MANUEL DE FORMATION ENQUÊTES SUR LES FOYERS DE MALADIES DE LA FAUNE SAUVAGE

Quatrième Cycle

Atelier de formation des Points Focaux Nationaux de l'OIE pour la faune sauvage

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ANIMALE
Protéger les animaux, préserver notre avenir

Atelier de formation destiné aux Point focaux de l'OIE pour la faune sauvage

Quatrième cycle - Atelier

Enquêtes sur les foyers de maladies de la faune sauvage

Table of Contents

I. ENQUÊTES SUR LES FOYERS DE MALADIES 5
1. Formes de surveillance des agents pathogènes et des maladies 6
2. Eléments d'un programme général de surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage 7
   a. Détection des agents pathogènes et des maladies 7
   b. Identification des agents pathogens et des maladies 8

II. ENQUÊTES SUR LES FOYERS DE MALADIE DE LA FAUNE SAUVAGE 9
1. Qu'est-ce qu'un foyer de maladie ? 9
2. Enquete sur en foyer de maladie 10
   a. Vérifier qu'il s'agit bel et bien d'un foyer de maladie 11
   b. Confirmer le diagnost 12
   c. Définition du cas 12
   d. Epidémiologie Descriptive 13
   e. Formulation d'hypothèses 13
   f. Epidémiologie analytique 14
   g. Mesures de contrôle/de prévention préliminaires 15
   h. Communiquer les résultats 16
   i. Etablir une surveillance / un contrôle des maladies 17

III. VISUALISATION DES DONNÉES 17
1. Objet 17
2. Google Earth 17
3. Point unique 18
4. R Project 29

IV. Equipment de Protection Individuelle (EPI) et Sécurité Biologique durant les Enquêtes de Terrain sur les Maladies de la Faune Sauvage 35
1. Equipement de protection individuelle 35
   a. Options en matière d'équipements de protection individuelle dans les études de terrain 35
   b. Contact 37
   c. Aérosol 37
   d. Vectuer 38
   e. Vaccins préventifs 38
2. Sécurité biologique 39
3. Sûreté biologique 40
4. Point de sécurité biologique 40

V. EPREUVES DIAGNOSTIQUES 41
1. Objet 41
2. Information auxiliaire 41
3. Validation de l'épreuve diagnostique 42
4. Cible de l'épreuve diagnostique 42
5. Caractéristiques de l'épreuve diagnostique 44
6. Qualité des échantillons 50
7. Disponibilité des épreuves diagnostiques 50
8. Besoins en ressource 50

9. Mandats légaux 51
10. Exemples 51

VI. STUDY DESIGN 52
1. Objet 52
2. Objectives 52
3. Conception de l'échantillonnage 53
   a. Indicateurs 53
   b. Taille de l'échantillon – Animaux pris isolément - Site unique 54
   c. Echantillonnage des unités géographiques 55

VII. AUTRES CONSIDÉRATIONS 61

VIII. RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES 62

IX. Exercise de Simulation : Enquête sur un Foyer dans la Faune Sauvage dans le "Dominion d'Atlantis" 62

I. ENQUÊTES SUR LES FOYERS DE MALADIES

La surveillance, la prévention et le contrôle des maladies animales constituent un défi mondial : la mise sur pied d'un système zoosanitaire mondial, régional ou national est un bien public et une priorité dans le monde entier. Notre monde subit des changements sans précédents qui tendent tous à amplifier les risques sanitaires émergents et ré-émergents pour les animaux et pour les hommes.

- Organisation mondiale pour la santé animale

La surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage est essentielle à la gestion de la santé animale

La surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage est l'élément le plus important d'un programme sanitaire national pour la faune sauvage. La surveillance désigne « les opérations systématiques et continues de recueil, de compilation et d'analyse des informations zoosanitaires, ainsi que leur diffusion dans des délais compatibles avec la mise en œuvre des mesures nécessaires » (Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'OIE). Elle est essentielle à toutes les autres composantes du système sanitaire (prévention, détection, analyse du risque, gestion). Pour les Points focaux de l'OIE, il s'agit d'une activité d'une extrême importance car elle fournit toutes les informations dont les Points focaux ont besoin pour effectuer leur travail. Seule une surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage permet à un pays de savoir quels sont les agents pathogènes présents dans ses populations d'animaux sauvages, quelles zones géographiques sont concernées et quelles sont les espèces hôtes concernées. Une surveillance est requise pour détecter de nouvelles maladies émergentes. La surveillance permet également de mesurer la proportion d'animaux infectés dans une population (la prévalence de la maladie dans la population). Toutes ces informations sont nécessaires pour évaluer les risques sanitaires associés au commerce international ou aux déplacements internes d'animaux sauvages et pour remplir les obligations internationales en termes de notification des maladies. La surveillance requiert un système organisé d'observation des animaux sauvages sur le terrain, des laboratoires de diagnostiques vétérinaires, des systèmes de gestion de l'information et des systèmes de communication. Tous ces éléments étant nécessaires lorsqu'un pays décide de répondre à l'apparition d'une maladie et de prendre des mesures de gestion. Par conséquent, la surveillance des maladies de la faune sauvage contribue aux capacités nationales, également requises pour gérer des urgences zoosanitaires domestiques.

En voici les points essentiels:

1. Il s'agit d'une activité continue, d'une investigation et d'une vigilance constantes quant aux agents pathogènes de la faune sauvage et aux maladies dont ils pourraient être responsables,
2. Ce type de surveillance ne comprend pas uniquement la collecte d'informations, mais également l'analyse régulière des données pour répondre à des objectifs précis.
3. Ce type de surveillance implique la communication des résultats obtenus par la collecte et l'analyse des données à tout un éventail de personnes, d'agences et d'institutions ayant besoin de ces informations. Un programme de surveillance comprend donc plusieurs éléments distincts:
   - La détection des animaux sauvages morts ou malades ou la collecte d'échantillons dans les populations sauvages ;
   - L'identification des agents pathogènes et des maladies (diagnostic, tests de laboratoire) ;

- La gestion de l'information: dossiers informatisés de toutes les informations ;
- L'analyse des données et la communication: cartes, statistiques, rapports, analyses de risque, réunions.

On ne peut trop qu'insister sur l'importance de la surveillance de la faune sauvage.

C'est par exemple grâce à une surveillance passive générale qu'une nouvelle forme de l'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) a été détectée aux Etats-Unis en décembre 2014. Cette détection a eu lieu dans l'Etat de Washington et l'analyse génétique a permis de déterminer qu'il s'agissait d'une nouvelle souche asiatique du H5N8 (identifiée comme clade 2.3.4.4). Nos partenaires dans tout le pays ont été informés de cette détection à titre d'alerte précoce, dans le but de renforcer les capacités indispensables pour surveiller la maladie chez les espèces utilisées dans l'agriculture. La même souche (d'une structure génétique identique) a été détectée en République de Corée, puis observée en Chine, au Japon, en Russie et en Europe.

1. Formes de surveillance des agents pathogènes et des maladies

Les nombreux aspects de la surveillance zoosanitaire sont décrits au Chapitre 1.4 du Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'OIE. Certains aspects de la surveillance des agents pathogènes et des maladies chez les animaux sauvages requièrent toutefois une attention spéciale. Dans les populations d'animaux sauvages, les méthodes d'échantillonnage probabilistes (Code sanitaire pour les animaux terrestres, Chapitre 1.4.4) peuvent rarement être utilisées pour les animaux à titre individuel, que ce soit en raison de problèmes pratiques d'accès aux animaux sauvages ou en raison de l'absence d'informations précises sur la taille et la structure des populations. Il est cependant possible de procéder à un échantillonnage probabiliste de zones géographiques hébergeant des animaux sauvages lorsque les échantillons sont collectés dans une vaste zone (voir la section consacrée à la conception des études dans le présent document).

En général, la plupart des échantillons utilisés pour la surveillance des pathogènes dans la faune sauvage ne sont pas aléatoires, mais basés sur ce qu'il est possible d'atteindre, compte tenu des difficultés qu'il y a à obtenir des échantillons provenant de populations sauvages (souvent appelé "échantillonnage de convenance"). Cela a un impact sur les méthodes analytiques qui peuvent être appliquées aux données de surveillance et sur la nature des conclusions susceptibles d'en être tirées, raison pour laquelle cela devrait rester aussi limité que possible. Néanmoins, ce type de surveillance reste un outil puissant et essentiel pour la gestion nationale et internationale de la santé humaine et animale et devrait être effectué dans chaque pays.

Il existe deux formes passablement différentes de surveillance des agents pathogènes. L'une consiste en une surveillance générale ou par dépistage (parfois appelée surveillance "passive", même si ce genre de programmes de surveillance n'a rien de "passif"). L'autre forme consiste en une surveillance ciblée, axée sur un agent pathogène donné dans des populations animales spécifiées (parfois appelée surveillance "active"). Chacune de ces formes de surveillance des agents pathogènes est importante dans un programme sanitaire national de la faune sauvage.

La surveillance générale ou "par dépistage" des agents pathogènes de la faune sauvage est un élément essentiel d'un programme sanitaire national de la faune sauvage. Un programme zoosanitaire national n'est pas complet sans programme de surveillance générale des agents pathogènes de la faune sauvage. La surveillance générale constitue le moyen pour les pays de déterminer quels sont les pathogènes présents dans leur faune sauvage et la seule forme existante de vigilance nationale pour les maladies émergentes associées à des agents pathogènes de la faune sauvage.

2. Eléments d'un programme général de surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage

Comme mentionné précédemment, la surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage consiste en quatre activités distinctes qui nécessitent d'être étroitement coordonnées au sein d'un programme cohérent de surveillance. Chacun de ces quatre éléments implique des personnes différentes, disposant d'une formation et d'une expertise propre et provenant souvent de différentes branches du gouvernement, d'organisations non gouvernementales ou d'universités.

a. Détection des agents pathogènes et des maladies

La surveillance générale des agents pathogènes et des maladies de la faune sauvage commencera souvent par la détection d'animaux sauvages malades ou morts. La plupart des programmes généraux de surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage reposent sur l'examen des animaux sauvages trouvés morts, ceux-ci constituant la ressource la plus importante des programmes de surveillance. Le premier élément d'un programme de surveillance générale des agents pathogènes de la faune sauvage consiste donc en un réseau de personnes susceptibles de rencontrer des animaux sauvages malades ou morts. Ces mêmes personnes ou d'autres doivent être préparées et formées pour collecter ces animaux sauvages morts et les transporter vers un laboratoire spécialisé dans le diagnostic des maladies animales ou bien elles doivent être formées pour pratiquer l'autopsie de ces animaux sur le terrain et pour expédier les échantillons adéquats au laboratoire. Qui peut mener à bien ce travail ? La réponse à cette question peut varier d'un pays à l'autre : un programme réussi requiert un réseau de personnes passant du temps dans les zones abritant des animaux sauvages et informés de la manière de notifier un animal sauvage malade ou mort aux autorités responsables d'assurer que des échantillons adéquats soient envoyés au laboratoire approprié. Les responsables des programmes de surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage doivent donc susciter l'intérêt et la coopération de toutes sortes de personnes qui fréquentent les zones utilisées par la faune sauvage. Ces personnes comprennent notamment les agents de conservation de la faune et les biologistes gouvernementaux, en principe associés aux ministères, départements ou agences (du pays, de l'état/province ou de la région) responsables de la gestion de la faune sauvage. Ces personnes auront besoin de l'accord et du soutien de leurs employeurs pour participer au programme de surveillance. Parmi les autres acteurs potentiels figurent les chasseurs, les pêcheurs, les naturalistes, les chercheurs universitaires, les organisations de conservation non-gouvernementales, les spécialistes de la réhabilitation de la faune et le grand public. Pour s'assurer de leur participation au programme de surveillance, il convient de les informer régulièrement sur le programme, de les encourager à y participer et de les récompenser pour ce faire. Cela peut nécessiter un certain support, comme l'accès gratuit au téléphone pour le personnel du programme de surveillance, comme des séances spéciales de formation ou comme, parfois, une aide financière ; cela comprendra également des comptes rendus sur les résultats du programme de surveillance afin d'entretenir leur intérêt et leur collaboration. Les responsables du programme de surveillance des pathogènes de la faune sauvage devront chaque année consacrer du temps et des ressources pour entretenir et soutenir ce réseau d'individus engagés dans la détection d'animaux sauvages malades ou morts et dans le transport d'échantillons aux laboratoires. Il est important d'établir des lignes directrices en matière de biosécurité, d'équipement de protection personnelle et de manipulation des échantillons pour appuyer le personnel de surveillance.

b. Identification des agents pathogens et des maladies

Une fois que des animaux sauvages malades ou morts ont été détectés, ils doivent être examinés afin de déterminer pourquoi ils sont malades ou morts et quels sont les agents pathogènes qu'ils sont susceptibles d'abriter. Qui est à même d'effectuer ce travail ? Ce travail peut être effectué uniquement par des pathologistes vétérinaires bien formés et exerçant dans des laboratoires de diagnostic des maladies animales convenablement équipés, employant également des microbiologistes, des biologistes moléculaires, des parasitologues et des toxicologues bien formés. Ces laboratoires doivent être capables d'identifier toutes sortes de toxines, de contaminants environnementaux et de poisons. Ces laboratoires sont très souvent associés à un ministère, à un département ou à une agence du gouvernement, responsable de l'agriculture, de la santé des animaux domestiques et des Services vétérinaires. Si ces fonctions sont séparées, les ministères ou les agences responsables de la faune sauvage et les ministères ou les agences responsables des laboratoires diagnostiques vétérinaires devront donc collaborer étroitement, quel que soit le programme de surveillance des agents pathogènes de la faune sauvage.

<u>Passage en revue des options de stratégies existantes pour la surveillance des maladies de la faune sauvage</u>

(Comprendre : les échantillons et les techniques susceptibles d'être utilisés pour la faune sauvage)

1. Question : Quels sont les avantages et les inconvénients des différentes techniques et les défis propres à la surveillance des maladies de la faune sauvage ?
2. Discussion : Examinez les types d'échantillons ou de données qui peuvent être récoltés : carcasses entières, capture d'animaux vivants, échantillonnage des animaux abattus par les chasseurs, échantillonnage des animaux tués sur la route, utilisation d'espèces représentatives, échantillonnage environnemental, enquêtes par questionnaire, surveillance syndromique, etc. Discutez des avantages de chacune de ces approches, sans

oublier l'accès, le coût, les ressources nécessaires pour obtenir des échantillons, leur validité, etc.

3. Question : Avez-vous des exemples récents de projets réussis de surveillance générale ou ciblée qui sont en cours ou qui ont été récemment mis sur pied
4. Question : Pouvez-vous justifier l'utilisation de certaines méthodes de collecte des échantillons ? Quelles sont les limitations des analyses selon le type d'échantillons récoltés ?

Veuillez-en outre discuter des aspects logistiques de l'échantillonnage invasif (sang, prélèvements d'organes) et de l'échantillonnage non invasif (oral / nasal / cloacal / écouvillons cutanés).

II. ENQUÊTES SUR LES FOYERS DE MALADIE DE LA FAUNE SAUVAGE

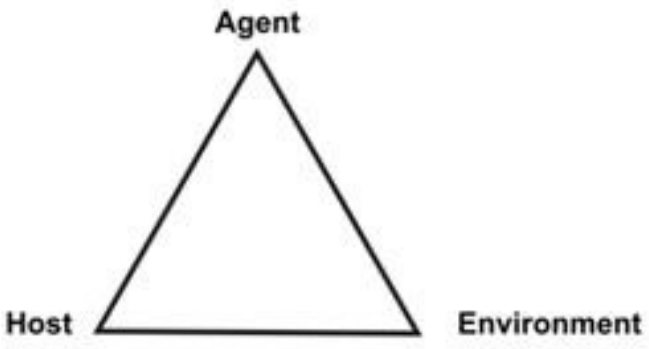
1. Qu'est-ce qu'un foyer de maladie ?

- OIE : L'occurrence d'un ou de plusieurs cas dans une unité épidémiologique.
- Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC) : Une augmentation du nombre de cas de maladies au-dessus du nombre "attendu" dans un lieu déterminé ou sur une période définie.
- Lorsqu'il s'agit de maladies rares, un seul cas peut être considéré comme un foyer.
- La loi peut imposer une enquête pour certaines maladies graves ou hautement contagieuses, à déclaration obligatoire.

Il existe différents types de foyers.

1. Population définie, mais agent pathogène inconnu. Un point commun en termes de source d'exposition peut être découvert.
2. Agent pathogène défini, mais population inconnue. Nécessite l'utilisation d'une approche cas-témoin, la distribution démographique des cas pouvant constituer le meilleur indice concernant l'exposition.
3. Agent pathogène défini dans une population connue. Vous devez chercher la source… et les expositions ultérieures (traces)
4. Agent pathogène et population inconnus. Un regroupement de cas syndromique sur une vaste zone géographique. Ceux-ci peuvent être en lien ou non.

Une maladie émergente est définie comme une nouvelle infection résultant de l'évolution ou d'une modification d'un agent pathogène ou d'un parasite existant et entraînant un changement du spectre d'hôtes, de vecteur, de pathogénicité ou de souche, ou l'émergence d'un agent pathogène inconnu auparavant. Lorsqu'un agent apparaît pour la première fois dans une nouvelle zone géographique ou une nouvelle gamme d'hôtes, il peut être considéré comme une maladie émergente. La globalisation, le changement des conditions climatiques et l'augmentation de la vitesse et du volume des transports internationaux ainsi que du trafic passager sont des facteurs connus susceptibles de favoriser la dissémination d'agents pathogènes et l'émergence de maladies.



Pour revue : Les facteurs importants à prendre en compte lorsque qu'on enquête sur une maladie infectieuse émergente sont représentés dans la triade épidémiologique :

Même si le reste de cette partie du manuel de formation est consacré à la préparation et à la réponse aux foyers de maladies infectieuses, il est sage de rappeler qu'un cas de mortalité dans la faune sauvage peut être dû à différents types d'agents (viral, bactérien, fongique, parasitaire ou prion), à des toxines biologiques (toxines d'algues, mycotoxines, botulisme aviaire), à des toxines chimiques (huiles, plomb, mercure, cyanure, sel, composés organophosphorés, insecticides, pesticides, etc.), à une électrocution, à des changements météorologiques violents ou à un traumatisme.

Planifier la riposte : Une planification efficace pour combattre les foyers de maladies dans la faune sauvage requiert une compréhension des opérations de contrôle des maladies et des besoins élémentaires tels que personnel, équipement, fournitures et autorisations.

2. Enquete sur en foyer de maladie

Le but de passer en revue les étapes d'une enquête sur un foyer de maladie et d'y familiariser les équipes est de s'assurer qu'elles soient prêtes à répondre à un véritable foyer. Un exercice de simulation peut être réalisé en conjonction avec cet aperçu pour renforcer la sensibilisation des vétérinaires et des professionnels de la faune sauvage aux risques, à la détection précoce et aux mesures d'urgence pendant un foyer, pour améliorer les connaissances en matière d'échantillonnage, de stratégies de surveillance et de suivi, pour discuter les méthodes de contrôle et de prévention et pour passer en revue les étapes d'une enquête épidémiologique. Les étapes suivantes caractérisent généralement les enquêtes épidémiologiques sur les foyers de maladie :

a. Vérifier qu'il s'agit bien d'un foyer ;

b. Confirmer le diagnostic ;

c. établir la définition du cas ;

d. épidémiologie descriptive ;

e. Formulation d'une hypothèse ;

f. épidémiologie analytique ;

g. Mesures de prévention / de contrôle préliminaires ;

h. Communication des résultats ;

i. Déterminer la surveillance/le suivi de la maladie .

Même si ces étapes sont énumérées dans un ordre séquentiel logique, il est important de comprendre qu'elles peuvent avoir lieu simultanément. Une confirmation du diagnostic peut intervenir en même temps que l'élaboration de la définition du cas. Et même si l'enquête épidémiologique est en cours, il est relativement probable que des mesures préliminaires de contrôle et de prévention soient déjà engagées. La communication avec les gens sur le terrain, les laboratoires, les représentants du gouvernement et les autres acteurs et partenaires est essentielle pendant et après l'épidémie. Certaines étapes peuvent nécessiter des mesures continues ou un ajustement (communication et contrôle constituent typiquement des étapes continues et dynamiques durant l'enquête sur un foyer).

a. Vérifier qu'il s'agit bel et bien d'un foyer de maladie

En raison de l'importance des ressources nécessaires pour enquêter de manière correcte sur un foyer, il est impératif de déterminer qu'il s'agit bel et bien d'un foyer de maladie. Il existe des exemples d'états ou d'entités fédérales où une épidémie a été signalée, mais s'est finalement avérée être une fausse alarme : causée par un changement de personnel au laboratoire avec identification erronée d'un agent infectieux, un changement des seuils de notification, un changement des protocoles de test ou des biais dans la notification ayant conduit à signaler des cas dans une zone géographique donnée. La comparaison avec les données historiques est importante pour déterminer si un événement est au-delà de ce qui est attendu normalement. Il peut être nécessaire de répondre et de garder les pieds sur terre pour déterminer s'il s'agit bel et bien d'un foyer, mais cette étape ne doit pas être brûlée avant de déployer du personnel en grand nombre, de déplacer des équipements, etc. Il est également important de garder à l'esprit que, même dans les cas confirmés de mortalité de la faune sauvage, une origine infectieuse peut ne pas en être la seule cause possible. Une intoxication (naturelle ou intentionnelle), un traumatisme, les intempéries, une électrocution peuvent également être à l'origine de cas de mortalité à large échelle et les cas peuvent avoir une origine multifactorielle.

Wildlife

Blackbirds down

Jan 5th 2011, 16:28 BY THE ECONOMIST ONLINE Timekeeper Like 543 Tweet

Incidents of mass wildlife mortality are quite common

THREE thousand blackbirds fell from the sky in the American state of Arkansas on New Year's Eve. The cause has not yet been determined but preliminary laboratory tests revealed acute physical trauma. Fireworks may have been to blame. While the incident was alarming, it is not unprecedented, according to America's National Wildlife Health Centre which monitors wildlife mortality events across America. One of the biggest such events occurred in 1986, when 30,000 Ohioan blackbirds and starlings were poisoned over a period of eight days. Our chart shows the incidents that caused the most wildlife fatalities in 2010.

b. Confirmer le diagnostic

La confirmation du laboratoire est nécessaire pour déterminer la cause de la maladie. Beaucoup de foyers sont causés par des agents infectieux déjà connus, ayant migré vers de nouveaux hôtes, de nouvelles régions géographiques ou ayant subi une mutation de leur souche responsable d'une augmentation de leur virulence et susceptible de causer la mort. Dans certains cas, un foyer de maladie dans la faune sauvage peut être dû à un agent jusqu'ici inconnu et des recherches seront nécessaires pour découvrir, caractériser et donner un nom à l'agent causal. Pour exemple, le syndrome du nez blanc (white nose syndrome, WNS), causé par *Pseudogymnoascus destructans*, est une maladie émergente aux Etats-Unis. L'agent initial et la cause des décès n'étant pas connus, une enquête épidémiologique a eu lieu pour évaluer la répartition géographique de la maladie et les espèces concernées. Après d'intenses travaux de laboratoire, le champignon responsable de ce syndrome a finalement été isolé.

La détection précoce ainsi que l'évaluation rapide et exacte des causes d'un foyer de maladie sont essentielles pour que les mesures de contrôle de la maladie soient efficaces. L'envoi rapide d'échantillons adéquats à un laboratoire diagnostic qualifié est nécessaire pour identifier rapidement le problème et il est essentiel d'en informer le laboratoire au préalable.

c. Définition du cas

Quels sont les détails nécessaires pour définir un cas ? (Voir les lignes directrices de l'OIE et les définitions de cas établies pour les maladies connues de la faune sauvage.)

1. Population ;
2. Emplacement ;
3. Cadre temporel ;
4. Distribution / limites géographiques ;
5. Signes cliniques ;
6. Confirmation du laboratoire (cas confirmé, suspect, probable).

Liens vers des exemples disponibles de définitions de cas du Département de l'agriculture des Etats-Unis, Services vétérinaires, Animal Plant Health Inspection Service :

- Encéphalite Equine de l'Est :https://www.aphis.usda.gov/vs/nahss/equine/ee/case_definition_eastern_equine_encephalitis_01_18_11.pdf ;
- Virus du Nil occidental : https://www.aphis.usda.gov/vs/nahss/equine/wnv/case_definition_west_nile_virus_09_15_11.pdf ;

- Nouvelle maladie entérique porcine à coronavirus (swine enteric coronavirus disease, SECD) incluant le virus de la diarrhée épidémique porcine (PEDV) : https://www.aasv.org/pedv/regulation/ secd_case_definition.pdf.

d. Epidémiologie Descriptive

Les résultats des études d'épidémiologie descriptive consistent à fournir des informations sur la fréquence et la distribution de la maladie. Il n'existe pas d'hypothèse préconçue lorsque l'on procède à des études descriptives. Les études descriptives visent à déterminer l'étendue de l'épidémie :

1. Qui (quelle est la population affectée ?) ;
2. Quoi (cause infectieuse ou autre chose ?) ;
3. Où (étendue géographique du problème) ;
4. Quand (cadre temporel de l'événement ? Encore de nouveaux cas?).

Les études d'épidémiologie descriptive sont utilisées au début d'une épidémie pour tenter de déterminer les facteurs initiaux de risque afin d'aider les chercheurs à formuler des hypothèses préalables. Il s'agit généralement d'études rapides qui nécessitent moins de temps et de ressources que des études analytiques plus compliquées. Les études descriptives ne fournissent pas de quantification des risques ou des probabilités ; elles ne définissent pas les facteurs de causalité. De nombreux manuels d'épidémiologie traitent des bases de l'épidémiologie descriptive ; nous ne discuterons donc pas plus en détails de ce sujet. En voici un bref aperçu :

1. Etudes de corrélation (écologiques) : collectent des données au niveau de la population, dans le but de montrer la corrélation entre deux facteurs. Ces études produisent un coefficient de corrélation R, allant de -1 à +1.
2. Etudes de cas : Description d'un cas unique d'une maladie ou d'une infection nouvelle / intéressante / pas encore décrite. Elles font la jonction entre les résultats diagnostiques ou cliniques et l'épidémiologie.
3. Séries de cas : Rapports regroupant des données à partir de plusieurs cas avec un diagnostic identique ou similaire. Les séries de cas peuvent aider les chercheurs à formuler une hypothèse concernant les facteurs de causalité et de risque, mais elles ne permettent pas de définir un risque statistique.
4. Enquête par questionnaire: les enquêtes par questionnaire peuvent être utilisées pour déterminer la fréquence des maladies avec leurs facteurs associés à un moment donné. Elles peuvent être répétées pour suivre l'évolution de la prévalence. Des échantillons représentatifs de la population peuvent être comparés en termes d'exposition. Les résultats peuvent montrer des différences en matière d'âge, d'exposition, de saisonnalité, de géographie ou d'espèce.

e. Formulation d'hypothèses

Grâce à l'épidémiologie descriptive (qui est destinée à être utilisée au début d'une épidémie pour identifier les domaines d'investigation ultérieurs), l'équipe sur le terrain devrait disposer de certains facteurs de risque méritant d'être investigués plus avant. Les données cliniques ainsi que les données de laboratoire peuvent

fournir des informations dans le cas où un agent infectieux est responsable du cas de mortalité de la faune sauvage. Il est important de combiner les résultats de laboratoire avec la pathologie connue pour l'agent concerné, avec les informations concernant la période d'incubation, avec les réservoirs connus de la maladie, les sources potentielles d'infection, les voies de transmission ainsi qu'avec le tableau clinique / la présentation classique de la maladie.

Par exemple, suite à une enquête épidémiologique descriptive d'un foyer de rage chez les loups éthiopiens (*Canis simensis*), les épidémiologistes ont émis l'hypothèse que les loups en contact direct avec des chiens domestiques (*Canis lupus familiaris*) présentaient un risque de rage plus élevé que les loups sans contact. Cette hypothèse concernant la variabilité dans le taux de contact peut être testée selon des méthodes épidémiologiques analytiques telles que décrites plus loin.

f. Epidémiologie analytique

Contrairement aux études descriptives, l'épidémiologie analytique va plus en profondeur et est destinée à valider ou à invalider une hypothèse de travail. Dans certaines épidémies, l'épidémiologie descriptive désigne rapidement la source d'infection, rendant toute analyse complémentaire superflue. Dans certains cas concernant la faune sauvage ou dans des cas susceptibles de toucher la faune sauvage et les animaux domestiques ou les humains, la source peut toutefois être incertaine et rendre utile le recours à l'épidémiologie analytique pour tester formellement l'hypothèse.

Trois modèles généraux d'étude peuvent être utilisés en épidémiologie analytique :

1. L'étude transversale : mesure simultanément l'exposition et les résultats et détermine la relation entre les groupes. Cette mesure est fréquemment utilisée dans les enquêtes concernant la faune sauvage, mais elle ne peut pas être utilisée pour déterminer les facteurs de causalité.

2. L'étude cas-témoin : ce type d'étude débute par l'identification de groupes de malades (cas) et de groupes d'animaux en bonne santé (témoins) et s'intéresse rétrospectivement à les comparer avant l'exposition. Dans les scénarios concernant la faune sauvage, il est difficile d'obtenir des informations datant d'avant l'exposition, ce qui rend les études cas-témoin compliquées et souvent inexactes. Les biologistes spécialistes de la faune sauvage peuvent utiliser les facteurs observés aux conditions actuelles comme approximation des conditions présentes au moment de l'apparition du foyer.

3. L'étude de cohorte : ce type d'étude compare deux cohortes de populations (exposée et non exposée) et suit ces deux groupes sur la durée afin de comparer l'évolution (incidence) de la maladie.

Dans notre exemple de foyer de rage chez les loups d'Ethiopie, nous pourrions utiliser une étude de cohorte pour étudier le rôle que les interactions avec les chiens domestiques peuvent avoir sur le risque d'infection par la rage. Cela pourrait comprendre le suivi des déplacements et le statut infectieux au regard de la rage des louveteaux sur la durée, ainsi qu'une estimation de leur utilisation des régions occupées par les humains et comprenant de grandes populations de chiens domestiques. Cela permettrait d'estimer l'incidence des infections rabiques par rapport au taux de contact avec les chiens domestiques.

g. Mesures de contrôle / de prévention préliminaires

Le contrôle des maladies de la faune sauvage est un défi et les mesures peuvent ne pas avoir le même impact ou la même faisabilité qu'attendus lors de foyers de maladie chez les animaux domestiques. Les mécanismes de contrôle peuvent comprendre : la modification du trajet ou de la probabilité de transmission en interrompant la chaîne infectieuse. Si l'on reprend la triade épidémiologique de base ou celle des maladies à vecteur, il faut, pour une stratégie de contrôle, modifier la population hôte, l'agent, l'environnement ou le vecteur.

Les animaux sauvages qui sont morts de la maladie constituent souvent la source primaire de l'agent pathogène et, dans la plupart des situations, leur carcasse devrait être évacuée de l'environnement pour éviter la transmission de la maladie à d'autres animaux par contact avec elle ou par la consommation de la carcasse infectée. L'évacuation de la carcasse devrait être planifiée afin d'éviter une contamination mécanique des zones environnantes. En outre, un plan logistiquement réaliste pour l'élimination des carcasses doit être en place avant de déplacer une carcasse quelle qu'elle soit. L'objectif principal de l'élimination des carcasses est d'éviter la dissémination de l'agent pathogène à d'autres animaux par une contamination environnementale. L'incinération, l'enterrement, l'équarrissage et le compostage constituent quatre options viables pour l'élimination des carcasses.

En plus d'évacuer les animaux morts ou malades de la zone, il peut s'avérer nécessaire de protéger les animaux vivants et apparemment en bonne santé durant les activités de contrôles de la maladie. Selon les circonstances de l'épidémie, pensez à interdire l'utilisation de sites spécifiques par les animaux en les éloignant de la zone problématique, en concentrant et en retenant la faune dans une zone spécifique ou en capturant les animaux en vue d'un échantillonnage. Des dispositifs pour les effaroucher (explosifs à base de propane ou pétards) peuvent être utiles pour tenir la faune sauvage à distance d'un cas toxique ou infectieux. Le harcèlement avec des avions, des hélicoptères, des hydravions, des motoneiges ou d'autres engins motorisés peut permettre d'éloigner la faune sauvage des zones de maladie problématiques. Les méthodes destinées au rassemblement, par exemple en attirant les animaux dans un autre secteur avec de la nourriture ou de l'eau, peuvent aussi être envisagées. Le déplacement d'animaux peut être envisagé pour les écarter d'une région dangereuse pendant que l'évacuation et l'élimination de la carcasse ainsi que les efforts de désinfection sont en cours.

Le but d'une désinfection est d'éviter la transmission mécanique d'agents pathogènes à partir d'un endroit vers un autre par les individus, l'équipement ou les fournitures. Certains virus, certaines bactéries ou d'autres agents infectieux ont une persistance considérable dans l'environnement. Les zones affectées par les maladies causées par les prions (encéphalopathie des cervidés, tremblante, encéphalopathie spongiforme bovine) sont parmi les plus difficiles à désinfecter ; des recherches sont toujours en cours quant aux possibilités de décontaminer l'environnement dans des zones connues pour être infectées par le prion. Les spécialistes du contrôle des maladies seront consultés pour déterminer les meilleures options de désinfection d'un foyer infectieux. La désinfection locale de l'environnement concerné par un foyer de maladie peut être nécessaire pour éviter la résurgence de la maladie lorsque le site sera utilisé par d'autres animaux.

La lutte contre les insectes peut constituer une option dans les régions où les maladies à vecteur sont une préoccupation. Des mesures thérapeutiques ou prophylactiques

susceptibles d'affecter les hôtes sensibles (vaccins antirabiques oraux, par exemple) peuvent également être envisagés.

Les comportements humains doivent parfois être modifiés pour réussir à enquêter et à contrôler une épidémie, qu'il s'agisse de limiter l'accès à certaines zones (p. ex. quarantaine), d'éviter de transporter accidentellement des agents d'une zone infectée vers une zone indemne ou d'éviter que les humains (p. ex. les chercheurs) fassent office de vecteurs mécaniques. Un exemple de ce cas de figure est l'interdiction d'accès aux grottes dans les zones où l'on veut éviter l'introduction et le déplacement de l'agent responsable du syndrome du nez blanc.

h. Communiquer les résultats

On ne peut que trop insister sur l'importance de la communication. La communication avec les responsables de la santé publique ou agricole sera établie dans le cas d'une maladie agricole ou zoonotique ou s'il existe le moindre risque pour la sécurité des aliments. Les responsables de l'environnement seront contactés dans le cas d'une contamination toxique, chimique ou d'une autre contamination environnementale. L'information mise à disposition du public doit être rapide, précise et sans jargon scientifique.

Conseils pour réussir sa communication au public en cas d'événement de mortalité à large échelle (extrait du matériel de cours des Centres pour le contrôle et la prévention des maladies sur la communication en cas de crise, d'urgence ou de risque) :

- Être le premier. Parler vrai. Être crédible.

- Etablir la confiance et la crédibilité en exprimant de l'empathie, de la bienveillance, des compétences, de l'expertise, de l'honnêteté, de l'ouverture, de l'engagement et du dévouement. « Nous aussi, nous sommes bouleversés par la découverte du troupeau d'antilopes. C'est une vision difficile à supporter. Nous sommes déterminés à élucider la cause de leur mort. »

- Ne pas rassurer à outrance. Il est important de ne donner que les informations dont on dispose sur le moment.

- Expliquer le processus plutôt que de trouver des réponses : « Nous avons 3 équipes d'experts qui travaillent à déterminer la cause des décès dans la région. Nous travaillons de concert avec l'université, la police et les représentants officiels internationaux. »

En raison des différences entre structures gouvernementales, la responsabilité de gérer les agents pathogènes et les maladies de la faune sauvage n'est pas toujours clairement attribuée. Certains agents pathogènes peuvent relever de la responsabilité du ministère de la Santé, tandis que d'autres peuvent relever du ministère de l'Agriculture et des services vétérinaires. La responsabilité de gérer les populations de faune sauvage incombe souvent aux Ministères de l'environnement, des forêts et de la pêche. Il peut exister des confusions quant à la ou les branches gouvernementale(s) responsable(s) de l'investigation, de la riposte et de la communication en cas d'épidémie. Lorsque les programmes réussissent, c'est souvent parce qu'il existe une bonne collaboration interministérielle ou inter-départementale, que les objectifs ont été communément acceptés et que les rôles et

les responsabilités de chaque entité ont été bien définis. Les structures de gouvernance et les plans de réponse préétablis peuvent être particulièrement utiles pour gérer les foyers. Pendant la période agitée de réponse à un foyer, la communication entre les agences impliquées devrait être quotidienne. Il est recommandé que les rôles et les responsabilités soient bien définis avant l'apparition d'un foyer et que les points de contacts soient connus et aisément localisables pour faciliter la communication.

i. Etablir une surveillance / un contrôle des maladies

Lorsque que l'enquête sur le foyer de maladie touche à son terme, il convient d'arrêter un plan pour poursuivre la surveillance et le contrôle de la maladie. Comme les ressources ont tendance à être limitées et qu'une réflexion approfondie doit être faite quant à leur utilisation, étudiez les questions suivantes :

- Quels sont les travaux qui seront poursuivis dans la phase suivante ?
- Comment comptez-vous surveiller les mesures de lutte contre la maladie ?
- Comment voulez-vous concevoir et mettre en place votre plan de surveillance ?
- Quels sont les ressources et les outils supplémentaires requis ?

III. VISUALISATION DES DONNÉES

1. Objet

Durant les enquêtes sur les foyers de maladies, il est souvent important d'être en mesure d'afficher la localisation géographique du ou des foyers. Cette information peut être utilisée pour communiquer avec les autres juridictions, agences ou parties prenantes dans le but d'améliorer la connaissance de la situation, d'évaluer les risques pour les précieuses ressources et pour la santé publique, pour suivre la propagation et pour évaluer les options de gestion. La visualisation peut consister simplement à placer un point sur une carte ou à développer tout un projet de système d'information géographique (Geographic Information Systems, GIS) pour l'épidémie. Le choix du mode de visualisation des données dépendra largement des ressources disponibles, du type et de la gravité de l'épidémie, du risque qui lui est associé ainsi que des objectifs globaux de l'enquête. Nous présenterons des techniques simples de visualisation des données au moyen de logiciels open source existants, susceptibles d'être utilisés par tout un chacun. Par ailleurs, nous vous fournirons des ressources et des informations sur les applications GIS plus détaillées ; discuter de ces applications en détail dépasse toutefois le cadre de cet atelier.

2. Google Earth

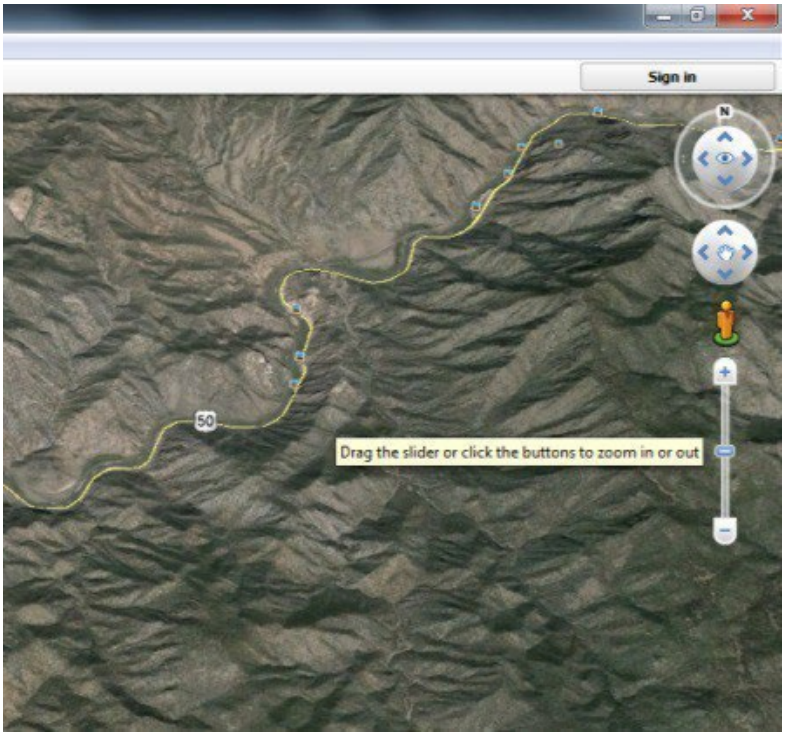
Nous commencerons par montrer comment utiliser Google Earth Pro pour créer des cartes partageables des emplacements de foyers connus. Google Earth Pro est un logiciel gratuit utilisé pour toutes sortes d'applications ; il peut être téléchargé à l'adresse suivante : http://www.google.com/earth/download/gep/agree.html. Une adresse de messagerie électronique et la clé GEPFREE suivante sont nécessaires pour utiliser le logiciel une fois installé.

3. Point unique

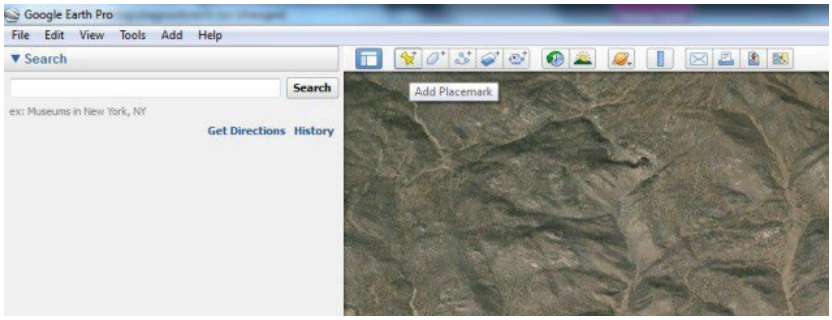
Nous commencerons par montrer comment placer un point unique (p. ex. l'emplacement d'un foyer unique) sur la carte selon les instructions suivantes :

1. Ouvrir Google Earth Pro en cliquant sur l'icône.

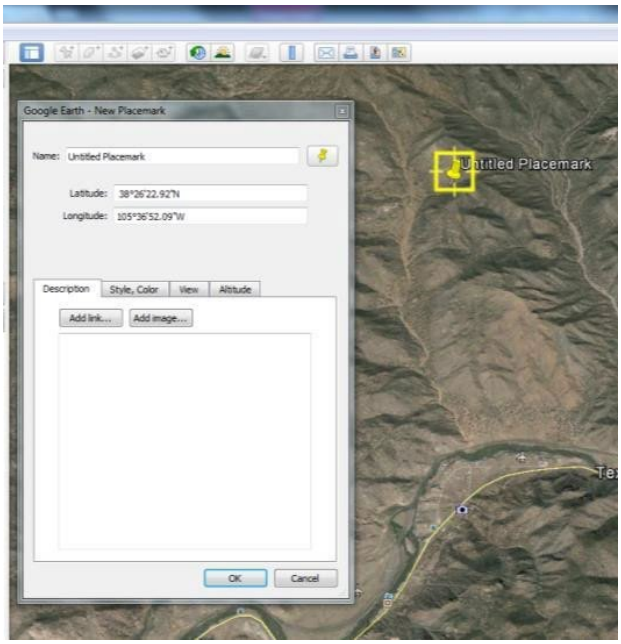
2. Utiliser la souris pour naviguer vers l'emplacement désiré sur le globe. Vous pouvez zoomer vers l'emplacement désiré en utilisation le curseur en haut à droite de l'écran.



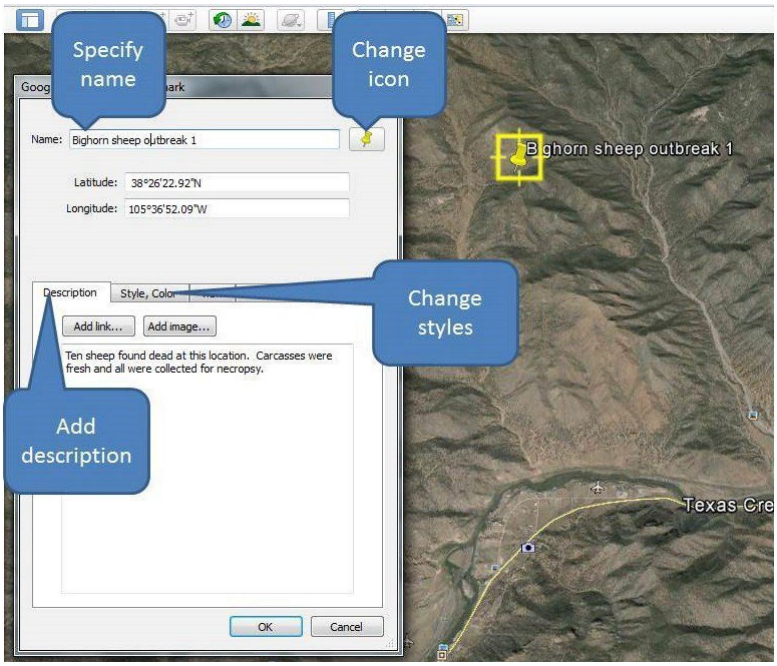
3. Une fois que vous êtes parvenu sur le lieu du foyer, vous pouvez placer un repère à cet emplacement. Allez-vous-en haut de la fenêtre de la carte et cliquez sur l'épingle jaune ou sur le bouton 'Ajouter un repère'.



4. Cela créera un carré jaune clignotant autour du repère. Ce nouveau repère peut être déplacé jusqu'à un emplacement précis en cliquant et en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé, puis en déplaçant le repère vers l'emplacement désiré. Une fois qu'il est à l'endroit souhaité, relâcher le bouton gauche de la souris. Une fenêtre de dialogue s'ouvre alors, vous permettant d'associer le repère aux informations utiles.



5. Vous pouvez choisir l'icône que vous voulez utiliser pour votre repère en cliquant sur l'icône épingle, dans le coin supérieur droit de la fenêtre de dialogue. Vous pouvez donner un nom à votre repère en cliquant dans la fenêtre de texte après 'Nom' et en y saisissant l'information (p. ex. Mouflon canadien, foyer 1). Si vous souhaitez ajouter d'autres informations, allez à l'onglet Description dans la boîte de dialogue. Cliquez dans la fenêtre de texte de cet onglet et ajoutez les informations souhaitées. Vous pouvez changer le style et la couleur de votre icône ainsi que le libellé qui y est associé en cliquant sur l'onglet 'Style, Couleur' dans la boîte de dialogue. Il existe encore d'autres options pour jouer avec l'apparence et la cartographie dans les onglets supplémentaires de la boîte de dialogue.

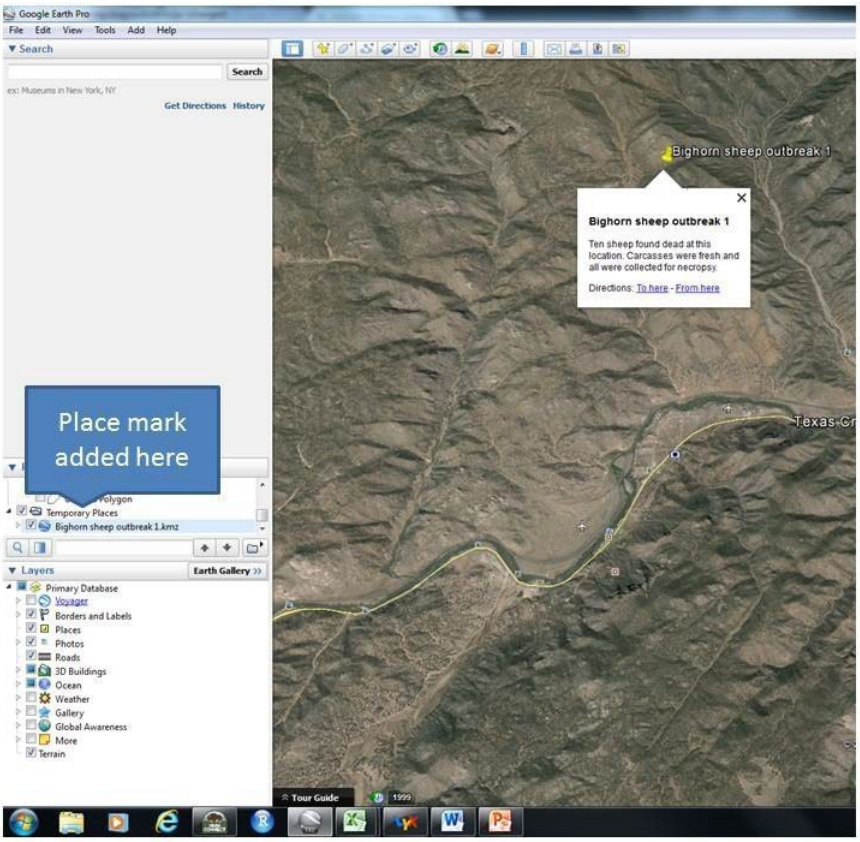


6. Une fois que vous avez terminé, cliquez sur le bouton 'OK' en bas de la fenêtre de dialogue.

7. Maintenant, lorsque vous cliquez sur votre repère, la description que vous y avez associée s'affiche. Si vous voulez modifier le contenu de la description, changer le nom ou le style, etc., il vous suffit de faire un clic droit sur l'icône du repère. Cela ouvrira la fenêtre de dialogue décrite précédemment et vous pourrez faire les modifications nécessaires.

8. Supposez maintenant que vous souhaitiez partager ce fichier avec des collègues ou des parties prenantes. Sauvez le dossier en allant dans le menu en haut à gauche de l'écran. Faites défiler vers le bas jusqu'à 'Enregistrer' et cliquez. Différentes options existent. Vous pouvez sauvegarder ce fichier soit sous forme d'image ou soit sous forme de dossier partageable. Choisissons cette option en cliquant sur 'Enregistrer le lieu sous'. Nous saisissons un nom pour notre fichier dans la fenêtre de dialogue. Le fichier peut être enregistré au format .kmz (fichier compressé similaire à winzip et incluant toutes les couches de la page, etc.) ou au format .kml (format de fichier Google Earth, non compressé). Nous sauvegarderons ce fichier comme étant outbreak1.kmz.

9. Le dossier peut désormais être envoyé à quiconque dispose d'un accès à Google Earth. Le destinataire peut ouvrir l'objet en allant dans le menu en haut à gauche de l'écran et en choisissant 'Ouvrir'. Cela lui permettra de naviguer jusqu'à l'emplacement, sur son ordinateur, du fichier désiré. Il pourra ensuite cliquer sur le fichier et l'ajouter à ses 'Lieux' en haut à gauche de l'écran.



10. Et voila!

Créer à partir d'un tableau

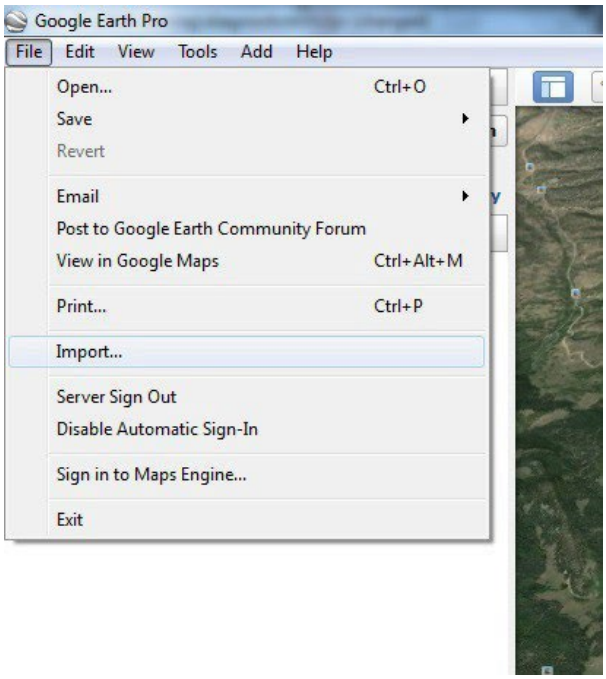
Nous vous avons initiés aux fonctions de base de Google Earth Pro permettant de partager des informations sur la localisation d'un foyer unique. Il arrive cependant souvent d'avoir à enregistrer plusieurs foyers en des emplacements distincts ou plusieurs emplacements individuels pour des animaux trouvés moribonds ou morts pour un foyer donné. La procédure décrite ci-dessus peut devenir fastidieuse lorsque le nombre d'emplacements se multiplie. Dans ce paragraphe, nous allons vous montrer comme créer des repères dans Google Earth Pro à partir d'un tableau.

1. Créez, si nécessaire, un tableau des emplacements qui vous intéressent. Google Earth Pro utilise le système de coordonnées géographiques (soit latitude et longitude) sur le Système géodésique mondial de 1984 (WGS84). Les emplacements peuvent donc être indiqués dans ce format. Google Earth reconnaître toutefois les coordonnées importées en degrés, minutes, secondes (DMS), en degrés décimaux (DDD) ou en degrés, minutes et secondes décimales (DMM). Le tableau des points de position que nous utiliserons pour notre démonstration est en DDD (voir ci-dessous).

2. Une fois votre tableau créé/reçu, ouvrez-le dans un logiciel tableur et enregistrez-le au format .csv (valeurs séparées par des virgules).

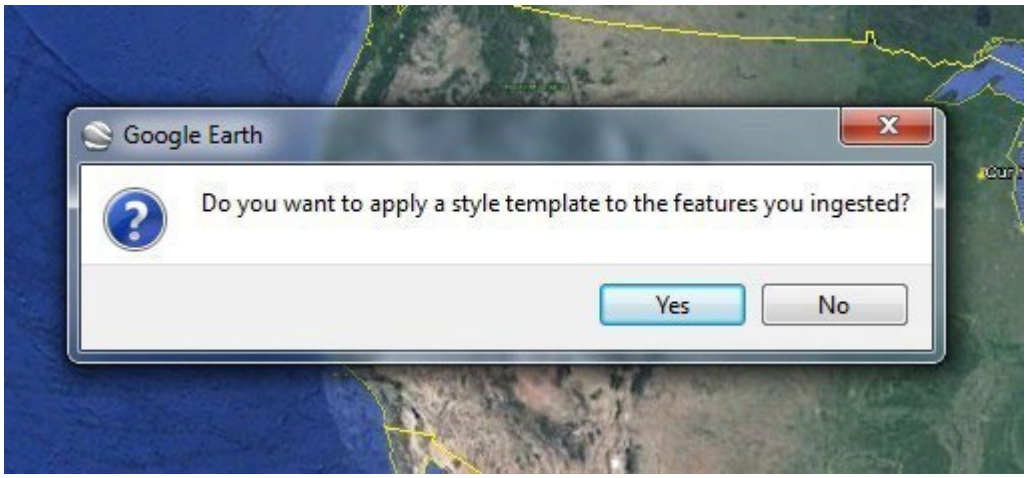
3. Maintenant ouvrez Google Earth Pro et cliquez sur le dossier 'Menu' dans le coin supérieur gauche. Déroulez vers le bas et choisissez 'Importer'.

Espèce	Sexe	Âge	Date	Nombre de décès	Latitude	Longitude	Commentaires
Mouflon canadien	M	jeune bélier de l'année	6/25/2016	1	37.600398	-105.102344	Observé par un citoyen
Mouflon canadien	F	2 agneaux	6/25/2016	2	37.611498	-105.085276	Un agneau moribond, un mort
Mouflon canadien	F	7+	6/31/2016	1	37.587884	-105.080647	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	F	tous 4+	6/31/2016	4	37.648576	-105.089739	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	F	agneaux	6/31/2016	1	37.623723	-105.047152	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	F	4+, jeune de l'année	6/31/2016	2	37.601617	-105.163026	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	F	jeune de l'année	6/31/2016	1	37.633389	-105.068236	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	M	4	7/1/2016	2	37.59999	-105.07778	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête
Mouflon canadien	F	agneau, 3	7/1/2016	2	37.61231	-105.15489	Trouvé par le biologiste chargé de l'enquête



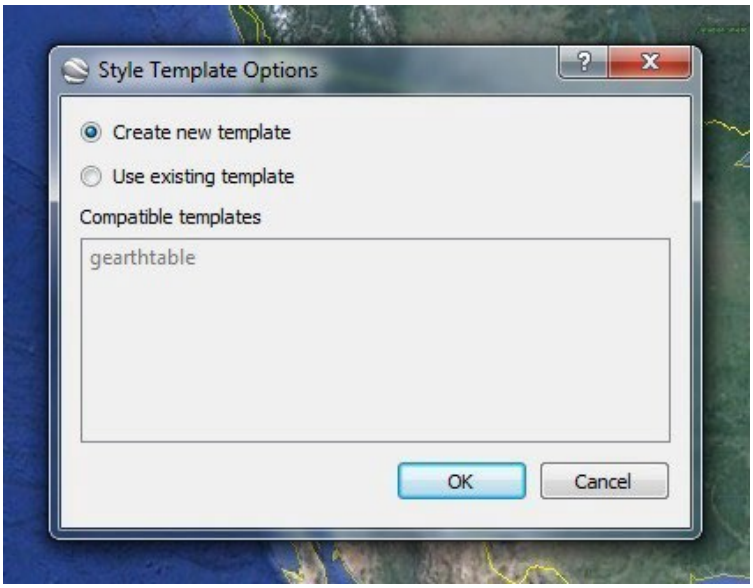
4. Une fenêtre de dialogue s'ouvrira où vous pourrez naviguer à la recherche du fichier .csv que vous avez créé à l'étape 2. Choisissez le fichier désiré et cliquez sur 'Ouvrir'.

5. La fenêtre de dialogue suivante apparaîtra :



6. Choisissez 'Oui' si vous désirez personnaliser le style d'affichage et les identifiants des repères pour chaque emplacement. Si vous choisissez 'Non', le style par défaut sera utilisé pour les repères et 'no name' pour les identifiants. Cela n'est généralement pas souhaité ; nous choisirons donc 'Oui'.

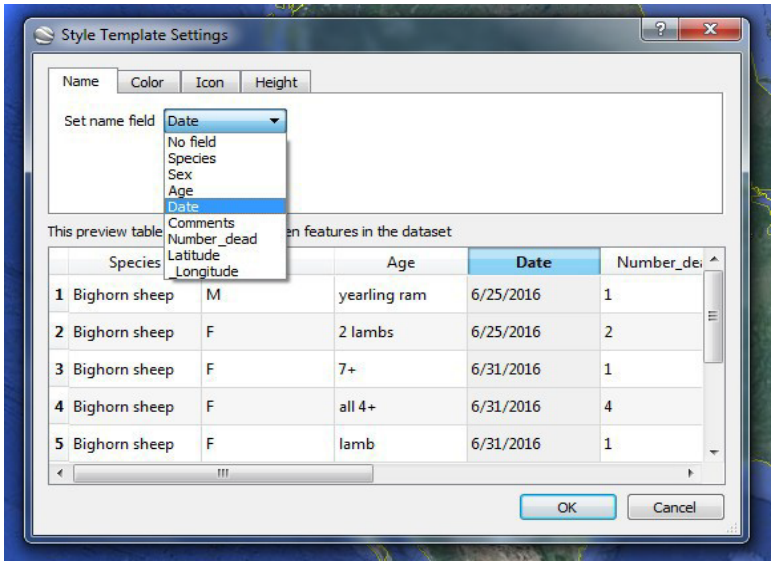
7. Une nouvelle fenêtre de dialogue s'ouvre alors.



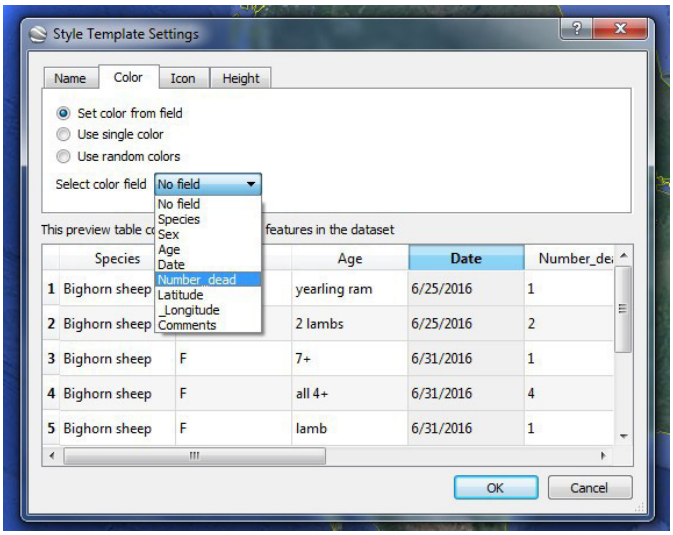
8. Si vous disposez déjà d'un modèle, vous pouvez le sélectionner ici. Dans le cas contraire, nous allons créer un nouveau modèle en choisissant 'Créer un nouveau modèle', et en cliquant sur 'OK'.

9. La fenêtre de dialogue qui apparaît contient un certain nombre d'options pour le style des repères.

   (a) Vous pouvez d'abord choisir un nom qui sera affiché pour chaque repère parmi les champs de nom du tableau que vous avez importé. Dans cet exemple, je choisis le champ des dates, ce qui se traduira par l'affichage de la date au-dessus de chaque repère.



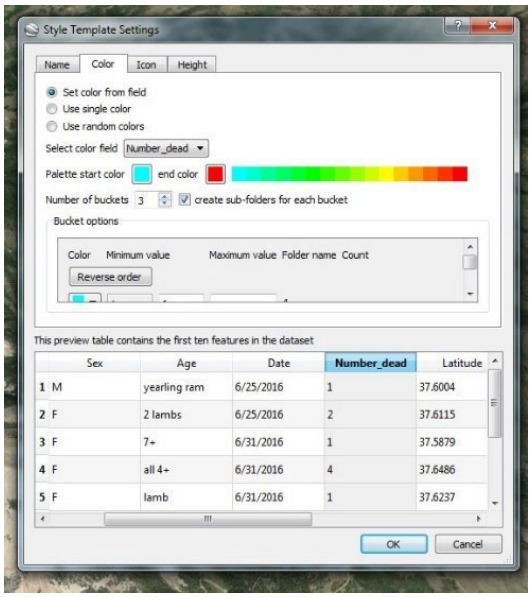
(b) Nous allons ensuite choisir la couleur de nos repères en cliquant sur l'onglet 'Couleur' dans la fenêtre de dialogue. Nous avons plusieurs options. Nous pouvons décider que tous les repères auront la même couleur ou assigner aléatoirement une couleur à chaque repère ou encore, assigner une couleur selon un champ de notre tableau. Nous choisirons cette dernière option et utiliserons le champ 'Nombre' de décès : en choisissant l'option 'Définir la couleur à partir du champ'. Cela se traduira par un affichage simplifié du nombre relatif d'individus trouvés à chaque emplacement.



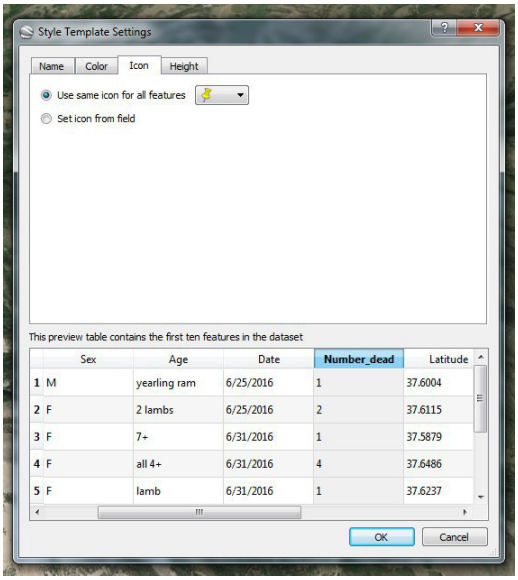
i. Une fois que nous avons sélectionné le champ 'Nombre de décès', nous pouvons créer notre palette de couleurs (c'est à dire, l'échelle de couleurs pour les différentes valeurs de 'Nombre de décès'). Je choisirai un vert clair comme étant ma 'couleur de début de la palette' et rouge pour ma 'couleur finale'.

ii. Nous avons ensuite la possibilité de choisir le nombre de 'segments'. Il s'agit par exemple du nombre de groupes que vous voulez créer sur la base des valeurs du champ 'Nombre de décès'. Nous avons seulement 3 valeurs différentes, je veux donc un seul segment pour chaque valeur ; si nous avions 100 valeurs distinctes, je pourrais décider de n'avoir que 10 segments et Google Earth Pro placerait les valeurs allant de 1 à 10 dans le premier segment ; les valeurs de 11 à 20 dans le second segment, et ainsi de suite. Vous pouvez aussi spécifier quels sont les nombres que vous voulez placer dans chaque segment ou inverser l'ordre des couleurs dans la rubrique 'Options de segmentation'. Pour cet exemple, nous allons laisser le nombre de 3 segments défini par défaut. À ce stade, vous avez également la possibilité de créer un sous-dossier de vos emplacements pour chaque segment en utilisant la liste déroulante à gauche de votre écran. Dans notre exemple, cela permet de sélectionner facilement des

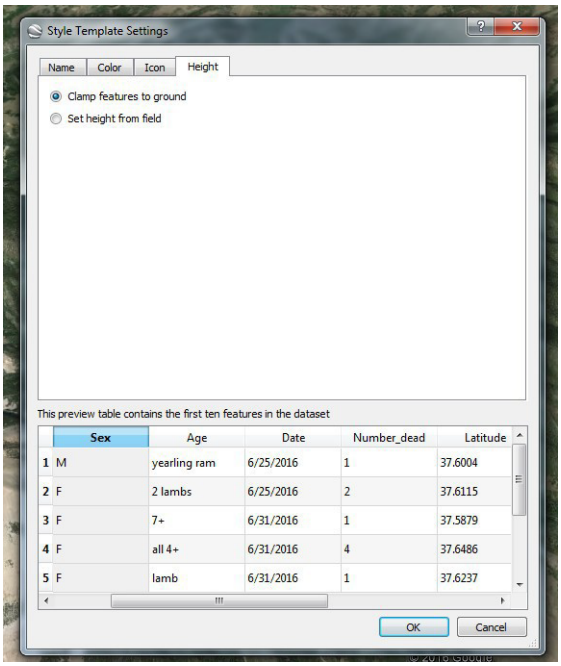
groupes d'emplacements sur la base du 'Nombre de décès'. Nous cocherons donc cette case.



(c) Nous pouvons maintenant choisir un style d'icône pour nos repères en cliquant sur l'onglet Icône. Une fois de plus, vous pouvez choisir une même icône pour chaque repère ou faire dépendre l'icône d'un champ de votre tableau. Dans notre exemple, nous utiliserons une seule icône pour tous les repères, une épingle.

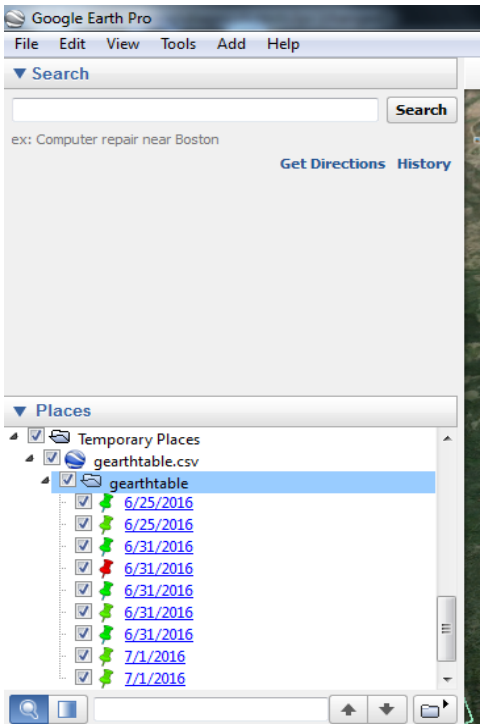


(d) Pour terminer, nous pouvons choisir la manière dont Google Earth Pro affiche les repères en relation avec la hauteur. Nous pouvons spécifier la hauteur sur la base d'un champ de notre tableau ou nous pouvons fixer ou définir chaque repère par rapport au sol. Nous choisirons cette option et cocherons l'option 'Repères au niveau du sol'. Ceci achève nos spécifications de style. Nous terminerons en cliquant sur 'OK'.



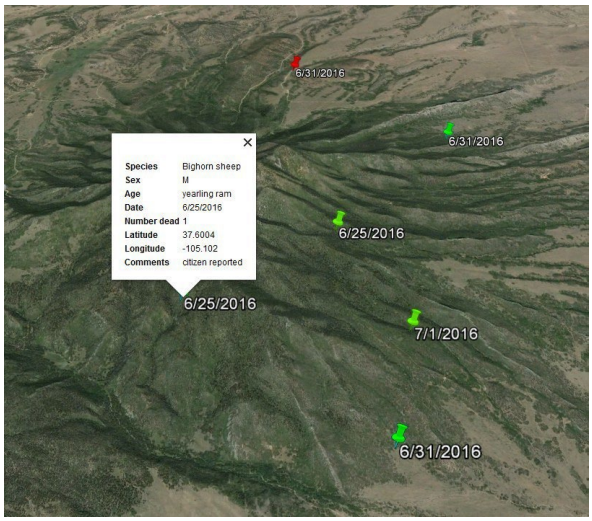
10. Nous enregistrerons ce nouveau fichier modèle comme on nous y invite.

11. Nos repères ont désormais été créés. S'ils ne s'affichent pas automatiquement, allez dans le menu déroulant à gauche de votre écran. Les repères nouvellement créés figurent sous 'Emplacements temporaires'. Vous trouverez un répertoire avec le nom de votre fichier .csv. Pour l'activer, cliquez dans la case à côté de son nom. Cela activera tous vos repères. Vous pouvez activer/désactiver des repères individuels en cliquant sur la flèche à côté de la case associée au nom. Cela affichera chaque repère avec sa case individuelle. Un clic dans cette case suffira à les activer/désactive.



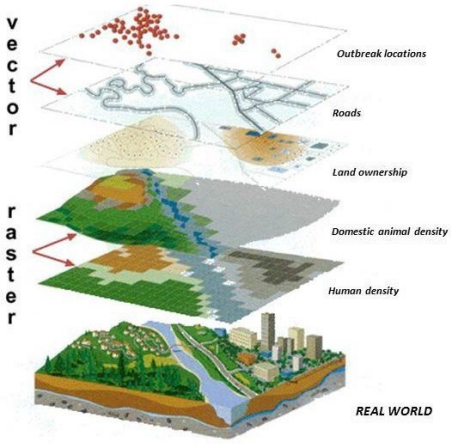
12. Vous pouvez maintenant vous déplacer pour voir vos repères et retrouver les informations associées à chacun d'eux en cliquant simplement sur eux.

13. Vous pouvez enregistrer et partager ce fichier de la même manière que celle décrite précédemment pour les repères uniques.



Nous avons présenté une manière simple de visualiser et de partager des données concernant des foyers de maladie. Il arrive souvent qu'une visualisation plus complexe des données soit nécessaire et implique la superposition de sources détaillées et variables d'informations géographiques. Dans ces circonstances, les systèmes d'informations géographiques (GIS) constituent un outil plus approprié.

Un GIS est un système conçu pour acquérir, conserver, manipuler, analyser, gérer et présenter tous types de données géographiques ou spatiales[1] dans le but de comprendre les tendances et les relations. La quantité de données géo-référencées aisément accessibles pour les enquêtes sur les foyers est en constante augmentation. Elles sont utiles pour évaluer les risques, la portée des répercussions et les mesures de gestion possibles. Un GIS donne les moyens d'exploiter la richesse de ces informations de manière efficace et rigoureuse. Il existe de nombreuses plateformes fournissant les outils et le cadre nécessaire à la création d'un GIS. ESRI (www.esri.com) est une société leader qui produit de nombreux produits GIS utilisés dans le monde entier, dotés de toutes sortes de fonctionnalités ; cependant, les coûts de licence peuvent être élevés. Il existe également des logiciels open source pour la construction de GIS. QGIS (www.qgis.org/) est un exemple de ce type de logiciels ; il est largement utilisé et dispose de bon nombre des fonctionnalités que l'on trouve dans les produits ESRI plus onéreux ; il existe de nombreuses autres applications GIS open source, dont certaines excellent pour des utilisations spécifiques. Une recherche sur internet constitue un bon moyen d'évaluer l'ensemble des outils potentiels disponibles et d'obtenir les différentes instructions. Nous ne discuterons pas les GIS plus en détail dans le cadre de cet atelier, mais nous voulions les aborder brièvement en raison de leur grand potentiel pour servir d'outil dans les enquêtes sur les foyers de maladie.



GIS

4. R Project

Nous continuerons notre discussion sur la visualisation des données en montrant quelques éléments du programme statistique R de visualisation des données. De fait, R est en passe de devenir le programme informatique pour l'analyse des données scientifiques. Il s'agit d'un logiciel open source qui offre une profusion de fonctionnalités géostatistiques, susceptibles d'être utilisées pour modéliser de manière rigoureuse les caractéristiques d'une maladie et l'évolution d'un foyer de maladie. Nous axerons notre présentation sur la manière de transférer et d'afficher les données géo-spatiales d'un foyer dans le programme R où des analyses statistiques sophistiquées pourront être effectuées (même si ces analyses-là dépassent le cadre de cet atelier). Le programme R et les bibliothèques nécessaires (à savoir les modules qui peuvent être chargés dans R pour des analyses particulières) peuvent être téléchargés gratuitement à partir du site web du CRAN

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system

(https://cran.r-project.org/). Notre exemple sera basé sur les épisodes de mortalité dus au syndrome du nez blanc (White Nose Syndrome, WNS) issus de WHISPers[2], l'outil de notification des cas des United States Geological Survey's National Wildlife Health Center's (NWHC). Cet outil sera brièvement discuté ; nous générerons cependant un fichier .csv à partir de cet outil et contenant la localisation spatiale et les données d'attribut associées à chaque cas de WNS rapporté au NWHC depuis 2007.Nous avons procédé à quelques retouches, importés les données dans R et créé une trame de données appelée 'wnsout'. Nous effectuerons un exercice à partir du tableau final ci-dessous.

```
##   States     Counties Event.ID Start.Date   End.Date
## 1     AL      Jackson    16432 2012-03-01 2012-04-15
## 2     AL    Limestone    17169 2015-02-04 2015-04-15
## 3     AR     Franklin    17133 2015-02-10 2015-04-01
## 4     AR Independence    17135 2015-01-16 2015-04-01
## 5     AR       Marion    16840 2014-01-12 2014-04-01
## 6     AR       Newton    17134 2015-01-31 2015-04-01
##   Affected                                          Species
## 1       71    Eastern Pipistrelle, Northern Long-Eared Bat
## 2        3                Eastern Pipistrelle, Indiana Bat
## 3        3 Eastern Pipistrelle, Big Brown Bat, Indiana Bat
## 4        2                            Eastern Pipistrelle
## 5        5                        Northern Long-Eared Bat
## 6        3                            Eastern Pipistrelle
##       Event.Diagnosis    XCOORD   YCOORD year
## 1 White-nose Syndrome -85.99936 34.77945 2012
## 2 White-nose Syndrome -86.98140 34.81010 2015
## 3 White-nose Syndrome -93.89064 35.51232 2015
## 4 White-nose Syndrome -91.56971 35.74157 2015
## 5 White-nose Syndrome -92.68422 36.26839 2014
## 6 White-nose Syndrome -93.21787 35.91997 2015
```

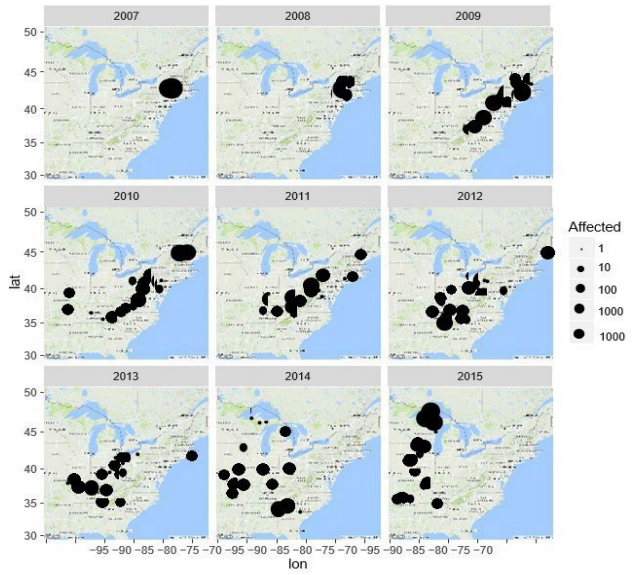
Nous utiliserons la bibliothèque ggmap pour visualiser les données des cas de WNS dans R. Nous commencerons par placer tous les cas dans un « graphique à bulles » afin d'illustrer l'emplacement et la taille relative de chaque cas. Nous utiliserons le code R suivant pour créer le diagramme. Nous n'examinerons pas plus en détail ce code, mais chaque ligne est immédiatement suivie d'une description de sa fonction afin de pouvoir le comprendre et le reproduire.

[2] https://www.nwhc.usgs.gov/whispers/

```
library(ggmap) #load necessary libraries
library(knitr)
#wnsout<-read.csv(wnsdata)
    #command to import data from .csv file
    ######Note it is currently commented out using 11#11

sbbox <- make_bbox(lon = wnsout$XCOORD, lat = wnsout$YCOORD, f = .01)
    #create bounding box for data
map<-get_map(location=sbbox, maptype = "terrain",
             source= google ,color= color )
  #pull the area interest from google maps

p1<-ggmap(map)+  #use map as background

  geom_point(data=wnsout,aes(x=XCOORD, y=YCOORD, size=Affected, shape=21))+
    #bubble plot of event locations/bubble sizes= based on # affected
  scale_size_continuous(breaks=c(1, 10, 100, 1000, 10000),
                        trans="log10",range=c(1,8))+
    #create breaks in # affected for bubble plot sizes
  scale_shape_identity()
    #used to allow shape =21/open circles be used for shape
p1  #plot map
```

En examinant ce diagramme, il est évident qu'il ne constitue peut-être pas la meilleure manière de visualiser les données, compte tenu du nombre de cas qui sont survenus et du degré élevé de superpositions spatiales. Nous allons donc reprendre le placement des informations mais en créant cette fois un graphique à bulles pour chaque année.

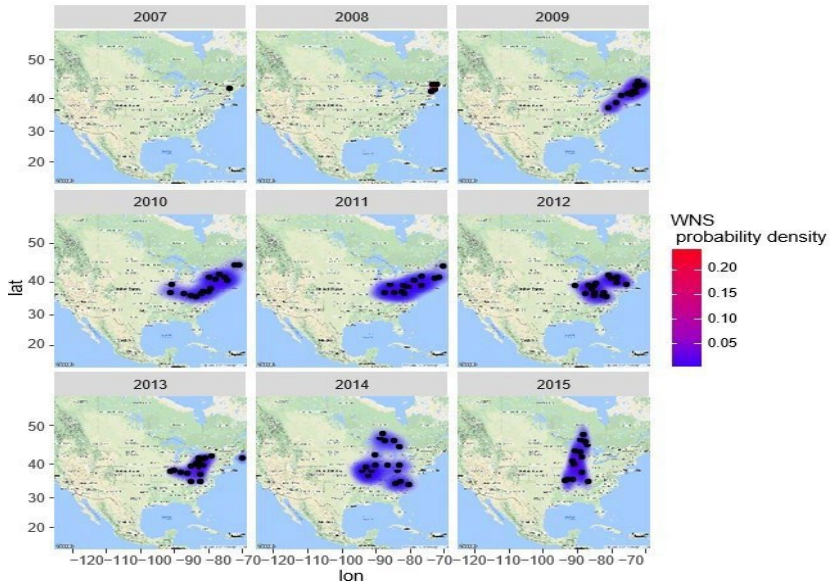
```
p1+facet_wrap(~year) #create bubble plot for each year
```



Parallèlement, il peut être souhaitable d'avoir une carte décrivant l'intensité des cas de WNS plutôt qu'une représentation sous forme de graphique à bulles. C'est là que la véritable puissance de R commence à apparaître. Une manière simple de créer ce type de cartes est d'utiliser une estimation classique de la densité de noyau afin de créer et de visualiser la surface d'intensité désirée. Cette surface peut ensuite être superposée à une carte pour fournir le contexte géographique requis. Pour ce faire, il suffit d'utiliser les quelques lignes de code suivantes :

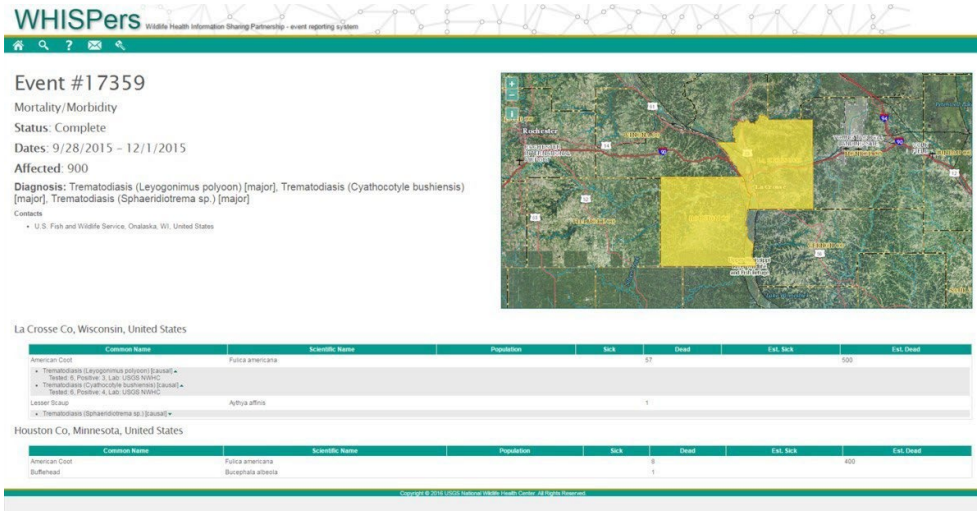
```
library(ggmap) #load necessary libraries
library(knitr)
#wnsout<-read.csv(wnsdata)
#command to import data from .csv file
# Note it is currently commented out using 11#11

map<-get_map(location="eastern united states",zoom=4, maptype = "terrain",
             source= google ,color= color )
  #pull the area interest from google maps


p2<-ggmap(map)+  #use map as background
    stat_density_2d(aes(x=XCOORD, y=YCOORD,fill=..level..),alpha=0.25,
                    data=wnsout, bins=20, geom="polygon")+
    #calculate kernel density of WNS events
  scale_alpha_continuous(range=c(0.1,0.5))+
    #set transparency
  scale_fill_continuous(low = "blue", high = "red",
                        name="WNS\n probability density")
    #set color ramp and legend title
p2  #plot map
```

Nous pouvons également créer une surface d'intensité pour chaque année, comme nous l'avons fait pour les graphiques à bulles. Il suffit pour cela d'ajouter une ligne de code supplémentaire.



R a encore bien d'autres fonctionnalités pour la visualisation des données, y compris la faculté d'importer des fichiers .shp (format de fichier GIS d'ESRI) ainsi qu'une profusion de fonctionnalités statistiques. Notre objectif ici est de proposer une brève introduction à R et de montrer quelques-unes de ses fonctionnalités pour la visualisation des données. Le désavantage de R est qu'il nécessite d'apprendre le langage de programmation ; il existe cependant de nombreuses ressources imprimées ou disponibles sur internet pour utiliser R si des instructions supplémentaires sont désirées.

USGS WHISPers: Nous terminerons en présentant cet outil de visualisation des données et de sensibilisation à la situation, spécifiquement développé pour les données de la faune sauvage. Le système de notification des cas WHISPers (Wildlife Health Information Sharing Partnership) développé par le NWHC est un répertoire en ligne pour le partage et la visualisation des informations élémentaires concernant les cas de mortalité et de morbidité actuels et passés chez les animaux sauvages. Le système fournit aux responsables des ressources naturelles des informations précises et à jour sur ces cas, dans le but de faciliter la gestion des maladies et les efforts de planification. On y accède à l'adresse suivante : https://www.nwhc.usgs.gov/whispers/. Un exemple de l'interface WHISPers est montré ci-dessous.

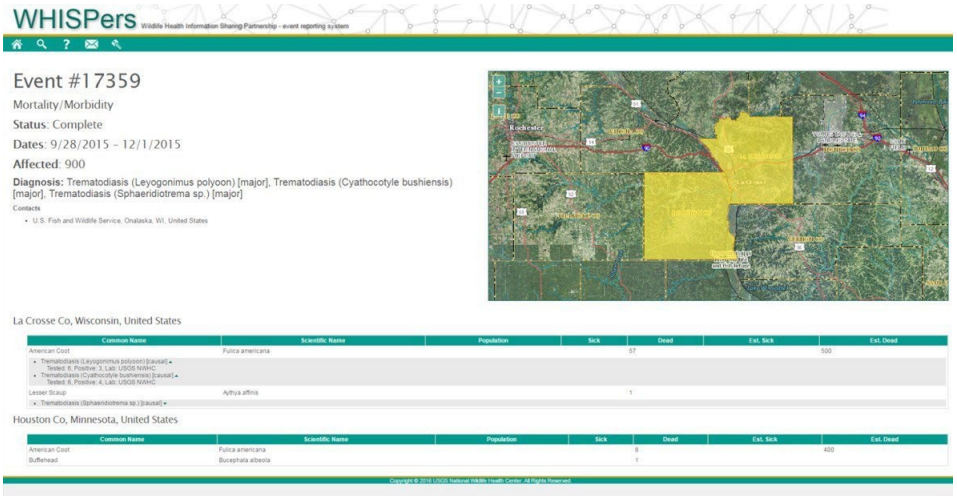


Contrairement aux bases de données de nombreux laboratoires vétérinaires, la base de données WHISPers a vu sa structure construite autour du concept de cas dans la faune plutôt que chez des animaux pris individuellement. Même s'il faut, pour déterminer la cause d'un cas, inclure les résultats diagnostiques d'un nombre représentatif d'animaux touchés, ces résultats

sont utilisés en conjonction avec les informations épidémiologiques (espèces touchées, distribution selon l'âge et le sexe, localisation, période de l'année, etc.) afin de déterminer la cause probable d'un cas de grande ampleur. Le fondement principal de ce concept est que la gestion des maladies de la faune sauvage est généralement instituée pour protéger des populations plutôt que des animaux à titre individuel. Par exemple, un individu dans une colonie d'oiseaux aquatiques coloniaux peut souffrir d'une infection bactérienne aiguë, mais si des centaines d'oiseaux meurent à cet endroit de botulisme aviaire, les efforts seront axés sur les circonstances concourant au foyer de botulisme.

Cette base de données contient actuellement plus de 40 ans d'enregistrements rassemblés par le NWHC sur des cas de mortalité dans la faune sauvage, y compris des informations sur des cas partagées avec le NWHC par ses partenaires du gouvernement fédéral et des Etats. Même si ce système est l'une des plus vastes bases de données sur les maladies de la faune existant aux Etats-Unis, les informations sont récoltées au gré des circonstances et sur la base de notifications volontaires faites au NWHC. C'est pourquoi elle contient un sous-groupe de tous les cas de mortalité documentés en Amérique du Nord.

Dans WHISPers, les dossiers peuvent être recherchés par espèce, par maladie, par localisation (au niveau des comtés américains), selon le nombre d'animaux affectés et selon la date du cas. Les cas peuvent être visualisés sur une carte interactive et les données peuvent être téléchargées dans des fichiers .csv. En sélectionnant un événement à partir de la liste de votre recherche, vous serez guidé vers un écran fournissant plus d'informations sur l'événement en question et incluant les contacts au niveau de l'agence et le nombre d'animaux touchés pour chaque espèce. Une foire aux questions ainsi que des instructions sur la manière d'utiliser WHISPers et d'y faire des recherches figurent également sur le site web.



Les travaux sont en cours pour créer un mécanisme permettant aux partenaires additionnels d'ajouter des informations sur les événements de mortalité de la faune sauvage et, par là même, d'améliorer à long terme la couverture temporelle, géographique ainsi que les espèces que couvre cet ensemble de données. Il est important de relever que ce système ne sera pas destiné à la collecte de données de science citoyenne, mais aux informations vérifiées collectées par des biologistes et dont le diagnostic a été confirmé en laboratoire. Ce site web requerra donc de ses utilisateurs de s'enregistrer comme contributeur avant de pouvoir y introduire des données. De la même manière que lors de

la création de « cercles d'amis » sur les médias sociaux, les utilisateurs pourront créer des « groupes d'utilisateurs » où ils pourront accorder à d'autres l'autorisation de visualiser et de modifier leurs données. Les pages de saisie des données incluront tous les champs de données pour les diagnostics, les espèces et les localisations ainsi qu'un champ permettant de définir si l'événement peut être visualisé par le public. Une fois que ces éléments auront été mis en place, les travaux pour incorporer des outils analytiques au site pourront débuter.

IV. Equipment de Protection Individuelle (EPI) et Sécurité Biologique durant les Enquêtes de Terrain sur les Maladies de la Faune Sauvage

1. Equipement de protection individuelle

Si vous êtes confronté à l'éventualité de devoir répondre à un événement de mortalité dans la faune sauvage, il est impératif d'être préparé à l'avance pour diminuer le risque de transmission de la maladie au personnel et pour garantir une collecte, une manipulation et une expédition convenables des échantillons. Il est tout aussi important d'avoir l'équipement approprié que de savoir comment mettre et enlever correctement un équipement de protection individuelle (EPI). En règle générale, lorsqu'il est possible qu'un cas de mortalité dans la faune sauvage soit causé par un agent infectieux, il relève de la responsabilité du l'équipe d'enquêteurs de porter des EPI et de fournir une protection appropriée aux autres personnes présentes sur le terrain. La disponibilité de ces équipements peut varier d'une région à l'autre. Pour cette formation, nous ne nous focaliserons pas sur une marque spécifique d'EPI, mais plutôt sur le but fondamental d'une protection. Il convient de noter que le moment opportun pour obtenir un EPI et s'entraîner à le mettre et à l'enlever correctement doit largement précéder l'événement de mortalité. Un personnel bien informé et entraîné devrait également connaître le type et l'emplacement des EPI attribués à son organisation afin de riposter de manière sûre et beaucoup plus rapide.

Note : Le type d'EPI dépendra du niveau de protection requis.

a. Options en matière d'équipements de protection individuelle dans les études de terrain

Les équipements les plus couramment utilisés sont : les masques, les gants, les bottes, les combinaisons, les respirateurs et les lunettes. Ces équipements constituent une barrière entre l'agent pathogène et vous-même. Le niveau de protection requis dépend de la situation.

Equipement suggéré (stocké dans une caisse prête à l'emploi pour les enquêtes sur le terrain) :

- bottes en caoutchouc ou couvre-chaussures lavables / désinfectables ;
- gants – plusieurs tailles, latex et nitrile ;
- blouses ;
- respirateur ou masque de protection faciale ;
- écran facial ou protection pour les yeux ;
- désinfectant et instruments pour son application (pulvérisateurs).

Les méthodes d'utilisation des EPI seront décidées selon la cause suspectée de maladie, le risque zoonotique pour les travailleurs, les voies possibles de transmission et les éventuelles possibilités de prophylaxie ou de traitement. Les EPI doivent également être évalués quant à leur aspect pratique et au poids additionnel qu'ils font peser sur le travailleur dans des conditions climatiques extrêmes. Lorsque les températures sont très élevées, les travailleurs ne devraient pas être tenus de porter des combinaisons intégrales, des respirateurs ou des écrans faciaux plus longtemps que nécessaire, par souci d'éviter la déshydratation ou le stress thermique.

Avant de commencer à travailler avec ou à proximité de la faune sauvage, posez-vous les questions suivantes :

- Quels sont les risques ou les dangers potentiels dans mon domaine et / ou liés à l'espèce avec laquelle je vais travailler ? Quels sont les signes cliniques de ces maladies chez l'homme et dans la faune sauvage ?
- En raison de ces risques, de quel EPI ai-je besoin avant de commencer à travailler ? Ai-je les compétences et les ressources nécessaires ? Esquissez un plan d'analyse du risque professionnel et discutez-en avec un supérieur.
- Existe-t-il des préoccupations spécifiques en matière de santé pour les membres de mon équipe ou pour moi-même ? Il peut s'agit de circonstances comme une grossesse, un système immunitaire affaibli, etc. Une vaccination préventive est-elle requise ?
- Existe-t-il des signaux d'alerte ? (Voir ci-dessous)

Signaux d'alerte :

Plusieurs animaux morts de cause inconnue, écoulement de sang par un orifice (naseaux, bouche, rectum, etc.) sans signe de traumatisme, présence de lésions purulentes dans les poumons, ou animal présentant des signes neurologiques.

Précautions standard de sécurité à prendre lorsqu'on travaille avec la faune sauvage ou lorsqu'on manipule des matières potentiellement infectieuses :

1. Toujours utiliser des barrières protectrices – ceci peut inclure le port de gants.
2. Se laver soigneusement les mains avec du savon et d'eau après avoir retiré les gants.
3. Désinfecter les équipements souillés et les surfaces ou les objets contaminés.
4. Ne pas manger, boire, fumer ou mâcher du chewing-gum lorsqu'on manipule des animaux sauvages.
5. À l'intérieur, travailler dans des zones bien ventilées ; à l'extérieur, travailler en amont des spécimens.

6. Faire attention à ne pas se piquer avec les aiguilles et à ne pas se couper. Prévoir et utiliser des récipients sécurisés pour éliminer les objets tranchants.
7. Transporter et stocker les échantillons de manière sûre et adéquate. Etiqueter les échantillons biologiques de manière appropriée.
8. Consulter un médecin en cas de maladie et l'informer en cas d'exposition potentielle à une maladie.

Les agents pathogènes de la faune sauvage se transmettent selon trois voies principales d'exposition : contact, aérosol et vecteurs. Etudiez chacune de ces voies pour l'activité prévue et la manière de vous protéger pour chaque scénario.

b. Contact

La voie de transmission la plus fréquente est le contact, notamment en se touchant les yeux, le nez ou la bouche avec des mains contaminées. Une bonne hygiène des mains constitue l'outil de protection le plus efficace:

- Portez des gants lorsque vous touchez les animaux, leurs fluides ou un environnement contaminé.

- Lavez-vous toujours les mains avec du savon et de l'eau (pendant au moins 20 secondes) lorsque vous retirez les gants. Ceci est particulièrement important avant de manger, de boire, de fumer ou d'utiliser un téléphone cellulaire.
- Un désinfectant pour les mains peut être utile sur le terrain lorsque vous n'êtes pas en mesure de vous laver les mains immédiatement.
- Envisagez le port de combinaisons lorsqu'il y a possibilité de contamination des vêtements ou des équipements.
- Si votre travail peut donner lieu à des éclaboussures ou à des gouttelettes, des lunettes ou des écrans de protection devraient faire partie de votre plan pour diminuer le risque de contact.

c. Aérosol

Nous recommandons de toujours travailler dans une zone bien ventilée et en amont d'une carcasse ou d'une zone potentiellement contaminée. De plus, dans les cas où l'espèce ou la zone géographique peut comporter des pathogènes à haut risque et des activités susceptibles de disséminer ces pathogènes par aérosol, une EPI supplémentaire pourra être nécessaire.

Les situations nécessitant une protection respiratoire comprennent :

- la réalisation d'une autopsie sur un animal suspect de peste ;
- la collecte ou l'autopsie sur le terrain d'une carcasse lorsqu'une dispersion par aérosol peut constituer un danger.

Le port d'un respirateur peut nécessiter une autorisation médicale et devrait être ajusté pour en assurer l'étanchéité. Les masques à poussière standard ressemblent aux respirateurs, mais ne filtrent pas dans la même mesure et peuvent ne pas vous protéger contre les agents infectieux.

d. Vectuer

Les maladies à vecteurs diffèrent selon la région géographique, le type de vecteurs, de pathogènes et d'hôtes potentiellement présents. Stratégies pour vous aider à vous protéger des maladies à vecteurs:

- Porter un insectifuge contenant du DEET et/ou porter des vêtements traités à la perméthrine.
- Porter des manches et des pantalons longs et insérer le bas des pantalons dans les chaussettes. Ou porter des combinaisons avec des fermetures élastiques aux poignets et aux chevilles.
- Contrôler la présence éventuelle de tiques immédiatement après le travail sur le terrain.
- Prendre une douche dans les deux heures qui suivent le retour du terrain. Si possible, placer les vêtements dans un séchoir pour tuer toute tique éventuelle.

e. Vaccins préventifs

Dans les régions où le virus de la rage est présent dans les populations de mammifères, la vaccination antirabique préventive doit être envisagée pour le personnel en contact avec la faune sauvage. La vaccination préventive ne dispense en aucun cas d'un examen médical après une exposition potentielle à la rage ; toutefois, elle simplifie et réduit les coûts et l'ampleur du traitement post-exposition. Le personnel courant le risque d'être exposé à la rage comprend les personnes qui manipulent les chauves-souris, celles qui sont responsables des enquêtes sur les cas de mortalité suspects de rage chez les animaux terrestres ainsi que toutes celles qui participent à la riposte à un événement avec des signes neurologiques de cause indéterminée. Dans le cas d'une exposition au virus de la rage, la maladie suit sans exception une évolution fatale une fois que l'individu présente des signes cliniques d'infection.

En plus d'une vaccination antirabique, il peut être approprié d'envisager la vaccination contre d'autres maladies (par exemple : la vaccination contre la variole protège contre la variole du singe) et d'élaborer un plan de santé au travail comprenant la disponibilité des antibiotiques et des médicaments antiviraux.

Au USGS National Wildlife Health Center, nos biologistes et nos techniciens en biologie sont porteurs d'une carte médicale contenant des informations sur les expositions possibles. Envisagez au besoin, comme élément du plan de sécurité au travail de votre entité, de créer une carte de ce type pour aider les médecins à détecter les maladies zoonotiques chez les travailleurs de terrain qui tombent malades.

Vous voyez ici une copie de cette carte :

ATTN: Medical Personnel

This person works with wildlife and may have been exposed to certain zoonotic diseases not routinely considered in the differential diagnoses of febrile illnesses. In case of sickness in this individual, please consider zoonotic diseases including, but not limited to the following:

Anthrax, Arbovirus encephalitis, Brucellosis, Giardiasis, Hantavirus, Hendra Virus, Highly Pathogenic Avian Influenza, Histoplasmosis, Leptospirosis, Lyme Disease, Monkeypox, Mycotoxicosis, Nipah Virus, Psittacosis, Q Fever, Rabies, Rocky Mountain Spotted Fever, Salmonellosis, Sylvatic Plague, Tularemia, Typhus, & West Nile Virus.

(continued on back)

For more information on the occurrence of these diseases in *humans*, please contact:
The Centers for Disease Control and Prevention
1600 Clifton Rd.
Atlanta, GA 30333
1-800-232-4636 (1-800-CDC-INFO)
http://www.cdc.gov/

CDC
CDC-INFO

For more information on the occurrence of these diseases in *wildlife*, please contact:
USGS National Wildlife Health Center
6006 Schroeder Rd.
Madison, WI 53711
(608)-270-2400
http://www.nwhc.usgs.gov/

USGS
science for a changing world

Le site suivant fournit d'excellentes ressources en matière de pratiques de sécurité dans le travail avec la faune sauvage : https://www.nps.gov/public_health/info/di/Field%20Guide%20NPS%20biologists.pdf. Avec la permission du United State Department of Interior National Park Service.

2. Sécurité biologique

Durant l'Assemblée mondiale des Délégués à l'occasion de la 83e Session générale de l'OIE (24-29 mai 2015), plusieurs nouveaux termes ont été incorporés au Code terrestre, dont la définition de la sécurité biologique. Définition de la sécurité biologique : mise en œuvre de mesures destinées à réduire le risque d'introduction et de propagation d'agents pathogènes

Le nettoyage et la désinfection adéquats de l'équipement et des véhicules dépendront de l'agent responsable du foyer de maladie. Parmi les options de nettoyage figurent les détergents, l'eau savonneuse, la vapeur, des désinfectants sous forme de spray, la lumière UV (lumière du soleil) et la dessiccation.

Il peut s'avérer très difficile, voire quasiment impossible de remédier à une contamination par certains agents (notamment les maladies à prions) et ceci doit être pris en compte avant d'emporter des équipements et des instruments dans la zone concernée. Lors de la planification d'une riposte à un foyer de maladie dans la faune sauvage, il est impératif que l'équipe d'enquête sur le terrain n'emmène pas l'agent pathogène d'une zone infectée vers une zone non infectée. Le trafic et les chercheurs mobiliseront, si possible, des équipes distinctes avec des véhicules, des équipements et un matériel pour l'échantillonnage distincts afin d'éviter tout risque de contamination croisée.

3. Sûreté biologique

L'application de connaissances, de techniques et d'équipements pour éviter une exposition du personnel, du laboratoire et de l'environnement à des agents infectieux ou à des dangers biologiques potentiels. Le personnel qui quitte une zone suspecte de foyer éliminera son EPI ou le décontaminera et le mettra dans un double sac avant de l'emmener hors du site. Tout équipement qui a été emmené dans une zone infectée doit être considéré avec circonspection. Des mesures de sécurité seront prises pour protéger les équipements difficiles à décontaminer (p. ex. caméra digitale, dispositif GPS, appareils radio de communication ou téléphones). Une option consiste à sceller ces objets dans des sacs plastiques transparents susceptibles d'être désinfectés avec les EPI. En plus des EPI, tous les équipements potentiellement contaminés devraient si possible être éliminés ou correctement désinfectés s'ils ne sont pas à usage unique. Les instruments, les équipements et les véhicules seront pris en compte lors de l'élaboration d'un plan de sûreté biologique en réponse à un foyer.

4. Point de sécurité biologique

Une zone désignée pour mettre ou retirer les EPI (zone de port et de retrait des équipements de protection individuelle) à la frontière entre la zone propre et la zone contaminée. Ce point peut comprendre une zone où se laver les mains et où nettoyer ses bottes. Un pédiluve ou des installations pour le nettoyage des bottes devrait être présents. Ce point inclura des sacs pour les déchets où placer les EPI contaminés. Le point de sécurité biologique constitue une frontière imaginaire entre la zone propre et la zone souillée et devrait être délimité. Il peut aussi exister une zone de trafic limité vers la zone suspecte si l'étendue géographique du foyer a été déterminée

V. EPREUVES DIAGNOSTIQUES

1. Objet

Les discussions précédentes ont été consacrées aux enquêtes sur les foyers de maladies et aux considérations logistiques qui leur sont associées. Nous allons maintenant examiner les épreuves diagnostiques en lien avec ces enquêtes. Il convient de relever que bon nombre des considérations discutées dans ces pages sont également pertinentes pour le choix des épreuves diagnostiques utilisées pour les activités de surveillance ; nous allons cependant orienter notre discussion vers les enquêtes sur les foyers. Il est essentiel, avant d'effectuer des épreuves diagnostiques, de définir clairement les exigences requises pour effectuer une épreuve en particulier. Même si l'objectif d'une enquête sur un foyer est de déterminer le mécanisme à l'origine du foyer, certaines questions devraient avoir trouvé une réponse avant de débuter les épreuves diagnostiques, comme par exemple :

1. Quelles sont les informations auxiliaires à disposition pour aider au choix de l'épreuve ?
2. L'épreuve a-t-elle été validée pour l'espèce hôte et pour l'agent pathogène concerné ?
3. Qu'est-ce que l'épreuve est sensée mesurer (p. ex. exposition passée, présence d'un germe donné) et est-ce suffisant ?
4. Quelles sont les caractéristiques de l'épreuve ?
5. Compte tenu de la qualité des échantillons récoltés, le fonctionnement de l'épreuve sera-t-il satisfaisant ?
6. L'épreuve est-elle facilement accessible dans ma juridiction ? Dans le cas contraire, puis-je trouver des laboratoires en mesure de l'effectuer ?
7. Quelles sont les exigences en termes de ressources pour réaliser l'épreuve ?
8. Existe-t-il des dispositions réglementaires ou légales qui exigeraient certaines épreuves plutôt que d'autres ?

Ces questions figurent parmi les principales considérations qui doivent être abordées lors du choix d'une épreuve diagnostique. Nous les développerons plus en détail ci-après.

Il est important de relever que l'OIE fournit des informations spécifiques pour les agents pathogènes listés par l'OIE dans le Manuel terrestre (http://www.oie.int/fr/normes/manuel-terrestre/) ainsi que dans le Manuel aquatique (http://www.oie.int/fr/normes/manuel-aquatique/). Néanmoins, ces ressources sont limitées en ce qui concerne les espèces de la faune sauvage.

2. Information auxiliaire

Dans certains cas, on dispose d'informations auxiliaires concernant un foyer donné et aidant au choix de l'épreuve diagnostique. Par exemple, si les carcasses ou les échantillons ont été envoyés à un pathologiste, celui-ci peut, sur la base de ses examens et des résultats de son autopsie, fournir des connaissances clés concernant les maladies ou les agents pathogènes susceptibles d'avoir provoqué le foyer. L'histopathologie est ainsi une technique particulièrement utile que les pathologistes peuvent utiliser pour aider à déterminer quels sont les épreuves diagnostiques potentiellement les plus utiles. L'histopathologie, ou l'examen au microscope des tissus, permet aux pathologistes d'évaluer les anomalies au niveau cellulaire. Des changements particuliers observés dans les tissus, comme le degré, la localisation ou le type d'inflammation, la présence de

nécrose, de fibrose ou d'autres processus cellulaires peuvent suggérer une mortalité d'origine infectieuse ou toxique. Dans le cas de maladies bactériennes, fongiques ou parasitaires, des organismes infectieux peuvent être observés dans les coupes de tissus. Ceci est particulièrement utile comme corollaire aux épreuves diagnostiques dans le but d'associer l'agent infectieux avec une lésion tissulaire donnée et de lui attribuer la responsabilité de la maladie. Une réserve à l'utilisation de l'histopathologie est la nécessité de disposer de tissus frais ; en raison des artefacts apparaissant lors de la décomposition, l'histopathologie ne se prête pas à l'examen des échantillons en voie de décomposition. Cela n'exclut toutefois pas l'examen d'échantillon en voie de décomposition par d'autres méthodes.

3. Validation de l'épreuve diagnostique

L'OIE définit la validation des épreuves diagnostiques comme un processus permettant de déterminer l'adéquation d'une épreuve correctement développée, optimisée et normalisée, pour un objectif spécifique. Une discussion générale sur la validation des épreuves peut être consultée à l'adresse : http://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/1.01.06_VALIDATION.pdf ; cela ne sera donc pas abordé ici plus en détails. La validation d'une épreuve apporte la garantie que celle-ci sera en mesure d'identifier de manière correcte et fiable la maladie ou l'agent pathogène concerné. La validation des épreuves est un processus minutieux et rigoureux qui, à ce titre, nécessite des ressources importantes.De ce fait, les épreuves diagnostiques tendent à être validées sur des échantillons spécifiques uniquement (p. ex. sérum) pour un nombre limité d'espèces animales. Cela peut s'avérer problématique pour déterminer des maladies ou des agents pathogènes potentiellement impliqués dans un foyer concernant la faune sauvage, du fait qu'il n'existe généralement pas d'épreuve validée pour les espèces sauvages. Une discussion détaillée sur la validation des tests concernant les espèces sauvages peut être consultée àl'adresse : http://www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.6.07_WILDLIFE.pdf.

4. Cible de l'épreuve diagnostique

La cible, ou ce que l'épreuve diagnostique est sensée mesurer, est un autre critère essentiel dans le choix de l'épreuve diagnostique. En l'absence notamment d'épreuve validée, il est recommandé de choisir des épreuves diagnostiques moins susceptibles d'être affectées par l'espèce impliquée dans le foyer. Les tests indirects qui ciblent la réponse immunitaire de l'hôte (p. ex. ELISA) ou qui mesurent une exposition passée s'y prêtent ainsi moins bien que les tests directs qui s'efforcent de détecter la présence d'un pathogène (p. ex. PCR). Quelques lignes directrices simples figurent à titre d'illustration dans le tableau ci-dessous.

Ce tableau fournit quelques exemples d'épreuves diagnostiques potentielles et de la probabilité qu'elles soient affectées par l'espèce hôte. Ce tableau est extrait d'un atelier de l'OIE sur les techniques de surveillance : http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Internationa_Standard_Setting/docs/pdf/WG Wildlife/A_Training_Manual__Wildlife_2.pdf ; il contient des informations importantes concernant les enquêtes sur les foyers de maladies.

	Peu susceptible d'être affecté par l'espèce hôte	Intermédiaire	Très susceptible d'être affecté par l'espèce hôte
Tests de détection des agents pathogènes	Identification directe (p. ex. parasites)	Cultures virales[3]	
	Culture : bactéries, champignons, protozoaires		
	PCR – dépendant de la matrice[4]		
	Immunohistochimie		
	Analyse chimique (p. ex. toxicologie)		
Tests for Antibodies or Immune Response	Neutralisation virale		Tests sérologiques : ELISA
	ELISA de blocage (compétitif)		Tests antigéniques cutanés (TB)
Autres	Tests génomiques	Cerveau	Tests métabonomiques
		Cholinestérase[5]	Tests transcriptomiques

Les domaines émergents de la génomique et de la métabonomique sont particulièrement intéressants dans ce contexte. La génomique est définie comme une branche de la biotechnologie appliquant les techniques de la génétique et de la biologie moléculaire à la cartographie génétique et au séquençage de l'ADN d'ensembles de gènes ou de génomes complets d'organismes choisis, et comprenant l'organisation des résultats dans des bases de données et le traitement les données[6]. Cette technologie peut être utile pour déterminer les agents biologiques responsables de foyers de maladie. Elle a par exemple été utilisée avec succès pour suivre la propagation et l'impact de virus réassortis de grippe aviaire.

---

[3] Certains virus peuvent être cultivés dans des cultures cellulaires standard ou sur des embryons de poulet, mais d'autres requièrent des cellules hôtes spécifiques pour leur croissance

[4] Des problèmes peuvent survenir avec la PCR pour certains échantillons de certaines espèces (p. ex. fèces de ruminants)

[5] Utilisé comme test de dépistage pour les intoxications par des insecticides à base d'organophosphorés ou de carbamate. Les niveaux de fonds varient d'une espèce à l'autre.

[6] Selon la définition fournie par http://www.merriam-webster.com/dictionary/genomics

De manière analogue, la métabonomique est définie comme la mesure quantitative de la réponse métabolique dynamique et multiparamétrique des systèmes vivants à des stimuli pathophysiologiques ou à des modifications génétiques[7]. En résumé, la métabonomique mesure l'ensemble complet de métabolites présents dans un organisme ou dans des échantillons biologiques et examine les changements que ceux-ci ont subis suite à des perturbations comme une infection ou une maladie. La métabonomique est étroitement associée à la métabolomique qui est définie comme l'étude systématique d'empreintes chimiques uniques, sous forme de profils de métabolites à petites molécules, laissées lors de réactions cellulaires spécifiques[8].

Même s'il existe certaines divergences quant aux différences entre ces deux domaines, la métabolomique se focalise généralement sur les métabolites produits au niveau de la cellule ou de l'organe à des conditions métaboliques endogènes normales tandis que la métabonomique se concentre sur les effets qu'ont des facteurs exogènes comme une maladie sur les profils métaboliques. De manière générale, les investigations métabonomiques ont jusqu'ici été réservées au domaine de la santé humaine, mais elles pourraient avoir un potentiel dans le domaine de la santé animale. Pour terminer, la transcriptomique est l'étude des transcriptions de l'ARN d'une cellule, d'un tissu ou d'un organisme.

5. Caractéristiques de l'épreuve diagnostique

Lors du choix d'une épreuve diagnostique, il est essentiel de comprendre ses caractéristiques ou son fonctionnement. Si une épreuve produit fréquemment des résultats erronés, elle peut être d'un intérêt limité pour des enquêtes sur des foyers. Une évaluation de la probabilité que l'épreuve fournisse des résultats précis peut être déterminée par la procédure de validation de l'épreuve. En règle générale, la propension d'un test à rendre des résultats corrects est résumée par ses caractéristiques de sensibilité et de spécificité.

- la sensibilité est définie comme la probabilité d'obtenir un résultat de test positif lorsque l'individu est véritablement infecté.
- la spécificité est définie comme la probabilité d'obtenir un résultat de test négatif lors que l'individu n'est pas infecté.

Exemple

Supposons que nous ayons connu un épisode de mortalité de 100 mouflons canadiens (*Ovis canadensis canadensis*). Sur la base des résultats d'autopsie, le pathologiste examinateur a émis l'hypothèse qu'une maladie respiratoire soit à l'origine du décès.

---

[7] Selon la définition fournie par http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/metabonomics

[8] Selon la définition fournie par http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/metabolomics

Vous voulez déterminer si l'agent responsable est *Mycoplasma ovipneumoniae*, un agent bactérien connu pour causer des décès associés à des maladies respiratoires dans d'autres populations de mouflons. Il existe une épreuve validée de culture bactérienne. La sensibilité de ce test est de 80% et sa spécificité de 90%. Vous avez récolté 100 écouvillons oro-pharyngés de mouflons morts et vous prévoyez d'utiliser cette épreuve de culture bactérienne pour évaluer la présence de *M. ovipneumoniae*. Compte tenu de cette information, combien de résultats faux négatifs (FN) attendez-vous ? Dans cet exemple, nous faisons l'hypothèse implicite que, si *M. ovipneumoniae* est l'agent responsable, tous les individus seront infectés. Il s'agit d'une hypothèse importante que nous discuterons plus loin. Compte tenu de cette hypothèse, nous pouvons faire le rapide calcul suivant :

$$F\,\mathrm{n} = 100 \times (1 - 0.80) = 20$$

Il illustre l'impact de la sensibilité sur les résultats du test. Nous pouvons compter que 20 de nos 100 écouvillons indiqueront à tort que l'agent pathogène n'est pas présent .

Cet exemple montre également que la prévalence véritable sous-jacente affecte aussi notre interprétation des résultats du test. Dans ce cas, la spécificité n'est pas une préoccupation puisque nous partons de l'hypothèse que tous les individus sont infectés. Partons maintenant de l'hypothèse que la prévalence véritable de *M. ovipneumoniae* chez les mouflons morts est de 80%. Calculons maintenant le nombre de faux négatifs ainsi que le nombre de faux positifs. Nous utiliserons le tableau suivant pour faire la démonstration de cette démarche.

		Statut infectieux véritable		
		+	-	
Résultat de l'épreuve diagnostique	**+**	80 × 0.80 = 64	20 × (1 – 0.90) = 2	**Résultat de l'épreuve diagnostique**
	-	80 × (1 – 0.80) = 16	20 × 0.90 = 18	34
Total		**80**	**20**	**Total**

L'examen de ce tableau montre que nous devons attendre 16 résultats faux négatifs (cellule mise en évidence en rouge) et 2 résultats faux positifs (cellule mise en évidence en vert) parmi nos échantillons. En résumé, un résultat positif à une épreuve diagnostique ne garantit pas que l'agent pathogène ciblé soit présent, pas plus qu'un résultat négatif n'indique de manière définitive l'absence de l'agent pathogène. Cela renforce l'argument selon lequel la validation des épreuves est une procedure importante et explique pourquoir le manqué d'épreuves validées pour la faune sauvage est problématique.

Etonnamment, bien que la sensibilité et la spécificité soient indépendantes de la prévalence de l'agent pathogène parmi les individus touchés par un foyer, la prévalence véritable sous-jacente affecte aussi l'interprétation de l'épreuve diagnostique. Reprenons l'exemple ci-dessus, avec l'hypothèse que la prévalence véritable est de 20%

		Statut infectieux véritable		
		+	-	
Résultat de l'épreuve diagnostique		20 × 0.80 = 16	80 × (1 − 0.90) = 8	**Résultat de l'épreuve diagnostique**
		20 × (1 − 0.80) = 4	80 × 0.90 = 72	76
Total		**20**	**80**	**Total**

Dans cet exemple, nous devons attendre 4 résultats faux négatifs (cellule mise en évidence en rouge) et 8 résultats faux positifs (cellule mise en évidence en vert) parmi nos échantillons. Comment la prévalence véritable dans les échantillons de ce foyer affecte-t-elle notre interprétation des résultats obtenus ? Dans la réalité, nous ne connaissons pas la prévalence véritable, mais uniquement les résultats obtenus. Cela est fréquemment appelé prévalence apparente. Ainsi, dans notre premier exemple, nous calculerions la prévalence apparente comme étant de :

66/100 = 0.66.

Dans le second exemple, nous ferions état d'une prévalence apparente de :

24/100 = 0.24.

Dans le premier cas, nous avons sous-estimé la prévalence véritable et, dans le second cas, nous l'avons surestimée … Pourquoi ? La réponse réside dans le fait que la prévalence véritable, la sensibilité et la spécificité interagissent pour produire les résultats positifs et négatifs observés. Cela peut être représenté avec le calcul de probabilité ci-dessous :

Pr(+test)=Pr(+indiv)×Sensitivity+(1−Pr(+indiv))×(1−Specificity).

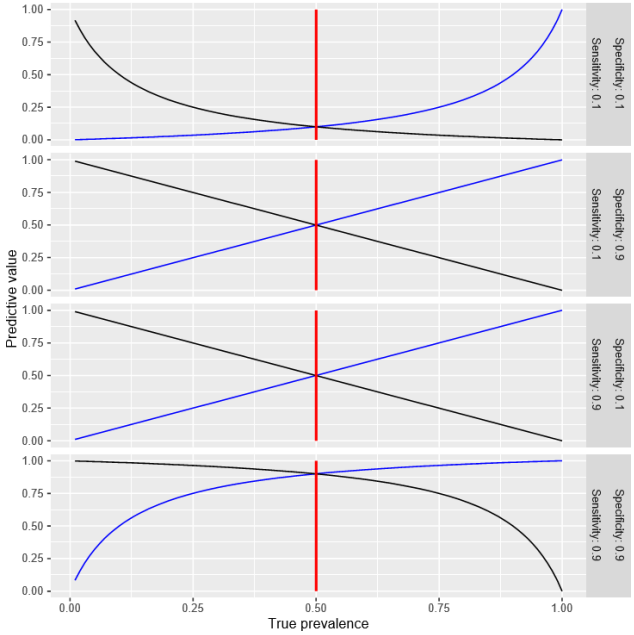
En d'autres termes, la probabilité d'obtenir un résultat de test positif est égale à la probabilité qu'un individu soit réellement infecté ou malade (prévalence véritable), multipliée par la sensibilité du test ajoutée à la probabilité d'être véritablement non infecté ou non malade multipliée par 1, moins la spécificité. Cette formule montre clairement que les trois probabilités (prévalence véritable, sensibilité et spécificité) interagissent pour engendrer le résultat observé. Il est intéressant de relever qu'il y a un compromis entre la probabilité qu'un animal testé positif soit réellement infecté ou malade (connu comme la valeur prédictive positive) et la probabilité qu'un animal testé négatif soit réellement en bonne santé (connu comme la valeur prédictive négative). Il s'avère que ces valeurs prédictives sont conjointement maximisées lorsque la prévalence véritable est de 0.50. C'est ce que montre la figure ci-dessous où la valeur prédictive positive est indiquée en bleu et la valeur prédictive négative en noir. La ligne rouge indique où les valeurs prédictives sont conjointement maximisées.

Pourquoi est-il important de comprendre la relation entre la prévalence véritable, la sensibilité et la spécificité lors du choix des épreuves diagnostiques pour les enquêtes sur les foyers ?

1. Sensibilité : Il est important d'avoir un test à la sensibilité élevée lorsque l'objectif de l'analyse est d'exclure la présence d'un agent spécifique ou de démontrer l'absence d'une maladie donnée. Une épreuve à la sensibilité élevée signifie que la probabilité que le résultat de test d'un animal infecté/malade soit négatif est faible (c. à d. diminution des faux négatifs).

2. Spécificité : Il est important d'avoir un test à la spécificité élevée lorsque l'objectif de l'analyse est de confirmer la présence de l'agent spécifique ou de la maladie. Une épreuve à la spécificité élevée signifie que la probabilité que le résultat de test d'un animal en bonne santé soit positif est faible (c. à d. diminution des faux positifs).

   Par conséquent, la sensibilité et la spécificité peuvent guider le choix de l'épreuve diagnostique pour les enquêtes sur les foyers ou pour la surveillance, selon que l'objectif de l'activité soit d'exclure ou de confirmer la présence d'un agent pathogène donné.

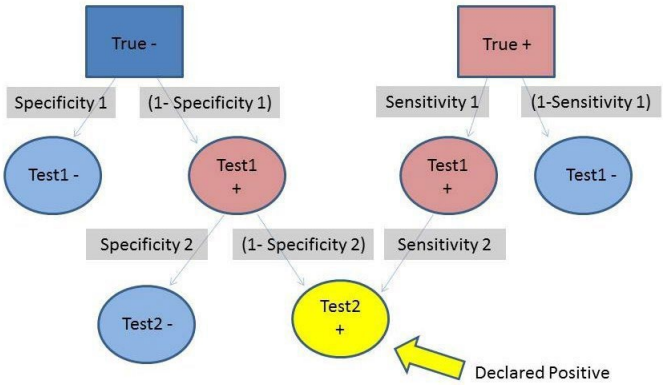


3. La prévalence véritable est une information précieuse parce que, compte tenu des caractéristiques d'une épreuve, elle affecte directement la probabilité de classer correctement les animaux pris individuellement comme sains ou infectés/malades. Le choix de l'épreuve diagnostique peut alors être optimisé sur la base de cette prévalence véritable.

Test grandeur nature. Vous pouvez vous dire : « Quelle information géniale ! Mais, lors des enquêtes sur les foyers de maladie dans la faune sauvage, il est probable que je n'ai pas d'épreuve diagnostique validée et que je ne connaisse pas la prévalence véritable sous-jacente ».

C'est effectivement la vérité et la dure réalité du travail avec les espèces sauvages ; néanmoins, les concepts discutés ci-dessus peuvent malgré tout être utilisés en se basant sur une connaissance qualitative du système. Par exemple, la nature profonde des différentes épreuves fournit des informations concernant leurs caractéristiques relatives. Ainsi, réaliser un test PCR pour détecter un agent pathogène est généralement plus sensible qu'une méthode de culture. En outre, il arrive souvent, pendant les enquêtes sur les foyers, que nous puissions partir de l'hypothèse que, si l'on est en présence d'un agent pathogène unique, il devrait avoir une prévalence élevée parmi les individus affectés. Ainsi, même en l'absence de connaissances parfaites, nous sommes en mesure de choisir l'épreuve diagnostique la mieux adaptée à nos besoins, sur la base de notre compréhension de la nature qualitative du système et de la connaissance de la manière dont les différentes épreuves fonctionnent à des conditions similaires dans d'autres systèmes.

Lorsque l'on est confronté à des connaissances imparfaites concernant les caractéristiques de l'épreuve et les taux de prévalence, une autre option consiste à effectuer plusieurs tests pour un agent. Ces différentes analyses peuvent être effectuées en série ou en parallèle, soit avec la même épreuve, soit avec des épreuves différentes. L'échantillonnage en série se fait en testant des échantillons plusieurs fois et en considérant que la détection est positive uniquement si tous les tests ont détecté l'agent. Cette méthode est souvent utilisée pour les activités de surveillance en utilisant d'abord un test de dépistage peu onéreux et en testant une nouvelle fois les échantillons positifs avec un test de confirmation à la spécificité élevée, mais plus coûteux. L'échantillonnage en série augmente substantiellement la spécificité et diminue la sensibilité du protocole d'analyse. Les graphiques suivants illustrent l'échantillonnage en série et ses effets sur les caractéristiques de test globales.



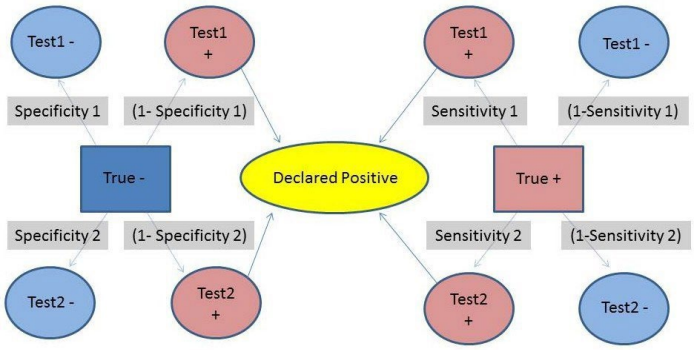
Pr(Overall Test -|True -) = Specificity 1 +(1-Specificity 1) X Specificity 2 > Specificity 1

Pr(Overall Test +|True +) = Sensitivity 1 X Sensitivity 2 < Sensitivity 1

Dans l'échantillonnage en série, pour qu'un résultat de test soit déclaré positif, l'animal doit avoir été testé positif avec le premier test ainsi qu'avec le second (ovale jaune). La probabilité que les animaux vrais positifs soient testés positifs correspond ainsi au produit des sensibilités de chaque test. Compte de tenu de la sensibilité de chaque test, la probabilité de leur produit est inférieure à la sensibilité individuelle de chaque test. À l'inverse, un animal vrai négatif sera déclaré négatif si le test 1 ou le test 2 fournit un résultat négatif. La probabilité d'être testé négatif lorsque vous êtes négatif constitue la somme de la spécificité du test 1 et du produit de (1 – la spécificité du test 1) et de la spécificité du test 2. Cette somme sera supérieure à la spécificité individuelle de chaque test.

L'échantillonnage en parallèle implique l'analyse d'échantillons avec différents tests et la détection sera déclarée positive si un test au moins fournit un résultat positif. L'échantillonnage en parallèle augmente la sensibilité aux dépens de la spécificité. Le graphique suivant illustre l'échantillonnage en parallèle et ses effets sur les caractéristiques générales du test.

Dans l'échantillonnage en parallèle, pour être déclaré positif (ovale jaune), un animal doit présenter un résultat positif soit au test 1, soit au test 2. Les animaux vrais positifs ont une



Pr(Overall Test -|True -) = Specificity 1 x Specificity 2 < Specificity 1

Pr(Overall Test +|True +) = Sensitivity 1 + Sensitivity 2 > Sensitivity 1

probabilité d'être testés positifs correspondant à la somme des sensibilités individuelles de chaque test. La sensibilité des modèles de tests en parallèle sera donc plus élevée que la sensibilité individuelle de chaque test. Pour les animaux vrais négatifs, pour être déclaré négatif au test, le résultat de chaque test doit être négatif, ce qui implique que la probabilité de fournir un résultat de test négatif est le produit des spécificités de chaque test. Ce produit sera inférieur à la spécificité individuelle de chaque test.

Dans l'échantillonnage en série ou en parallèle, nous nous basons sur les principes généraux des probabilités pour comprendre les caractéristiques des tests qui en résultent ; les valeurs de prévalence véritable, de sensibilité et de spécificité restent toutefois inconnues. Parfois, cela n'est pas souhaitable, notamment lorsqu'une estimation de la prévalence véritable d'un agent pathogène parmi les individus échantillonnés au cours d'une enquête sur un foyer est requise. Dans ce cas, nous pourrons mettre à profit des techniques de modélisation utilisées en écologie pour la distribution des espèces, connues sous le nom de modélisation de l'occupation[9]. Sur la base de quelques hypothèses simplificatrices (p. ex. sensibilité du test > (1-spécificité du test)), ces techniques peuvent s'appliquer directement aux épreuves diagnostiques pour un agent pathogène lorsque l'occupation du site est analogue à la présence de l'agent dans un échantillon ; probabilité d'occupation – prévalence véritable ; probabilité de détection – sensibilité du test ; et probabilité de détection erronée - 1- spécificité. L'avantage de cette méthode est sa faculté à estimer directement la prévalence véritable, la sensibilité et la spécificité. Mais rien n'est gratuit ! Pour employer cette technique, chaque échantillon doit être testé plusieurs fois (à savoir 2x) avec le même test. Cette technique comporte donc des coûts additionnels.

En résumé, il est important de comprendre les caractéristiques des différentes épreuves disponibles ainsi que le taux de prévalence véritable de l'agent auquel l'épreuve est appliquée. Or, dans la plupart des foyers de la faune sauvage, cette information fait généralement défaut. Dans ces situations, les caractéristiques générales des différentes épreuves, la cible de l'épreuve et des hypothèses bien fondées sur les taux de prévalence sous-jacents basés sur le savoir des experts ou sur l'expérience acquise lors de foyers similaires peuvent être des

[9] Ecology. 2006 Apr;87(4):835-41

approximations utiles à une connaissance complète. Il est en outre possible d'utiliser plusieurs épreuves pour augmenter la sensibilité ou la spécificité selon les objectifs de l'enquête ou de recourir à la modélisation d'occupation écologique pour estimer les paramètres importants.

6. Qualité des échantillons

La condition ou l'état dans lequel sont les animaux ou leurs carcasses joue un rôle important dans le choix des épreuves diagnostiques susceptibles d'être utilisées pour une enquête sur un foyer. De fait, si les carcasses sont trop autolysées, les épreuves diagnostiques peuvent s'avérer impossibles. En règle générale, la collecte d'échantillons biologiques sur des animaux moribonds ou récemment morts autorise un choix maximal d'épreuves diagnostiques. S'il n'est pas possible de récolter des échantillons frais, les tests directs qui ciblent l'agent pathogène, notamment les techniques moléculaires ne nécessitant pas la présence d'un agent viable, peuvent être les plus utiles. Dans la mesure du possible, il serait judicieux de consulter un pathologiste avant le prélèvement des échantillons afin de garantir que l'éventail entier des épreuves potentielles soit connu et que des échantillons adéquats soient prélevés.

Le second élément à prendre en compte est la manipulation des échantillons une fois qu'ils ont été obtenus. La manipulation peut directement affecter la qualité de l'échantillon et donc l'utilité de l'épreuve diagnostique. La manipulation comprend de nombreux aspects différents dont la température, le milieu de transport, le laps de temps entre le prélèvement et l'épreuve diagnostique, le récipient, etc. Par exemple, lors de l'étude des maladies respiratoires chez le mouflon canadien, il a été décrit que, pour les cultures bactériennes, l'intervalle entre le prélèvement et l'épreuve diagnostique et les fluctuations de température susceptibles de se produire dans ce laps de temps pouvaient entraîner une prolifération des espèces non cibles et avoir un impact négatif sur la détection de Pasteurella, l'espèce cible. C'est pourquoi il est impératif de prendre en compte les circonstances et la manière dont les échantillons peuvent être raisonnablement manipulés sur le terrain avant de choisir une épreuve diagnostique.

7. Disponibilité des épreuves diagnostiques

La disponibilité de l'épreuve diagnostique souhaitée est un autre élément à prendre en considération. Il peut arriver que le test ciblé ne soit pas aisément accessible et que, dans ce cas, il soit nécessaire de demander à d'autres juridictions si elles ont la possibilité et la volonté collaborer. Ce type de partenariats fournit une excellente occasion de collaborer et de créer des réseaux régionaux de partenaires susceptibles de s'entraider pour effectuer des enquêtes lors de foyers dans la faune sauvage. Le réseau de Laboratoires et de Centres collaborateurs de l'OIE consiste une autre ressource potentielle. L'OIE a désigné certains laboratoires, sur la base de leur expertise, comme étant des Laboratoires de référence de l'OIE pour des agents pathogènes donnés. Ces laboratoires peuvent être des ressources précieuses pour l'analyse d'agents pathogènes donnés ainsi que pour l'interprétation des résultats des tests. Des informations à propos de ces laboratoires peuvent être trouvées à l'adresse Expertise Network - WOAH - World Organisation for Animal Health. L'expédition d'échantillons aux Laboratoires de référence de l'OIE peut toutefois présenter certains défis, dont les autorisations entre pays qui devront être étudiées afin de déterminer s'il s'agit d'une option viable. Si aucune option satisfaisante ne peut être trouvée, il conviendra peut-être d'utiliser une autre épreuve diagnostique, même si celle-ci est moins prisées

8. Besoins en ressource

Les besoins en ressources constituent un aspect important du choix d'une épreuve diagnostique. Certaines épreuves diagnostiques (p. ex. les tests génomiques) peuvent être onéreuses à effectuer, notamment lorsque le nombre d'échantillons est élevé La disponibilité du financement dévolu aux épreuves diagnostiques lors d'une enquête sur un foyer peut

clairement limiter le choix des épreuves diagnostiques. . Leur coût n'est pas le seul élément à prendre en compte en termes de ressources. Certains tests requièrent un équipement spécialisé pour la collecte (p. ex. des milieux particuliers) ou un personnel qualifié. Même si cela peut malheureusement sembler évident, une compréhension claire et une évaluation de la disponibilité des ressources nécessaires pour effectuer le test sont requises avant de choisir l'épreuve diagnostique.

9. Mandats légaux

Un dernier élément à prendre en compte est l'éventuelle existence de mandats légaux associés à l'analyse d'un agent ou d'un pathogène. Par exemple, le Code terrestre https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/ et le Code aquatique https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access/, prescrivent des épreuves pour certains pathogènes spécifiques "pour garantir la sécurité sanitaire du commerce international des animaux terrestres et aquatiques ainsi que de leurs produits » : https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-manual-online-access/. Pour démontrer qu'un foyer n'est pas causé par l'un des agents pathogènes spécifiques listés par l'OIE, il conviendra donc d'utiliser des épreuves déterminées. Le Manuel terrestre et le Manuel aquatique mentionnés plus haut fournissent plus d'informations concernant l'utilisation précise de ces épreuves.

10. Exemples

Nous conclurons cette discussion en examinant quelques techniques diagnostiques utilisées dans les enquêtes sur les foyers dans la faune sauvage : techniques de culture et diagnostic viral. L'objectif de ces exemples est de décrire quelques-uns des défis uniques que pose l'emploi des différentes techniques diagnostiques utilisées pour les échantillons de la faune sauvage et d'illustrer certains des éléments à prendre en compte discutés plus haut.

Techniques de Culture. Les techniques de culture sont fréquemment utilisées pour aider à diagnostiquer une maladie. Les cultures sont en principe relativement peu coûteuses, elles nécessitent peu d'équipement spécialisé et peuvent livrer des résultats en quelques jours. Cette technique est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de disposer d'isolats d'un agent utilisables en aval (p. ex. typisation de la souche, analyses génétiques, etc.) et dans les cas où l'on n'a pas d'hypothèse quant à la cause de la mortalité ou lorsque les tests spécifiques aux différents pathogènes (p. ex. PCR) échouent à identifier un agent causal. Le syndrome du nez blanc (White-nose syndrome, WNS) chez les chauves-souris constitue un excellent exemple de l'importance des techniques de culture pour identifier un agent causal. Lors le WNS a été découvert en 2007, son agent causal était inconnu. Il n'existait donc pas de test moléculaire (à savoir pas d'essai PCR spécifique) qui puisse être utilisé pour détecter le pathogène responsable de la maladie. C'est l'analyse de cultures qui, en fait, a permis d'identifier un champignon associé de manière constante au WNS. L'obtention de cultures vivantes de ce champignon a dès lors été essentielle pour leur utilisation en aval, telle qu'expériences d'infection en laboratoire pour en confirmer la pathogénicité, développement d'essais PCR pour dépister plus rapidement l'agent pathogène ou analyses génétiques pour démontrer que le champignon introduit en Amérique du Nord provenait d'Eurasie.

Les analyses par culture peuvent cependant avoir d'importantes limitations. En particulier, les techniques de culture requièrent que le micro-organisme pathogène soit susceptible d'être cultivé en laboratoire, que les conditions correctes de culture soient utilisées ; que le pathogène dans l'échantillon à tester soit viable ; que l'échantillon ne soit pas contaminé par d'autres micro-organismes susceptibles de compromettre la détection du pathogène visé. Dans de nombreux cas, les techniques de culture doivent être combinées avec d'autres

analyses (comme l'histopathologie) pour aboutir à un diagnostic précis, du fait que les échantillons sont contaminés par des micro-organismes non responsables de la maladie. Dans le cas du WNS, il a fallu de nombreuses tentatives avant de pouvoir isoler l'agent causal, ce champignon ne croissant qu'à des températures basses (conditions de croissance en laboratoire non standard) et étant difficile à isoler des nombreux champignons à la croissance plus rapide typiquement présents dans ces échantillons. Par exemple, le champignon Mucor est fréquemment cultivé à partir des ailes des chauves-souris atteintes de WNS. Certaines espèces de Mucor sont considérées comme pathogènes, mais ce champignon n'est clairement pas la cause du WNS.

Diagnostic viral. Une multitude de familles de virus est connue pour, ou suspectée d'infecter les animaux sauvages. En raison de leur évolution indépendante et de leurs stratégies de réplication, il n'existe pas de motif conservé ou de séquence de nucléotides qui puissent être utilisés comme cible de détection universelle équivalente à l'ARN ribosomal 16S/18S des bactéries ou des champignons. Le diagnostic viral peut en fait aller d'un essai de dépistage grossièrement spécifique à une famille (p. ex. coronaviridés) à un test spécifique à une souche (p. ex. MERS), selon les besoins diagnostiques. Il faut également y réfléchir pour procéder à une collecte appropriée des échantillons. Les agents qui ont une phase virémique peuvent avoir des titres circulants élevés pendant le pic virémique, mais la concentration de virus peut chuter brutalement face à la montée de la réponse immunitaire. Certains agents viraux ont un tropisme tissulaire prononcé et la collecte de l'organe approprié influence la probabilité de parvenir à les identifier. Le choix des systèmes de culture affectera l'aptitude à récupérer (et finalement à identifier) l'agent viral. Certains virus sont fortement spécifiques à un hôte ou à des tissus, tandis que d'autres de la même famille virale ne le sont pas. Selon le mécanisme de réplication virale, certains virus requièrent des cellules pour se répliquer activement alors que cela ne sera pas le cas pour d'autres. De manière générale, les systèmes et les conditions de culture devraient imiter autant que possible l'hôte réservoir. Fournir une gamme de systèmes de culture et d'épreuves diagnostiques capables de répondre aux besoins sanitaires de la faune sauvage est un défi permanent.

VI. STUDY DESIGN

1. Objet

Le but de cette section est de souligner certains des éléments essentiels à prendre en considération et à régler avant d'effectuer une enquête sur un foyer ou un travail de surveillance ; nous limiterons toutefois la discussion aux enquêtes sur les foyers. Il arrive souvent, pendant une épidémie, qu'une réponse rapide et immédiate soit requise ; ce n'est cependant pas une raison de se dispenser d'établir clairement un modèle d'étude approprié avant de débuter les activités. Négliger les questions de conception peut avoir pour conséquence une réponse inefficace ou, dans le pire des cas, empêcher d'atteindre les objectifs de l'enquête. Négliger les questions de conception peut avoir pour conséquence une réponse inefficace ou, dans le pire des cas, empêcher d'atteindre les objectifs de l'enquête.

2. Objectives

La première étape d'une enquête sur un foyer est de définir quels sont les objectifs des investigations. . C'est sur la base de ces objectifs que toute l'enquête se construira, des objectifs clairement définis ne déterminant pas uniquement les activités nécessaires, mais fournissent des orientations durant l'enquête lorsque des questions surgissent. Parmi les questions clés qui peuvent aider à formuler les objectifs, citons :

1. Pourquoi est-ce que j'effectue une enquête sur un foyer infectieux ?

2. Qu'est-ce que j'espère apprendre de cette enquête ?

3. Quelles sont les parties prenantes impliquées ?

Même si la première question peut sembler triviale, elle n'en est pas moins fondamentale. Par exemple, est-ce que l'enquête est effectuée pour garantir que les cas de mortalité ne sont pas associés à un agent pathogène ou à une maladie notifiable à l'OIE ; est-ce qu'elle effectuée pour déterminer s'il s'agit d'une nouvelle maladie émergente ; est-elle effectuée dans le cadre d'activités de surveillance régulières ; etc. ? La manière de répondre à ces questions aura des implications importantes sur la conception de l'étude.

La manière de répondre à ces questions aura des implications importantes sur la conception de l'étude. Par exemple, l'étude a-t-elle pour intention : de découvrir quel pathogène spécifique est présent à l'échelle individuelle chez les animaux concernés par le foyer ; d'estimer la prévalence d'un agent pathogène ; de déterminer les facteurs de risque potentiels ; de déterminer son étendue géographique, etc. Cette information déterminera le nombre de personnes requises pour le prélèvement des échantillons, la manière dont l'échantillonnage sera effectué et son échelle.

La dernière question est utile pour identifier les groupes d'individus auprès de qui les informations concernant le foyer peuvent avoir à être diffusées ou sollicitées. L'implication des parties prenantes peut permettre de récolter des informations sur d'autres foyers qui n'auraient pas été détectés autrement. De plus, l'implication précoce des parties prenantes peut aider à comprendre le risque sociétal potentiel posé par le foyer et permettre de définir le type et l'ampleur des mesures nécessaires à l'enquête. En dernier lieu, l'identification des parties prenantes pose les bases sur lesquelles élaborer une stratégie de communication efficace à l'intention du public.

3. Conception de l'échantillonnage

Une fois que les objectifs ont été clairement définis, l'étape suivante est de déterminer quels sont les indicateurs d'intérêt et de quelle manière les échantillons devraient être collectés. Différents modèles d'échantillonnage peuvent être mis en œuvre, selon le ou les foyers sur lesquels porte l'enquête. Nous détaillerons ici quelques-unes des méthodes courantes.

a. Indicateurs

En fonction des objectifs, il existe toutes sortes d'indicateurs qui peuvent être utilisés pour résumer et analyser les informations récoltées pendant une enquête sur un foyer. Il est nécessaire, pour déterminer d'autres aspects du modèle de l'étude, de comprendre comment les données seront analysées. Nous décrirons trois des indicateurs les plus couramment utilisés.
Absence de maladie.

Etablir que le foyer n'est pas associé à un agent pathogène particulier (p. ex. à un pathogène ou à une maladie notifiable à l'OIE) implique de collecter des données de la présence ou de l'absence de cet agent parmi les animaux associés au foyer. Cela signifie que chaque individu ou qu'un sous-échantillon d'individus impliqués dans le foyer sera testé pour le pathogène concerné et défini comme étant indemne du pathogène en question ou non. Si la présence est établie (c'est-à-dire si le pathogène est identifié) chez un individu, il est évident que les individus ne sont pas indemnes de maladie. S'il s'agissait là du seul but de l'enquête, aucun

travail supplémentaire ne sera nécessaireNéanmoins, si l'agent pathogène est déclaré absent de tous les individus testés, il est possible d'évaluer quelle pourrait être, selon un degré de confiance donné, la probabilité d'infection sous-jacente par l'agent pathogène susceptible d'échapper à la détection.

La probabilité d'infection (soit la prévalence escomptée) peut être connue si la taille exacte de l'échantillon (décrit ci-dessous) nécessaire pour obtenir la confiance désirée pour un taux d'infection escompté donné a été collectée ; il est toutefois courant que le nombre d'individus échantillonnés soit insuffisant ou dépasse cette taille d'échantillons cible. Dans ce cas, à l'aide de modèles statistiques d'analyse bayésienne et en tenant compte du nombre d'individus échantillonnés, il est possible d'estimer le taux d'infection sous-jacent et sa limite supérieure à une confiance de 95%. La limite supérieure à une confiance de 95% est la valeur en-dessous de laquelle se situe le taux d'infection, selon une probabilité est de 95% ; il s'agit de la valeur qui présente le plus d'intérêt. Une description adéquate de cette technique et de la manière d'incorporer des informations auxiliaires peut être consultée à l'adresse: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0089843.

Prevalence. La prévalence est l'un des indicateurs de maladie les plus courants pour mesurer l'intensité d'un pathogène / d'une maladie. Il s'agit de la proportion d'individus dans un foyer qui ont une maladie / un pathogène ; elle caractérise l'ampleur de la propagation de l'infection au sein d'une population. Elle repose généralement sur un échantillon de la population et, si elle se base sur un événement épidémique unique, représente un instantané temporel. Il peut toutefois s'avérer difficile, dans les enquêtes sur les foyers, de déterminer la période à laquelle cet indicateur s'applique car le foyer peut avoir été actif sur une longue période avant d'être découvert. La prévalence et la mesure de la précision qui lui est associée sont faciles à calculer ; des analyses plus sophistiquées peuvent être menées pour étudier les facteurs de risques ainsi que les liens spatiaux ou temporels.

Incidence. L'incidence est un indicateur nettement moins utilisé dans les maladies de la faune sauvage. L'incidence est le taux de nouveaux cas au sein d'une population dans un intervalle donné ; il représente le risque d'infection. Le fait qu'il faille un suivi fréquent et régulier de la population pour établir le nombre de nouveaux cas survenus depuis la période précédente de contrôle constitue l'une des principales raisons pour lesquelles l'incidence est rarement employée. Ceci peut s'avérer assez difficile pour les populations d'animaux sauvages souvent capables de se déplacer vers une région ou de la quitter et susceptibles de succomber à une maladie à l'abri des regards. Dans certains cas toutefois, l'incidence peut être employée si les objectifs de l'enquête le nécessitent. Par exemple, le contrôle fréquent d'un petit étang où des amphibiens sont morts de chytridiomycose. Comme pour la prévalence, des tentatives de modélisation plus sophistiquées peuvent être entreprises pour élucider les différents facteurs de risque et autres liens.

b. Taille de l'échantillon – Animaux pris isolément - Site unique

Curieusement, le calcul de la taille de l'échantillon constitue la norme pour définir l'ampleur des efforts nécessaires aux activités de surveillance, mais il est souvent négligé lors des enquêtes sur les foyers. C'est malheureux car cela peut empêcher d'atteindre les objectifs de l'enquête. Avec des objectifs clairs, le calcul de la taille

de l'échantillon peut être utilisé pour estimer l'ampleur des efforts à fournir pour l'échantillonnage.

La première étape pour estimer la taille d'échantillon nécessaire durant une enquête sur un foyer est de définir clairement la population concernée. Cela peut être assez simple, par exemple lorsqu'il s'agit de chauves-souris dans un hibernaculum, ou cela peut nécessiter quelques cogitations… par exemple lors d'une enquête sur les cas de mortalité parmi les oiseaux migrateurs de plusieurs espèces. Quoi qu'il en soit, on ne saurait trop insister sur l'importance de cette étape car elle détermine le cadre d'échantillonnage fournissant le contexte pour le calcul de la taille de l'échantillon. Par exemple, si je dis « Je veux détecter une prévalence de 1 % du pathogène X avec une confiance de 95% » mais que je ne fournis pas une définition de la population, cette affirmation n'a aucune signification en termes de probabilités. En d'autres termes, cela signifie que l'exigence de 1% de prévalence présume intrinsèquement qu'il y a une population à laquelle cette prévalence s'applique ; si la population n'est pas définie, cela n'a pas de sens. Définir la population est également important pour déterminer l'étendue géographique de l'échantillonnage nécessaire (décrit ci-dessous) ainsi que pour rendre compte des résultats.

La seconde étape est de déterminer la précision requise pour l'estimation l'indicateur de maladie (p. ex. prévalence) ou la confiance nécessaire dans l'absence de maladie. Cette information est nécessaire à toute analyse afin de déterminer la taille de l'échantillon. Si une estimation extrêmement précise est requise ou si un degré élevé de confiance dans l'absence de maladie est souhaité, cela entraînera une augmentation correspondante de la taille de l'échantillon. Il faudra donc faire un compromis entre les efforts ou les coûts associés et la précision ou la confiance obtenue.

Une fois qu'une population a été définie et que le degré de précision/confiance a été spécifié, des estimations de la taille d'échantillon nécessaire peuvent être calculées. Le second cycle de cette série d'ateliers (http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Internationa_Standard_Setting/docs/pdf/WGWildlife/A_Training_Manual_Wildlife_2.pdf) traitait du calcul de la taille de l'échantillon pour détecter un pathogène ainsi que de l'estimation de la prévalence d'un pathogène pour les programmes de surveillance. Les mêmes techniques s'appliquent aux enquêtes sur les foyers et nous renvoyons ceux que cela intéresse à ce document. Nous aimerions relever qu'un outil utile pour estimer la taille d'échantillon nécessaire pour les programmes de surveillance ou pour les enquêtes sur les foyers est proposé gratuitement par AusVet[10].

c. Echantillonnage des unités géographiques

Un objectif commun à toutes les enquêtes sur les foyers est de déterminer l'étendue géographique du foyer ou l'étendue sur laquelle la population est affectée dans son aire de répartition. Dans certains cas, cela peut être relativement facile à déterminer. Comme dans le cas, par exemple, d'un événement de mortalité parmi les grenouilles d'un petit lac alpin isolé. D'autres fois, cela peut être beaucoup plus difficile (p. ex. morts de cerfs de Virginie dues à

[10] http://epitools.ausvet.com.au/content.php?page=home

une maladie hémorragique épizootique[11]). Dans ce cas précis, pour évaluer avec précision la distribution géographique des cas de mortalité, un recensement ou un échantillonnage probabiliste des sites géographiques pourra être nécessaire, l'événement n'étant pas limité à un lieu unique. Des considérations géographiques d'échantillonnage peuvent également surgir lorsqu'un foyer survient dans une entité indépendante (p. ex. un lac) mais que celle-ci est trop vaste pour être entièrement contrôlée quant à la présence d'individus morts.

Dans ce cas, un échantillonnage probabiliste sera également important pour permettre des déductions applicables à tout l'événement.
La première étape de l'échantillonnage d'unités géographiques est de définir l'étendue géographique d'intérêt. Il s'agit d'une démarche analogue à l'identification de la population pour l'échantillonnage individuel d'animaux comme décrit plus haut, et les mêmes réflexions s'appliquent. Une fois que l'étendue géographique est définie, l'étape suivante consiste à déterminer si cette étendue doit être contrôlée dans sa totalité ou si elle peut être échantillonnée. Pour finir, si un échantillonnage est requis, il faudra décider de la manière de mailler l'étendue géographique (à savoir de la diviser en mailles distinctes) et de la méthode de maillage (à savoir mailles de taille égale) ou si celle-ci sera considérée comme une surface continue Le maillage constitue la méthode la plus courante et il fera l'objet du cœur de notre discussion. Une fois que ces questions de conception ont trouvé leur réponse, un modèle d'échantillonnage peut être créé.

En règle générale, ces modèles peuvent être pensés comme des modèles d'échantillonnage en une ou en deux phases. Tout d'abord, un échantillon d'unités géographiques est choisi, puis un recensement (modèle à une étape) effectué, ou un second échantillonnage (p. ex. d'individus ; modèle à deux étapes) effectué à l'intérieur des unités géographiques choisies. Différents modèles probabilistes peuvent être utilisés. Nous décrirons quelques choix courants axés sur la sélection d'unités géographiques, mais des procédures similaires peuvent être mises en œuvre dans la seconde étape si les animaux ne peuvent pas tous être échantillonnés individuellement dans les unités géographiques choisies.

Echantillon aléatoire simple. Le modèle d'échantillonnage probabiliste le plus simple est de sélectionner un échantillon aléatoire[12]. Si les données sont agrégées, cela peut se faire en assignant à chaque maille une probabilité égale d'être sélectionnée. L'échantillon aléatoire pourra ensuite être sélectionné par de nombreux logiciels. Par exemple, les étapes suivantes peuvent être utilisés dans Excel pour sélectionner un échantillon de taille « n » à partir du nombre « N » total de mailles.

1. Ouvrir un classeur Excel.
2. Créer une colonne de nombres allant de 1 à N dans la première colonne

http://www.michigan.gov/dnr/0,1607,7-153-10370_12150-26647--,00.html

[12] Dans nos modèles d'échantillonnage, nous échantillonnerons sans remplacement. Cela signifie qu'une unité géographique ne peut être sélectionnée qu'une fois.

3. Insérer deux colonnes vides à droite de vos données.

4. Insérer deux colonnes vides à droite de vos données.

5. Copier la formule RAND() et collez-la sur toute la hauteur de la seconde colonne. Cela générera une colonne de nombres aléatoires.

6. Surligner toute la seconde colonne de nombres aléatoires et copiez-la.

7. Coller les valeurs aléatoires dans la troisième colonne en utilisant 'Collage spécial' et l'option 'valeurs seulement'.

8. Trier les 3 colonnes par ordre croissant des valeurs aléatoires de la colonne

9. Les nombres qui se trouvent dans les lignes 1 à n de la première colonne représentent les mailles à échantillonner.

Si les données sont traitées de manière continue, des points aléatoires « n » doivent être générés dans l'étendue géographique. Il existe plusieurs logiciels spécialisés à même de le faire, dont le programme statistique R (décrit ci-dessous), ainsi que différents logiciels GIS. Si l'étendue géographique est rectangulaire, l'algorithme suivant peut être utilisé dans Excel

1. Ouvrir un classeur Excel.

2. Créer une colonne de n nombres aléatoires dans la première colonne en utilisant la fonction -RAND().

3. Surligner toute la première colonne de nombres aléatoires et la copier.

4. Coller/remplacer les valeurs aléatoires dans la première colonne par un 'Collage spécial' en choisissant l'option 'valeurs'.

5. Déterminer les valeurs maximum et minimum X et Y de votre étendue géographique.

6. Calculer la différence entre les valeurs maximum et minimum pour X et Y

7. Dans la première cellule de la deuxième colonne du classeur, entrer la formule suivante: A1*(Xdiff)+Xmin, où Xdiff est la différence entre les valeurs maximum et minimum de X, et Xmin la valeur minimum de X pour l'étendue géographique.

8. Copier la formule sur toute la colonne 2 jusqu'à la ligne n

9. Dans la première cellule de la troisième colonne du classeur, entrer la formule suivante : A1*(Ydiff)+Ymin, où Ydiff est la différence entre les valeurs maximum et minimum de Y et Ymin la valeur minimum de Y pour l'étendue géographique.

10. Copier la formule sur toute la colonne 3 jusqu'à la ligne n.

11. La colonne 2 contient désormais les coordonnées X et la colonne 3 les coordonnées Y de n lieux géographiques aléatoires à l'intérieur de l'étendue géographique rectangulaire t.

<u>Echantillon aléatoire stratifié</u>. Un échantillon aléatoire stratifié est utilisé lorsqu'un échantillon aléatoire est désiré mais qu'il y a plusieurs strates dans l'étendue géographique qui ne se recoupent pas mais qui sont importantes et ont un impact d'une manière ou d'une autre sur le foyer. En règle générale, pour employer cette technique, des échantillons aléatoires indépendants de taille égale (soit $\frac{n}{\#\ strata}$) sont prélevés de chaque strate au moyen des procédures décrites ci-dessus. Par exemple, supposons que nous avons des strates exploitées par l'homme et d'autres pas à l'intérieur de notre étendue géographique et que nous attendons une densité d'animaux plus faible dans les zones exploitées par l'homme. Nous pouvons être intéressés à évaluer la différence d'intensité du foyer entre ces deux strates. Dans ce cas, un échantillonnage aléatoire stratifié constitue le modèle d'échantillonnage adapté.

Il est important de noter qu'il existe plusieurs manières d'allouer des tailles d'échantillons entre les strates autres que des tailles égales. Pour garantir qu'un modèle d'échantillonnage optimal soit utilisé, consulter un statisticien n) sont extraits de chaque strate selon les procédures décrites ci-dessus. Supposons par exemple que notre étendue spatiale comporte des strates développées par l'homme et des strates non développées, et que le nombre d'animaux présents dans les régions développées par l'homme soit moins élevé. Il pourrait être intéressant d'évaluer les différences d'intensité du foyer entre ces strates. Dans ce cas, l'échantillonnage aléatoire stratifié constitue un plan d'échantillonnage adéquat. Il est important de souligner qu'il existe plusieurs moyens possibles de répartir la taille des échantillons entre les strates hors des tailles d'échantillons identiques. Il convient de consulter un statisticien pour s'assurer de la mise en œuvre de plans d'échantillonnage optimaux.

<u>Enchantillon de probabilités inégales</u>. Dans les méthodes d'échantillonnage précédentes, la probabilité qu'une unité ou un lieu géographique soit sélectionné est égale pour tous les emplacements. Ou, des modèles d'échantillonnage de probabilités inégales, avec des probabilités de sélection variables, peuvent être appropriés, voire souhaités dans certaines situations. L'échantillonnage de probabilités inégales est utilisé lorsque des informations auxiliaires utiles pour résoudre le problème sont disponibles. Ces informations peuvent alors être utilisées pour améliorer nos estimations des indicateurs de maladie (en diminuant leur variabilité) ou pour augmenter la probabilité de détecter un pathogène s'il est présent dans notre étendue géographique. Partons par exemple de l'hypothèse que la probabilité de détecter un pathogène soit liée à la densité d'hôtes dans le paysage. Nous avons des estimations de la densité d'hôtes qui varient géographiquement dans l'étendue qui nous intéresse. Si nous avons procédé au maillage de notre étendue géographique, nous pouvons estimer la densité pour chaque maille. Nous pouvons ensuite utiliser la méthode de cumul des tailles pour estimer la probabilité d'échantillonnage pour chaque maille. La procédure dans Excel pour générer des probabilités d'échantillonnage et pour sélectionner des mailles en utilisant ces probabilités est la suivante:

1. Ouvrir un classeur Excel

2. Créer une colonne de nombres de 1 à N dans la première colonne

3. Dans la deuxième colonne, entrer l'estimation de la densité en hôtes pour chaque maille de 1 à N. S'assurer que l'estimation de la densité correspond au numéro de la maille dans la cellule adjacente de la première colonne

4. Dans la première cellule de la troisième colonne, saisir la formule suivante : B1/somme(B1:BN)[13]. Il s'agit de la probabilité d'échantillonnage

5. Dans la première cellule de la quatrième colonne, saisir la formule suivante : -C1.

6. Dans la deuxième cellule de la quatrième colonne, saisir la formule suivante :-SUM($D1,C2).

7. Copier cette formule sur toute la colonne jusqu'à la ligne N

8. Dans la première cellule de la cinquième colonne, saisir la formule suivante: -RAND().

9. Copier cette formule sur toute la colonne jusqu'à la ligne n.

10. Surlignez toute la cinquième colonne de nombre aléatoires et la copier.

11. Coller les valeurs aléatoires dans la sixième colonne en utilisant 'Collage spécial', en choisissant l'option 'valeurs'

12. Paste the random values in the sixth column using "Paste Special: and the values only optioDéterminer la ligne contenant la valeur la plus élevée dans la quatrième colonne < la valeur aléatoire dans la première cellule de la sixième colonne. Ce numéro de ligne est la première maille sélectionnée. L'enregistre.

13. Trouver la cellule dans la deuxième colonne qui correspond au numéro de ligne sélectionné à l'étape 12, et donner la valeur de zéro à cette cellule.

14. Répéter maintenant les étapes 12 et 13 jusqu'à ce que les n mailles aient toutes été sélectionnées. Noter que les cellules qui ont déjà été sélectionnées et dont les valeurs de densité ont été fixées à zéro ne sont plus disponibles pour une nouvelle sélection.

---

[13] Remplacer N dans la formule avec le nombre total effectif de cellules

Lente et fastidieuse, la sélection des échantillons au moyen de la procédure ci-dessus n'est clairement faisable que lorsque n est petit. En règle générale, d'autres logiciels plus efficaces sont utilisés. Nous présenterons un code simple montrant comment sélectionner des échantillons de probabilités égales ou inégales à l'aide du programme statistique open source R . Pour cet exemple de programmation, nous présumons qu'un fichier de valeurs séparées par des virgules (.csv) a été créé et qu'il contient les identifiants des mailles dans la colonne 1, les estimations de densité pour chaque cellule dans la colonne 2 et les probabilités d'échantillonnage dans la colonne 3 (un dossier créé selon les étapes 1-4 ci-dessus).

```
setwd("C:\\temp") #set the working directory
input<-read.csv("filename.csv") #import data in .csv format

output.equal<-sample(1:nrow(input),n,
        replace = FALSE, prob = NULL) #equal prob. sampling output.unequal<-
sample(1:nrow(input),n,
        replace = FALSE, prob = input[,3]) #unequal prob. sampling

output.equal #view results output.unequal #view results

write.csv(output.equal,"eql.csv") #write results to .csv file
write.csv(output.unequal,"uneql.csv")
```

On voit qu'il est simple d'effectuer des procédures d'échantillonnage à l'aide de R. D'autres logiciels disposent de fonctionnalités similaires.
Une autre utilisation courante des modèles d'échantillonnage de probabilités inégales est d'utiliser la proximité spatiale d'une maille avec l'emplacement d'un site de foyer connu. Les mailles proches du foyer seront échantillonnées avec une probabilité élevée, cette probabilité diminuant avec l'augmentation de la distance par rapport au site.
Si l'étendue géographique d'intérêt n'a pas été maillée, l'échantillonnage de probabilités inégales peut être utilisé pour générer des emplacements géographiques ; ces techniques sont toutefois plus compliquées et requièrent l'aide d'un statisticien. Ce point ne sera donc pas discuté ici.

Echantillon de convenance L'échantillonnage de convenance est le type d'échantillonnage le plus courant dans les enquêtes sur les foyers, mais hélas le moins rigoureux. L'échantillonnage de convenance ne repose pas sur un fondement probabiliste pour choisir les unités ou les lieux géographiques, mais laisse aux enquêteurs le loisir de décider quelle maille ou quel lieu sélectionner. Cette décision repose généralement sur des considérations logistiques comme la facilité d'accès. Même si cette approche de l'échantillonnage est la plus simple à mettre en œuvre, elle est problématique pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle n'est pas reproductible, ce qui est un des fondements de toute enquête scientifique. Ensuite, elle peut donner lieu à des échantillonnages biaisés, menant à des déductions erronées. Et enfin, elle peut sérieusement limiter les déductions qu'il est possible de faire à partir des données récoltées, à moins que des hypothèses solides et généralement non valables ne soient faites. Nous ne recommandons pas l'échantillonnage de convenance et nous vous encourageons, dans la mesure du possible, à procéder à un échantillonnage probabiliste.

Taille de l'échantillon. Déterminer la taille nécessaire de l'échantillon lorsque des considérations géographiques sont inclues dans les modèles d'échantillonnage probabilistes peut s'avérer très complexe du fait que, pour un coût donné, il y a des compromis à faire entre le nombre d'unités géographiques échantillonnées et le nombre d'individus échantillonnés dans une unité géographique. En règle générale, les informations suivantes ou une approximation sont, au minimum, nécessaires :

1. Précision ou confiance souhaitée de l'enquête.

2. Sensibilité et spécificité de l'épreuve.

3. Coûts associés avec l'échantillonnage des unités géographiques et des animaux pris individuellement.

4. Variabilité entre les unités géographique.

5. Variabilité entre les animaux pris individuellement dans les unités géographiques.

Pour les modèles d'échantillonnage en une phase, les outils utilisés afin de déterminer les tailles d'échantillon pour des individus sur un site unique tels que décrits plus haut peuvent être utilisés. AusVet fournit également certains outils pour calculer la taille des échantillons lorsque l'objectif est de démontrer l'absence d'un pathogène ou d'une maladie au moyen de modèles en deux phases. Ces outils sont conçus pour l'échantillonnage d'individus dans plusieurs troupeaux, mais ils peuvent aussi être utilisés pour échantillonner des unités géographiques en remplaçant les troupeaux d'individus par des unités géographiques.
En règle générale toutefois, lorsqu'on utilise des modèles d'échantillonnage en deux phases pour estimer les indicateurs d'intensité de la maladie dans le cadre d'enquêtes sur un foyer, on ne peut se dispenser de l'aide d'un statisticien du fait que les tailles d'échantillon requises, que ce soit d'unités géographiques ou d'animaux individuels, nécessitent le calcul des écarts et constituent souvent un problème d'optimisation informatique. Trouver la solution optimale peut nécessiter la rédaction d'un code informatique personnalisé pour maximiser la précision tout en minimisant les coûts et demandera à être taillé sur mesure pour chaque enquête sur un foye.

VII. AUTRES CONSIDÉRATIONS

Parmi les autres considérations importantes pour les enquêtes sur les foyers figure le fait que plusieurs agents pathogènes et plusieurs espèces peuvent être impliqués dans un foyer. Il est fréquent que différents agents pathogènes soient isolés chez les individus concernés par un foyer, certains d'entre eux pouvant être des germes commensaux. Cela introduit un niveau de complexité supplémentaire lorsque l'objectif est de déterminer le facteur causal. Dans ces cas, des techniques comme l'histopathologie peuvent s'avérer particulièrement utiles pour aider à exclure la responsabilité de certains pathogènes dans la morbidité ou la mortalité. Il faut admettre qu'il est possible que la responsabilité finale du foyer n'incombe pas à un seul pathogène mais qu'elle résulte d'une co-infection avec plusieurs pathogènes.

Dans ce cas, il peut être nécessaire de concevoir une étude qui inclue la collecte et l'échantillonnage d'individus en bonne santé provenant de la même région géographique afin de permettre la modélisation du risque de morbidité/mortalité en fonction de la flore microbienne. La multiplicité des espèces augmente également la complexité du modèle de l'étude. Ceci est particulièrement vrai lors de vastes foyers de maladies aviaires où de nombreuses espèces peuvent se mélanger et peuvent être sujettes à une transmission inter-espèces. Dans ces cas, il est essentiel de définir la population d'intérêt avant de débuter l'enquête. Par exemple, est-ce que la population d'intérêt comprend toutes les espèces impliquées ou l'intérêt est-il limité à chaque espèce individuellement ? La réponse à cette question permettra de déterminer s'il convient d'appliquer les différents aspects d'un modèle d'étude de manière individuelle ou sur l'ensemble des espèces impliquées.

VIII. RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

Franson, J.C., Friend, M., Gibbs, S.E.J., and Wild, M.A., eds., 2015, Field manual of wildlife diseases: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 15, variously paginated:http://dx.doi.org/10.3133/tm15.ISSN2330-7055 (http://pubs.usgs.gov/tm/15/)

Lohr, S. L. 1999. Sampling: design and analysis. Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, CA, USA.

Sleeman, J. M., Brand, C. J. & Wright, S. D. 2012. Strategies for wildlife disease surveillance. In: New Directions in Conservation Medicine (eds.) Aguirre, A. A., Ostfeld, R. S, & Daszak, P. Oxford University Press, Oxford. Pp. 539-551.

WOBESER, G. A. 2007. Investigation and Management of Disease in Wild Animals. Springer.

WOBESER, G. A. 2006. Essentials of Disease in Wild Animals. Blackwell Publishing.

World Organisation for Animal Health. 2010. Training manual on wildlife diseases and surveillance. (http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Internationa_Standard_Setting/docs/pdf/WGWildlife/A_Training_ Manual_Wildlife.pdf)

World Organisation for Animal Health. 2015. Training manual on surveillance and international reporting of diseases in wild animals. (http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Internationa_Standard_Setting/docs/pdf/WGWildlife/A_Training_Manual_Wildlife_2.pdf).

IX. Exercise de Simulation : Enquête sur un Foyer dans la Faune Sauvage dans le "Dominion d'Atlantis"

(Note : ce pays n'existe pas)

Scénario 1

Vous êtes l'épidémiologiste responsable de la faune sauvage au Ministère de la Santé du Dominion d'Atlantis.

Vous avez reçu un rapport d'une citoyenne faisant état de la découverte, dans sa propriété, de 5 animaux morts. Elle ne peut pas se prononcer avec certitude sur l'espèce, mais elle pense qu'il s'agit d'un type d'antilope. Elle a trouvé les animaux morts en parcourant sa propriété dans son véhicule tout terrain ce matin. Elle n'a pas vu de signe apparent de traumatisme et elle n'a pas connaissance de grands prédateurs dans la région. Elle est très contrariée par ces cadavres et veut que quelqu'un vienne les enlever et élucider la chose. Elle vous fait savoir qu'elle prévoit d'informer les médias locaux.

Vous enregistrez les informations fournies par cette citoyenne et vous prenez ses coordonnées.

Dans l'heure qui suit son premier appel, la station de radio locale dévoile cette première découverte et un autre rapport arrive d'un professeur de sciences retraité de l'université qui décrit une découverte similaire et alarmante (10 à 12 antilopes décédées) faire lors de sa toute récente excursion dans les hauts de l'Île d'Atlantis. Le professeur s'y promène 4 à 5 fois par semaine et voit souvent des animaux dans cette zone. Il est certain qu'il n'y avait pas d'animaux morts 48 heures auparavant. Le professeur propose d'aider votre équipe à retrouver la zone concernée, un peu à l'écart de la route principale. Il propose également d'aider à effectuer le travail potentiellement nécessaire.

Vos bureaux sont situés dans la capitale d'Atlantis, Bigtown. Des informations détaillées sur Atlantis, sur l'antilope atlantienne ainsi que des cartes figurent dans l'Annexe A, étayant le scénario.

Activité

En petits groupes, passez en revue le matériel concernant les enquêtes sur les foyers et les étapes nécessaires pour se préparer à y répondre.

Définissez, dans les espaces prévus ci-dessous à cet effet, ce dont votre groupe a besoin pour répondre à ce foyer dans les 24 heures qui suivent la réception de ces rapports.

1. Quel est le personnel que vous contacteriez pour votre réponse ? Quelle logistique envisagez-vous pour préparer le début de votre enquête sur le foyer ? Discutez et définissez les priorités en termes de besoins pour que votre personnel puisse répondre et effectuer une enquête sur le foyer. Cette question concerne les détails de la mobilisation de votre équipe.

2. Quels sont les éléments à prendre en compte afin de préparer la récolte, la manipulation et l'analyse convenables des échantillons?

3. Comment prévoyez-vous de collecter les données à votre arrivée sur le site du foyer?

4. Décrivez vos plans pour le contrôle initial de la maladie, le cas échéant.

S'amuser avec des exercices chiffrés - Exercice individuel destiné à vous donner l'occasion de mieux comprendre ces concepts. Complétez les tableaux qui suivent à l'aide des informations fournies ci-dessous.

Exercice A

Vous enquêtez sur le mort de 1000 mouflons canadiens. Vous avez consciencieusement échantillonné chaque animal et récolté 1000 écouvillons oro-pharyngés. Vous savez que la prévalence véritable de M. ovipneumoniae est de 25% et que la sensibilité de votre test est de 80% et sa spécificité de 90%. En utilisant ces informations, complétez le tableau ci-dessous.

		Statut infectieux véritable			Valeurs prédictives
		+	-	Total	
Résultats de l'épreuve diagnostique	**+**				**Résultats d l'épreuve diagnostiqu**
	-				
Total				**1000**	**Total**

Note : Valeur prédictive positive = nombre d'animaux infectés correctement classés /nombre total d'animaux testés positifs ; Valeur prédictive négative = nombre d'animaux en bonne santé correctement classés /total d'animaux testés négatifs

Calculez le taux de prévalence apparent dans cet exemple.

Exercice B

Répétez maintenant vos calculs avec une prévalence véritable de 75%. La sensibilité de votre test est de 80% et sa spécificité de 90%.

		Statut infectieux véritable			Valeurs prédictives
		+	-	Total	
Résultats de l'épreuve diagnostique	**+**				**Résultats de l'épreuve diagnostiqu e**
	-				
Total				**1000**	**Total**

Calculez le taux de prévalence apparent dans cet exemple.

Exercice C

Décrivez dans vos propres termes, l'effet de la prévalence véritable sur les estimations de la prévalence apparente et sur les valeurs prédictives en vous basant sur les résultats des exercices A et B

Exercice de groupe

Votre enquête initiale sur le cas de mortalité d'antilopes décrit dans le Scénario 1 indique que les antilopes sont vraisemblablement mortes d'une maladie aiguë. En raison de la valeur sociétale élevée associée à l'antilope atlantienne, vous avez reçu la consigne d'effectuer une enquête « complète » sur le foyer pour la population d'antilopes atlantiennes de l'île. Votre supérieur vous enjoint notamment de déterminer l'étude géographique du foyer sur l'île. Il vous informe toutefois que les ressources sont limitées et qu'il n'est pas possible d'inspecter toute l'île. Des informations détaillées concernant Atlantis, l'antilope atlantienne ainsi que des cartes figurent à l'Annexe A pour étayer le scénario.

Pouvez-vous imaginer une autre manière d'augmenter la valeur prédictive d'un test?

Scénario 2 :

Votre enquête initiale sur la mortalité de l'antilope décrite dans le scénario 1 indique que l'antilope est probablement morte d'un certain type de maladie aiguë. En raison de la grande valeur sociétale associée à l'antilope d'Atlantide, vous avez reçu pour instruction de mener une enquête « complète » sur la population d'antilopes d'Atlantide de l'île. Votre responsable vous demande notamment de déterminer l'étendue géographique du foyer sur l'île. Il indique toutefois que les ressources sont limitées et qu'il n'est pas possible de réaliser une enquête sur l'ensemble de l'île. Vous trouverez à l'annexe A des informations détaillées sur l'Atlantide, l'antilope de l'Atlantide et des cartes pour vous aider dans ce scénario.

Question 1 (Groupe):

Définissez les objectifs de votre enquête sur le foyer de maladie ?

Question 2 (Groupe):

Quel(s) critère(s) comptez-vous utiliser pour caractériser votre foyer de maladie ?

Comment échantillonneriez-vous les populations d'antilopes sur le territoire d'Atlantis ?

Pourquoi avez-vous choisi ce modèle d'échantillonnage ?

Question 3 (Groupe):

Supposez maintenant que vous tombiez malade et que vous ne soyez pas en mesure de diriger l'enquête sur le foyer de maladie. Votre collègue a été désigné par votre supérieur pour vous remplacer pendant votre absence et a décidé de contrôler le statut sanitaire des populations d'antilopes en arpentant la route principale d'Atlantis qui longe la côte de l'île (voir la carte ci-dessous), s'arrêtant pour chaque antilope que lui ou son équipe voit traverser la route et l'observant à la recherche de signes de morbidité ou de mortalité. Ce sont les données disponibles pour déterminer l'étendue géographique du foyer chez l'antilope atlantienne.

Quel modèle d'échantillonnage votre collègue a-t-il utilisé pour déterminer l'étendue géographique du foyer ?

Qu'est-il possible ou non de dire avec ces données concernant l'étendue du foyer chez l'antilope atlantienne ?

Question 4 (*individuelle*):

Quelle(s) institution(s), quelle(s) organisation(s), quelle(s) université(s) ou quel(s) individu(s) peuvent constituer votre point de contact principal pour la collecte des échantillons et pour leur analyse ? Qui peut être en mesure de répondre à vos questions : quels échantillons collecter ; comment expédier les échantillons ; quelles sont les autorisations nécessaires ; quels sont les laboratoires à disposer des ressources appropriées ?

Annexe A - Le Dominion d'Atlantis, Informations générales

(Ce pays n'existe pas)

Cycle 4 Workshop - 2016

Le Dominion d'Atlantis est une démocratie parlementaire à économie capitaliste.

1. Pratiquement auto-suffisant en termes de production alimentaire, 10% d'exportations balancés par 10% d'importations
2. Principales richesses:
3. Produits agricoles
   - Principaux produits d'exportation : volaille, fromage, peaux de visons d'élevage et vins
   - Les moutons sont particulièrement importants. Une vieille race de moutons a été amenée sur Atlantis par les Vikings au VIIIe siècle av. J.-C. et persiste depuis sur les Îles Mallotus. Ils ont une toison jaune foncée abondante d'une grande valeur commerciale et produisent 4-6 agneaux par brebis chaque année en pâturant toute l'année sans aliment complémentaire. Ils sont également reconnus dans le monde entier comme race laitière pour la production de fromages de brebis exquis et uniques.
4. Produits forestiers pour l'exportation
5. Tourisme

– Observation de la faune, environnements naturels de bord de mer et de forêts, chasse et pêche
   - Les populations de faune sauvage importantes pour le tourisme comprennent
   - l'antilope atlantienne - 550
   - le cerf de Virginie - 30,000
   - l'élan - 2,000
   - l'aigle chauve - 800
   - l'ours noir - 3000

5. Pêche commerciale pour l'exportation (poissons & crustacés)
6. Electricité éolienne et générée par les marées
7. Finance (paradis fiscal)

Localisation : une île de l'Océan Hibernien Nord (voir la carte) Population Humaine :

1. 946'000 individus

- 30% dans les campagnes
- 70% dans les centres urbains,
    - 43% dans la capitale, Bigtown

2. Richesse : Revenu annuel moyen par famille : US$30 000 Superficie : environ 56 000 km2 (130 km x 560 km)

Climat : tempéré du Nord

1. Température estivale moyenne : +21° C
2. Extrêmes des températures annuelles moyennes : -10°C à +28°C
3. Précipitations annuelles : 1 500 mm (300 mm sous forme de neige en hiver) Infrastructures sociales :
4. Ministères/Départements nationaux importants :

– Ministère de la santé

- Laboratoire médical à Bigtown
- 16 hôpitaux régionaux

Ministère de l'agriculture & de l'aquaculture

- Laboratoire de diagnostic vétérinaire à Epiville
- 10 bureaux régionaux

Ministère des ressources naturelles (Département pêche et chasse)

- 18 bureaux régionaux

Ministère de l'environnement (Juridiction sur les réserves sauvages et les parcs nationaux)

- 6 bureaux régionaux

Ministère des ressources océaniques (juridiction sur les poissons et les mammifères marins de l'océan)

- 18 bureaux régionaux

Ministère du tourisme

- Département des permis de pêche, de chasse et de guide éco-touristique

Gouvernement autochtone

- Conseil des autochtones d'Anguille – Gouvernement pour 20 000 autochtones contrôlant toutes les ressources sur 5 000 km2 d'Atlantis, pour la plupart adjacents aux parcs naturels et aux réserves sauvages. Droits de chasse et de pêche spéciaux étendus à la totalité du territoire national.

Universités :

Université nationale Harrison Lewis (20 000 étudiants, Bigtown)

- inclut la Faculté vétérinaire d'Atlantis

6 petites universités régionales (500 à 4 000 étudiants) réparties dans le pays

Organisations non gouvernementales :

Association nationale de producteurs agricoles

Club d'histoire naturelle d'Atlantis (naturalistes)

Association nationale de pêche et de chasse (chasseurs et pêcheurs amateurs)

Union nationale des pêcheurs (pêcheries commerciales de haute mer)

Association des éleveurs de moutons à toison dorée

Calliope International (association pour les droits et le bien-être des animaux)

Antilope atlantienne – Informations sur l'espèce. L'antilope atlantienne (*Antilocapra atlantia*) est une espèce d'antilope connue pour exister uniquement sur l'Île d'Atlantis. Les mâles ou cerfs pèsent 44 - 70 kg (adultes) et les femelles ou biches 37,5 - 55 kg (adultes). Les mâles ont pour principale caractéristique des joues jaunes éclatantes, entourées de rouge et des marques jaunes typiques ornant leurs cornes. Les femelles donnent naissance à un seul faon tous les deux ans en avril. L'antilope atlantienne est une espèce diurne qui passe l'essentiel de la journée à brouter en se déplaçant. La nuit, elle se couche à l'abri. L'espèce a un régime varié et se nourrit de toutes sortes d'herbes et d'essences. Cette espèce est de type grégaire avec des troupeaux de groupes maternels. Les mâles sont chassés du troupeau par les biches avant la mise-bas et se dispersent dans l'île. En raison de sa distribution géographique limitée, l'antilope atlantienne est considérée comme une espècmenacée, et figure sur la liste des espèces

protégées par la CITES. L'antilope est largement répandue sur tout le territoire d'Atlantis ; elle se trouve toutefois en plus grand nombre dans les parcs provinciaux et nationaux (polygones clairs et vers sur la carte). Elle occupe toutes sortes d'habitats sur Atlantis, des forêts côtières aux steppes d'armoise du centre de l'île.Chaque année, le Ministère des ressources naturelles effectue des inspections sur tout le territoire de l'île à l'aide d'un système de grille. Il chiffre le nombre d'antilopes observées dans chaque maille de la grille. Les résultats de l'inspection de 2016 figurent ci-dessous. Les relevés récents ont montré des populations en augmentation. Cette expansion de la population a entraîné une augmentation des contacts avec les moutons domestiques qui circulent souvent librement sur l'île.

L'antilope atlantienne est très appréciée par les populations aborigènes et joue un rôle important dans leur folklore et leurs croyances religieuses. L'antilope est également un symbole de fierté nationale du fait qu'Atlantis est le seul lieu où elle habite et que des touristes du monde entier viennent pour observer cette espèce sur son territoire naturel.

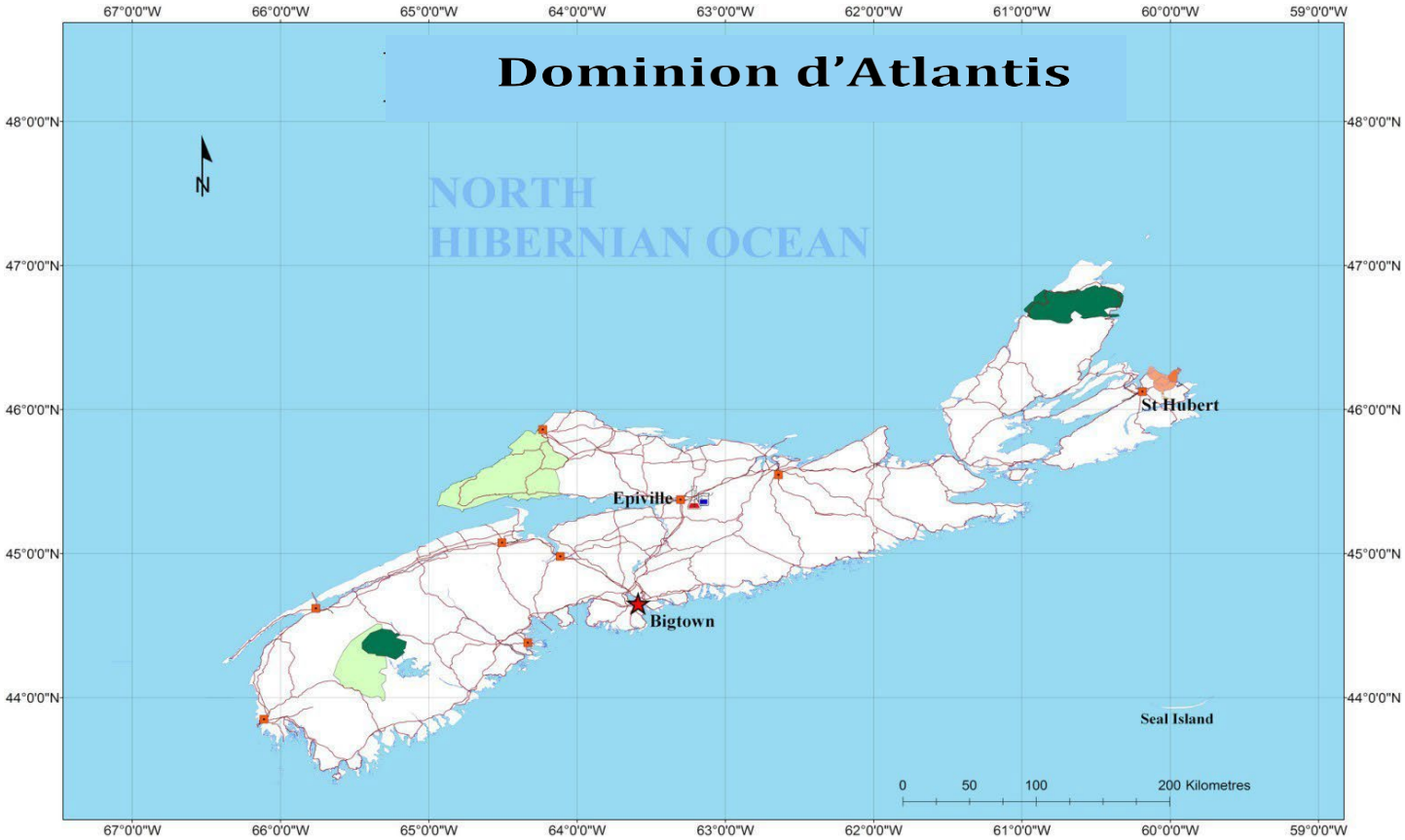


Figure 1 : Carte de l'Île d'Atlantis (vert clair – parcs provinciaux, vert foncé – parcs nationaux).

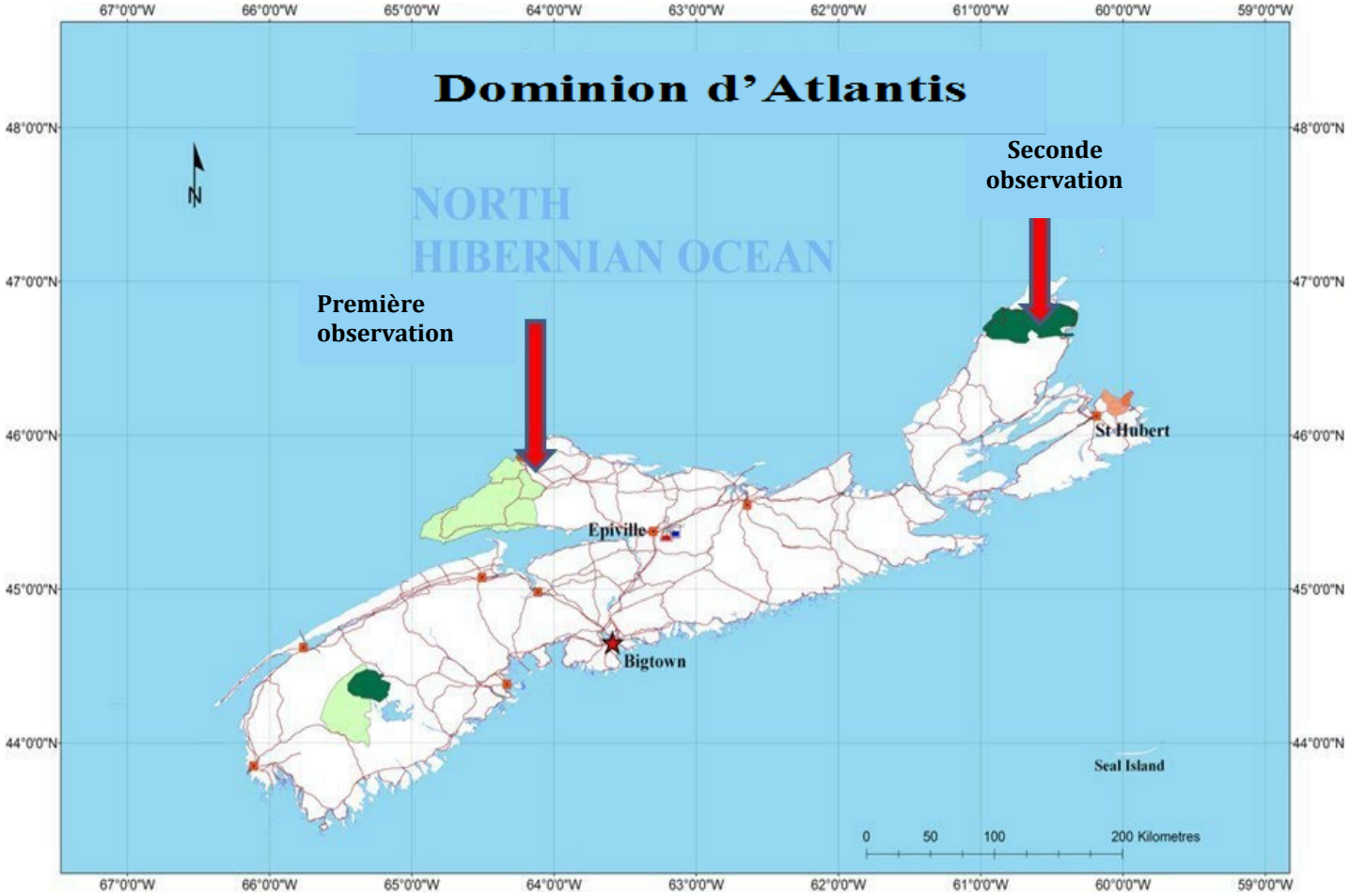


Figure 2 : Localisation des observations initiales d'antilopes morte

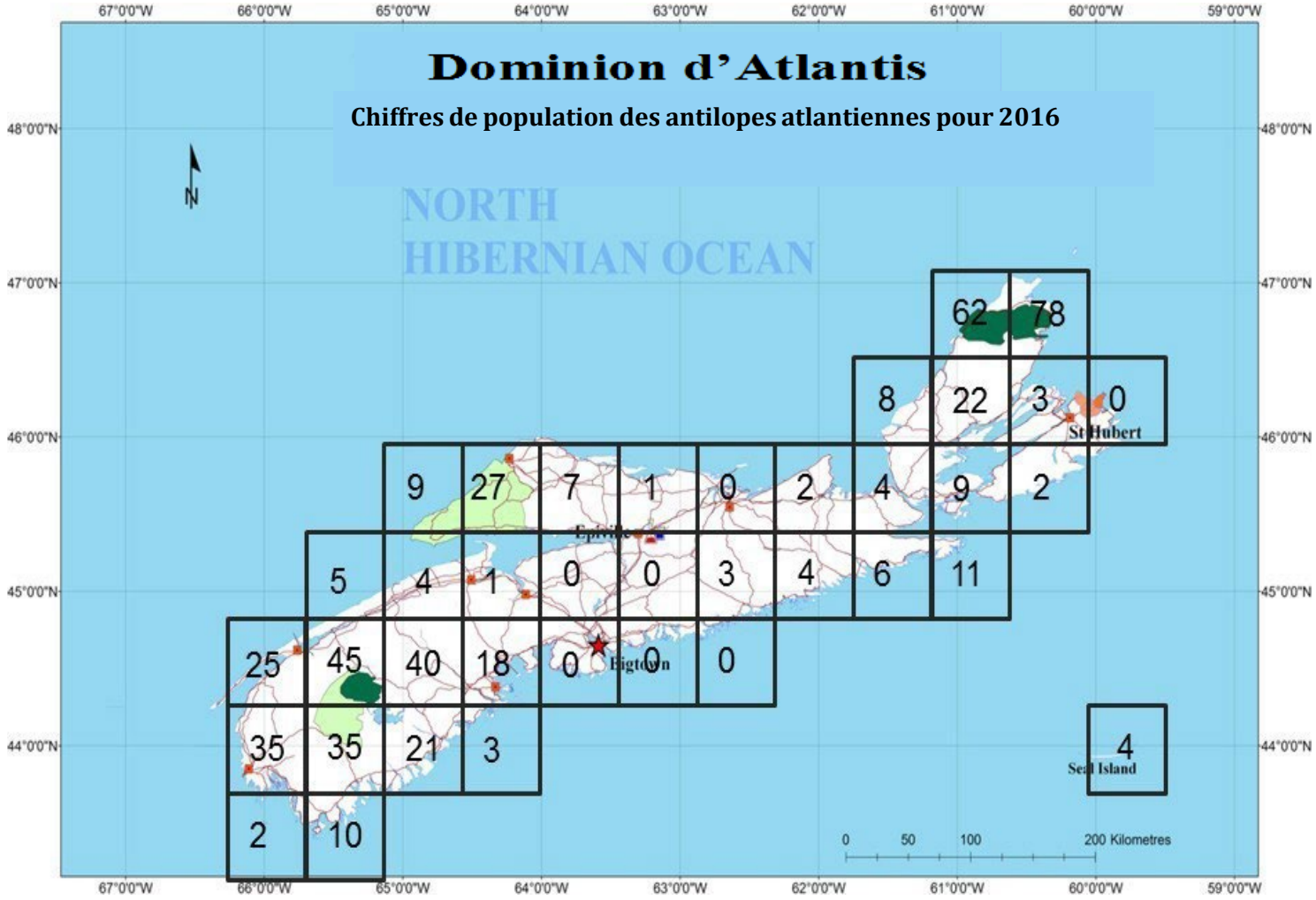


Figure 3 : Informations de l'inspection des antilopes atlantiennes de 2016.

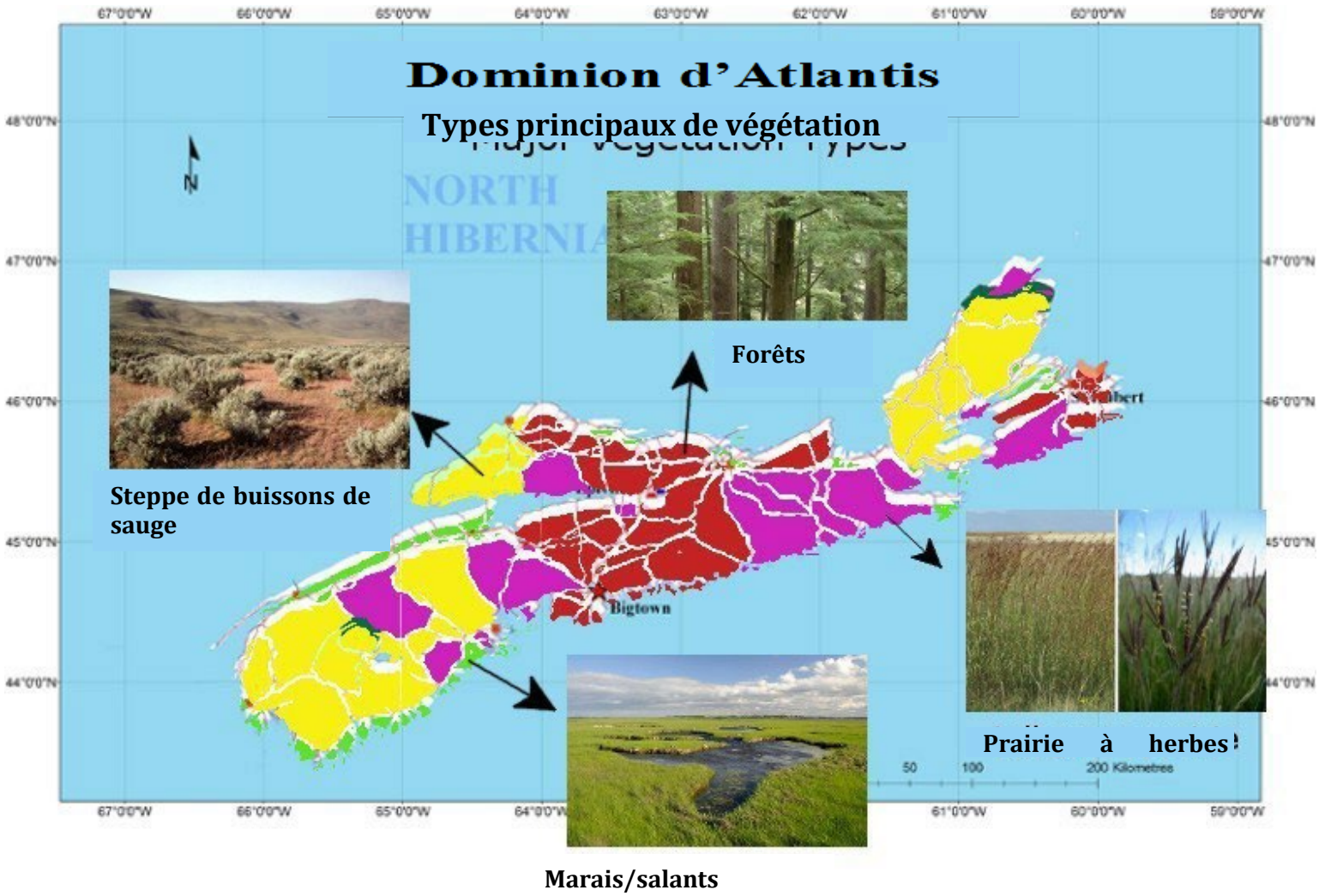


Figure 4: Carte de la végétation d'Atlantis.

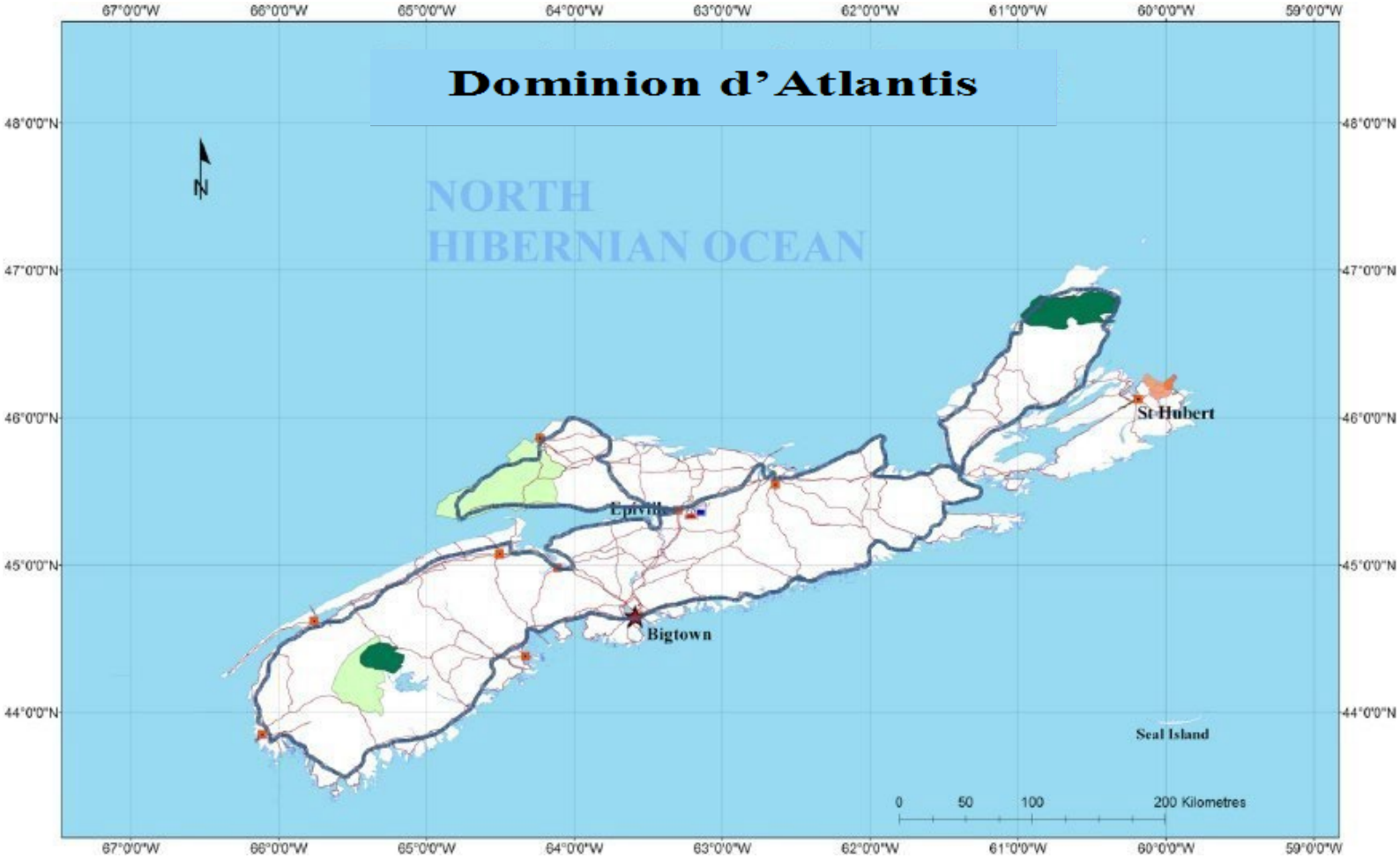


Figure 5 : Carte du tracé de l'inspection pour évaluer l'état sanitaire de la population d'antilopes.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ANIMALE • *Protéger les animaux, préserver notre avenir*
12 rue de Prony 75017 Paris France • tel.: 33(0)1 44 15 18 88 • fax: 33(0)1 42 67 09 87 • www.oie.int • oie@oie.int