

APPRECIATION QUANTITATIVE DU RISQUE :

Notions générales

B. Toma¹

RESUME : *L'appréciation quantitative du risque implique d'aboutir à une estimation quantifiée du risque, accompagnée de son degré d'incertitude.*

Ce texte présente les concepts de base pour y parvenir, en particulier la notion de taux de prévalence instantanée et un rappel sur la construction des arbres de probabilité.

Ensuite est indiquée la démarche pour estimer la probabilité d'introduction de l'agent pathogène par importation d'un animal, puis de n animaux.

Des exemples illustrent différentes situations simples.

SUMMARY : *The quantitative evaluation of the risk implies to generate a quantified estimation of the risk, linked with its own degree of uncertainty.*

This paper presents the basic concepts to reach this level, in particular the notion of rate of immediate prevalence and a reminder of the organisation of probability clusters.

Then we indicated the method estimating the probability of introduction of a pathogen by importing one animal or n animals.

Some examples illustrate various basic situations.



L'appréciation du risque consiste à estimer le risque puis à le comparer au risque acceptable (cf. premier article de ce numéro spécial).

L'estimation du risque peut être soit qualitative (par exemple, probabilité négligeable, ou faible, ou modérée, ou élevée), soit quantitative (c'est-à-dire quantifiée sous forme d'un intervalle). Le présent article porte sur l'estimation quantitative du risque.

La démarche complète d'estimation du risque (cf. premier article de ce numéro spécial) doit intégrer la probabilité d'émission (ou

d'introduction), la probabilité d'exposition ainsi que les conséquences sanitaires et économiques du danger. Pour des raisons d'économie (de temps et donc de coût) et de commodité (notamment en raison de l'incertitude de la relation dose/effet), la démarche est parfois raccourcie et limitée à l'estimation de la probabilité d'émission (ou d'introduction de l'agent pathogène dans un pays, pour une importation).

¹ ENVA, 94704 Maisons-Alfort cedex, France

Dans un souci de simplification de la présentation, nous nous limiterons à cette approche d'estimation de la probabilité d'introduction de l'agent pathogène. Le passage de la probabilité d'introduction de l'agent au risque global estimé repose sur les mêmes principes que ceux que nous allons rencontrer pour l'estimation de la probabilité d'introduction de l'agent².

L'estimation de la probabilité d'introduction de l'agent peut se faire de manière simple (dite déterministe), correspondant à la moyenne estimée pour chaque paramètre à prendre en compte (ainsi qu'aux extrêmes), ou de manière plus sophistiquée (dite probabiliste), tenant compte de la distribution vraisemblable de probabilité de chaque paramètre.

Dans cet article, nous n'évoquerons que la méthode déterministe.

Lors de chaque analyse de risque, il convient de tenter de répondre aux deux questions suivantes :

De quelles informations ai-je besoin ?
Comment les traiter ?

La réponse à la première question passe par une analyse de la situation et une disposition en ordre chronologique de tous les segments de la séquence pouvant conduire, par exemple lors d'importation d'animaux, à l'introduction de l'agent pathogène (construction de scénarios).

La réponse à la seconde question est grandement facilitée par la construction d'un arbre de probabilité.

Nous évoquerons successivement :

- Des notions de base portant sur les informations nécessaires et sur leur traitement ;
- La probabilité d'introduction de l'agent par une unité d'importation ;
- La probabilité d'introduction de l'agent par n unités.

1 - NOTIONS DE BASE

L'estimation quantitative de la probabilité d'introduction de l'agent pathogène peut se faire, soit pour un risque global, correspondant par exemple à un animal tiré au sort au sein d'une population, soit pour un risque réduit, découlant de diverses mesures de gestion du risque destinées à diminuer la probabilité (cf. premier article de ce numéro spécial).

Dans un souci de simplification de la démarche présentée, il est préférable de commencer par l'estimation quantitative de la probabilité d'introduction d'un agent pathogène correspondant à un risque global.

Pour un risque réduit, la démarche est semblable, mais comporte différents facteurs supplémentaires à prendre en compte.

1. LES INFORMATIONS NECESSAIRES

Trois catégories d'informations, au moins, sont nécessaires pour la réalisation d'une estimation quantitative de la probabilité d'introduction de l'agent pathogène en vue de l'importation d'animaux vivants :

des informations d'épidémiologie descriptive ;
des informations d'épidémiologie analytique ;
des informations d'ordre prophylactique.

• Informations d'épidémiologie descriptive

On peut distinguer des connaissances générales en épidémiologie descriptive, portant sur l'incidence et la prévalence des maladies, et des informations spécifiques relatives à la situation épidémiologique de la (des) maladie(s) prise(s) en compte, dans le pays exportateur.

² Des emprunts ont été faits au chapitre X du livre *Epidémiologie appliquée* de Toma *et al.*, édité par l'AEEMA et disponible au secrétariat de l'Association (prix en 2002 : 18,3 euros).

Lors d'importation d'animaux vivants, l'estimation du risque est fonction de la fréquence de la maladie dans le pays exportateur, fréquence qui s'exprime en termes d'incidence et de prévalence

- **Informations d'épidémiologie analytique**

Les informations sur les maladies infectieuses ou parasitaires, utiles pour l'estimation du risque, portent notamment, pour chaque maladie, sur :

- la durée moyenne du portage de l'agent pathogène et de l'expression clinique de la maladie, avec ses variations ;

- l'existence d'un réservoir sauvage et de vecteurs, etc.

- **Informations d'ordre prophylactique**

Elles portent sur les différents moyens de dépistage et de diagnostic des maladies ainsi que de lutte, comme :

- les caractéristiques (*sensibilité, spécificité*) des tests de dépistage utilisés (*moyennes, variations*) ;

- l'efficacité des mesures de prophylaxie disponibles (*quarantaine, vaccination, dépistage, etc.*) (*moyennes, variations*), etc.

Bien sûr, parmi les informations nécessaires figurent aussi le nombre et la nature des marchandises à importer (*espèce animale, sexe, âge, caractéristiques particulières*), ainsi que tous les renseignements portant sur les modalités de traitement et de conservation lorsqu'il s'agit de produits d'origine animale.

2. LE TRAITEMENT DES INFORMATIONS

Le traitement statistique des informations a recours essentiellement au calcul de probabilité pour des événements indépendants et à des arbres de probabilité.

- **Calcul de probabilité**

La règle majeure de calcul de probabilité utilisée en appréciation de risque quantitative est très simple.

Rappelons que la probabilité d'un événement A est l'expression quantifiée de la prévision de sa survenue :

$$P(A) = \frac{\text{Cas intéressants}}{\text{Cas possibles}}$$

Par « cas intéressants », il faut entendre « les cas auxquels on s'intéresse », c'est-à-dire par exemple la probabilité de tirer une carte de carreau ou un as dans un jeu de cartes, de tirer un animal infecté dans un troupeau infecté, etc.

Pour deux événements, A et B, **indépendants et non exclusifs**, la probabilité de survenue conjointe des deux événements est égale au produit de leurs probabilités.

$$P(A \text{ et } B) = P(A) \times P(B)$$

Il en est de même pour un nombre supérieur d'événements A, B, C, etc., indépendants et non exclusifs :

$$P(A \text{ et } B \text{ et } C) = P(A) \times P(B) \times P(C)$$

Nous retrouverons ce principe au sein des arbres de probabilité.

- **Arbre de probabilité**

Il est possible de bâtir des arbres de probabilité, composés de branches partant de nœuds aléatoires et portant les probabilités correspondantes (cf. figures 1 et 2).

La probabilité de la feuille située en bout de branche est égale au produit des probabilités des rameaux de la branche qui la porte. La somme des probabilités correspondant à tous les cas possibles est égale à 1. De même, la somme des probabilités partant d'un nœud aléatoire est égale à 1. Ces notions de base, simples, appliquées à des scénarios de probabilité rationnels et bien documentés, permettent d'aboutir à une probabilité d'occurrence d'un événement séquentiel.

Exemple :

dans un pays, 20 p. cent de la population canine vit en zone d'enzootie de rage et 80 p. cent en zone indemne. En zone d'enzootie de rage, la proportion de chiens vaccinés contre cette maladie est de 70 p. cent et en zone indemne elle n'est que de 10 p. cent.

La figure 2 montre la façon de construire un arbre de probabilité avec ces données et de calculer les différentes probabilités, lors de tirage au sort d'un chien, d'avoir un chien vacciné venant d'une zone d'enzootie, ou un chien non vacciné venant d'une zone indemne, etc.

FIGURE 1

Terminologie utilisée pour un arbre de probabilité

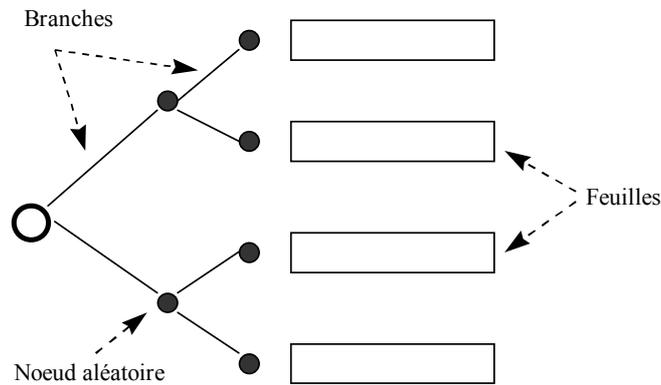
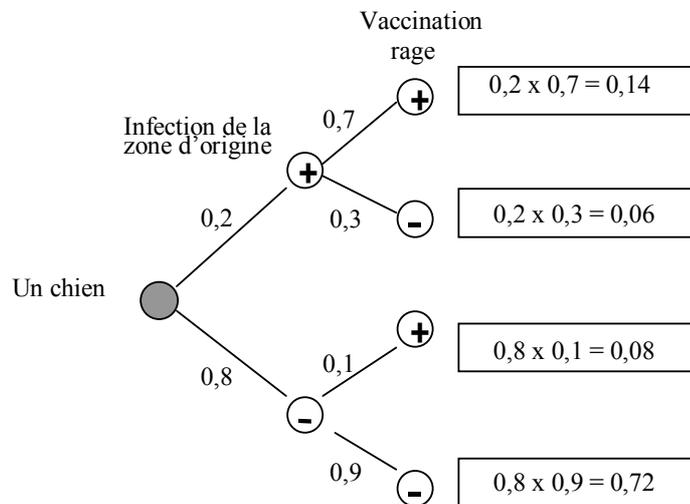


FIGURE 2

Exemple d'arbre de probabilité fondé sur la zone d'origine d'un chien et la vaccination antirabique

Si les probabilités sont celles mentionnées sur les branches, la probabilité d'obtenir par tirage au sort d'un chien dans ce pays, un chien issu de la zone d'enzootie et vacciné contre la rage, est de 0,14 ou 14 p. cent. La probabilité d'obtenir par tirage au sort un chien vacciné contre la rage est de 0,22 (ou 22 p. cent), c'est-à-dire : $0,14 + 0,08$.



II - PROBABILITE D'INTRODUCTION DE L'AGENT PAR UNE UNITE D'IMPORTATION

La détermination de l'unité importée varie selon qu'il s'agit d'animaux vivants ou de produits d'origine animale.

Lors d'importation d'animaux vivants, une unité correspond à un animal, ou à un lot d'animaux pour les espèces de petite taille.

Lors d'importation de produits d'origine animale, il faut effectuer un calcul pour estimer le nombre d'animaux (et donc d'unités) auquel correspond l'importation. Ainsi, pour un lot de 1000 kg de jambons, en considérant que le poids moyen d'un jambon est de 8 kg et compte tenu de la fourniture de deux jambons par porc, on conclut que 1000 kg de jambons correspondent à 62 porcs ou unités animales importées.

$$\text{Nombre d'unités} = \frac{1000}{8 \times 2} = 62$$

Dans un premier temps, nous ferons l'estimation de la probabilité correspondant à une unité. Nous évoquerons ultérieurement celle correspondant à n unités animales importées.

Cette estimation conduit à rencontrer les notions de taux de prévalence instantanée, de prévalence apparente et de prévalence probable.

1. TAUX DE PREVALENCE INSTANTANEE

La notion de **taux de prévalence instantanée** est importante en appréciation quantitative de risque. Le taux de prévalence instantanée correspond à la proportion de sujets atteints parmi la population réceptive, à un moment donné :

$$T^x P_{\text{inst}} = \frac{n}{N}$$

n : nombre de sujets malades ou porteurs à l'instant t (prévalence instantanée)

N : nombre de sujets de la population réceptive

Le dénominateur est en général facile à obtenir.

Il convient de calculer le numérateur.

Le taux de prévalence instantanée permet de déduire la probabilité d'avoir un sujet atteint de la maladie M (ou infecté), par tirage au sort d'un sujet au sein d'une population où existe cette maladie.

La prévalence instantanée d'une maladie dans une population est fonction, d'une part, de l'incidence de la maladie, d'autre part, de la durée de la maladie (ou de l'infection inapparente).

On comprend aisément que la prévalence est d'autant plus élevée que l'incidence l'est.

Par ailleurs, la prévalence (et le taux de prévalence) est d'autant plus élevée que la maladie (ou l'infection inapparente) dure longtemps.

La figure 3 illustre bien cette relation entre la prévalence (et le taux de prévalence) et la durée de la maladie (ou de l'infection inapparente).

Pour une analyse de risque, l'information à prendre en compte est la proportion d'animaux malades (ou porteurs) au sein de la population à un moment donné (au moment du choix des animaux à exporter). Cette proportion correspond au **taux de prévalence instantanée**.

Si les animaux sont importés à différents moments, c'est la prévalence instantanée à ces différents moments qui est à prendre en considération. En fait, en général, on utilise la prévalence instantanée moyenne de l'année la plus proche de la date de réalisation de l'analyse de risque.

La prévalence instantanée peut être approchée par la formule suivante :

$$P_{\text{inst}} = i \times d$$

P_{inst} = prévalence instantanée

i = incidence annuelle

d = durée (par rapport à un an).

³ En cas d'apparition irrégulière, l'estimation de la prévalence instantanée est plus complexe.

Ainsi, pour une maladie qui apparaîtrait régulièrement (*tout au long de l'année*), sous forme de cas isolés, si 300 cas apparaissaient au cours de l'année et que chaque cas évoluait pendant un mois (*soit un douzième d'année*), la prévalence instantanée moyenne serait :

$$P_{inst} = 300 \times 1/12 = 25$$

On peut dire qu'en moyenne, pour une telle maladie, environ 25 cas seraient présents à tout moment (prévalence instantanée moyenne).

FIGURE 3

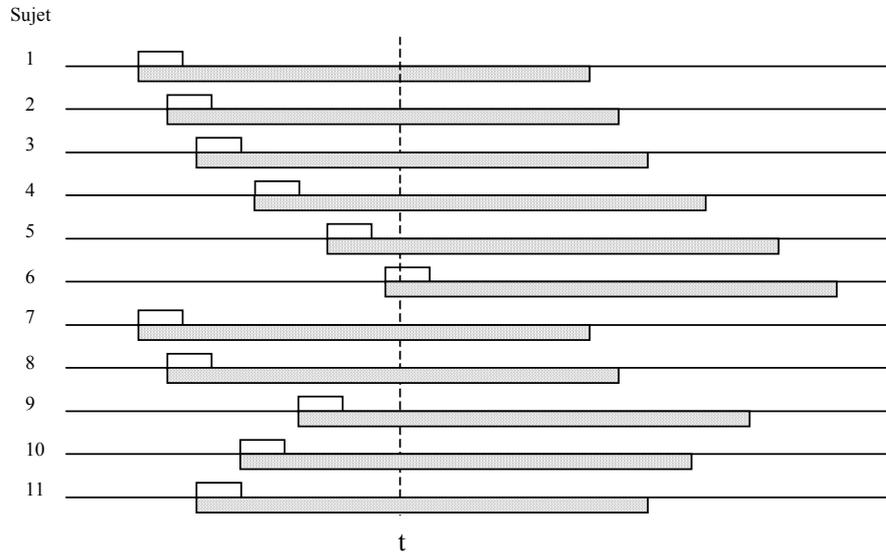
Illustration de la relation entre la prévalence et la durée d'une maladie

L'incidence des deux maladies M₁ et M₂ est la même dans une zone donnée.

La maladie M₁ dure dix fois moins longtemps que la maladie M₂. La prévalence (et le taux de prévalence) de la maladie M₂ est dix fois plus forte (en moyenne) que celle de la maladie M₁

Maladie M₁
 Maladie M₂

Sur le schéma, le taux de prévalence instantanée de M₁ au temps t est : 1 et celui de M₂ est : 11



Cette même relation entre prévalence et incidence peut s'exprimer entre taux de prévalence et taux d'incidence :

$$T^x P_{inst} = T^x i \times d$$

$T^x P_{inst}$ = taux de prévalence instantanée
 $T^x i$ = taux d'incidence annuelle
 d = durée (par rapport à un an)

Si les 300 cas étaient apparus dans une population de 10⁶ animaux :

$$T^x P_{inst} = 300 \times 10^{-6} \times 1/12 = 2,5 \times 10^{-7}$$

Le taux de prévalence instantanée moyenne dans cette situation serait de 2,5 x 10⁻⁷, c'est-à-dire qu'à tout moment, la probabilité d'obtenir un animal malade par tirage au sort d'un individu dans cette population serait de 2,5 x 10⁻⁷.

Pour calculer la prévalence instantanée (ou le taux de), il est donc nécessaire de multiplier l'incidence estimée pour la période correspondante, par un coefficient résultant du rapport entre la durée de la maladie (ou de l'infection) et la durée de la période étudiée (quelle que soit la durée de la période).

La connaissance de l'incidence et du temps moyen de maladie ou de portage de l'agent pathogène est donc capitale pour calculer le taux de prévalence instantanée moyenne qui correspond à la probabilité d'avoir affaire à un individu malade ou porteur, par tirage au sort d'un animal dans la population.

2. PREVALENCE APPARENTE ET PREVALENCE PROBABLE

Toute estimation du risque de présence de l'agent pathogène dans une marchandise (*animaux, produits d'origine animale*) est tributaire de la connaissance de la prévalence de cet agent pathogène dans le pays exportateur.

Or, la **prévalence réelle** de l'infection ou de l'infestation n'est pas connue. L'information disponible porte sur la **prévalence apparente**, fondée, selon les cas, exclusivement sur l'identification de l'expression clinique de la maladie ou à la fois sur celle-ci et sur un dépistage des infections inapparentes.

Prévalence réelle et prévalence apparente sont d'autant plus éloignées que la surveillance épidémiologique est défectueuse, les Services vétérinaires peu performants et les tests de dépistage peu fiables. Même avec des Services vétérinaires efficaces et une surveillance épidémiologique de qualité, il n'est pas possible de prétendre identifier tous les cas cliniques ni, *a fortiori*, tous les animaux infectés de façon inapparente.

Ceci a conduit différents auteurs à utiliser un coefficient multiplicateur de la prévalence apparente (ou annoncée) en vue d'aboutir à une **prévalence probable** (ou la plus probable), plus proche de la prévalence réelle (inconnue) que la prévalence apparente.

Selon les cas, le(s) coefficient(s) utilisé(s) est (sont) estimé(s) globalement ou bien adapté(s) à une évaluation des Services vétérinaires du pays exportateur et du système d'épidémiosurveillance de la maladie faisant l'objet de l'analyse de risque.

Ainsi, MacDiarmid [1996] a utilisé le coefficient 1,5 pour estimer le nombre le plus probable de cas de rage à partir de la prévalence annoncée par les Etats-Unis, et le coefficient 5 pour le nombre maximal.

Dufour [1999], Toma *et al.* [1999] ont proposé une méthode d'évaluation du système d'épidémiosurveillance et des Services vétérinaires permettant d'estimer la prévalence probable.

Le postulat utilisé est que la prévalence annoncée est d'autant plus sous-estimée par rapport à la prévalence réelle que la qualité de la surveillance épidémiologique et celle des Services vétérinaires sont faibles. Par suite, il faut affecter à la prévalence annoncée un coefficient d'autant plus élevé que l'évaluation de ces qualités fournit de mauvais résultats.

Le principe de l'estimation de la prévalence probable à partir de la prévalence annoncée pourrait se traduire par la formule de base :

$$P_p = P_a \times Q_{SV} \times Q_{ép}$$

avec P_p : prévalence probable

P_a : prévalence annoncée

Q_{SV} : coefficient de qualité des Services vétérinaires

$Q_{ép}$: coefficient de qualité de la surveillance épidémiologique de la maladie

Les coefficients Q_{SV} et $Q_{ép}$ sont de 1 pour des Services vétérinaires et une surveillance épidémiologique fonctionnant de façon optimale. Ils peuvent atteindre une valeur de plusieurs unités, voire plusieurs dizaines d'unités, en fonction des dysfonctionnements relevés.

Cette méthode d'évaluation quantitative est conforme aux critères qualitatifs étudiés par l'O.I.E., mais pour la détermination de la prévalence probable à partir de la prévalence annoncée ne fait pas encore l'objet d'une standardisation au plan international. Nous ne pouvons que recommander l'utilisation d'une telle modulation, même si elle ne revêt aucun caractère officiel à l'heure actuelle et demeure, comme toute l'estimation du risque d'ailleurs, de la seule responsabilité des auteurs de chaque analyse.

3. FACTEURS MODULANT LA PROBABILITE

Le risque global estimé correspond au risque sans mesure particulière destinée à le diminuer (ce qui correspondrait à de la gestion du risque). Cependant, les caractéristiques des animaux ou des produits d'origine animale importés peuvent être telles que la probabilité d'introduction de l'agent en soit modifiée, notamment diminuée.

Ainsi, pour les animaux vivants, les sujets peuvent être non pas de type « tout venant » (ce qui correspondrait à une probabilité de type tirage au sort dans l'ensemble de la population de cette espèce animale), mais issus exclusivement de certains élevages soumis à des mesures de surveillance. Ils peuvent également être de race, d'âge, de sexe leur conférant un statut particulier par rapport à la prévalence dans l'ensemble de la population. Ils peuvent aussi être l'objet de mesures de dépistage de l'infection prise en compte dans l'analyse de risque.

Il importe donc d'estimer le degré de réduction du risque lié à chaque facteur de ce type et de

l'utiliser ensuite pour le calcul de la probabilité d'introduction de l'agent pathogène.

De même, pour les produits d'origine animale, la diminution du risque découlant des opérations de fabrication du produit (*maturation, salage, séchage, fumage, etc.*) et de conservation est à introduire par un (des) coefficient(s) dans le calcul de probabilité.

A l'issue de cette démarche, on aboutit à un résultat et il importe de préciser les modalités d'expression des résultats.

4. EXPRESSION DES RESULTATS

Dans la démarche simple, on aboutit à la probabilité moyenne d'introduction de l'agent pathogène.

Ceci a le mérite de la simplicité, mais présente comme inconvénient, en aboutissant à un nombre unique, de laisser croire qu'il s'agit d'un nombre exact, alors qu'en fait, ce n'est que l'une des valeurs possibles (puisque chaque paramètre utilisé dans le calcul varie au sein d'un intervalle de valeurs possibles ; exemples : la durée d'excrétion de l'agent, le nombre d'animaux par troupeau, etc.).

Pour cette raison, même dans la démarche simple, il est souhaitable de ne pas se borner à un nombre unique. Le travail nécessaire pour déterminer une fourchette de valeurs n'est pas tellement plus important et devrait donc systématiquement être accompli.

Le principe, simple, consiste pour chaque paramètre utilisé à ne pas se borner à la valeur moyenne, mais à estimer une valeur minimale et une valeur maximale.

Ensuite, il est possible, à l'aide des différentes valeurs minimales de déterminer une probabilité minimale d'introduction de l'agent pathogène et, à l'aide des valeurs maximales, d'établir de la même façon, une probabilité maximale d'introduction de l'agent pathogène.

On dispose alors d'une valeur moyenne située au sein d'une fourchette de probabilité.

Ceci a le mérite (pour un « coût » modique) de rappeler, grâce à l'existence de cette fourchette, qu'il ne s'agit que d'une estimation d'une zone de probabilité, et qu'il ne faut pas considérer les nombres obtenus comme l'expression mathématique exacte et précise de la réalité, mais comme un simple ordre de grandeur du possible.

Par ailleurs, en vue d'une meilleure compréhension par le décideur, les résultats d'une estimation de probabilité devraient être également présentés sous une forme simple, exprimant le nombre d'années au cours desquelles l'importation envisagée pourrait, en moyenne, conduire à **une** introduction de l'agent pathogène dans le pays importateur. En effet, cette formulation est immédiatement beaucoup plus facile à percevoir : ainsi, il est plus facile de se rendre compte de ce qu'est une probabilité d'introduction en moyenne de l'agent pathogène une fois tous les 1200 ans que de réaliser ce que signifie la probabilité correspondante de $8,3 \times 10^{-4}$:

une probabilité de 1×10^{-4} correspond à un événement sur 10 000 (une introduction de l'agent pathogène en 10 000 ans) ;

une probabilité de $8,3 \times 10^{-4}$ est une probabilité 8,3 fois plus grande (c'est-à-dire un événement qui survient 8,3 fois plus souvent) :

$$\frac{10\ 000}{8,3} = 1\ 200$$

Bien sûr, la fourchette d'estimation, dont l'usage est recommandé, est à exprimer de la même manière, plus facilement perceptible. Ainsi, pour l'exemple précédent d'une probabilité moyenne d'introduction de l'agent pathogène de $8,3 \times 10^{-4}$, si les minima et maxima estimés sont de 3×10^{-4} et $1,2 \times 10^{-3}$ ceci conduit à l'expression suivante :

probabilité moyenne : une fois tous les 1200 ans ($8,3 \times 10^{-4}$)

probabilité minimale : une fois tous les 3333 ans (3×10^{-4})

probabilité maximale : une fois tous les 833 ans ($1,2 \times 10^{-3}$)

Lorsque l'on compare les résultats obtenus pour une même estimation quantitative de risque par cette méthode simple (déterministe) et par la méthode par simulation avec répétition sur ordinateur (probabiliste), à condition d'utiliser, bien sûr, les mêmes données, on s'aperçoit qu'ils sont très proches et qu'ils correspondent à une zone semblable de valeurs de probabilité.

Ces résultats correspondent à la probabilité d'introduction de l'agent pathogène lors d'importation d'une unité animale d'importation. Il convient d'évoquer maintenant le cas général pour lequel l'importation ne se limite pas à une unité mais porte sur n unités animales d'importation.

III - PROBABILITE D'INTRODUCTION DE L'AGENT PAR N UNITES

Intuitivement, on comprend aisément que plus le nombre d'unités animales importées augmente, plus la probabilité d'introduction de l'agent pathogène est élevée. Pour utiliser une expression imagée, « à la loterie, plus on achète de billets, plus on a de chances de gagner le gros lot ».

L'augmentation du risque n'est pas strictement proportionnelle au nombre n, mais nous allons voir que pour les probabilités faibles, en fait, on peut se contenter de l'approximation de proportionalité.

Soit un ensemble d'animaux au sein desquels le taux de prévalence instantanée d'une maladie au moment du tirage au sort est p.

Si l'on tire au sort un animal, la probabilité d'avoir un animal infecté est p ; celle d'avoir un animal non infecté est son complément, c'est-à-dire 1 - p.

Si l'on tire au sort un deuxième animal, la même dichotomie se produit.

La figure 4 présente le raisonnement pour le tirage au sort successif de trois animaux et les différentes combinaisons que l'on peut obtenir.

Si l'on s'intéresse à la probabilité de n'obtenir **que des animaux non infectés** (cheminement du bas sur la figure 4), on peut dire que cette probabilité :

pour un animal est : $1 - p$
pour deux animaux : $(1 - p)^2$
pour trois animaux : $(1 - p)^3$
pour n animaux : $(1 - p)^n$

Si la probabilité de n'avoir que des animaux non infectés en tirant au sort n animaux est $(1 - p)^n$, la probabilité d'avoir au moins un animal infecté est son complément, soit : $1 - (1 - p)^n$.

C'est cette formule générale qui est à la base de l'estimation de la probabilité d'introduction de l'agent pathogène.

La probabilité d'introduction de l'agent pathogène (PIA), c'est-à-dire la probabilité d'avoir au moins une unité animale importée infectée est :

$$PIA = 1 - (1 - p)^n$$

avec p : taux de prévalence instantanée
n : nombre d'unités animales importées

En fait, pour des probabilités inférieures à 10^{-2} , il est possible d'utiliser la formule simple de proportionnalité qui donne un résultat très voisin de celui obtenu à l'aide de la formule exacte ci-dessus :

$$PIA = NP$$

Avec : p : taux de prévalence instantanée
n : nombre d'unités animales importées.

Exemple :

$$p = 2,2 \times 10^{-6}$$

$$n = 1000$$

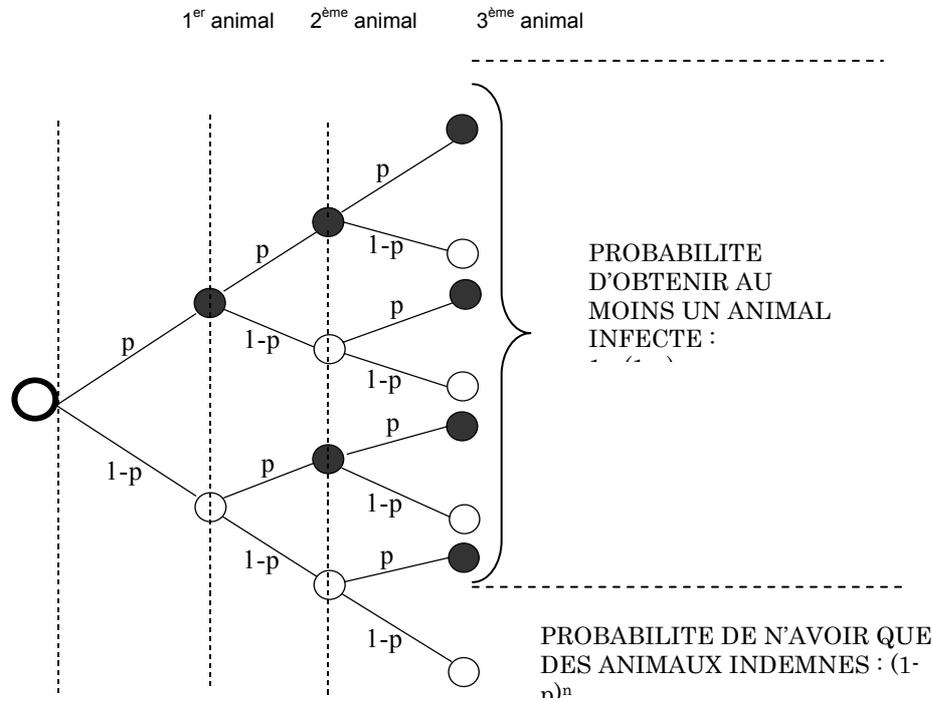
$$PIA = 1000 \times 2,2 \times 10^{-6} = 2,2 \times 10^{-3}$$

La probabilité d'introduire au moins un animal infecté par importation d'un lot de 1000 animaux tirés au sort au sein d'une population où le taux de prévalence instantanée d'une maladie est de $2,2 \times 10^{-6}$ est donc de $2,2 \times 10^{-3}$, c'est-à-dire en moyenne une introduction pour 454 années (1 000/2,2) au cours desquelles chaque année 1000 animaux seraient importés.

FIGURE 4

**Schéma représentant les probabilités de résultats
lors de tirage au sort d'animaux**

Le taux de prévalence instantanée de la maladie est p . Le chemin du bas sur le schéma indique la probabilité de n'obtenir que des animaux non infectés.



Bien sûr, ce calcul de probabilité pour l'importation de n unités animales importées peut s'appliquer non seulement à la probabilité moyenne mais aux probabilités minimale et maximale (fourchette de probabilité).

L'évaluation du risque consiste en la comparaison entre le risque estimé (de manière quantitative) sous forme de probabilité moyenne ou de fourchette de probabilité, et le risque jugé acceptable, défini, dans ce cas, de manière quantifiée.

Si le risque estimé a une valeur inférieure à celle du risque jugé acceptable, l'importation envisagée peut être effectuée. Dans le cas contraire, il convient de passer à la phase de gestion du risque.

Sur un plan théorique, il est possible de calculer le nombre maximal d'unités dont l'importation peut être envisagée si l'on ne souhaite pas dépasser un niveau donné de risque (probabilité) acceptable.

Exemple :

- *risque acceptable* : 10^{-3}
- *risque maximal estimé pour une unité animale importée* : 2×10^{-5}
- *nombre maximal d'unités pouvant être importées* : $\frac{10^{-3}}{2 \times 10^{-5}} = 50$

IV - CONCLUSION

Ainsi, le principe de l'estimation quantitative de la probabilité globale d'introduction d'un agent pathogène par importation d'animaux est simple.

Une difficulté est liée à la qualité des informations disponibles sur la prévalence de la maladie. La complexité est introduite par la variabilité et l'incertitude corollaire (taille des

troupeaux, taux d'infection intra-cheptel infecté, etc.) ainsi que par la mise en place de scénarios plus ou moins complexes de gestion du risque.

Il convient donc de demeurer prudent quant à l'interprétation d'un risque estimé, même de manière quantitative.

BIBLIOGRAPHIE

Toma B., Dufour B., Sanaa M., Bénet J.J., Shaw A., Moutou F. et Louza A. ~ Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures, 2001, 2^{ème} édition, 696 pages.



ANNEXE

Des problèmes simples sont proposés pour mettre en application les principes présentés dans cet article.

Problème 1

On souhaite estimer la probabilité de tirer un animal malade (maladie chronique) par tirage au sort d'un sujet au sein d'une population.

Quelle(s) information(s) est (sont) nécessaire(s) ?

Problème 2

Pour une maladie chronique (dysplasie de la hanche chez le berger allemand), un sondage effectué sur un échantillon représentatif de 1 000 chiens de race Berger allemand a révélé l'existence de 30 cas. Le nombre de bergers allemands dans le pays est de l'ordre de 865 000.

Quelle est la probabilité, par tirage au sort d'un chien berger allemand, d'obtenir un chien atteint de dysplasie de la hanche ?

Problème 3

a. On souhaite estimer la probabilité de tirer un animal en incubation de rage par tirage au sort d'un chien au sein de la population canine d'un pays donné.

Quelle(s) information(s) est (sont) nécessaire(s) ?

b. L'année dernière, 91 cas de rage ont été identifiés chez le chien dans ce pays et la population canine y est de 54,6 millions. Par ailleurs, l'incubation minimale de la rage est de 10 jours, la plus probable est de 56 jours et l'incubation maximale de 365 jours.

Quelle est la probabilité de tirer un chien en incubation de rage par tirage au sort d'un chien dans ce pays ?

Problème 4

a. On souhaite estimer la probabilité moyenne de tirer un bovin infecté de leucose bovine enzootique (infection pérenne) par tirage au sort d'un bovin au sein des bovins d'un pays donné.

Quelle(s) information(s) est (sont) nécessaire(s) ?

b. Nombre de troupeaux de bovins : 260 000

Nombre de bovins : 6 500 000

Taux de prévalence de troupeaux de bovins infectés par la leucose bovine enzootique : 0,4 p. cent

Taux de prévalence moyen intra-troupeau infecté : 50 p. cent.

Quelle est la probabilité moyenne de tirer un bovin infecté par tirage au sort d'un animal ?

Problème 5

a. On souhaite estimer la probabilité moyenne de tirer un animal infecté (maladie aiguë très contagieuse) par tirage au sort d'un porc au sein de la population porcine d'un pays.

Quelle(s) information(s) est (sont) nécessaire(s) ?

b. Nombre de porcheries : 60 000

Nombre de porcs : 12 000 000

Nombre de foyers de la maladie au cours de l'année dernière : 600

Durée d'infection d'un animal : 15 jours

Taux de prévalence intra-porcherie infectée : 100 p. cent

Quelle est la probabilité moyenne de tirer un animal infecté par tirage au sort d'un porc au sein de la population porcine de ce pays ?

Problème 6

Un pays souhaite importer 200 bovins reproducteurs à partir d'un autre pays.

Il demande au pays exportateur des informations sur sa situation épidémiologique au regard de deux maladies A et B.

Les informations fournies par le pays exportateur sont les suivantes :

nombre de troupeaux de bovins : 40 000
nombre de bovins : 2 000 000

- Pour la maladie A, un sondage a été effectué sur un échantillon de 333 troupeaux tirés au sort et soumis à un test collectif de dépistage de sensibilité 0,9 et de spécificité 1. Aucun troupeau n'a fourni de réponse positive. La maladie A est peu contagieuse et le taux de prévalence des animaux infectés au sein d'un troupeau dépasse rarement 10 p. cent.
- La maladie B, au contraire, est très contagieuse au sein d'un troupeau et en général touche tous les animaux des troupeaux infectés.

Un test de dépistage individuel de sensibilité 0,95 et de spécificité 1 a été appliqué à 5 animaux des mêmes 333 troupeaux. Trois troupeaux ont fourni des réponses positives.

Le pays importateur envisage d'appliquer le protocole suivant pour le contrôle des 200 bovins à importer :

ils seront choisis à raison d'un animal par troupeau ;

un animal sur deux (tiré au sort) sera soumis au dépistage individuel de la maladie A (Se : 0,9 ; Sp : 1) et l'autre au dépistage de la maladie B (Se : 0,95 ; Sp : 1) ;

les animaux à réponse positive seront refusés.

1. *Quelle est la probabilité que le pays importateur importe l'agent de la maladie A ou celui de la maladie B au cours de cette opération ?*
2. *Quel protocole appliquer pour qu'en important 200 animaux, cette probabilité soit inférieure à 10^{-2} ?*

