

## DE L'ECOPATHOLOGIE A LA SANTE DES AGROECOSYSTEMES\*

B. Faye<sup>1</sup>, D. Waltner-Toews<sup>2</sup>, et J. McDermott<sup>1,2</sup>

**RESUME :** La « révolution épidémiologique » des années 60 a répondu à l'incapacité des méthodes réductionnistes de procurer des solutions pratiques aux problèmes complexes de la santé et de la production dans des systèmes d'élevage en pleine mutation. Dans une exploitation, on n'observe pas seulement des interactions entre le troupeau et les facteurs d'élevage tels que l'alimentation, le logement ou le microbisme ambiant, mais aussi un ensemble d'interactions avec des facteurs « non-animaux » relevant directement des choix opérés par l'éleveur. Aussi, une approche « globale » ou « holistique », visant à expliciter le sanitaire dans le fonctionnement dynamique interne des systèmes d'élevage, s'est développée notamment en France sous le vocable d'écopathologie. En écopathologie, la discipline épidémiologique est intégrée dans une approche systémique, incluant la définition d'un modèle conceptuel préliminaire, un échantillonnage sur la base de la structure des systèmes d'élevage, la mise en place d'un protocole d'enquête par une équipe pluridisciplinaire, l'organisation et la gestion d'un système d'informations zootechniques et sanitaires, l'analyse des données, la restitution des résultats aux partenaires et le développement de programme de prévention sanitaire.

Cependant, une exploitation est également influencée par le contexte social, économique et environnemental auquel elle appartient. Pour prendre en compte un tel contexte, un changement d'échelle est nécessaire. Les trois éléments du système d'élevage considérés en écopathologie, à savoir, l'éleveur, le troupeau et les ressources, deviennent à l'échelle de l'agroécosystème, une communauté humaine (éleveurs, agriculteurs, consommateurs, décideurs), une population animale et l'ensemble complexe des conditions humaines, sociales et économiques internes au système. Le concept de « santé de l'agroécosystème » est étroitement associé au principe de durabilité. Celle-ci, ainsi que d'autres indicateurs de l'état de santé de l'agroécosystème peuvent être évalués à l'aide de méthodes développées par les épidémiologistes et autres disciplines dans une perspective systémique. De ce point de vue, l'écopathologie évalue la santé à l'échelle des troupeaux et la « santé des agroécosystèmes » développe un contexte plus large auquel l'écopathologie peut contribuer.

**SUMMARY :** The « epidemiologic revolution » of the 1960s arose in response to the inability of reductionist method to provide practical solutions to the complex problems of health and production in livestock systems. However, in a farm, there are not only interactions between animal factors and herd husbandry factors such as feeding, housing, and microbiological environment, but also with a number of other «non-animal» factors. For this reason, a «global» or «holistic» approach, aimed at explaining animal health status within the overall dynamic of a livestock production system, was developed in France under the title of «ecopathology». In ecopathology, the discipline of epidemiology is integrated into a systemic approach, including : the development of a preliminary conceptual model, sampling based on the structure of the livestock production system, the establishment of a field study by a multidisciplinary team, the organization and management of the animal health and production information, data analysis, the distribution of results to all participants and the development of a preventive medicine programme.

However, the farm is also influenced by the social, economic and environmental setting to which it belongs. To account for this, a change of scale is necessary. The 3 elements of the livestock production system considered in ecopathology : farmer, herd and resources, become at the level of the agroecosystem : a human community (farmers -livestock and crop- consumers, decision-markers), an animal population, and the complex of human, social and economic conditions within the system. The concept of agroecosystem health is closely linked to the overall principle of improving the sustainability of the system. This and other measures of the health status of an agroecosystem can be assessed with methods developed by epidemiologists and other disciplines within a system's perspective. In this systems view, ecopathology provides a basis for assessing herd health and agroecosystem health develops the broader context into which ecopathology contributes.



\* Texte de la conférence présentée en session plénière au VIII<sup>ème</sup> ISVEE. Le texte en anglais est publié dans *Prev. Vet. Med.*

<sup>1</sup> CIRAD-EMVT, Campus International de Baillarguet, B.P. 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France

<sup>2</sup> Department of Population Medicine, University of Guelph, Ontario, N1G 2W1, Canada



## I. LA REVOLUTION EPIDEMIOLOGIQUE

Dans un article fondateur publié dans *Preventive Veterinary Medicine*, Schwabe [1982] présentait une perspective du développement de l'épidémiologie et de l'économie dans la pratique vétérinaire au cours de la seconde moitié de ce siècle. Selon le point de vue de Schwabe, une quadruple crise prévaut depuis les années 50 : (i) la persistance des problèmes sanitaires dans les troupeaux en dépit du contrôle effectif de la plupart des maladies infectieuses, (ii) la demande croissante des pouvoirs publics en matière d'estimation des coûts-bénéfices de la santé animale, (iii) l'absence de méthodes de recherche appropriées pour comprendre et contrôler les maladies d'étiologie complexe

affectant la production, et (iv) l'incapacité des praticiens vétérinaires et des producteurs à développer des programmes pour protéger la santé et limiter les effets des contraintes de production associées aux pratiques d'élevage intensif. Ces crises ont enclenché une « révolution épidémiologique » dans les années 60 qui a permis de mieux identifier, quantifier et analyser les multiples causes inter-réagissantes de la plupart des maladies et des problèmes de production. Du fait, dans ce contexte, des limites de l'approche « pastorienne », Schwabe a proposé qu'une « approche holistique et épidémiologique de la causalité des maladies » soit adoptée.

## II. LA THEORIE DES SYSTEMES

Ce changement épistémologique est le reflet d'une révolution similaire dans la recherche agronomique qui s'est appuyée sur les concepts de la théorie des systèmes [Von Bertalanffy, 1970]. Devant les nombreux échecs des projets de développement agricole dans les pays industrialisés, mais surtout dans les pays en voie de développement, quelques agronomes se sont interrogés sur la pertinence de leurs méthodes traditionnelles de recherche basées sur une approche réductionniste [Sébillote, 1978] et ont adopté un paradigme plus holistique dans leur démarche cognitive. L'idée centrale de la théorie des systèmes d'élevage est de considérer que les pratiques d'élevage répondent à des objectifs et des contraintes, notamment socio-économiques, et que l'ignorance de celles-ci comme de ceux-là, représente la principale cause de l'échec des solutions techniques développées à partir de la recherche [Tourte, 1965]. L'élargissement des domaines techniques traditionnels de la santé et de la production animale par la prise en considération des objectifs économiques, sociaux et techniques des éleveurs a été en pratique mis en oeuvre par quelques épidémiologistes [par exemple, Bigras-Poulin, 1985] qui soulignent justement que sans l'intégration du rôle de l'éleveur comme « pilote » du système, la révolution épidémiologique décrite par Schwabe risque d'être inachevée.

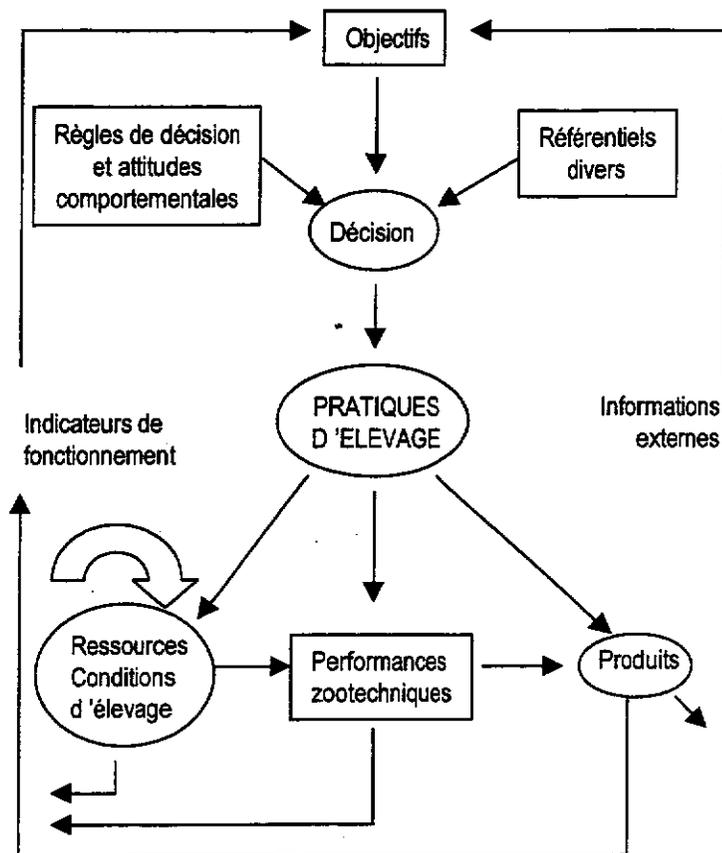
Formellement, la recherche sur les systèmes d'élevage prend en compte les interactions entre trois éléments :

l'éleveur, le troupeau et les ressources disponibles. L'éleveur prend ses décisions sur la base de critères techniques et de règles comportementales. Ces décisions deviennent opérationnelles au travers des pratiques d'élevage qui, directement ou indirectement et par des effets de rétro-actions, influencent les performances du troupeau ainsi que la quantité et la qualité des produits animaux. L'éleveur agit également et est influencé par les ressources disponibles dans un système d'élevage donné. Ces ressources influencent à leur tour la productivité du troupeau. Les performances et le fonctionnement du système d'élevage peuvent être évalués par des indicateurs divers qui, à leur tour, contribuent à la prise de décision par l'éleveur.

Landais [1994] a décrit le modèle conceptuel d'un tel système d'élevage selon le point de vue d'un zootechnicien systémicien (figure 1), mais à l'évidence, la non-prise en compte du sanitaire comme composant du système, représente, pour les épidémiologistes, la principale limite de ce modèle. L'étude des problèmes sanitaires dans un tel contexte s'est appelée, en France [Tuffery *et al*, 1971 ; Barnouin et Brochard, 1981 ; Tillon, 1982], **écopathologie**. Celle-ci peut donc se définir comme *l'explicitation du sanitaire dans le fonctionnement interne du système d'élevage*.

FIGURE 1

Schéma du fonctionnement interne d'un système d'élevage [d'après Landais, 1994]



### III. ECOPATHOLOGIE : EVALUATION EPIDEMIOLOGIQUE DU SYSTEME D'ELEVAGE

De la même manière que l'éleveur base ses décisions sur des critères techniques internes au système d'élevage qu'il pilote, l'écopathologiste cherche à définir des « référentiels sanitaires » constitués d'un ensemble de critères permettant la prise de décision en matière de prévention et de gestion sanitaire. L'ensemble de ces décisions vise à améliorer globalement les performances sanitaires du troupeau. Aussi bien à l'échelle de l'animal (par exemple, variations saisonnières ou physiologiques du risque sanitaire), qu'à l'échelle du troupeau (par exemple, incidence relative des maladies comparativement aux autres exploitations de la même région), l'éleveur peut s'appuyer sur ces référentiels en fonction du type de décision qu'il est amené à prendre (choix d'une pratique prophylactique par exemple). En vertu du paradigme du système d'élevage, les décisions dépendent également des règles comportementales de l'éleveur vis-à-vis des maladies animales et de leurs facteurs de risque. Ces décisions se traduisent par un ensemble de pratiques (conduite d'élevage, réforme, alimentation, prophylaxie...) qui, seules ou en combinaison, sont susceptibles d'influer sur le risque de maladie. En écopathologie, les maladies sont envisagées comme une

sortie du système d'élevage, et représentent des performances sanitaires, au même titre que les performances zootechniques. Ces performances peuvent varier selon les conditions environnementales (logement des animaux, facteurs climatiques) et les ressources disponibles (alimentation, intrants). La prise de décision au quotidien nécessite cependant de disposer d'indicateurs sanitaires qui reflètent à la fois les performances sanitaires (par exemple, les concentrations cellulaires du lait comme indicateur des mammites subcliniques) et les risques potentiels (par exemple, l'indice de propreté témoin de l'hygiène, ou l'état corporel, témoin de l'équilibre alimentaire). Toutefois, comme dans tout système complexe, l'identification d'indicateurs pertinents est à la fois payant et difficile. Les indicateurs sanitaires sont néanmoins particulièrement utiles pour mettre en évidence les déséquilibres et des dysfonctionnements du système de production, de façon souvent plus précoce et plus sensible que les indicateurs zootechniques [Barnouin et al., 1994].

#### IV. LES ETAPES D'UNE ETUDE ECOPATHOLOGIQUE

Les écopathologistes intègrent les principes de l'épidémiologie dans une démarche systémique étudiant le statut sanitaire des systèmes d'élevage [Ducret *et al.*, 1996]. L'enquête écopathologique est le moyen de parvenir à cet objectif. Une telle enquête comprend différentes étapes complémentaires :

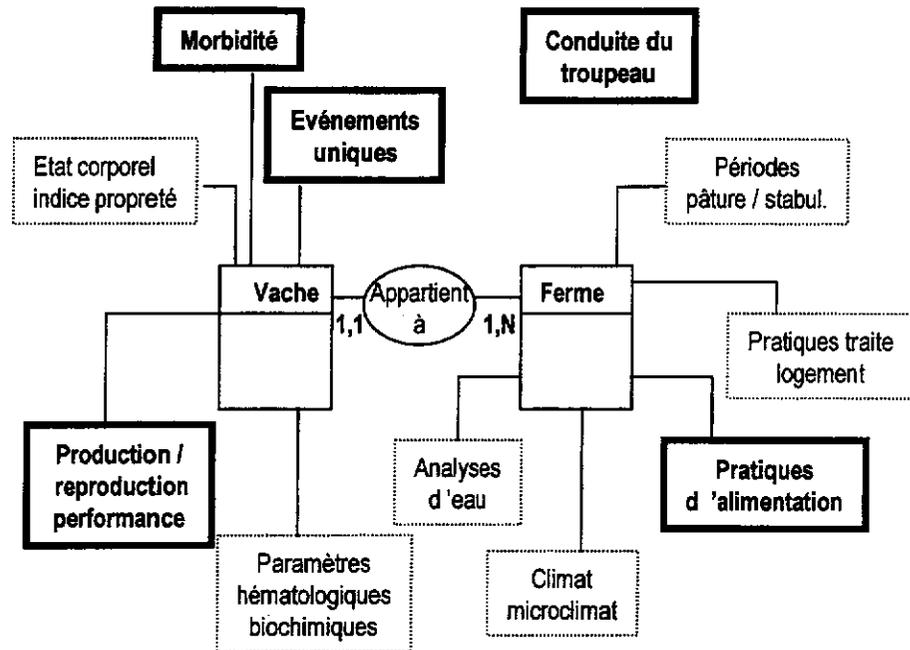
- *Echantillonnage des exploitations sur la base de la représentativité des systèmes d'élevage* : dès lors qu'on considère la maladie comme une sortie du système contrôlé par les intrants et les décisions de l'éleveur, le système d'élevage représente la base opérationnelle des futures actions préventives et donc de l'échantillonnage [Lassauzet *et al.*, 1994] ;
- *Mise en place d'un protocole d'observation rigoureux par une équipe pluridisciplinaire* (praticiens, épidémiologistes, zootechniciens, techniciens d'élevage, représentants des organisations professionnelles, statisticiens, informaticiens et toutes autres disciplines selon les besoins de l'enquête). Cette méthode permet de collecter une grande diversité de paramètres, élargissant le cadre classique des informations épidémiologiques aux concepts et méthodes des disciplines non-médicales (zootechnie, économie, voire sociologie). Cette approche permet de considérer la santé animale comme l'un des paramètres de la gestion du troupeau au même titre que l'alimentation, la reproduction ou la production. Ainsi, l'approche écopathologique est à la fois pluridisciplinaire et pluriprofessionnelle ;
- *Gestion et organisation d'un système d'information dans une base de données spécifique*. La collecte des données dans un tel contexte est caractérisée par un haut degré de complexité et par des liens nombreux avec une grande diversité de facteurs. Ceci nécessite donc qu'une grande attention soit portée à l'établissement d'un modèle conceptuel préalable (figure 2) basé sur des connaissances biologiques antérieures, mais susceptible d'être révisé ultérieurement au cours des différentes étapes de l'analyse des données engrangées dans la base. Cette approche, dite « exploratoire » a été proposée pour l'analyse des systèmes complexes non-totalement connus [Mallows et Tukey, 1982]. Des modèles empiriques sont développés à partir de concepts de base affinés par une approche itérative. Ainsi, à la différence de l'approche expérimentale, le traitement et l'analyse des données ne peuvent pas être définis *a priori* au début de l'étude. L'analyse à chaque étape est guidée par les résultats observés à l'étape précédente. En conséquence, un cadre fixé

préalablement pour le traitement des données s'avère impossible à construire. L'organisation des données doit donc être suffisamment souple pour accepter des applications imprévues au départ [Lescourret *et al.*, 1992] ;

- *Une approche séquentielle de l'analyse des données*. Celle-ci inclut une phase exploratoire (notamment par des méthodes graphiques), une phase consistant à identifier des « structures » dans l'univers des données (modèles factoriels) reflétant aussi bien les présupposés théoriques que les résultats exploratoires, et enfin une phase de modélisation finale explicative visant à estimer l'importance relative des facteurs de risque et des indicateurs sanitaires pouvant expliquer les « structures » préalablement identifiées. Cependant, ces analyses peuvent être compliquées par un grand nombre de problèmes tels que la co-linéarité, les facteurs de confusion et les interactions [Dohoo *et al.*, 1996]. La stratégie générale pour tenir compte de la co-linéarité des données s'appuie sur la réduction et/ou la catégorisation des nombreuses variables indépendantes préalablement à l'étude de leur association avec la variable à expliquer (la maladie). L'examen de ces associations entre variables indépendantes et variables dépendantes peut se baser sur diverses techniques multivariées telles que l'analyse des corrélations, la régression linéaire ou logistique, l'analyse des correspondances ;
- *La restitution des résultats aux éleveurs et aux acteurs de la santé animale* impliqués dans le système. Un programme de transfert des résultats d'une enquête écopathologique inclut : (i) le transfert d'informations au travers de brochures, documents techniques, articles de journaux ou de magazines, ainsi que des comptes rendus d'atelier ; (ii) transfert technique par des formations, des guides d'intervention et des manuels de prévention ; (iii) programme de sensibilisation par des groupes de discussion, des réunions publiques et autres publicités ; et (iv) actions de suivi pour l'évaluation des opinions, l'affinement des matériels pédagogiques, l'estimation et la mesure de l'impact des modifications proposées [Rosner, 1993].

FIGURE 2

Modèle conceptuel des données simplifié intégrant des sous-modèles spécifiques (en gras)  
Dans le modèle global d'une enquête écopathologique sur la vache laitière [d'après Lescourret *et al.*, 1993]



## V. EXEMPLE D'UNE ENQUETE ECOPATHOLOGIQUE

L'objectif principal de l'écopathologie est très pratique : identifier les facteurs de risque et leurs interactions qui influent le plus sur les performances sanitaires dans des systèmes d'élevage déterminés. Bien que cette approche ait été mise en œuvre dans les pays tropicaux [Faye *et al.*, 1994a], les principales études ont été menées en France [Barnouin, 1992 ; Faye, 1995 ; Faye et Barnouin, 1996]. L'enquête écopathologique réalisée en Bretagne (France) en est un bon exemple. Cette étude d'une durée de 4 ans (1986-1990) a concerné des élevages bovins laitiers intensifs. Ce système d'élevage a été choisi dans la mesure où il était censé représenter la tendance lourde de l'élevage laitier français : augmentation des effectifs par troupeau et intensification de la production [Faye et Barnouin, 1987]. Les élevages sélectionnés étaient exclusivement composés de vaches Pie-noires et de troupeaux ayant une production moyenne de 6500 kg de lait, une alimentation hivernale à base d'ensilage, une stabulation libre paillée ou à logettes. Les données ont été collectées par une équipe d'enquêteurs sur la base d'un protocole élaboré par un groupe de travail pluridisciplinaire. Les informations ont concerné la vache (maladies, performances de production et de reproduction, notation de la propreté et de l'état corporel, préparation individuelle au vêlage, tempérament et résultats biologiques tels que la bactériologie du lait et les profils métaboliques) et le troupeau (pratiques de conduite, ration de base, paramètres éco-climatiques, conditions de logement, nature

et quantité des intrants).

Au total, 4129 vaches laitières représentant 8945 lactations et appartenant à 47 exploitations de Bretagne, ont été suivies. Eleveurs et vétérinaires praticiens ont été volontaires pour participer à l'étude. Les éleveurs étaient représentatifs de la diversité des systèmes laitiers intensifs de Bretagne, et étaient tous adhérents au Contrôle laitier. Ils étaient sélectionnés par les vétérinaires praticiens sur la base de leur capacité à détecter et enregistrer les événements pathologiques, capacité confirmée par une pré-enquête de 4 mois. Les Services vétérinaires de trois départements bretons (Finistère, Morbihan, Ille-et-Vilaine) et les Groupements techniques vétérinaires ont participé à l'étude. Les enquêteurs ont subi une formation préalable au cours de laquelle ont été discutés les éléments du protocole (collecte des données, calendrier des prélèvements et notations) ainsi que les techniques de standardisation des méthodes de relevé et d'analyse.

Vétérinaires et éleveurs disposaient d'un glossaire définissant les maladies animales à répertorier chez les vaches laitières. Toutes les 6 semaines, 9 enquêteurs des Services vétérinaires ont visité les exploitations pour collecter les informations sur les pratiques d'élevage, mesurer les indices de propreté et d'état corporel autour du vêlage sur chaque vache, et assurer divers prélèvements en fonction du stade physiologique de l'animal, notamment des prélèvements de lait pour les analyses bactériologiques, de

sang pour les profils métaboliques, mais aussi d'eau et d'aliments à l'échelle du troupeau. Chaque mois, un prélèvement individuel de lait a été collecté par les techniciens du Contrôle laitier pour estimer les paramètres de production et de concentration cellulaire du lait. Ces données étaient accessibles sur support informatisé.

La base de données baptisée *Gwen-Ha-Du* (« Blanc-et-Noir » en breton) contenait 5 structures de base [Lescourret *et al.*, 1993]. La première comprenait l'identification et les événements historiques uniques caractérisant l'animal (identification, généalogie et réforme). Les seconde et troisième incluaient les données collectées au cours de la vie de l'animal, tels que les événements morbides individuels et les mesures des performances de production et de reproduction (par exemple, la production laitière, la composition du lait, la qualité bactériologique du lait, le tarissement, le vêlage et les inséminations). Les deux dernières structures de données se situaient à l'échelle du troupeau et concernaient les pratiques et conditions d'élevage, ainsi que l'alimentation.

Les résultats étaient restitués régulièrement aux éleveurs et aux praticiens. Les publications ont insisté sur les différents éléments caractérisant le système d'élevage. Au niveau de l'éleveur, une typologie des fermiers a été proposée sur la base du tempérament des vaches dont la distribution dans le troupeau était considérée comme un indicateur des relations entre l'éleveur et son cheptel [Faye, 1996]. Au niveau de l'animal, les facteurs affectant la distribution des mammites cliniques dans l'espace et le temps [Lancelot *et al.*, 1997],

l'importance des infections mammaires [Faye *et al.*, 1994b], de la rétention placentaire [Chassagne *et al.*, 1996], de la mortalité adulte [Faye et Pérochon, 1995], et l'association entre maladies et réforme [Beauudeau *et al.*, 1994a et 1994b] ont été abordés. Au niveau de l'environnement et des ressources, les facteurs alimentaires associés aux concentrations cellulaires élevées du lait [Barnouin *et al.*, 1995] et les paramètres du logement des animaux associés à la santé de la mamelle [Faye *et al.*, 1994c] ont constitué les principaux résultats de recherche.

Après analyse et discussion des résultats, les pathologies du péri-vêlage se sont avérées les contraintes sanitaires prépondérantes. Aussi, les programmes de prévention sanitaire ont ciblé des propositions dans le changement des pratiques alimentaires en relation avec les maladies du péri-partum [Barnouin *et al.*, 1994].

En écopathologie, la diversité des disciplines impliquées renforce la contribution des épidémiologistes [Sabatier *et al.*, 1994], et élargit le cadre de l'enquête épidémiologique en intégrant des disciplines non-médicales (zootechnie, économie, sociologie) et en mobilisant les savoirs pratiques des intervenants techniques de l'exploitation en conduite d'élevage, reproduction ou alimentation [Calavas *et al.*, 1996]. Cette approche, par l'élargissement de la portée de l'étude épidémiologique et par la mobilisation des acteurs de l'élevage, est susceptible de constituer un utile point d'appui pour une évaluation globale pertinente du statut sanitaire et productif des systèmes d'élevage.

## VI. DU SYSTEME D'ELEVAGE A L'AGROECOSYSTEME

Le concept de « santé des agroécosystèmes » (*Agroecosystem Health* ou AEH) est une application professionnelle de l'approche systémique qui s'est montrée efficace tant chez l'animal ou le troupeau qu'à l'échelle de l'exploitation. De la même façon que l'on est capable d'évoquer la santé pour un animal donné (clinique), un troupeau (médecine de groupe) ou une exploitation (écopathologie), il est possible de parler de la santé des agroécosystèmes.

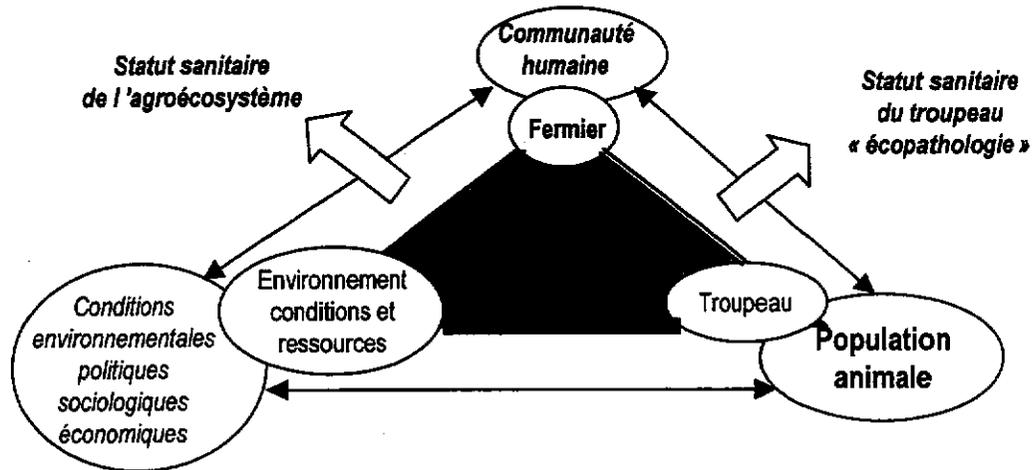
Tandis que l'écopathologie élargit le cadre des investigations vétérinaires classiques pour prendre en compte la complexité des systèmes d'élevage, l'AEH élargit la fenêtre d'observation pour tenir compte de la complexité des interactions opérant au-delà du système d'élevage, changeant ainsi de point de vue (figure 3). Comme l'écopathologie, l'AEH est une application de la théorie des systèmes. Ainsi, les recherches et leurs applications sont une part du même processus itératif où l'analyse des pratiques devient une part du processus de recherche lui-même. Cependant, à la différence de l'écopathologie, l'intérêt central se porte sur le système socio-écologique complexe dans lequel s'inscrivent les activités agricoles. Comme en écopathologie, mais différemment qu'en épidémiologie, le but

ultime de ce processus est plus synthétique qu'analytique.

Il est habituel de considérer la science et la pratique de l'AEH en termes de processus de raisonnement identiques à celui appliqué dans les programmes de gestion sanitaire. On considère que la pratique de l'AEH comprend au moins 5 étapes non nécessairement linéaires : (i) une description de l'agroécosystème en termes systémiques ; (ii) l'identification des décideurs et/ou des bénéficiaires ; (iii) la formalisation des buts que sont : les attributs perçus par les acteurs d'un « système sain », les objectifs opérationnels à réaliser en relation avec ces buts à différentes échelles d'espace et de temps, la détermination des indicateurs mesurables susceptibles de fournir les informations sur l'achèvement ou non des objectifs ; (iv) l'identification et la réalisation des changements souhaités et réalisables qui impliquent souvent la résolution des conflits entre les buts affichés par les différents décideurs aux différents niveaux ; (v) le contrôle des indicateurs sélectionnés et l'adaptation aux nouvelles conditions ou aux conséquences inattendues ou indésirables. Ceci peut conduire à revisiter la description du système, les objectifs retenus et les options de gestion choisies.

FIGURE 3

De l'écopathologie à la santé des agroécosystèmes : un changement d'échelle



#### A. DECRIRE LE SYSTEME

Un agroécosystème peut être défini comme « un système socio-écologique géré principalement dans le but de produire de la nourriture, des fibres textiles ou tout autre produit agricole intégrant les plantes et les animaux domestiques, les éléments biotiques et abiotiques des sols sous-jacents, les réseaux de drainage, la végétation naturelle et la faune sauvage » [Gallopain, 1995 ; Waltner-Toews, 1996]. De tels systèmes s'auto-organisent, ce qui signifie qu'ils se re-crée dans des formes particulières déterminées par un processus de boucles rétro-actives autocatalytiques. Les agroécosystèmes sont envisagés comme des hiérarchies emboîtées depuis la ferme et ses différents ateliers jusqu'au niveau global de la région. Dans de telles hiérarchies, les différents éléments imbriqués qui les composent sont appelés holarchies dans lesquelles chaque unité élémentaire se réfère à un holon [Checkland, 1981]. Ces holons sont délimités et nécessairement interdépendants avec les autres holons. Les exploitations, les bassins versants et les régions sont inextricablement liées dans un réseau socio-écologique [Giampietro, 1994].

Alors que de nombreux travaux ont déjà été réalisés pour étudier et évaluer les systèmes d'élevage, les recherches récentes sur l'AEH se sont focalisées sur des échelles d'observation plus larges que l'exploitation [Waltner-Toews, 1996]. Par exemple, au niveau d'une zone homogène comme un bassin versant, les 3 éléments constitutifs du système d'élevage décrits en écopathologie (éleveur/troupeau/ressources) deviennent : (i) une communauté humaine incluant les différents acteurs de l'activité d'élevage (éleveurs et leurs organisations, décideurs politiques, économiques, gestionnaires de l'environnement), (ii) une production animale (troupeaux domestiques, faune sauvage) et (iii) l'environnement biophysique (eau, nutriments, énergie).

Des budgets espace-temps ont été proposés pour lier les

objectifs opérationnels des éleveurs (par exemple minimisation des risques, maximisation des revenus) aux activités permettant d'atteindre ces objectifs (telles que les rotations de pâturages, l'amélioration des pratiques d'élevage) en tenant compte des variables écologiques et économiques [Giampietro et Pastore, 1997]. Ceci a permis aussi d'associer le fonctionnement des activités d'élevage aux flux d'énergie et de matière au travers d'une zone écologique homogène plus large.

Une autre voie pour comprendre les agroécosystèmes à un niveau particulier est de créer un « modèle attracteur » à plusieurs dimensions. Ceci s'appuie sur l'observation selon laquelle beaucoup d'agroécosystèmes se réduisent à quelques types de comportement et peuvent résister à la pression des changements. Dans quelques cas, cela ressemble à ce que Gallopain appelle « la résilience perverse », laissant les communautés dans un état de stagnation économique et de dégradation environnementale en dépit des meilleurs efforts pour renverser la tendance. Dans d'autres cas, les agroécosystèmes semblent résister à une telle dégradation. Dans la plupart des cas, de tels systèmes complexes à l'épreuve de changements brutaux, discontinus, peuvent être décrits selon la théorie des catastrophes développée par René Thom [voir Kay, 1991]. Si des modèles conceptuels de tels attracteurs ou de telles ruptures « catastrophiques » peuvent être créés, on peut commencer à identifier leurs déterminants. Ceux-ci sont comparables à ce qui est appelé déterminants de la santé dans la littérature concernant la santé des populations.

#### B. IDENTIFICATION DES DECIDEURS RESPONSABLES ET DES BENEFICIAIRES

Dans les programmes de santé animale et en écopathologie, gestion et direction sont intégrés (l'éleveur est l'acteur et le bénéficiaire). Cependant, une fois hors de la cour de la ferme, il n'y a pas seulement conflits d'intérêts ou perspectives communes de la part des différents acteurs,

mais surtout séparation des fonctions de gestion et de direction. Ceci se complique par l'existence de multiples perspectives individuelles à de multiples niveaux.

L'analyse des institutions et des bénéficiaires peut être réalisée pour déterminer qui doit être à la table des négociations, et comment les impliquer en vertu de leurs pouvoirs politiques et économiques respectifs. Dans quelques cas, de nouvelles organisations peuvent être créées pour établir un rapprochement avec des juridictions économiques ou politiques. La Commission Conjointe Internationale de la région des Grands Lacs en est un exemple, mais il existe bien d'autres tables rondes consacrées aux problèmes d'économie et d'environnement, et de groupements non-gouvernementaux de producteurs qui ont émergé à travers le monde ces dernières années, aussi bien au niveau des communautés locales qu'à l'échelle de la biosphère, dans ce que le sociologue George Francis [1996] a appelé la « gouvernance virtuelle ».

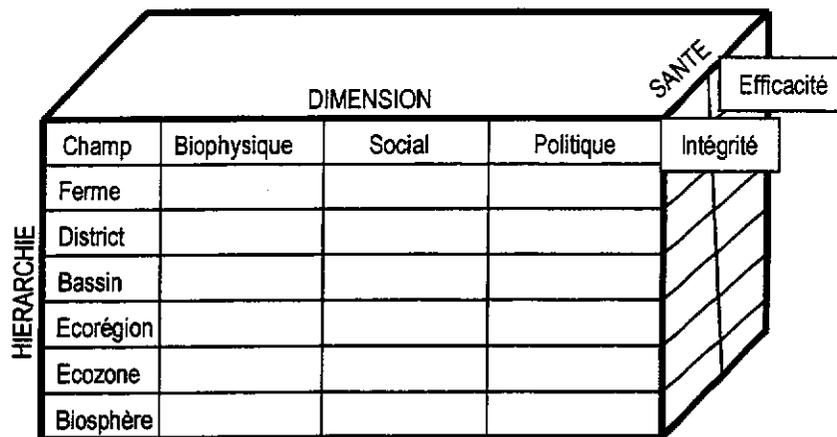
Quelques chercheurs ont élaboré des diagrammes (modèles) d'influence en guise d'aide à l'interprétation [Caley et Sawada, 1995]. Ces diagrammes permettent d'identifier les effets de rétro-action qui renforcent ou affaiblissent des états particuliers du système, et clarifient qui a le pouvoir d'influencer ou non de telles connections. Dans ces diagrammes, qui sont parfois baptisés « diagramme spaghetti », les divers composants du système sont connectés par des flèches labellisées comme positive si elles co-varient dans la même direction, ou négative dans le cas contraire. Par exemple, le lien entre revenu et consommation

de viande doit être positif, tandis que la connexion entre la qualité de l'eau avec les maladies humaines doit être négative. Par l'examen de ces diagrammes, on peut juger si des relations particulières sont susceptibles d'être amplifiées ou découragées lorsque les changements sont effectués. Lorsque des décalages dans le temps sont pris en compte, on peut prédire si on peut espérer la stabilisation ou l'oscillation du modèle. Dans le contexte de tels diagrammes, on peut commencer à explorer pourquoi, par exemple, l'éducation et le renforcement des pouvoirs des femmes peut avoir un effet plus grand à long terme sur la santé de l'agroécosystème (à la fois directement à travers l'accroissement des connaissances disponibles sur le système et indirectement par la diminution des sollicitations sur le système à travers un auto-contrôle de la population) que les interventions techniques qui peuvent apparaître plus attractives à court terme.

Tandis qu'une part de la gestion sanitaire de l'agroécosystème est basé sur une description scientifique du système, on ne peut éviter de faire référence à une autre part, à savoir l'articulation avec le type de système souhaité par les décideurs et les bénéficiaires [Boyle et al., 1996]. Waltner-Toews et Nielsen [1995] ont proposé une stratégie de classification pour l'AEH qui comprend différents niveaux hiérarchiques (holarchiques) et différentes dimensions (économique, sociale, biophysique), soit deux axes d'une matrice tri-dimensionnelle, le troisième axe étant utilisé pour décrire les attributs sanitaires souhaités (par exemple, intégrité et efficacité) (figure 4).

FIGURE 4

Les dimensions et les échelles d'un agroécosystème [adapté d'après Waltner-Toews et Nielsen, 1995]



### C. OBJECTIFS OPERATIONNELS ET INDICATEURS CHOISIS

Ayant proposé une holarchie et plusieurs dimensions, on peut identifier quelques critères permettant de juger de l'état de santé du système. La plupart des définitions de la santé combine la notion d'équilibre harmonieux (mesuré en termes de fonctionnement courant du système) et la notion de

capacité à atteindre des buts (souvent mesurée par les formes variées prises par le capital social, économique ou naturel). En termes de système complexe, on peut dire que le but de la gestion sanitaire est d'encourager la capacité du système à s'auto-organiser et à évoluer dans le temps pour s'adapter aux changements environnementaux [Kay et Schneider, 1994]. Plus spécifiquement, on peut se poser la question : « la qualité et la quantité des ressources internes

et externes sont-elles suffisantes et leur organisation est-elle appropriée pour permettre à l'agroécosystème d'atteindre ses buts » [Waltner-Toews *et al.*, 1997] ?

Pour que les holons s'auto-organisent et s'adaptent, les limites de chacun d'entre eux doivent demeurer intactes pendant que dans le même temps les échanges entre eux s'accroissent. Ainsi, il est important pour les moyens de subsistance des éleveurs que ceux-ci soient aptes à commercialiser, mais pas d'être absorbés dans des exploitations de plus en plus grandes ; de la même façon, les communautés rurales ne peuvent demeurer isolées ; cependant, donner carte blanche absolue au marché libre équivaut à écorcher vif une vache et à la laisser vivre librement dans son environnement.

Bien qu'un agroécosystème soit un réaménagement humanisé d'un système écologique, ses buts sont fondamentalement ceux de l'homme soucieux de rehausser la qualité de la vie pour lui-même et ses descendants. Même le souhait de maintenir la biodiversité peut être considéré comme un moyen de protéger les options futures pour le développement des communautés humaines. En général, on s'engage vers des buts généraux pour répondre à des objectifs opérationnels et on choisit des indicateurs mesurables utiles pour évaluer le progrès réalisé.

Par ailleurs, de la même façon que les variables destinées à étudier l'état de santé des systèmes d'élevage intègrent des mesures de longévité, de morbidité, de productivité et de capacité de réponse en relation avec les objectifs de l'éleveur, les indicateurs de santé des agroécosystèmes se doivent de refléter les dimensions sociales, économiques et biophysiques du système à différents niveaux. La recherche sur la santé des agroécosystèmes peut être modélisée par un cube reflétant le niveau, la dimension et les objectifs de la gestion sanitaire (Figure 4).

Ce qui émerge de cette combinaison de description du système hiérarchique et de définition d'objectifs par les décideurs, est un processus qui incorpore la participation des éleveurs, les communautés et les organisations gouvernementales régionales dans la définition et le contrôle du statut sanitaire du système dont ils sont tous responsables pour une part. Parce que la capacité de s'adapter à des changements futurs imprévisibles est une part essentielle de la santé, et que le développement local est un élément de cette capacité, la sélection des indicateurs *a priori* par des experts externes est contre-productive. Les objectifs opérationnels qui reflètent les buts de l'agroécosystème, et les indicateurs qui en mesurent la réalisation, peuvent seulement être identifiés par un processus de négociation avec ceux qui y vivent et/ou ont un intérêt à la santé de ces agroécosystèmes.

Le rôle des chercheurs et des praticiens de la santé des agroécosystèmes dans ce contexte glisse d'une vue conventionnelle d'experts donnant des conseils vers celui de facilitateurs aidant à explorer les conséquences possibles des choix alternatifs.

#### D. MISE EN PRATIQUE SOUHAITABLE ET CHANGEMENTS REALISABLES

En médecine de groupe, en écopathologie ou en santé des agroécosystèmes, chaque intervention dans la gestion doit être vue comme une sorte d'expérimentation. Par ailleurs, alors que les techniques épidémiologiques héritées de la médecine humaine visent à isoler les effets des composants individuels, les approches systémiques visent à évaluer les effets de l'ensemble des interactions du système.

En écopathologie, le passage d'un objet « troupeau » à un objet « exploitation » a nécessité un changement conceptuel pour intégrer les multiples activités liées à l'élevage et les multiples objectifs de l'éleveur [Bawden, 1995 ; Faye, 1996]. La généralisation ultérieure dans le cadre de l'AEH permet une meilleure évaluation des interrelations entre les systèmes d'élevage et leur environnement qui sont reconnus, mais largement ignorés dans les études sur les systèmes d'élevage. Tout d'abord, la complexité des relations entre les exploitations et les autres composantes de l'agroécosystème (apparenté en partie aux effets de rétro-action au niveau spatial et temporel) est accrue par l'élargissement du contexte de l'étude. Dans l'agroécosystème pris dans son ensemble, il est clair qu'il n'y a pas seulement des conflits entre les différentes dimensions à une échelle donnée (par exemple, échanges entre la richesse de la vie sociale dans les petites exploitations et les revenus accrus associés aux économies d'échelle), mais aussi dans une dimension donnée à différentes échelles. Ainsi, l'objectif d'un éleveur consistant à conserver le plus de revenus possibles pour lui-même est en conflit avec l'objectif national de rembourser la dette extérieure ; un pays peut souhaiter augmenter la production laitière pour des raisons de sécurité alimentaire même si un éleveur décide de réduire sa production pour des raisons personnelles.

Par ailleurs, bien qu'un exploitant puisse négocier les buts et assurer de meilleures pratiques d'élevage dans son exploitation, il n'est pas toujours clair de savoir qui souhaite, ou qui peut le faire à une échelle plus large. Neils Roling de l'Université Agricole de Wageningen a identifié l'approche intégrée des perspectives multiples projetées par des bénéficiaires comme l'objet central dans l'approche agroécosystémique [Roling, 1996].

Parce que les hypothèses à propos de la santé des agroécosystèmes se rapportent au système dans sa totalité, elles sont nécessairement complexes et présentent de multiples facettes. Les modèles d'auto-organisation à partir desquels est construit le système, sont fortement déterminés par les objectifs du système et ses réalisations. Par exemple, les marchés agricoles de gros, facilités par la construction de routes et de réseaux de communication, induisent des difficultés externes de plus en plus grandes aux agroécosystèmes locaux, parfois avec des conséquences indésirables et même tragiques. En cherchant à maximiser la réalisation d'un but simple telle que la productivité, de nombreux buts non-fixés, mais hautement souhaités comme l'équité, la démocratie et la durabilité peuvent être mis en cause de façon critique. L'occurrence de la BSE ou la production de véro-toxine par *E.coli* chez les bovins et l'infection salmonellaïque chez la volaille sont une

conséquence naturelle de changements systémiques basés sur un attracteur à objectif unique, à savoir l'augmentation de l'approvisionnement en viande de bon marché. En fait, de nombreuses maladies émergentes en médecine humaine ou animale sont la conséquence de politiques de décisions basées sur la réalisation d'un objectif unique

C'est à ce stade de la prise de décision sur des programmes de gestion appropriés, qu'il devient nécessaire de faciliter les négociations entre divers décideurs pour accorder des objectifs susceptibles d'être conflictuels. La création de plates-formes de négociation ou de forum est donc une part essentielle de la gestion de la santé des agroécosystèmes.

### E. CONTROLE ET ADAPTATION

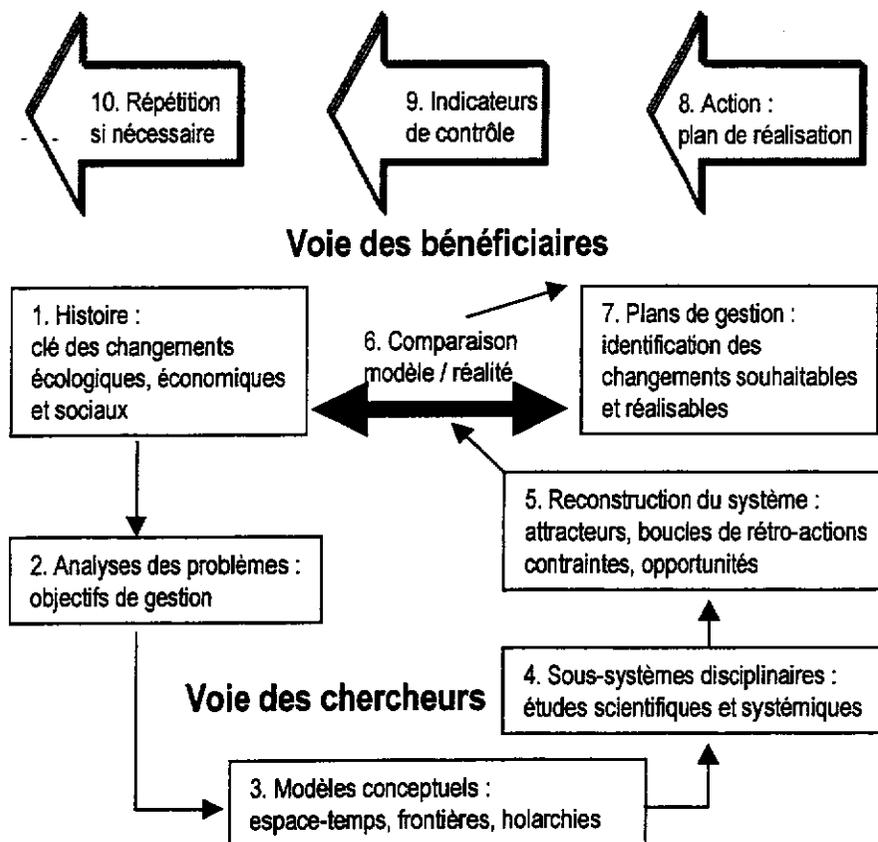
Le contrôle des indicateurs, reflétant les buts et les objectifs affirmés par les décideurs et les bénéficiaires au travers d'un processus de négociation informé par la science, est la voie la plus viable pour tester les hypothèses de la santé de l'agroécosystème. La gestion, dans ce contexte, est de la recherche. Un programme de gestion peut être considéré

comme une expérience « naturelle » qui peut être conçue et contrôlée avec autant de rigueur qu'un essai de laboratoire mais avec d'importantes différences. La gestion sanitaire des agroécosystèmes demande que les décideurs prennent part au processus de recherche, et que les nouveaux programmes à différentes échelles soient formellement mis en oeuvre selon une voie qui tient compte du contrôle et des ajustements. En impliquant les communautés humaines dans le processus de recherche, la gestion sanitaire des agroécosystèmes devient simultanément de la recherche et de la gestion. On ne cherche donc pas, à la fin, à vendre des résultats expérimentaux à des éleveurs récalcitrants ou des décideurs politiques.

La gestion sanitaire des agroécosystèmes étant à la fois participative et structurée selon des mécanismes en boucle qui miment le système lui-même (figure 5), elle ne résulte pas en un résultat défini simple. En cela, la gestion sanitaire des agroécosystèmes est tout à fait différente d'une approche expérimentale simple qui pose une question simple sous conditions contrôlées et reçoit une réponse simple, ou bien une gestion industrielle qui se focalise sur un résultat simple tel que produire plus de porcs bon marché.

FIGURE 5

Processus de recherche pour l'étude de la santé des agroécosystèmes [adapté d'après Rowley *et al.*, 1997]



Ceci peut être frustrant pour ceux d'entre nous qui s'appuient sur des expérimentations bien définies et des hommes d'affaires habitués au monde stable des années 60 et 70. De nombreux cadres d'entreprises multinationales, cependant, ont déjà reconnu la signification d'approches similaires en inventant des stratégies adaptatives aux rapides changements mondiaux [Checkland, 1981]. Il n'est pas trop

tôt pour les institutions publiques de suivre la même voie. Le résultat de cette approche est un réseau durable d'apprentissage pour les organisations, de l'élevage à la communauté et jusqu'aux institutions globales qui sont capables d'action, de contrôle et d'adaptation dans un monde caractérisé par un perpétuel changement.

## VII. EPIDEMIOLOGIE ET SANTE DES AGROECOSYSTEMES

Alors que l'écopathologie et l'AEH semblent avoir une complémentarité naturelle, la relation avec la discipline épidémiologique peut ne pas sembler claire. On peut avancer l'argument que la santé des agroécosystèmes invite simplement les épidémiologistes à une nouvelle et plus large conception.

Pour ceux qui oeuvrent dans les programmes de santé animale, l'évolution vers l'écopathologie, puis vers la santé des agroécosystèmes semble représenter seulement un élargissement du point de vue et une augmentation de la complexité. Un système complexe tel que l'agroécosystème peut être légitimement décrit selon différents points de vue (économique, par le flux d'énergie, par le niveau de santé des communautés rurales, par l'état de bien-être des travailleurs agricoles) qui peuvent s'inscrire dans différents paradigmes et résulter en différents (voire contradictoires) objectifs prioritaires. Tandis que l'éleveur peut mettre en balance les pertes de revenus dues aux maladies avec le coût d'un programme de prophylaxie, dans un agroécosystème, nous devons trouver nous-mêmes l'équilibre entre eau potable et aliment bon marché, ou entre communautés rurales durables et prix des matières premières ou surproduction.

Le problème est cependant plus difficile à traiter que cela. En pensant à la réalité en terme d'holarchie, et en mettant les gens à l'intérieur du système, nous réduisons simultanément la taille de l'échantillon et la population de référence, et nous brouillons la séparation entre la science conventionnelle et la gestion. Un des rôles de l'épidémiologie est d'utiliser des outils conventionnels, et de sélectionner, comparer et étudier les dynamiques au sein d'holons de petite taille (animal,

troupeau, exploitation). Ceci est certainement un composant nécessaire de l'approche systémique.

Si on considère que l'épidémiologie est l'étude des déterminants de la santé et des maladies dans une population donnée, on peut dire aussi que l'écopathologie et l'AEH représentent simplement une autre voie pour comprendre ces déterminants, qui ne s'appuie pas uniquement sur des méthodes statistiques quantitatives. De ce point de vue, les outils d'analyses conventionnels, utiles pour étudier à court terme les composants linéaires du système, sont de peu d'utilité dans les études à long terme et les rétro-actions multi-niveaux débouchant sur de multiples résultats. Quelques chercheurs dans ce domaine ont affirmé catégoriquement que dans cette arène, il n'y a pas de vérité globale ; c'est que chaque solution est unique, et que le processus d'évaluation et d'adaptation est la seule chose que l'on puisse généraliser [Kay et Schneider, 1994]. Contrairement à l'écopathologie, la santé des agroécosystèmes a une très courte histoire, et il n'est pas encore entièrement clair de savoir ce qui est spécifique au contexte et ce qui peut être généralisé.

Couramment, les chercheurs de l'Université de Guelph sont impliqués dans des études agroécosystémiques au Canada (Projet sur la santé des agroécosystèmes, Université de Guelph), au Pérou [Rowley *et al.*, 1997], au Honduras et au Kenya, avec les projets en cours pour l'Ethiopie et le Népal. Dans les prochaines années, ces études pourraient identifier beaucoup de problèmes et, nous l'espérons, beaucoup de solutions, nécessaires pour appliquer les concepts de la santé des agroécosystèmes.

## VIII. CONCLUSION

L'écopathologie peut être considérée comme un enrichissement de la discipline épidémiologique par les concepts de l'écologie systémique. Dans ce contexte écologique, le troupeau peut être vu comme une anthropobiocénose, c'est-à-dire une communauté spécifique où les micro-organismes (qui peuvent être pathogènes) et les animaux vivent ensemble et dans laquelle leurs relations réciproques expriment souvent un haut niveau d'organisation. La ferme, c'est-à-dire l'espace physique occupé par le troupeau, peut être considérée comme un anthropo-biotope. Les études sur la santé des agroécosystèmes prolongent ce processus par la prise en compte du milieu plus large dans lequel cette unité

écologique prend sa place, pas seulement par des études plus larges de la discipline écologique, mais aussi avec des études écologiques dans un sens plus large incluant des concepts issus de l'agriculture, de la santé, de l'épidémiologie et des sciences sociales. Dans ce contexte, les études sur la santé des agroécosystèmes sont à l'écopathologie ce que l'écopathologie est à la médecine de groupe : un contexte élargi dans lequel le diagnostic médical peut être compris et évalué. L'écopathologie procure le contexte de la médecine de groupe et la santé des agroécosystèmes procure le contexte de l'écopathologie.

Les approches systémiques de la complexité du réel sont

ouverts à diverses perspectives légitimes. C'est pourquoi l'un des auteurs [D. Waltner-toews] considère la poésie comme complémentaire à la compréhension scientifique dans la recherche des solutions pour quelques-uns de nos problèmes sanitaires et environnementaux les plus difficiles à résoudre.

*Vache folle et facture d'électricité  
Ca commence en Nouvelle-Guinée  
Avec la peur des ancêtres  
Ca commence avec l'amour de la sagesse et de  
l'intelligence  
Ca commence avec le respect de la mort  
Avec les femmes et les enfants d'abord.  
Ca commence par notre habileté  
Et notre envie.  
Ca commence par la consommation des cerveaux  
De ceux qu'on admire.  
Ca finit avec le Kuru, un Jacuzzi spongieux  
De prions alités, goinfres de cerveaux.  
Ca finit avec une jeune femme  
Se jetant elle-même dans le feu.  
Ca commence en Amérique avec un bol de poussière,  
Avec la dévastation de la guerre mondiale.  
Ca commence avec les enfants affamés  
En Europe et en Afrique.  
Ca commence avec notre habileté  
Et notre appétit de pouvoir et nos tracteurs.  
Ca commence avec les vaches venant  
En foule des terres vierges verdoyantes.  
Ca commence avec l'éloge du hamburger  
Sur chaque langue  
Ca commence avec le changement de quelques pièces  
détachées  
Après les achats de nourritures,  
et l'émotion de la nouvelle voiture.  
Ca commence avec le recyclage, avec l'efficacité,  
Avec les vaches mangeant des vaches.  
Ca finit avec le vieil homme  
Affamé de pouvoir.*

*Ca finit avec une foule de vaches folles  
Alimentant les centrales électriques,  
S'évaporant dans les volutes de fumée  
Des incinérateurs.  
Ca commence avec l'amour de la vie.  
Ca commence dans un manteau blanc.  
Ca commence avec les coupures et les coutures.  
Ca commence avec les nouveaux médicaments.  
Ca commence avec notre habileté  
Et notre peur de la mort.  
Ca commence avec l'ingestion de ceux  
Qui ont ce que je désire.  
Ca commence avec les transfusions sanguines  
Avec les transplantations du cœur, des reins et de la  
comée,  
Avec la moelle osseuse et la dura mater.  
Ca finit avec la rage, le SIDA  
Avec la lente progression des prions  
Dans le cerveau.  
Ca finit avec un jeune homme  
Incapable de marcher, incapable de donner  
Son propre nom.  
Ca commence avec des fleurs et du vin  
Ca commence avec une habile conversation  
Ca commence avec l'amour des enfants  
Leur éducation et, étonnamment, une grande attention  
pour eux.  
Ca commence avec une maison et une voiture  
Et une école et un ordinateur.  
Ca finit avec la facture  
D'électricité.  
Ca arrive  
En se blottissant autour d'un feu de camp  
En chantant des mélodies plaintives  
Avec des vieilles guitares  
Et, dans les ténèbres au-delà du halo de lumière,  
Le bruit des vaches ou des ours fourrageant  
Et le lent soupir de la lune montante.*

## IX. BIBLIOGRAPHIE

- Barnouin J., Brochard M. (1981) ~ L'enquête écopathologique continue : 1. Une nouvelle méthode de travail en pathologie chez les ruminants. Bull. Techn. CRZV Theix, INRA, 46, 11-14
- Barnouin J. (1992) ~ Approche écopathologique de la composante nutritionnelle des troubles de santé chez la vache laitière. Thèse Univ. Montpellier II, 175 p.
- Barnouin J., Chacomac J.P., Aissaoui C., El Idilbi N., Mazur A. (1994) ~ Comment dépister les déséquilibres biologiques et les troubles de santé chez la vache laitière dans le cadre d'enquête d'écopathologie. Vet. Res., 25, 104-109
- Barnouin J., Chassagne M., Aimo I. (1995) ~ Dietary factors associated with milk somatic cell counts in dairy cows in Brittany, France. Prev. Vet. Med., 21, 299-311
- Bawden R. (1995) ~ On the systems dimension in FSR. J. Farming Syst. Res. And Ext., 5, 1-18
- Beaudeau F., Frankena K., Fourichon C., Seegers H., Faye B., Noordhuizen J. (1994a) ~ Associations between health disorders during two consecutive lactations and culling in dairy cows. Livest. Prod. Sci., 38, 207-216.
- Beaudeau F., Frankena K., Fourichon C., Seegers H., Faye B., Noordhuizen J. (1994b) ~ Associations between health disorders of french dairy cows and early and late culling within the lactation. Prev. Vet. Med., 19, 213-231.
- Bigras-Poulin M., Meek A.H., Blackburn D.J., Martin S.W. (1985) ~ Attitudes, management practices and herd performances. A study of Ontario farm managers. II. Association. Prev. Vet. Med., 3, 241-250
- Boyle M., Kay J.J., Pond B. (1996) ~ State of the landscape

- reporting : the development of indicators for provincial policy statement under the planning act. Ontario Ministry of natural resources, Maple, Ontario
- Calavas D., Ducrot C., Sabatier P. (1996) ~ Interaction entre observateur et observé en écopathologie. Reflexions méthodologiques et épistémologiques. *Nature, Sciences et Société*, 4, 341-350
- Caley M.T., Sawada D. (1995) ~ *Mindscapes : the epistemology of Magoroh Maruyama*. Gordon & Breach Publishing, Newark, USA
- Chassagne M., Barnouin J., Faye B. (1996) ~ Epidémiologie descriptive de la rétention placentaire en système intensif laitier en Bretagne. *Vet. Res.*, 27, 491-501
- Checkland P. (1981) ~ *Systems thinking, System practice*. John Wiley & Sons, Chichester
- Dohoo I., Ducrot C., Fourichon C., Donald A., Humik D. (1996) ~ An overview of techniques for dealing with large numbers of independent variables in epidemiologic studies. *Prev. Vet. Med.*, 29, 221-239
- Ducrot C., Legay J.L., Gröhn Y.T., Enevoldsen C., Calavas D. (1996) ~ Approach to complexity in veterinary epidemiology : example of cattle reproduction. *Nature, Sciences et Sociétés*, 4, 23-34
- Faye B. et Barnouin J. (1987) ~ Objectifs et motivations de l'enquête écopathologique Bretagne. *Bull. Techn. INRA-CRZV Theix*
- Faye B., Lefèvre P.C., Lancelot R., Quirin R. (1994a) ~ *Ecopathologie animale : méthodologie et applications en milieu tropical*. Ed. INRA-CIRAD, Versailles, 118p.
- Faye B., Dorr N., Lescourret F., Barnouin J., Chassagne M. (1994b) ~ Les infections intra-mammaires chez la vache laitière dans l'enquête écopathologique Bretagne. *INRA Prod. Anim.*, 7, 55-65
- Faye B., Dorr N., Lescourret F., Barnouin J., Chassagne M. (1994c) ~ Farming practices associated with the « udder infection » complex. *Actes 1<sup>er</sup> Coll. Int. Ecopathol. & Gest. Santé Anim.*, Clermont-Fd, 1993. *Vet. Res.*, 25, 213-218.
- Faye B. (1995) ~ L'éleveur, son environnement, ses pratiques, et la santé de son troupeau. *Thèse Univ. Paris XII*, 225p.
- Faye B., Pérochon L. (1995) ~ La mortalité des vaches laitières dans l'enquête écopathologique Bretagne. *Vet. Res.*, 26, 124-131
- Faye B. (1996) ~ Relations homme-animal dans les élevages laitiers intensifs de Bretagne (France). *Anthropozoologica*, 22, 17-22
- Faye B., Barnouin J. (1996) ~ L'écopathologie ou comment aborder la pathologie multifactorielle. *INRA Prod. Anim.*, Hors série 50<sup>ème</sup> anniversaire, 127-134
- Francis G. (1996) ~ Implications for institutional arrangements. Presentation to the *New Science : a workshop on the ecosystem approach and its application to agriculture and governance*. Feb. 21<sup>th</sup>, 1996.
- University of Guelph, Guelph, Canada
- Gallopin G. (1995) ~ The potential of agroecosystem health as a guiding concept for agricultural research. *Ecosystem health*, 1, 129-140
- Gallopin G. (1997) ~ Development and application of an integrated conceptual framework for tropical agroecosystem research based on complex system theories. *First international workshop of the CIAT/Ug project*, May 26-28, CIAT, Cali, Columbia
- Giampietro M. (1994) ~ Sustainability and technological development in agriculture. *Bioscience*, 44, 677-689
- Giampietro M., Pastore G. (1997) ~ A model of analysis to study the dynamics of rural intensification in China. *En préparation*.
- Kay J.J. (1991) ~ A nonequilibrium thermodynamic framework for discussing ecosystem integrity. *Environmental management*, 15, 483-495
- Kay J., Schneider E. (1994) ~ Embracing complexity. *Alternatives*, 20, 33-39
- Landais E. (1994) ~ Systèmes d'élevage. D'une intuition holiste à une méthode de recherche, le cheminement d'un concept. In *Dynamique des systèmes agraires. A la croisée des chemins : pasteurs, éleveurs, cultivateurs*. Ed. ORSTOM, Paris, 15-49
- Lancelot R., Faye B., Lescourret F. (1997) ~ Factors affecting the distribution of clinical mastitis among udder quarters in french dairy cows. *Vet. Res.*, 28, 45-53
- Lassauzet M.L., Lopez C., Faye B., Madec F. (1994) ~ *L'échantillonnage en enquête analytique*. *Epidémiol. Santé Anim.*, 25, 83-100.
- Lescourret F., Pérochon L., Coulon J.B., Faye B., Landais E. (1992) ~ Modelling an information system using the Merise method for agricultural research : the example of a database for a study on performances in dairy cows. *Agric. Syst.*, 38, 149-173
- Lescourret F., Genest M., Barnouin J., Chassagne M., Faye B. (1993) ~ Data modelling for data base design in production and health monitoring systems for dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 76, 1053-1062
- Mallows C., Tukey J.W. (1982) ~ An overview of techniques of data analysis emphasizing its exploratory aspects. In : *Some recent advances in statistics*. Ed. J.Tiago de Oliveira and B. Epstein. Academic Press, London, 111-172
- Nielsen N.O. (1992) ~ Ecosystem health and veterinary medicine. *Can. Vet. J.*, 33, 23-26
- Roling N. (1996) ~ Towards an interactive agricultural science. *European J. Agric. Educ. And Ext.*, 2, 35-48
- Rosner G. (1993) ~ The ecopatho-transfert programme of the *Centre d'Ecopathologie Animale* : an example of development and knowledge transfert. *Proc. of Int. Symp. on ecopathology and animal health management (abstr.)*, Clermont-Ferrand, France, 43

- Rowley T., Gallopin G., Waltner-Toews D., Ruez-Luna E. (1997) ~ Developing an integrated conceptual framework to guide research on agricultural sustainability for tropical agroecosystems. CIAT-University of Guelph Project. Ecosystem Health. In press.
- Sabatier P., Forestier J., Marzin P. (1996) ~ L'élevage, le conseil et l'écopathologie. Résultats d'une approche didactique et situations de diagnostic d'élevage en production porcine. Vet. Res., 25, 290-299
- Schwabe C.W. (1982) ~ The current epidemiological revolution in veterinary medicine. Prev. Vet. Med., 1, 5-15
- Sébillotte M. (1978) ~ Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. C.R. Acad. Agric. France, 1416, 906-903
- Tillon J.P. (1982) ~ Enquête permanente sur la pathologie porcine : choix des populations étudiées. Bull. Assoc. Epidemiol. Mal. Anim., 1, 32-35
- Tourte R. (1965) ~ Suggestions pour une politique d'application de la recherche agronomique dans les Pays en voie de Développement. L'agronomie Tropicale, 11, 1163-1176
- Tuffery G. (1977) ~ Recherches sur la bucephalose à *Bucephalus polymorphus* Buer, 1827. Introduction à l'écopathologie des systèmes piscicoles. Thèse Doctorat d'écologie. Univ. P.&M. Curie, Paris VI, France, 137 p.
- Von Bertalanffy L. (1970) ~ La théorie des systèmes. Ed. Dunod, Paris, 298 p.
- Waltner-Toews D., Nielsen N.O. (1995) ~ Assessing agroecosystem health. Discussion paper 23. Agroecosystem health project, University of Guelph, Canada
- Waltner-Toews D. (1996) ~ Ecosystem health : a framework for implementing sustainability in agriculture. Bioscience. 46, 686-689
- Waltner-Toews D., Wall E. (1997) ~ Emergent perplexity in search of post-normal questions for community and agroecosystem health. Social Science & Medicine (in press).