

LA FONCTION SENTINELLE EN EPIDEMIOLOGIE *

Bernard Toma ¹

RESUME

Quatre thèmes sont abordés, de façon partiellement intriquée : l'analyse des définitions possibles des animaux sentinelles sanitaires, les rapports entre les animaux sentinelles et la surveillance épidémiologique, l'historique de la fonction sentinelle et la diversité des situations rencontrées.

Tout cela aboutit à la proposition d'une définition *sensu stricto* des animaux sentinelles sanitaires et d'une définition *sensu lato*, soumises aux réflexions des collègues et à l'épreuve du temps.

Mots-clés : Sentinelle, surveillance épidémiologique.

SUMMARY

Four themes have been reviewed, as briefly indicated : a discussion of potential definitions of sanitary sentinel animals; the relationship between sentinel animals and epidemiological monitoring; the history of the sentinel function; and the diversity of situations encountered in the field. This whole review leads us to submit a stricto sensu definition of sanitary sentinel animals and a lato sensu definition to be time tested and discussed with colleagues.

Keywords : Sentinels, Epidemiological surveillance.



Pour le premier exposé de la Journée AEEMA-AESA consacrée au thème « Les animaux sentinelles », la mission confiée au conférencier par le groupe de travail chargé de la préparation du programme était « claire et nette » ; il s'agissait de traiter, en une vingtaine de minutes quatre points :

- « *Les définitions possibles des animaux sentinelles,*
- *La place des animaux sentinelles au sein et par rapport à la surveillance épidémiologique,*

- *Leur historique, et la diversité des situations de leur utilisation ».*

Le plan était donc tout tracé.

Une recherche documentaire a rapidement démontré la pléthore d'informations disponibles et que le quatrième point serait très facile à illustrer. Restaient les trois autres points et une inévitable intrication entre eux, rendant hésitant sur la possibilité (l'opportunité) de les séparer vraiment.

* Texte de la conférence présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA-AESA, 3-4 juin 2009

¹ ENVA - Maladies contagieuses, 7 avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort, France

Après une assez longue hésitation, le fil directeur choisi (au moins initialement) a été celui de la « découverte » progressive de la fonction sentinelle en épidémiologie, en partant du plus général et en focalisant progressivement. Tant pis si le plan utilisé est moins strictement structuré que d'habitude et s'il expose à d'éventuels méandres, l'espoir étant qu'à l'arrivée le chemin ait paru facile, et le but (avoir des idées claires sur la fonction sentinelle en épidémiologie), atteint.

☒ **Le point de départ** est celui de la définition du mot « *sentinelle* », d'une manière générale. Le petit Robert indique l'année 1546 et comme origine le mot italien « *sentinella* », de sentire : « entendre » : « *Personne, soldat qui a la charge de faire le guet devant un lieu occupé par l'armée, de protéger un lieu public, etc.* ».

Cette définition semble faire apparaître deux fonctions différentes :

- D'une part, « guetter », c'est-à-dire attendre, pour avertir dès que possible de l'arrivée éventuelle d'un danger en le signalant ;
- D'autre part, « protéger », c'est-à-dire intervenir non seulement en signalant l'arrivée du danger, mais en tentant de s'y opposer.

La première fonction, d'avertissement précoce de la survenue d'un danger, est sans doute prioritaire par rapport à la seconde.

☒ Si l'on passe à l'expression « **animal sentinelle** », on peut considérer qu'il ne s'agit plus d'une « personne ou d'un soldat », mais d'un animal qui serait chargé des deux fonctions citées ci-dessus.

Alors, un chien de garde est-il un animal sentinelle ? La réponse est tout à fait affirmative, car il s'agit bien d'un animal chargé de la fonction d'avertir (par ses aboiements) de l'arrivée d'une personne inconnue (danger), voire de participer à la protection d'un territoire par des crocs dissuasifs.

D'une façon générale, un « animal sentinelle » serait donc « *un animal chargé de détecter un danger* », quelle que soit la nature de ce danger et, en l'occurrence, pour le chien de garde, il peut s'agir du danger de vol.

A ce stade, il faut distinguer la fonction d'animal sentinelle de celle d'« *animal bio indicateur* », parfois confondues. Les

indicateurs biologiques sont, d'après le ministère de l'environnement, comité scientifique Faune et Flore [1978] [cité par Rivière, 1993], « *des espèces, ou associations d'espèces, capable par leur comportement général (disparition, augmentation ou variation de densité) de rendre compte de l'évolution générale d'un milieu* ».

La différence avec la fonction sentinelle est qu'une espèce bio indicatrice ne renseigne pas forcément sur l'existence d'un danger mais, par exemple, sur l'importance des ressources alimentaires d'un milieu donné. La confusion est cependant possible, notamment en cas d'usage élargi (ou inapproprié) du terme « sentinelle », par exemple dans le titre de la publication : « Dégradation de la connexité du paysage et impact sur une espèce sentinelle » [Joly et al., 2001] relatif à la mise au point d'un outil d'expertise de la connexité (le fait d'être connexe) d'habitats pour la faune par l'étude de la distribution du crapaud commun (*Buffo buffo*).

En focalisant davantage, on arrive à l'animal sentinelle en épidémiologie. Ce stade devrait correspondre à une restriction du danger au domaine de la santé (de l'Homme et/ou des animaux). Le passage par l'historique de la fonction « *animal sentinelle sanitaire* » va permettre de rencontrer la diversité et l'importance respective des domaines de santé couverts.

☒ Historique de l'animal sentinelle sanitaire

L'utilisation d'animaux comme sentinelles sanitaires, volontairement ou accidentellement, est très ancienne. Le tableau I montre que dès les années 1870, le canari était utilisé dans les mines de charbon en Angleterre pour une détection précoce de monoxyde de carbone. Il s'agissait là d'une utilisation délibérée de la capacité de détection plus précoce par le canari que par l'Homme de la présence de monoxyde de carbone. L'apparition de symptômes chez l'oiseau jouait le rôle d'alarme.

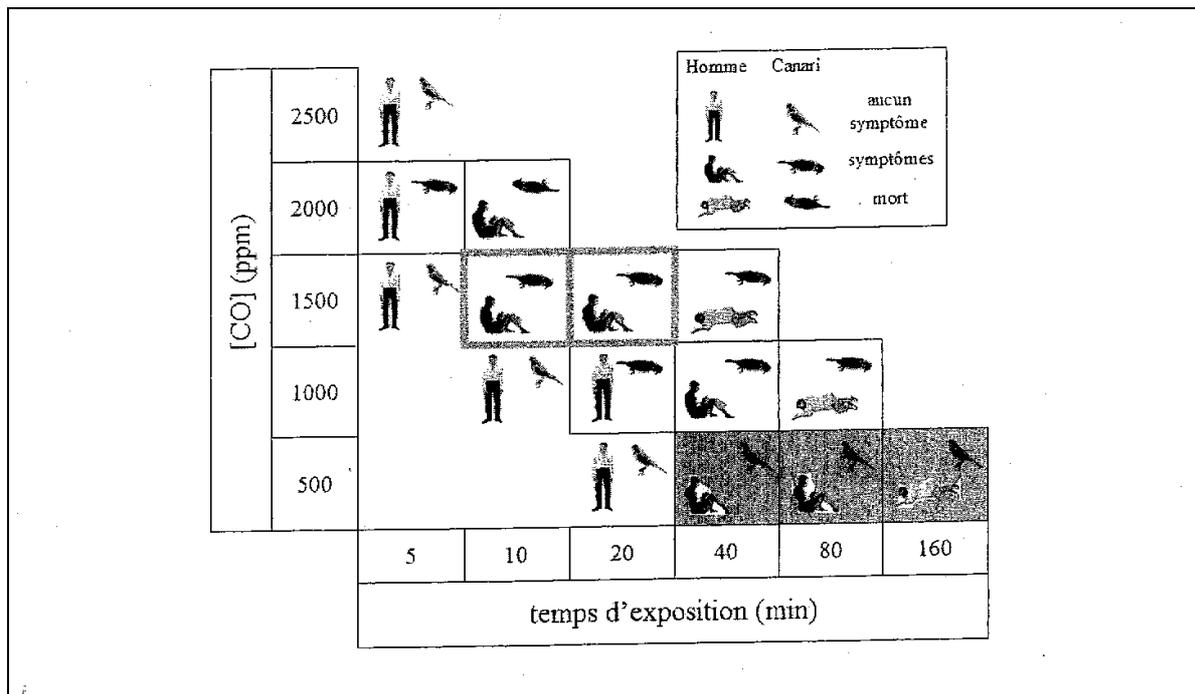
Ce système peut paraître très simple. En fait, la consultation de la figure 1, qui montre les effets comparés de l'exposition de l'Homme et du canari à différentes concentrations de monoxyde de carbone, révèle à la fois une plus grande complexité et l'importance de la notion de sensibilité. Sur cette figure, on constate que, dans la plupart des cas, le canari réagit avant l'Homme ; il en est ainsi, notamment, pour des concentrations élevées

en monoxyde de carbone (cases blanches encadrées de noir). En revanche, pour certaines durées d'exposition et des concentrations de monoxyde de carbone, les premiers effets peuvent être concomitants chez les deux espèces (cases blanches encadrées de gris). Enfin, en cas d'exposition prolongée à de faibles concentrations de

monoxyde de carbone, l'Homme peut mourir sans que le canari n'ait montré le moindre signe d'intoxication (cases grises). La « sensibilité » d'un système animal sentinelle sanitaire peut donc ne pas être unique mais dépendante de plusieurs facteurs et elle conditionne l'efficacité (ou l'inefficacité) de la fonction d'alerte.

Figure 1

Effets comparés sur l'Homme et le canari du monoxyde de carbone [Spencer, 1961]



A l'inverse de cet exemple historique d'usage volontaire du canari comme sentinelle sanitaire, tous les autres exemples du tableau 1, étagés au cours des décennies, illustrent le rôle involontaire de diverses espèces animales vis-à-vis de différentes substances toxiques. Ce tableau n'a pas la prétention d'être exhaustif (autres exemples : l'agent « Orange » au Vietnam, la catastrophe de Seveso, etc.) ; il illustre simplement l'abondance des exemples disponibles dans le domaine de l'animal sentinelle sanitaire pour des produits toxiques.

L'emploi, volontaire ou non, d'animaux sentinelles non plus pour des produits toxiques mais pour des agents pathogènes biologiques (pour l'Homme et/ou pour les animaux) est plus récent. Cette différence illustre peut-être la différence de fréquence de rencontre de définitions pour ces deux secteurs

d'intervention possible d'animaux sentinelles sanitaires. On rencontre en effet plus fréquemment dans la littérature scientifique la définition de la fonction sentinelle pour des produits toxiques.

Exemples :

- Un système d'animaux sentinelles est un « dispositif destiné à collecter, systématiquement et régulièrement, des données sur des animaux exposés à la pollution environnementale ; ces données sont ensuite analysées pour identifier les dangers potentiels pour la santé de l'Homme et de l'environnement » [National Research Council, 1991, cité par Rivière, 1993].
- Un animal sentinelle est « tout autre organisme que l'Homme qui peut réagir à

un contaminant de l'environnement avant que le contaminant n'affecte des personnes » [Stahl, 1997, cité par van der Schalie *et al.*, 1999].

On notera que ces deux définitions d'animaux sentinelles sont orientées vers l'Homme (essentiellement ou exclusivement) et ne portent que sur des produits chimiques. Elles

n'incluent pas (en tout cas de manière explicite) la détection de dangers infectieux (pour l'Homme ou pour d'autres êtres vivants).

Il est temps d'entrer dans une tentative de situation des animaux sentinelles par rapport à la surveillance épidémiologique (avant de revenir à des définitions pour essayer de les préciser).

Tableau 1
Exemples d'animaux utilisés comme sentinelles de toxiques de l'environnement au cours du temps

[van der Schalie *et al.*, 1999]

Date	Espèce	Toxique	Pays
1870s	Canari	Monoxyde de carbone	Angleterre
	Bovins	Brouillard	Angleterre
1910s	Bovins	Fluor	Angleterre
	Cheval	Plomb	Etats-Unis
	Bovins	Tétrachloroéthylène	Ecosse
1950s	Chat	Mercure	Japon
	Oiseaux	DDT	Etats-Unis
	Bovins	Brouillard	Angleterre
1960s	Poulet	PCBs	Japon
	Mouton	Organophosphates	Etats-Unis
1970s	Cheval, <i>etc.</i>	Dioxine	Etats-Unis
	Bovins laitiers	Biphénylspolybromés	Etats-Unis
1990s	Mouton	Zinc	Pérou
	Alligators	DDT, dicofol	Etats-Unis
	Poissons	Toxines Pfiesteria	Etats-Unis

☒ Surveillance épidémiologique et animaux sentinelles

Rappelons que la surveillance épidémiologique est une « *méthode d'observation, fondée sur des enregistrements en continu, permettant de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte* » [Toma *et al.*, 1991].

A première vue, cette définition correspond à un concept très voisin de celui de l'animal sentinelle sanitaire, à la différence près qu'elle ne comporte pas le mot « animal » ; en revanche, on y trouve les notions :

- de maladie dans une population,
- de suivi dans le temps,
- de détection de l'apparition d'une maladie,
- et d'objectif de lutte appropriée.

Au sein de la surveillance épidémiologique, on peut distinguer l'épidémiosurveillance (agent pathogène présent) de l'épidémiovigilance (agent pathogène absent ou supposé l'être). Dans l'un comme dans l'autre, on peut avoir recours à une démarche active (récupération volontaire de prélèvements et/ou de données) ou passive (système de la déclaration obligatoire). Les deux grands domaines de la surveillance épidémiologique (épidémiosurveillance et épidémiovigilance) ainsi que les deux types de démarche (active et passive) sont mis en place dans la figure 2.

Pour la fonction sentinelle, la dichotomie peut se faire plus volontiers en fonction de la nature de l'agent pathogène (biologique ou chimique).

- ❖ **Pour un agent pathogène biologique**, on peut retrouver la dichotomie de la surveillance épidémiologique (présent/absent) :

Agent pathogène présent

Différents objectifs peuvent être visés :

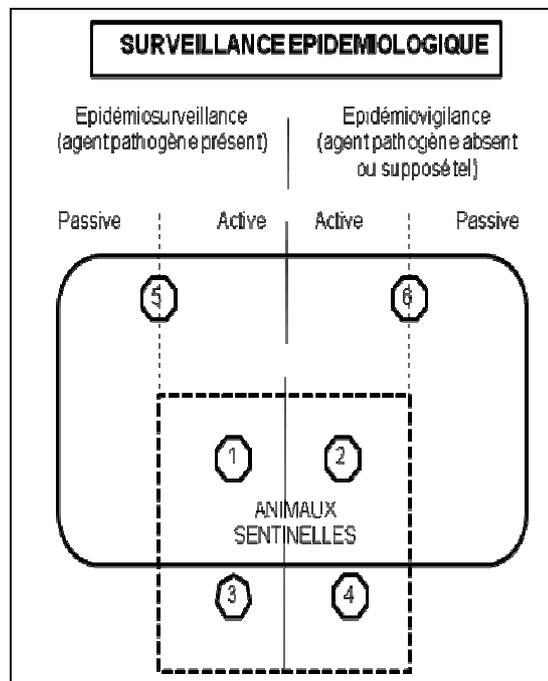
- Il peut s'agir d'apprécier la diffusion de l'agent pathogène à partir d'animaux volontairement infectés (3 sur la figure 2). Un exemple est celui d'animaux sentinelles mis en contact (ou en cohabitation)

d'animaux expérimentalement infectés (éventuellement après vaccination préventive) afin de détecter l'éventuelle excrétion par ces animaux infectés (vaccinés ou non). Le suivi des animaux sentinelles permet d'avoir une réponse quant à l'excrétion (la transmission) par les animaux expérimentalement infectés.

Figure 2

Relations entre surveillance épidémiologique et animaux sentinelles sanitaires

- Exemples : 1 : Fièvre catarrhale ovine en France
 2 : Appelants et H₅N₁ en France
 3 : Animaux placés au contact d'animaux expérimentalement infectés
 4 : Animaux placés dans un ancien foyer d'infection
 5 : Maladies animales à déclaration obligatoire présentes en France
 6 : Maladies animales à déclaration obligatoire exotiques



- Il peut s'agir de vérifier si un milieu initialement pollué (foyer de maladie) le demeure ou non (4 sur la figure 2). Un exemple est celui de l'introduction de quelques animaux réceptifs dans une exploitation ayant été un foyer de maladie épizootique, après élimination des animaux du foyer et désinfection, avant le repeuplement de l'exploitation. Ici aussi, le suivi des animaux sentinelles renseigne sur la persistance ou non du danger.

- Il peut s'agir enfin d'apprécier l'intensité de la circulation de l'agent pathogène dans une région où l'on sait qu'il existe (1 sur la figure 2). Dans ce cas par exemple, le recours à un animal sentinelle peut reposer sur le choix d'une espèce dont la réceptivité ou le mode de vie amplifie le pouvoir de détection de l'agent pathogène et par conséquent permet de diminuer le nombre de prélèvements pour un même niveau d'information (exemple du porc sauvage comme animal sentinelle de la tuberculose du possum en Nouvelle-Zélande, [Nugent et al., 2002]).

Agent pathogène absent (ou supposé tel)

Dans ce cas, le seul objectif de l'utilisation d'animaux sentinelles est la *détection, la plus précoce possible, de l'éventuelle introduction de l'agent pathogène* (2 sur la figure 2). Divers exemples peuvent être cités, en particulier pour la France, l'emploi de troupeaux sentinelles pour la fièvre catarrhale ovine en région menacée par un sérotype ou celui d'appelants pour les virus influenza aviaires. Bien sûr, ce qui importe dans cette situation est la précocité de la réponse, dépendant de la « sensibilité » du système animaux sentinelles (elle-même fonction à la fois du nombre de sujets utilisés, de leur réceptivité et du taux d'incidence de l'infection).

- ❖ **Pour un agent pathogène chimique**, l'objectif essentiel est de connaître le degré de l'exposition, fonction de la concentration du toxique dans l'environnement.
- Les quatre situations (et objectifs) listées ci-dessus peuvent être mises en place sur la figure 2 qui fait apparaître alors une conception possible des rapports entre surveillance épidémiologique et animaux sentinelles :
- Les animaux sentinelles ont leur place au sein de la surveillance épidémiologique (1 et 2, figure 2) ;
- Toutefois, dans certains cas, des animaux sentinelles peuvent être utilisés en dehors d'opérations de surveillance épidémiologique (3 et 4, figure 2) ;
- Et des actions de surveillance épidémiologique peuvent ne pas reposer sur des animaux sentinelles (5 et 6, figure 2). Ainsi, la surveillance **passive** fondée sur la déclaration obligatoire de maladies (chez l'Homme ou chez l'animal) ne repose pas sur des animaux sentinelles. L'Homme n'est en rien responsable de l'identité des animaux spontanément atteints, fruit du hasard et des modalités de transmission propres à chaque maladie. Il serait difficile de soutenir que n'importe quel animal, spontanément malade, constitue une sentinelle. Le concept d'animal sentinelle sanitaire devrait comprendre une **composante de choix délibéré par l'Homme des sujets retenus pour une telle fonction**.

Par ailleurs, pour la surveillance épidémiologique **active**, l'action peut être fondée sur des animaux générateurs de données une seule fois (une seule capture) ; il en est ainsi pour la plupart des espèces sauvages ainsi que pour les vecteurs. Peut-on dans ce cas, parler réellement d'animaux sentinelles ?

➤ On arrive alors à la dernière focalisation pour la notion **d'animal sentinelle sanitaire, sensu stricto**, comportant la double composante, d'une part, de dépendre d'un choix délibéré de l'Homme et, d'autre part, d'un suivi dans le temps, par rapport à une définition *sensu lato* ne la comprenant pas...

La définition *sensu stricto* proposée d'animal sentinelle sanitaire devient alors : « **Animal choisi dans son milieu ou placé volontairement dans un milieu et suivi au cours du temps afin de détecter précocement, de manière qualitative ou quantitative, une exposition à un agent pathogène donné** ».

Quant à la définition *sensu lato*, elle pourrait s'affranchir du suivi individuel, afin de tenir compte des animaux sauvages et des vecteurs, et prendre en compte des « populations » bien définies : « *Animal ou population animale bien définie, suivi(e) au cours du temps afin, etc.* ».

Cette double définition étant proposée, il reste à illustrer la très grande diversité des espèces animales, domestiques et sauvages, qui peuvent remplir la fonction de sentinelle sanitaire au sens strict ou au sens large.

☒ Diversité zoologique des espèces animales sentinelles sanitaires

Sans prétendre à l'exhaustivité, le tableau 2 fournit des exemples dans différents secteurs du monde animal. On y constate l'étendue du spectre zoologique utilisé et la diversité des agents pathogènes étudiés. Toutefois, la « sensibilité » des différents systèmes de détection par animaux sentinelles sanitaires/agent pathogène ainsi que leur rapport coût/bénéfice peuvent être très variés. Pour un même système de détection, ils peuvent être très différents d'un pays à un autre.

Tableau 2
Exemples d'espèces animales domestiques et sauvages
utilisées comme animaux sentinelles sanitaires

	Espèce animale	Agent pathogène	Auteurs
Mammifères	Singe	Arbovirus au Brésil	Causey <i>et al.</i> , 1961
	Cheval	Fièvre West Nile	Leblond <i>et al.</i> , 2007
	Bovin	Fièvre catarrhale ovine, Europe	Ferrari <i>et al.</i> , 2005 ; Gerbier <i>et al.</i> , 2007
		Fièvre catarrhale ovine, tropiques	Elfatih <i>et al.</i> , 1987 ; Lancelot <i>et al.</i> , 1989
		Fièvre de la Vallée du Rift	Davies, 1975
		Nagana	Warnes <i>et al.</i> , 1999.
	Mouton, chèvre	Maladie du sommeil	Gouteux <i>et al.</i> , 1988
		Fièvre catarrhale ovine	Gerbier <i>et al.</i> , 2007 ; Lancelot <i>et al.</i> , 1989
	Ruminants sauvages	Peste bovine, peste des petits ruminants	Couacy-Hymann <i>et al.</i> , 2005 ; Kock <i>et al.</i> , 2006
		Fièvre catarrhale ovine	Davies, 1978
		Fièvre de la Vallée du Rift	Thonnon <i>et al.</i> , 1999 ; Elfadil <i>et al.</i> , 2006.
	Porc	Tuberculose du possum	Nugent <i>et al.</i> , 2002
		Virus de l'encéphalite japonaise B	Geevarghese <i>et al.</i> , 1991
		Maladie du sommeil	Gouteux <i>et al.</i> , 1988
		Stomatite vésiculeuse	Stallknecht <i>et al.</i> , 1987
	Suidés sauvages	Peste bovine	Couacy-Hymann <i>et al.</i> , 2005 ; Kock <i>et al.</i> , 2006
	Chien	Maladie de Lyme	Lindenmayer <i>et al.</i> , 1991 ; Goosens <i>et al.</i> , 2001 ; Duncan <i>et al.</i> , 2004
		Fièvre West Nile	Rosnick <i>et al.</i> , 2007
		Diverses substances toxiques	Backer <i>et al.</i> , 2001
		Amiante	Glickman <i>et al.</i> , 1983
	Plomb	Ostrowski, 1990	
	Cancer de la vessie	Hayes <i>et al.</i> , 1981	
Coyote	Tuberculose bovine	Vercauteren <i>et al.</i> , 2008	
Ecureuil	Virus La Crosse	Ksiazek et Yuill, 1977	
Souris	Arbovirus au Brésil	Causey <i>et al.</i> , 1961	
	<i>Borrelia bissettii</i>	Burkot <i>et al.</i> , 2001	
Hamster	Arbovirus au Venezuela	Walder et Suarez, 1976	
Oiseaux	Poulet	Encéphalite de St-Louis	Day et Carlson, 1985
		Fièvre West Nile	Barrera <i>et al.</i> , 2008 ; Chevalier <i>et al.</i> , 2008 ; Rizzoli <i>et al.</i> , 2007
		Divers arbovirus	Eldridge, 1987
	Diverses espèces	Virus West-Nile	Guptill <i>et al.</i> , 2003 ; Mostashari <i>et al.</i> , 2003 ; Eidson <i>et al.</i> , 2001 ; Jourdain <i>et al.</i> , 2008 ; Komar, 2006.
Poissons	Diverses espèces	Toxiques	Girard, 1998
Batraciens	Crapaud commun		Joly <i>et al.</i> , 2009
Invertébrés	Ecrevisse	Mercure	Lake et Sokol, 1986
	Moules et huîtres	Toxiques	Rivière, 1993
	Nématodes	Hydrocarbures, Bizerte	Beyrem et Aïssa, 2000

CONCLUSION

La fonction animal sentinelle sanitaire, connue depuis de nombreuses années, semble être en voie de développement tant pour les agents pathogènes biologiques que pour les chimiques. Son développement est associé à celui de la surveillance épidémiologique dont elle fait souvent partie. Mais les

caractéristiques de chaque système de détection doivent être définies et étudiées afin de bien connaître la fiabilité des résultats obtenus et l'efficacité du système par rapport à d'autres modalités de surveillance épidémiologique.

BIBLIOGRAPHIE

- Backer L.C., Grindem C.B., Corbett W.T., Cullins L., Hunter J.L. - Pet dogs as sentinels for environmental contamination. *The Science of the total environment*, 2001, **274**, 161-169.
- Barrera R., Hunsperger E., Muñoz-Jordán J.L., Amador M., Diaz A., Smith J., Bessoff K., Beltran M., Vergne E., Verduin M., Lambert A., Sun W. - First isolation of West Nile virus in the Caribbean. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 2008, **78**, 666-668.
- Beyrem H., Aissa P. - Les nématodes libres, organismes-sentinelles de l'évolution des concentrations d'hydrocarbures dans la baie de Bizerte (Tunisie). *Cahiers de biologie marine*, 2000, **41** (3), 329-342.
- Burkot T.R., Maupin G.O., Schneider B.S., Denatale C., Happ C.M., Rutherford J.S., Zeidner N.S. - Use of a sentinel host system to study the questing behavior of *Ixodes spinipalpis* and its role in the transmission of *Borrelia bissettii*, human granulocytic ehrlichiosis, and *Babesia microti*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2001, **65** (4), 293-299.
- Causey O.R., Causey C.E., Maroja O.M., Macedo D.G. - The isolation of Arthropod-Borne viruses, including members of two hitherto undescribed serological groups, in the amazon region of Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1961, **10** (2), 227-249.
- Chevalier V., Lancelot R., Diaïte A., Mondet B., Lamballerie X.D. - Use of sentinel chickens to study the transmission dynamics of West Nile virus in a sahelian ecosystem. *Epidemiology and Infection*, doi:10.1017/S0950268807008801, 2008, **136**, 525-528.
- Couacy-Hyman E., Bodjo C., Danho T., Libeau G., Diallo A. - Surveillance of wildlife as a tool for monitoring rinderpest and peste des petits ruminants in West Africa. *Revue Scientifique et Technique*, 2005, **24**, 869-877.
- Davies, F.G. - Observations on the epidemiology of Rift Valley fever in Kenya. *Journal of Hygien*, Cambridge, 1975, **75**, 219-230.
- Davies F.G. - Bluetongue studies with sentinel cattle in Kenya. *J. Hyg., Camb.*, 1978, **80**, 197-204.
- Day J.F., Carlson D.B. - The importance of autumn rainfall and sentinel flock location to understanding the epidemiology of St Louis encephalitis virus in Indian River Country, Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1985, **1** (3), 305-309.
- Duncan A.W., Correa M.T., Levine J.F., Breitschwerdt E.B. - The dog as a sentinel for human infection : Prevalence of *Borrelia burgdorferi* C6 antibodies in dogs from Southeastern and Mid-Atlantic states. *Vector-Borne and zoonotic diseases*, 2004, **4** (3), 221-229.
- Eidson M., Kramer L., Stone W., Hagiwara Y., Schmit K. - Dead bird surveillance as an early warning system for West Nile virus. *Emerging Infectious Diseases*, 2001, **7** (4), 631-633.
- Eidson M., Komar N., Sorhage F., Nelson R., Talbot T., Mostashari F., McLean R. - Crow deaths as a sentinel surveillance system for West Nile virus in the Northeastern United states, 1999. *Emerging Infectious Diseases*, 2001, **7** (4), 615-618.

- Eldridge B.F. - Strategies for surveillance, prevention and control of arboviruses in western North America. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1987, **37**, 77-86.
- Elfadil A.A., Hasab-Allah K.A., Dafa-Allah O.M., Elmanea A. - The persistence of Rift Valley fever in the Jazan region of Saudi Arabia. *Revue Scientifique et Technique*, 2006, **25**, 1131-1136.
- Elfatih M., Mohammed H., Taylor W. - Infection with bluetongue and related orbiviruses in the Sudan detected by the study of sentinel calf herds. *Epidemiology and Infection*, 1987, **99**, 533-545.
- Ferrari G., Liberato C.D., Scavia G., Lorenzetti R., Zini M., Farina F., Magliano A., Cardeti G., Scholl F., Guidoni M., Scicluna M., Amadeo D., Scaramozzino P., Autorino G. - Active circulation of bluetongue vaccine virus serotype-2 among unvaccinated cattle in central Italy. *Preventive Veterinary Medicine*, doi: 10.1016/j.prevetmed.2004.11.011, 2005, **68**, 103-113.
- Fouqueray C.P.A. - Le chien, sentinelle d'exposition ou d'effet sanitaire pour l'Homme. *Thèse Méd. Vét.*, ENV Alfort, 2007, 96 p.
- Geevarghese G., Shaikh B.H., Jacob P.G., Bhat H.R. - Monitoring Japanese encephalitis virus activity using domestic sentinel pigs in Mandya district, Karnataka state (India). *Indian Journal of Medical Research*, 1991, **93**, 140-142.
- Gerbier G., Biteau-Coroller F., Grillet C., Parodi J., Zientara S., Baldet T., Guis H., Roger F. - Description of the outbreak of bluetongue in Corsica in 2003, and lessons for surveillance. *The Veterinary Record*, 2008, **162**, 173-176.
- Girard P. - Le poisson sentinelle des milieux aquatiques : pertinence et optimisation des indicateurs sanitaires. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 1998, **350-351**, 429-443.
- Glickman L.T., Domanski L.M., Maguire T.G., Dubielzig R.R., Churg A. - Mesothelioma in pet dogs associated with exposure of their owners to asbestos. *Environ Res.*, 1983, **32**, 305-313.
- Gouteux J.P., Toudic A., Sinda D. - Utilisation d'animaux sentinelles dans l'évaluation de la lutte contre les vecteurs de la maladie du sommeil. *Acta Tropica*, 1988, **45**, 331-338.
- Guptill S.C., Julian K.G., Campbell G.L., Price S.D., Martin A.A. - Early-season avian deaths from West Nile virus as warnings of human infection. *Emerging Infectious Diseases*, 2003, **9** (4), 483-484.
- Hakou Tchamnda G.L. - Etude préliminaire à la mise en place d'un réseau national de vétérinaires épidémiologistes exploitant le concept de chien sentinelles à des fins de protection de la santé humaine. Rapport de stage de Master 2, Surveillance épidémiologique des maladies humaines et animales, 2008, Ecole vétérinaire d'Alfort, 41 p.
- Hayes H.M., Hoover R., Tarone R.E. - Bladder cancer in pet dogs : a sentinel for environmental cancer ? *Am. J. Epidemiol.*, 1981, **1142**, 229-233.
- Joly P., Miaud C., Lehman A., Grolet O. - Habitat Matrix Effects on Pond Occupancy in Newts. *Conservation Biology*, 2001, **15**, 239-248.
- Jourdain E., Gauthier-Clerc M., Sabatier P., Grège O., Greenland T., Leblond A., Lafaye M., Zeller H.G. - Magpies as hosts for West Nile virus, southern France. *Emerging Infectious Diseases*, 2008, **14**, 158-160.
- Kock R., Wamwayi H., Rossiter P., Libeau G., Wambwa E., Okori J., Shiferaw F., Mlengeya T. - Re-infection of wildlife populations with rinderpest virus on the periphery of the Somali ecosystem in East Africa. *Preventive Veterinary Medicine*, doi: 10.1016/j.prevetmed.2006.01.016, 2006, **75**, 63-80.
- Komar N. - West Nile virus surveillance using sentinel birds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2006, **951**, 58-73.
- Ksiazek T.G., Yuill T.M. - Viremia and antibody response to the Crossed virus in sentinel gray squirrels (*Sciurus carolinensis*) and chipmunks (*Tamias striatus*). *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1977, **26** (4), 815-821.
- Lake P.S., Sokol A. - Ecology of the yabby chera destructor clark (Crustacea : Decapoda : Parastacidae) and its potential as a sentinel animal for mercury and lead pollution. *Technical paper - Australian water resources council (Australie)*, 1986, CSIRO, 186 p.
- Lancelot R., Calvez D., Waller J., Kremer M., Sanite L., Lefèvre P.C. - Observations épidémiologiques sur le fièvre catarrhale du mouton (bluetongue) en Guyane française.

- Epidémiologie et Santé animale*, 1989, **15**, 103-116.
- Leblond A., Hendrikx P., Sabatier P. - West Nile virus outbreak detection using syndromic monitoring in horses. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, doi:10.1089/vbz.2006.0593, 2007, **7**, 403-410.
- Lindenmayer J.M., Marshall D., Onderdonk A.B. - Dogs as sentinels for Lyme disease in Massachusetts. *American Journal of Public Health*, 1991, **81**, 1448-1455.
- Mostashari F., Kulldorff M., Hartman J.J., Miller J.R., Kulasekera V. - Dead bird clusters as an early warning system for West Nile virus activity. *Emerging Infectious Diseases*, 2003, **9** (6), 641-646.
- Nugent G., Whitford J., Young N. - Use of released pigs as sentinels for *Mycobacterium bovis*. *Journal of Wildlife Diseases*, 2002, **38** (4), 665-677.
- Ostrowski S.R. - Sentinel animals (dogs) as predictors of childhood exposure to environmental lead contamination. In: S.S. Sandhu *et al.* *In situ evaluations of biological hazards of environmental pollutants*, Plenum Press, 1990, 145-150.
- Spencer T.D. - Effects of carbon monoxide on man and canaries. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1961, **5**, 231-240.
- Rabinowitz P.M., Gordon Z., Homes R., Taylor B., Wilcox M., Chudnov D., Nadkarni P., Dein F.J. - Animals as sentinels of Human environmental health hazards : An evidence-based analysis. *Ecohealth*, 2005, **2**, 26-37.
- Rabinowitz P., Gordon Z., Chudnov D., Wilcox M., Odofoin L., Liu A., Dein J. - Animals as sentinels of bioterrorism agents. *Emerging infectious diseases*, 2006, **12** (4), 647-652.
- Rabinowitz P., Wiley J., Odofoin L., Wilcox M., Dein F.J. - Animals as sentinels of chemical terrorism agents : an evidence-based review. *Clinical Toxicology*, 2008, **46**, 93-100.
- Resnick M.P., Grunenwald P., Blackmar D., Hailey C., Bueno R., Murray K.O. - Juvenile dogs as potential sentinels for West Nile virus surveillance. *Zoonoses Public Health*, doi:10.1111/j.1863-2378.2008.01116.x, 2008, **55**, 443-447.
- Rivière J.L. - L'animal fait le guet. *Biofutur*, décembre 1993, 53-55.
- Rizzoli A., Rosà R., Rosso F., Buckley A., Gould E. - West Nile virus circulation detected in northern Italy in sentinel chickens. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, doi:10.1089/vbz.2006.0626, 2007, **7**, 411-417.
- Stallknecht D.E., Fletcher W.O., Erikson G.A., Nettles V.F. - Antibodies to vesicular stomatitis New Jersey type virus in wild and domestic sentinel swine. *American Journal of Epidemiology*, 1987, **125**, 1058-1065.
- Toma B. *et al.* - Glossaire d'épidémiologie, 1991, Editions du Point vétérinaire, 366 p.
- Van der Schalie W.H., Gardner Jr. H.S., Bantle J.A., De Rosa C.T., Finch R.A., Reif J.S., Reuter R.H., Backer L.C., Burger J., Folmar L.C., Stokes W.S. - Animal as sentinels of human health hazards of environmental chemicals. *Environmental Health Perspectives*, 1999, **107**, 309-315.
- Vercauteren K.C., Atwood T.C., Deliberto T.J., Smith H.J., Stevenson J.S., Thomsen B.V., Gidlewski T., Payeur J. - Surveillance of coyotes to detect bovine tuberculosis, Michigan. *Emerging Infectious Diseases*, 2008, **14**, 1863-1869.
- Walder R., Suarez O.M. - Studies of arboviruses in Southwestern Venezuela : I. Isolations of Venezuelan and Eastern Equine Encephalitis viruses from sentinel hamsters in the Catatumbo Region. *International Journal of Epidemiology*, 1976, **5** (4), 375-384.
- Warnes M.L., van den Bossche P., Chihya J., Mudenge D., Robinson T.P., Shereni W., Chadenga, V. - Evaluation of insecticide-treated cattle as a barrier to re-invasion of tsetse to cleared areas in northeastern Zimbabwe. *Medical and Veterinary Entomology*, doi:10.1046/j.1365-2915.1999.00148.x, 1999, **13**, 177-184.



Remerciements

L'auteur exprime ses remerciements à Barbara Dufour, Pascal Hendrickx et Renaud Lancelot pour leur lecture de l'article et leurs suggestions.