous avez produit une carte de risque d'endémicité et de dispersion d'une maladie animale en Tunisie. Il ne tient qu'à vous de réaliser l'analyse pour votre territoire !!

ANNEXES

Liste de facteurs de risque

Attention, ces listes ne sont pas exhaustives, elles sont vouées à être complétées et modulées en fonction de votre territoire, vos systèmes d'élevage, votre politique d'importation, etc. mais vous pouvez vous en inspirer pour déterminer les facteurs de risque majeurs dans votre pays.

Facteurs géographiques

- Climat
- Habitats, utilisation des territoires
- Densités
- Faune sauvage
- Vecteurs

Facteurs de l'hôte

- Espèces
- Ages
- Comportements

Facteurs élevage

- Biosécurité
- Gestion
- Marché d'animaux vivants
- Points d'eau
- Densité animale
- Alimentation

Facteurs de mobilité et de commerce

- Flux nationaux et internationaux

  Couloir de transhumance - désigne des couloirs de passage pastorale (la mobilité des animaux et leurs éleveurs) nationale ou transfrontalière motivée par la recherche de pâturages, de points d'eau, mais également par la fuite des foyers d'épizootie ou le commerce d'animaux.

  Degré - Le nombre de connexions directes que possède un lieu (ex. un marché avec un grand nombre d'échangés d'animaux avec d'autres marchés).

  Degré entrant - Le nombre de connexions directes qui entrent dans un lieu (ex. un flux d'animaux se dirigeant vers un marché).

  Degré sortant - Le nombre de connexions directes qui sortent d'un lieu (ex. un flux d'animaux s'éloignant d'un marché).

  Centralité d'intermédiarité - Le chemin le plus court entre les nœuds (ex. un marché - carrefour qui connecte d'autres nœuds les uns aux autres).
- **Accessibilité routière** désigne une mesure du temps de parcours moyen (en minutes) et une vitesse moyenne (en kilomètre/heure) rapportés à la taille des divisions administratives.

Risques sanitaires

- Cas antécédents
- Antécédents des pratiques à risque

Activités de surveillance du pays d'importation Surveillance épidémiologique

est une méthode d'observation fondée sur des enregistrements en continu permettant de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte.

Epidémiovigilance

est un type de surveillance épidémiologique orienté vers la détection précoce, puis le suivi de leur évolution en vue d'actions de prévention ou de contrôle, de maladies considérées à haut risque et capables de provoquer des désastres dans un pays u région.

Unité épidémiologique

désigne des groupes d'animaux/troupeau présentant un lien épidémiologique défini, caractérisés par une probabilité analogue d'exposition à un agent pathogène, soit parce qu'ils partagent le même environnement, soit parce qu'ils relèvent d'un même système de gestion.

Politique de contrôle du pays d'importation

désigne les programmes agréés, et gérés ou supervisés, par l'Autorité vétérinaire d'un pays afin de contrôler un vecteur, un agent pathogène ou une maladie, en appliquant des mesures spécifiques sur l'ensemble de ce pays ou seulement dans une zone ou un compartiment donné(e) de son territoire.

Statut zoosanitaire du pays d'importation

désigne la situation d'un pays ou d'une zone à l'égard d'une maladie animale donnée, selon les critères énoncés dans le chapitre du Code terrestre (Code sanitaire des animaux terrestres de l'OIE) correspondant à cette maladie.

Collecte de données sur la mobilité animale

Exemple d'une enquête visant à collecter des données de mobilité en Mauritanie

Objectif

L'objectif final est de faire une cartographie des déplacements des ruminants bovins, ovins, caprins et camélidés à l'échelle de la Mauritanie. Les sous-objectifs qui en découlent sont :

Objectif 1 Etablir la cartographie des mouvements (licites ou pas, transfrontaliers) par espèces et par mois ;

Objectif 2 Dresser la liste des zones de rassemblement : marchés, embouche, zone de repos, abattoirs et élevages ;

Objectif 3 Estimer les zones à risque (entrants, sortants). Modélisation (projet Vmerge)

Protocole

Peu d'informations au niveau de la DSV ou de la DIREL en Mauritanie existent sur le mouvement des ruminants. La connaissance des mouvements collectifs de bétail peut être acquise par des enquêtes plus ou moins légères. Il s'agit d'enquêtes de type synthétique. De telles enquêtes donnent une bonne représentativité spatiale en termes de déplacements. Les analyses basées sur les mouvements des animaux peuvent prendre en compte des flux au niveau individuel mais aussi de manière collective. Il ne s'agit pas de comptage, mais on interroge un boucher, un chef vétérinaire ou responsable du marché qui a une connaissance synthétique des flux entrants et sortants de sa région. Il donnera la provenance et la destination sous forme d'estimations pour chaque espèce. On aura une cartographie des différents mouvements avec une qualification de l'intensité de flux mais pas un dénombrement.

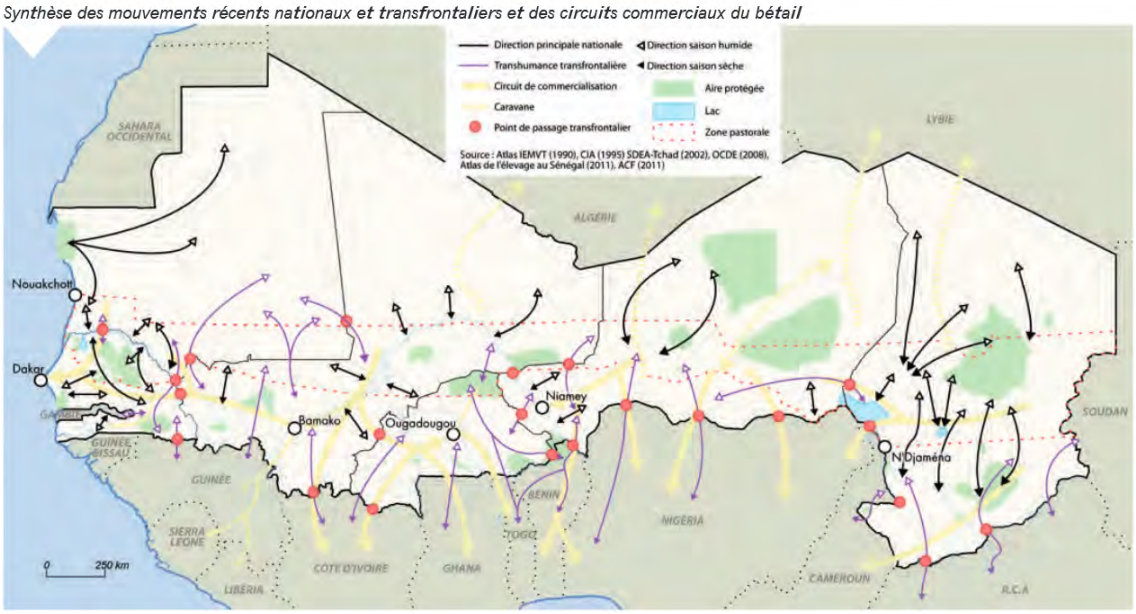


Figure 9.1: Circuits commerciaux et de transhumance du bétail en Afrique de l'Ouest. *Source : Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel(Touré et al., 2012).*

Choix des itinéraires

La bibliographie, la bonne connaissance du terrain des services vétérinaires, ainsi que les foyers identifiés ces dernières années permettent de justifier les zones à enquêter.

On constate que la majorité des échanges commerciaux des ruminants (bovins, ovins et caprins) se situent tout le long des frontières avec le Sénégal et le Mali. Pour les camélidés, les échanges se font essentiellement par le nord vers le Maroc, souvent de manière non contrôlée.

Les zones suivantes ont été identifiées :

- Nord (surtout camélidés) : Atar / Zouerate vers le maroc.
- Centre : Aire de repos Kendelec (« camp du lac ») à 50km de Boutlimit et d'Aleg. Tidjikda.
- Sud-est (frontière Mali) Echanges commerciaux important entre Ajoun, Kobeni, touil puis de Néma vers Bassiknou, Adel Bagrou , Boustaile, Djguenni et Timbedra.
- Sud (frontière Sénégal) Rosso – Sélibali.
- Ouest : Nouckchott / Nouadhibou (« cul de sac »).
- Les zones désertiques du nord et de l'est ne seront pas enquêtées.

D'où l'on peut dégager les itinéraires pour les prospections, présentés en figure 2.

Itinéraire 1 Mission Nord-ouest: Nouakchott / Akjoujt / Atar / (8 jours)
Itinéraire 2 Mission centre: Nouakchott / Boutlimitt / Aleg / Tidjikja (5jours)
Itinéraire 3 Mission Sud-est: Nouakchott / Kiffa / Ajoun / Néma / Bassiknou / Adel Bagrou / Boustaïle / Djiguenni / Timbedra (10 jours)
Itinéraire 4 Mission Sud : Nouakchott / Rosso / Bogué / Kaédi / Sélibabi (6 jours)

Pour Nouackchott, les enquêtes se feront via des services de proximité (Inspection régionale, direction de l'élevage, Marchés et société des abattoirs de Nouackchott). Pour Nouadhibou, soit une courte mission d'un jour ou deux peut être prévue, soit par téléphone.

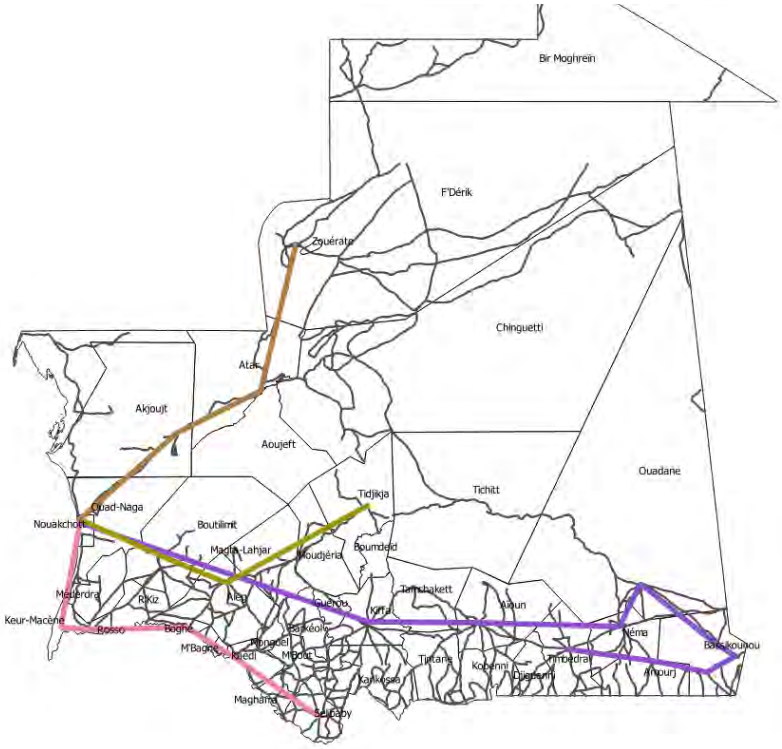


Figure 9.2: Quatre itinéraires retenus

Mission Nord-ouest	2500	8
Mission centre	1200	5
Mission sud-est	3000	10
Mission sud	1400	6

Le questionnaire

Pour cette étude, un questionnaire d'enquête, présenté ci-dessous, a été conçu.

Ce questionnaire comporte des questions sur l'**origine** et la **destination** du bétail.

Les données collectées portent sur le jour de l'entretien mais également sur des périodes (Tabaski, saison sèche. . .), et trajets habituels ou exceptionnels tout au long de l'année, avec leur fréquence (quotidien, hebdomadaire, mensuel, annuel). A ces données se rajoutent un nombre de tête de bétail approximatif (estimation), l'espèce concernée, le mode de transport et éventuellement la durée. On attend donc en réponse pour **un mois donné** ou **une période donnée**, une liste de localités avec leur type (marché, élevage ou autre) et pour chacun des lieux un nombre approximatif par espèce. Si des étapes sont effectuées, on notera les localités de transit.

La durée du trajet n'étant pas toujours connue, on pourra la déduire selon le mode de transport et la distance. Idem pour le débarquement ou pas des animaux, on peut décider que s'il y a des étapes de transit ou si la durée > 1 jour, il y a « débarquement ».

ENQUÊTE ORIGINE / DESTINATION

Nom de l'enquêteur : …… **Lieu de l'enquête -** Région> localité : ……

Poste vétérinaire: …… **Coordonnées GPS** :…… **Date de l'enquête** : ……

Mode d'élevage	**Type**	**Espèce**	**Mode de déplacement**	**Fréquence**	**Période**
E – Extensif I – Intensif A – Autres	M - Marchés C – Centre d'embouche E - Elevage *A* - Abattoirs-tueries R – Zone de Repos	B – Bovins C – Caprins O – Ovins Ca - Camélidés	C – Camion P – A pied	Q - Quotidien H - Hebdomadaire M - Mensuel A - Annuel	Tabaski Saison sèche

Mode élevage	Origine	Type	Destination	Type	Espèce	Nombre approx.	Mode de transport	Date ou période	Fréquence	Durée trajet (*jours)*	Transit (étapes)	Débarquement O/N ?

Déroulement des enquêtes

La durée des missions de terrain seront variables selon les quatre itinéraires qui ont été identifiés.

Il est envisagé de rencontrer les chefs des postes vétérinaires. L'enquête se fait sous la forme d'un entretien, en face à face.

Il donnera la provenance et la destination sous forme d'estimations pour chaque espèce. Lors de ces entretiens, il est également prévu de récupérer les certificats de transhumance ou des carnets de synthèse qui donnent l'origine, le transit, la destination, le type de convoyage, l'espèce et un nombre approximatif de têtes.

Les enquêteurs pourront être amenés à compléter leurs informations par des visites sur les marchés ou dans les abattoirs, pour y interviewer différents acteurs (éleveurs, bouchers, responsable des zones de repos..).

Les enquêteurs peuvent être munis d'un GPS pour géo-localiser toutes les zones prospectées mais nous avons déjà la géolocalisation des localités retenues. Le questionnaire pourrait être traduit en Wolof, Peul, Serrer,...

Traitement des données

Les données des questionnaires seront saisies à Nouackchott dans un tableur Excel dont la structure a été préalablement organisée.

Les données seront ensuite transférées par le Cirad dans un système d'information et pourront ainsi être recoupées avec d'autres données telles que les résultats d'analyse sérologique, virologique et moléculaire.

Calendrier et budget

Calendrier

- 1 semaine de préparation des missions terrain (Coordination, Courrier à l'administration locale, rendez-vous avec les chefs de postes vétérinaires)
- 4 missions au total 29 jours et 8100km
- Saisie

Trajets	**Km**	**Durée en jours**
Mission Nord-ouest	2 500	8
Mission centre	1 200	5
Mission sud-est	3 000	10
Mission sud	1400	6
Total	8100	29

Budget enquêtes Mobilité animale

Libellé	Coût en UM	Euros
Carburant: 17 litres / 100 km * 80 (8.000 km) * 400 UM / l gasoil	544 000	1 480
Entretien véhicule (forfait huile. . .) 12 000 UM/mission	48 000	131
Indemnité de déplacement pour 1 chauffeur (5 000F UM/jours) pendant 29 jours de mission	145 000	394
Indemnité de déplacement pour epidémio (18 400 UM/jour) pendant 29 jours de mission	533 600	1 451
Saisie informatique (2 mois) 50 000 UM/mois/homme	100 000	272
Photocopies (10 000UM/mission)	20 000	54
Caisse d'avance dépenses en cours de mission (incitations, pause café,. . .)	200 000	544
Total	1 590 600	4 326

Véhicule et GPS appartenant aux services vétérinaires.

Exemple de questionnaires d'enquête au sujet des flux illégaux/non-déclarés

Mouvements illégaux (éleveurs/engraissement)

ENQUÊTE MOUVEMENTS ILLEGAUX (ELEVEURS/ENGRAISSEMENT)

Nom de l'enquêteur : ……

Lieu de l'enquête – adresse (Commune/Région) : ……

Coordonnées GPS :…… **Date de l'enquête** : ……

Type N – Naisseurs E – Engraisseurs NE – Naisseurs-Engraisseurs					**Espèce** B – Bovins C – Caprins O – Ovins Ca – Camélidés				
Eleveur (1,2,3,…)	**Type**	**Espèce**	**Race(s)**	**Nombre approx.**	**Mode de transport**	**Origine**	**Destination**	**Transit (étapes)**	**Date ou période**

Mouvements illégaux (vétérinaires)

ENQUÊTE MOUVEMENTS ILLEGAUX (VETERINAIRES)

Nom de l'enquêteur : ……

Lieu de l'enquête – adresse (Commune/Région) : ……

Coordonnées GPS :…….. **Date de l'enquête** : ……..

Type	**Espèce**	**Type d'origine**	**Type de destination :**	**Fréquence :**
N – Naisseurs E – Engraisseurs NE – Naisseurs-Engraisseurs M - Maquignon	B – Bovins C – Caprins O – Ovins Ca – Camélidés	E - Eleveur MAB – Marché A Bestiaux M - Maquignon	Eleveur MAB – Marché A Bestiaux Maquignon Abattoirs/bouchers	Mensuelle Hebdomadaire Semestrielle Trimestrielle Annuelle

Eleveur (1,2,3,…)	**Type**	**Espèce**	**Race(s)**	**Nombre approx.**	**Mode de transport**	**Date ou période**	**Origine**	**Type d'origine**	**Destination**	**Type de destination**	**Transit (étapes)**	**Fréquence**

Mouvements illégaux (éleveurs/maquignons)

ENQUÊTE MOUVEMENTS ILLEGAUX (ELEVEURS/MAQUIGNONS)

Nom de l'enquêteur : ……

Lieu de l'enquête – adresse (Commune/Région) : ……

Coordonnées GPS :…… **Date de l'enquête** : ……..

Type	**Espèce**	**Type d'origine**	**Type de destination :**	**Fréquence :**
N – Naisseurs E – Engraisseurs NE – Naisseurs-Engraisseurs M - Maquignon	B – Bovins C – Caprins O – Ovins Ca – Camélidés	E - Eleveur MAB – Marché A Bestiaux M - Maquignon	Eleveur MAB – Marché A Bestiaux Maquignon Abattoirs/bouchers	Mensuelle Hebdomadaire Semestrielle Trimestrielle Annuelle

Eleveur (1,2,3,…)	**GPS éleveurs**		**Type**	**Espèce**	**Race(s)**	**Nombre approx.**	**Mode de transport**	**Fréquence**	**Origine**	**Type d'origine**	**Destination**	**Type de destination**	**Transit (étapes)**
	X	**Y**											

Bibliographie

Bibliographie

Abbas, T., Younus, M., Muhmmad, S. A., Ijaz, M., & Shakoor, A. (2012). Some challenges to progressive control of foot and mouth disease in pakistan - findings of a pilot survey. *Transboundary and Emerging Diseases*, *61*(1), 81–85. https://doi.org/10.1111/tbed.12008

AFSSA. (2008). *Une méthode qualitative d'estimation du risque en santé animale*. Agence Française de Sécurité sanitaire des aliments. https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT-Ra-MethodeRisqueEN.pdf

AFSSA. (2009). *Fièvre aphteuse* (technical report). Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT-Ra-FievreAphteuse.pdf

Agence canadienne d'inspection des aliments. (2013). 2.7 définition de l'oie de l'infection par le virus de la fièvre aphteuse et stratégies d'éradication. http://www.inspection.gc.ca/animaux/animaux-terrestres/maladies/declaration-obligatoire/fievre-aphteuse/plan/fra/1332174353793/1332174430101?chap=2#s13c2

Ayelet, G., Gelaye, E., Negussie, H., & Asmare, K. (2012). Study on the epidemiology of foot and mouth disease in ethiopia. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, *31*, 789–798.

Bouma, A., Elbers, A., Dekker, A., de Koeijer, A., Bartels, C., Vellema, P., van der Wal, P., van Rooij, E., Pluimers, F., & de Jong, M. (2003). The foot-and-mouth disease epidemic in the netherlands in 2001. *Preventive Veterinary Medicine*, *57*(3), 155–166. https://doi.org/10.1016/s0167-5877(02)00217-9

Cardoen, S., Depoorter, P., Hendrikx, P., J, H., Imberechts, H., Dewulf, J., Czaplicki, G., DER STEDE Y., V., Dierick, K., van den Berg, T., Stoop, S., M, H., Quoilin, S., & Saegerman, C. (2014). Radioscopie de la surveillance des maladies animales infectieuses en belgique (partie ii) : analyse des aspects organisationnels des activités de la surveillance et recommandations. *Annales de médecine vétérinaire*, *158*, 22–38.

Cortin, V., Laplante, L., & Dionne, M. (2018). *La communication des risques à la santé* (INSPQ, Editor). Gouvernement du Québec.

Dubé, C., Ribble, C., Kelton, D., & McNab, B. (2009). A review of network analysis terminology and its application to foot-and-mouth disease modelling and policy development.

Transboundary and Emerging Diseases, *56*(3), 73–85. https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2008.01064.x

Dufour, B., Hendrikx, P., & Toma, B. (2006). Élaboration et mise en place de systèmes de surveillance épidémiologique des maladies à haut risque dans les pays développés. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz. 25*(1), 187–198. https://snispv.org/fileadmin/user_upload/documents/24_EGS/groupe_2/2402_Dufour.pdf

Dufour, B., & Pouillot, R. (2002). Approche qualitative du risque. *Epidémiol. et santé anim. 41*, 35–43.

Dukpa, K., Robertson, I. D., Edwards, J. R., & Ellis, T. M. (2010). A retrospective study on the epidemiology of foot-and-mouth disease in bhutan. *Tropical Animal Health and Production*, *43*(2), 495–502. https://doi.org/10.1007/s11250-010-9722-z

Elnekave, E., van Maanen, K., Shilo, H., Gelman, B., Storm, N., Khaliq, M. A. E., Sharir, B., Berke, O., & Klement, E. (2016). Prevalence and risk factors for foot and mouth disease infection in cattle in israel. *Preventive Veterinary Medicine*, *130*, 51–59. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.05.013

FAO. (2002, December 30). *Preparation of foot-and-mouth disease contingency plans*. Food; Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/3/Y4382E/y4382e00.htm#Contents

FAO. (2014). Directives pour la surveillance basée sur les risques en situation d'urgence. *Faire face à la grippe aviaire A (H7N9)*, *Fascicule no. 1*.

Gezahegn, A., Girma, Z., & Berhanu, A. (2014). Seroprevalence of foot and mouth disease (FMD) and associated economic impact on central ethiopian cattle feedlots. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, *6*(5), 154–158. https://doi.org/10.5897/jvmah2013.0247

Gibbens, J. C., Sharpe, C. E., Wilesmith, J. W., Mansley, L. M., Michalopoulou, E., Ryan, J. B., & Hudson, M. (2001). Descriptive epidemiology of the 2001 foot-and-mouth disease epidemic in great britain: the first five months. *The Veterinary record*, *149*, 729–743.

Gonzales, J., Barrientos, M., Quiroga, J., Ardaya, D., Daza, O., Martinez, C., Orozco, C., Crowther, J., & Paton, D. (2014). Within herd transmission and evaluation of the performance of clinical and serological diagnosis of foot-and-mouth disease in partially immune cattle herds. *Vaccine*, *32*(47), 6193–6198. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.09.029

Hässig, M., Meier, A. B., Braun, U., Hässig, B. U., Schmidt, R., & Lewis, F. (2015). Cattle movement as a risk factor for epidemics. *Schweiz Arch Tierheilkd*, *157*(8), 441–448. https://doi.org/10.17236/sat00029

Hayama, Y., Yamamoto, T., Kobayashi, S., Muroga, N., & Tsutsui, T. (2016). Potential impact of species and livestock density on the epidemic size and effectiveness of control measures for foot-and-mouth disease in japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, *78*(1), 13–22. https://doi.org/10.1292/jvms.15-0224

Hegde, R., Gomes, A. R., Giridhar, P., Kowalli, S., Shivashankar, B. P., Sudharshana, K. J., Nagaraj, K., Sesharao, R., Mallinath, K. C., Shankar, B. P., Nagaraj, D., Seema, C. M., Khan, T. A., Nagaraj, G. V., Srikala, K., Dharanesh, N. K., Venkatesha, M. D., & Renukaprasad, C. (2014). Epidemiology of foot and mouth disease in karnataka state, india: a retrospective study. *VirusDisease*, *25*(4), 504–509. https://doi.org/10.1007/s13337-014-0239-3

Lindholm, A., Hewitt, E., Torres, P., Lasso, M., Echeverria, C., Shaw, J., & Hernandez, J. (2007). Epidemiologic aspects of a foot-and-mouth disease epidemic in cattle in ecuador. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, *5*(1), 17–24.

Muroga, N., Hayama, Y., Yamamoto, T., Kurogi, A., Tsuda, T., & Tsutsui, T. (2012). The 2010 foot-and-mouth disease epidemic in japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, *74*(4), 399–404. https://doi.org/10.1292/jvms.11-0271

OIE. (2007). *Code sanitaire pour les animaux terrestres.*

OIE. (2011). Glossaire du code sanitaire pour les animaux terrestres. http://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahc/2011/fr_glossaire.htm

OIE. (2012). *Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestial animals (mammals, birds and bees)*. World Organisation for Animal Health. http://www.oie.int/fr/normes/manuel-terrestre/acces-en-ligne/

OIE. (2019). Code sanitaire pour les animaux terrestres. https://www.oie.int/fr/normes/code-terrestre/acces-en-ligne/?htmfile=chapitre_fmd.htm

Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D., Soares-Magalhães, R., & Guitian, F. (2006). Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. *Preventive Veterinary Medicine*, *76*(1-2), 40–55. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2006.04.007

Park, J.-H., Lee, K.-N., Ko, Y.-J., Kim, S.-M., Lee, H.-S., Shin, Y.-K., Sohn, H.-J., Park, J.-Y., Yeh, J.-Y., Lee, Y.-H., Kim, M.-J., Joo, Y.-S., Yoon, H., Yoon, S.-S., Cho, I.-S., & Kim, B. (2013). Control of foot-and-mouth disease during 2010–2011 epidemic, south korea. *Emerging Infectious Diseases*, *19*(4), 655–659. https://doi.org/10.3201/eid1904.121320

Rivas, A. L., Smith, S. D., Sullivan, P. J., Gardner, B., Aparicio, J. P., Hoogesteijn, A. L., & Castillo-Chavez, C. (2003). Identification of geographic factors associated with early spread of foot-and-mouth disease. *American Journal of Veterinary Research*, *64*(12), 1519–1527. https://doi.org/10.2460/ajvr.2003.64.1519

Santos, D. V. D., Silva, G. S. E., Weber, E. J., Hasenack, H., Groff, F. H. S., Todeschini, B., Borba, M. R., Medeiros, A. A. R., Leotti, V. B., Canal, C. W., & Corbellini, L. G. (2017). Identification of foot and mouth disease risk areas using a multi-criteria analysis approach. *PloS one*, *12*, e0178464. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178464

Squarzoni-Diaw, C., Arsevska, E., Kalthoum, S., Hammami, P., Cherni, J., Daoudi, A., Laoufi, M. K., Lezaar, Y., Rachid, K., Seck, I., ould elmamy, B., Yahya, B., Dufour, B., Hendrikx, P., Cardinale, E., Muñoz, F., Lancelot, R., & Coste, C. (2020). Using a participatory qualitative risk assessment to estimate the risk of introduction and spread of transboundary animal diseases in scarce-data environments. *Transboundary and Emerging Diseases*. https://doi.org/10.1111/tbed.13920

Stevens, K., Costard, S., Metras, R., Theuri, W., Hendrickx, S., & Pfeiffer, D. (2010). *Risk mapping for hpai h5n1 in africa - improving surveillance for virulent bird flu - final report and risk maps*.

The Australian Biosecurity Cooperative Research Centre for Emerging Infectious Disease. (2019). Epitools epidemiological calculators. http://epitools.ausvet.com.au/content.php?page=FreedomSS

Toma, B., Dufour, B., Bénet, J., Rivière, J., Shaw, A., & Moutou, F. (2018). *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures* (AEEMA, Editor; 4ème Edition, Volume 31). http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/2013-04-12-00-44-00/25-epidemiologie-appliquee

Touré, I., Ickowicz, A., Wane, A., Garba, I., Gerber, P., Atte, I., Cesaro, J.-D., Diop, A. T., Djibo, S., Ham, F., Hamadoun, M., Khamis, Y., Niang, I., Saleh, O. M., Métais, T., Saley, M., Sow, N., Toutain, B., Yahaya, S., … Passouant, M. (2012). *Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au sahel : 1970-2012* (FAO-Cirad, Editor).

UNIT. (2009). Objectif et typologie des méthodes qualitatives d'analyse de risques. http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_30.html

Wasserman, S., & Faust, K. (2012). *Social network analysis: methods and applications (structural analysis in the social sciences)*. Cambridge University Press.

Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., Poyart, E., Belchior, S., Fullman, N., Mappin, B., Dalrymple, U., Rozier, J., Lucas, T. C. D.,

Howes, R. E., Tusting, L. S., Kang, S. Y., Cameron, E., Bisanzio, D., … Gething, P. W. (2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, *553*(7688), 333–336. https://doi.org/10.1038/nature25181

Wungak, Y. S., Olugasa, B. O., Ishola, O. O., Lazarus, D. D., & Ularamu, G. H. (2016). Foot-and-mouth disease (FMD) prevalence and exposure factors associated with seropositivity of cattle in north-central, nigeria. *African Journal of Biotechnology*, *15*(24), 1224–1232. https://doi.org/10.5897/ajb2016.15332

Zepeda-Sein, C. (1998). *Méthode d'évaluation des risques zoosanitaires lors des échanges internationaux,* (OIE, Editor). Paris.