

L'analyse orientée objets comme outil d'aide à la gestion des risques sanitaires

Ricardo de Gainza¹, Christine A. Romana² et Julien Fosse³

Résumé

Face à l'émergence de nouveaux dangers en santé environnementale, l'optimisation des dispositifs de surveillance constitue un enjeu prioritaire pour les institutions françaises. Ces dispositifs font appel à des concepts hétérogènes, nombreux et spécifiques et sont souvent fragmentés entre les différents acteurs. L'article apporte une contribution à la maîtrise de la complexité inhérente à la gestion du risque sanitaire en proposant l'analyse orientée objet (AOO) et le langage de modélisation UML (Universal Modeling Language) comme outils pour synthétiser les connaissances des experts et organiser l'information.

La situation d'exposition et les activités liées à la surveillance ont été analysées selon cette approche et représentées par des diagrammes de classes et objets pour quatre enjeux prioritaires pour la santé humaine et animale : la fièvre catarrhale ovine et l'intoxication par des phycotoxines marines d'origine microalgale, par le chlordécone et par les salmonelles. La généralisation, à partir de ces quatre menaces, de la situation d'exposition et de celle de leur surveillance, conduit à décrire l'exposition comme un contact entre un système épidémiogène et un groupe homogène d'exposition, et les dispositifs de surveillance comme des systèmes à rétroaction. L'intégration de ces différentes thématiques dans un modèle générique unifié permet d'envisager un angle d'approche unique de la surveillance et de l'alerte en termes conceptuels et institutionnels.

Mots clés

Menaces environnementales pour la santé, politiques publiques, surveillance et alerte, langage UML, diagrammes de classes/objets

Le texte ci-après ne représente pas nécessairement les positions officielles du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Il n'engage que ses auteurs.

1. Pertina, 6 rue Béranger, 75003 Paris, rdegainza@pertina.com, <http://www.pertina.com>

2. Université Paris-Descartes/PRES Sorbonne Paris Cité, 19 rue de Dantzig, Paris 75015, cris.romana@invivo.edu

3. Chef du bureau de l'agriculture, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, Sous-direction de l'intégration des démarches de développement durable dans les politiques publiques, Tour Séquoia - 92055 La Défense Cedex, julien.fosse@developpement-durable.gouv.fr

Introduction

Éléments de contexte

Au cœur des engagements du Grenelle de l'environnement, des États Généraux du Sanitaire (EGS, 2010), du Programme National pour l'Alimentation et des Programmes Nationaux Environnement-Santé, la thématique environnement-santé est aujourd'hui une préoccupation majeure des pouvoirs publics¹. Depuis ces dernières années, en effet, les problèmes de santé environnementale sont devenus de plus en plus complexes, impliquant, par exemple, différents domaines à la fois (les milieux naturels, le végétal, l'animal, les populations humaines) ou la véhiculation simultanée d'un ou plusieurs agents dans différents vecteurs (milieux, aliments, insectes, etc.)². La complexité du domaine est démultipliée si l'on tient aussi compte, par exemple, de la mondialisation des échanges, de la diversité des menaces connues, de l'émergence de nouveaux dangers (Institut de Veille Sanitaire, 2011), ou de l'apparition des lanceurs d'alerte dans la société elle-même (médias, élus, citoyens, travailleurs, etc.) (Sinno-Tellier *et al.*, 2009). Améliorer la détection des menaces, réduire les aléas sanitaires et « rassembler les différents acteurs dans une réflexion commune sur l'adaptation du dispositif sanitaire national français » (EGS, 2010) constituent donc un enjeu prioritaire pour la santé publique et la compétitivité de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche.

Une réflexion générale sur la structure et la gestion de la surveillance et de l'alerte sanitaire à différentes échelles du territoire a été engagée en France depuis la fin du XX^e siècle par différentes institutions. Parmi ces dernières, l'Institut National de Veille Sanitaire (InVS) s'est particulièrement investi, avec la mise en place d'un cadre conceptuel général de la structure et du fonctionnement de la surveillance et de l'alerte sanitaire (Institut de veille sanitaire, 2005 ; Dor *et al.*, 2009 ; Institut de Veille Sanitaire, 2009, 2011a et 2011b). Celle-ci a été conçue comme un ensemble global d'éléments qui peut être décliné à des niveaux différents d'intervention – périphérique, intermédiaire et central – s'appuyant sur des structures institutionnelles (Institut de Veille Sanitaire, 2005). L'efficacité d'un dispositif de surveillance dépend donc de sa capacité à traiter des informations complexes qui doivent être comprises et partagées par des acteurs de différents niveaux de compétences ou de connaissances³, qu'ils soient du domaine professionnel, administratif et politique, ou qu'ils appartiennent à la société civile.

Ces dispositifs s'avèrent aujourd'hui souvent peu réactifs, parfois sans cohérence globale, ou inadaptés et éclatés entre différentes agences nationales (Grall, 2013). Deux raisons expliquent, en première analyse, cette relative inefficacité. La première est d'ordre

1. Cet article s'appuie sur l'étude ministérielle DGAL-CCAP-2011-098 « Modélisation des situations d'exposition et des dispositifs de surveillance et d'alerte pour la maîtrise des risques sanitaires » (MaRiSa).

Les auteurs remercient pour leurs contributions et suggestions les membres du comité de pilotage de l'étude ministérielle MaRiSa (Maîtrise des risques sanitaires), et tout particulièrement N. Pihier, responsable de la mission des urgences sanitaires, C. Grastilleur, responsable du Bureau des produits de la mer et d'eau douce et C. Danan du Bureau des zoonoses et de la microbiologie alimentaire de la DGAL, ainsi que R. Lailler, adjoint au responsable de l'unité scientifique Caractérisation et épidémiologie bactérienne du laboratoire du Laboratoire Sécurité des aliments de l'ANSES. Les auteurs remercient aussi M.-L. Beauvais pour son apport dans la rédaction du projet, ainsi qu'A. Romana, J. Hallmann et P. Lavaivre pour la relecture du manuscrit et leurs commentaires. Les éventuelles erreurs restent de la responsabilité des auteurs.

2. Constituant ce que Barouki (2012) conceptualise globalement comme un « exposome », c'est-à-dire « l'ensemble des expositions, leurs combinaisons et leur évolution au cours du temps ».

3. Y compris celles non encore codées par la surveillance institutionnelle, comme par exemple celles produites par le lanceur d'alerte profane ou les menaces émergentes, assimilables à un « bruit de fond ».

institutionnel. « Les systèmes conventionnels de surveillance mis en place par les pouvoirs publics [...] restent fragmentés entre maladies, acteurs et secteurs d'activité (santé humaine, santé animale, sécurité des aliments, protection de la faune sauvage...) [...] les informations parviennent peu ou trop lentement aux décideurs nationaux et internationaux » et « l'information sanitaire demeure lacunaire, beaucoup d'événements épidémiologiques ne faisant l'objet d'aucune notification officielle » (Figuié *et al.*, 2013). La deuxième est d'ordre conceptuel, car les notions de « surveillance » et « d'alerte » font appel à des concepts hétérogènes, nombreux et spécifiques, dont la terminologie présente souvent des ambiguïtés et quelques fois des contradictions.

Il est donc aujourd'hui intéressant de proposer un angle d'approche unique de la surveillance et de l'alerte, avec un langage commun, permettant de développer des systèmes d'information uniformisés.

L'étude ministérielle MaRiSa et ses objectifs

Dans ce contexte, la société Pertina a réalisé une étude intitulée *Modélisation des situations d'exposition et des dispositifs de surveillance et d'alerte pour la gestion des risques. Application à des exemples de dangers pour le consommateur et en santé animale (MaRiSa)* pour le compte de la Direction Générale de l'Alimentation du ministère en charge de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt. L'objectif de l'étude était, dans le prolongement des actions 1 et 2 du Plan d'action des États Généraux de la Santé 2010, de contribuer à la maîtrise de la complexité inhérente à un système de surveillance et d'alerte, en proposant un point de vue, une perspective, qui synthétise les connaissances des experts et qui organise l'information afin qu'elle soit partagée par les nombreux acteurs de la gestion des risques sanitaires.

Le choix s'est porté sur la modélisation orientée objets (encadré 1) qui organise la connaissance sous la forme de représentations graphiques standardisées en langage UML (encadré 2) et intègre la mise au point d'un lexique du domaine choisi. Cette approche commence à être utilisée dans le contexte des politiques publiques pour comprendre leur « fonctionnement », pour simuler et anticiper leurs impacts potentiels, pour produire des outils d'aide à la décision ou permettre l'élaboration participative de textes ou de politiques associées aux TIC. Mazzega *et al.* (2012) ont montré aussi que cette modélisation est utile dans le cadre des politiques publiques pour, par exemple, identifier des ensembles de concepts, effectuer des cartographies fonctionnelles des composants d'un système complexe et de leurs interactions, ou pour analyser des dynamiques sociales telles que les stratégies et les coalitions.

Dans le cadre de l'étude MaRiSa, la modélisation de la structure et du fonctionnement des dispositifs de surveillance et d'alerte s'est attachée à :

- l'identification et la description de **la situation d'exposition** sur laquelle les dispositifs de surveillance doivent être focalisés ;
- dégager les **composantes des systèmes de surveillance** : dispositifs de métrologie, d'action, de prévention ou de recommandations déclenchés par la comparaison entre un référentiel et la mesure (Micheau *et al.*, 2012) ;
- **la mise en place d'un ensemble de concepts hiérarchisés** (« ontologie ») **décrivant** le domaine étudié (encadré 1).

Encadré 1 - L'analyse orientée objets (d'après Coad and Yourdon, 1993)

L'analyse orientée objets (AOO) est une méthode de modélisation relativement récente, couramment employée dans le domaine du génie logiciel. Elle incorpore, en tant que stratégie de gestion de la complexité, un certain nombre de concepts d'inspiration cognitive, tels qu'*objets* et *attributs*, *classes* et *membres*.

L'analyse se base sur *les aspects les plus stables d'un système, ceux qui sont les moins susceptibles de changer potentiellement*, c'est-à-dire les classes et les objets. Elle s'organise en s'appuyant sur les *modes dominants de l'organisation de la pensée*, en augmentant la cohérence interne des résultats de l'analyse et en améliorant la résilience des descriptions formulées.

La modélisation organise les concepts par l'utilisation de représentations graphiques qui permettent d'améliorer la communication entre les personnes et/ou les services ainsi que de gérer le changement continu et la réutilisation des informations et des activités ou processus métier.

Au contact avec le monde réel, les individus emploient, d'une façon souvent inconsciente, trois modes d'organisation de la pensée dominants :

- 1) ils différencient, par des phénomènes d'expérience, les objets particuliers (un arbre) et leurs attributs (sa taille) et font rapidement la distinction entre un arbre et sa taille ou ses relations spatiales avec d'autres objets (une voiture, par exemple) ;
- 2) ils peuvent mettre en contraste un arbre et les branches qui le composent. Ceci signifie qu'ils distinguent des objets entiers (la totalité de l'arbre) et leurs composantes (les parties de l'arbre, les branches) ;
- 3) ils sont capables de former une classe de tous les arbres et une classe de toutes les pierres, et de faire leur distinction. Ils for-

ment et distinguent donc des classes et des objets différents.

L'abstraction, l'encapsulation, l'héritage et l'association sont des principes de gestion de la complexité utilisés par l'AOO et employés dans l'étude MaRiSa pour modéliser :

- 1) *l'abstraction* consiste à ignorer des aspects d'un sujet qui ne se rapportent pas au propos dans le but de se concentrer pleinement sur ceux qui s'y rapportent. Ce principe permet de choisir certaines connaissances plutôt que d'autres. De plus, les éléments du domaine sont traités comme une entité unique, même s'ils s'enchaînent dans des opérations qui les relient les uns aux autres. Un autre mécanisme de l'abstraction est l'abstraction de données ce qui constitue, en quelque sorte, la base de l'organisation de la pensée et de la spécification des responsabilités du système traité par l'étude. En appliquant ce principe, des attributs peuvent être identifiés et définis ainsi que des processus ou des fonctions associés, les attributs et les fonctions pouvant être traités comme un tout ;
- 2) *l'encapsulation* consiste à rassembler la représentation des éléments qui sont reliés entre eux de sorte à obtenir des modèles qui minimisent les échanges entre ses différentes parties. On cherche ainsi à encapsuler les aspects les plus changeants de l'effort d'analyse pour obtenir des modèles plus stables ;
- 3) *l'héritage* permet d'exprimer des similitudes entre des ensembles (classes) d'objets. Ces similitudes sont exprimées en termes d'attributs (données) et de services (comportements, activités, processus) ;
- 4) *l'association* est un autre concept utilisé pour lier des événements qui se produisent à un instant donné ou lors des mêmes circonstances.

Encadré 2 - Le langage UML (Unified Modeling Language)

C'est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes qui est apparu dans le monde du génie logiciel dans le cadre de *l'analyse orientée objets* (encadré 1). Utilisé dans les projets logiciels, il peut être appliqué à toutes sortes de systèmes, sans se limiter au domaine informatique. Il se fonde sur un méta-modèle qui définit, en même temps, les éléments de la modélisation (les concepts manipulés par le langage) et la sémantique de ces éléments (leur définition et le sens de leur utilisation).

Le langage UML est donc un langage formel et normalisé pour s'exprimer en représentant des concepts abstraits avec des schémas graphiques, limiter les ambiguïtés (parler un langage commun avec un vocabulaire précis et faciliter l'analyse en simplifiant la comparaison et l'évaluation de solutions).

Chaque type de diagramme UML possède une structure (les types des éléments de modélisation qui le composent sont prédéfinis) et véhicule une sémantique précise (il offre toujours la même vue d'un système). Combinés, les différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un système.

Sources utilisées :

Object Modeling Group, <http://www.omg.org/>
Laurent Piechocki, <http://laurent-piechocki.developpez.com/uml/tutoriel/lp/cours/>
<http://uml.free.fr/>
http://www.fresnel.fr/perso/derrode/poly/TrUML_2010.pdf

Pour illustrer l'intérêt de cette approche, quatre menaces ont été sélectionnées (encadré 3) : 1) l'intoxication par des phycotoxines marines d'origine microalgale, 2) par le chlordécone et 3) par les salmonelles, ainsi que 4) la fièvre catarrhale ovine (FCO). Ces menaces sont représentatives des enjeux actuels du risque sanitaire pour les populations humaines et animales en France, dans le champ des responsabilités de la DGAL.

Encadré 3 - Les quatre menaces environnementales pour la santé humaine et animale sélectionnées dans l'étude MaRiSa

Les menaces ont été choisies par les membres du comité de pilotage de l'étude MaRiSa pour illustrer, en raison des enjeux sociétaux, environnementaux, économiques, politiques et sanitaires qu'ils suscitent, l'intérêt d'utiliser l'analyse orientée objets dans le domaine de la surveillance et de l'alerte.

- Phycotoxines (PHYCO) : intoxication humaine par un groupe de toxines ayant des effets diarrhéiques, amnésiants, paralysants ou respiratoires, produites par des micro-algues du milieu marin, s'accumulant fréquemment dans les coquillages et/ou certains poissons tropicaux ou transportées par des aérosols à l'occasion de tempêtes.

- Chlordécone (CHLOR) : intoxication humaine par un insecticide organochloré classé POP (Polluants Organiques Persistants), non biodégradable, utilisé jusqu'en 1993 aux Antilles pour lutter contre le charançon du bananier.

- Salmonelles (SALM) : toxi-infections alimentaires humaines provoquées par des entérobactéries d'origines humaine et non-humaine.

- *Bluetongue* virus (FCO) : fièvre catarrhale ovine, maladie virale des moutons, bovins, caprins et autres ruminants sauvages, transmise par des insectes hématophages appartenant au genre *Culicoides*⁴.

4. Dans les textes réglementaires, notamment la Directive 2000/75/CE du Conseil du 20 novembre 2000 et le Règlement (CE) n° 1266/2007 de la Commission du 26 octobre 2007, la fièvre catarrhale ovine est dénommée « fièvre catarrhale du mouton ».

Chaque menace a été représentée par des diagrammes UML de classes/objets (vue statique, orientée données) et de processus (vue dynamique, orientée activités), associés à un glossaire. L'analyse des caractéristiques communes des modèles des quatre situations d'exposition et des processus de surveillance a conduit, enfin, à l'élaboration d'un modèle générique applicable à l'ensemble des quatre cas étudiés.

1. Le domaine à maîtriser : la situation d'exposition

1.1. Modélisation de la situation d'exposition des quatre menaces environnementales pour la santé

Le problème posé est celui de l'exposition des populations humaines ou animales à des menaces pour la santé dans les champs de l'alimentation et de la santé animale. Selon Dor *et al.* (2009), le risque inhérent à ces expositions peut surgir « d'événements ou de situations conduisant à une exposition aiguë ou chronique à un agent ou des agents (physiques, chimiques ou biologiques) présent(s) dans l'environnement, d'origine naturelle ou anthropique, et susceptible(s) d'engendrer des effets potentiels ou avérés sur la santé humaine ». Ces mêmes auteurs utilisent quatre critères (l'agent dangereux, sa source, son vecteur et le lieu) pour décrire la situation d'exposition. Pour reprendre leurs définitions :

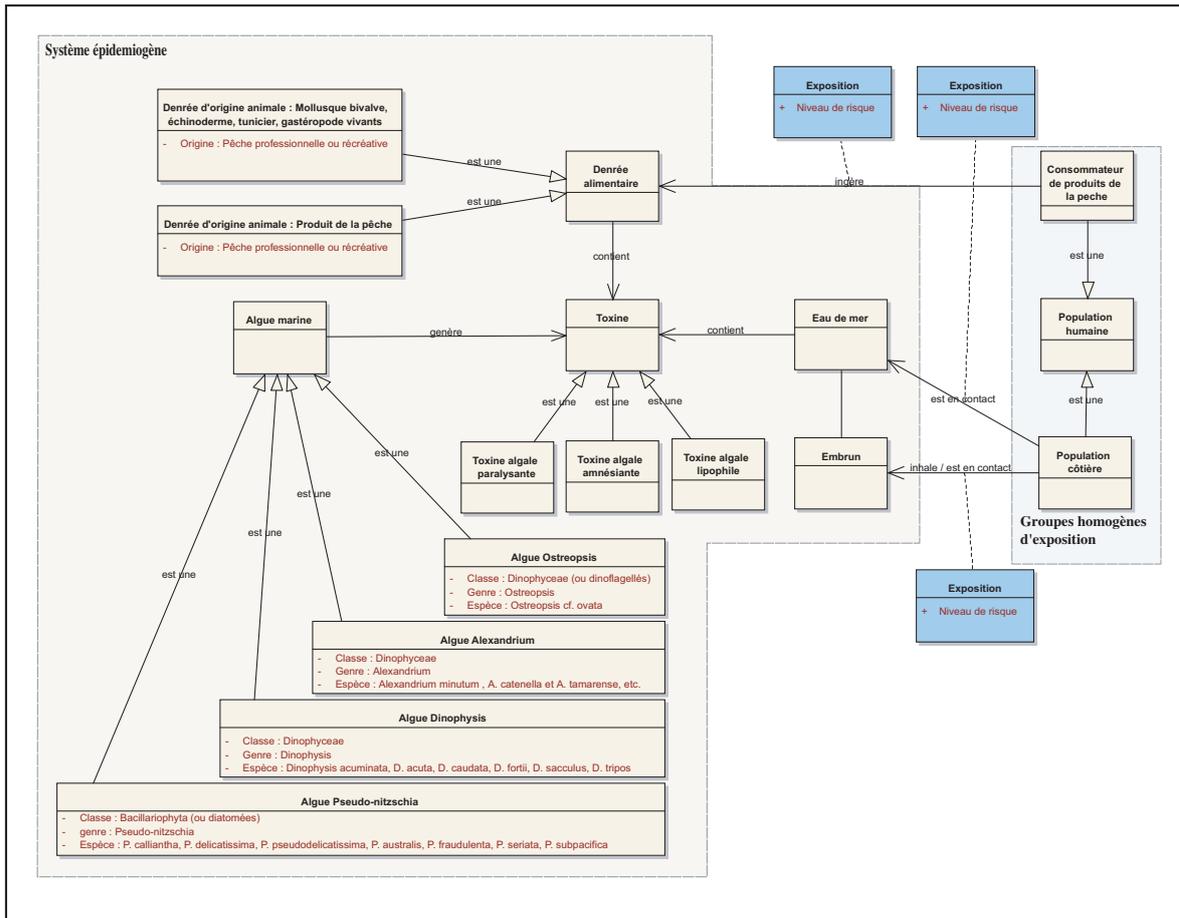
- l'agent est assimilé « à une substance chimique, une espèce biologique, un objet physique ou un ensemble de substances présentes dans l'environnement [...] qui viendra au contact de l'homme⁵ » ;
- le vecteur représente « le milieu de l'environnement ou le support par lequel l'agent atteint l'homme » ;
- la source est « ce qui initialement contient ou contribue à générer l'agent » ;
- le lieu permet d'identifier le plus précisément possible « l'endroit où le contact homme-vecteur s'effectue ». Lorsqu'il n'y a pas d'identification précise, les auteurs utilisent des termes comme « proximité de » ou « territoire national ».

Dans l'étude MaRiSa, ces critères ont été utilisés pour trouver et organiser l'information sur chaque menace étudiée. L'information provenait de différentes sources bibliographiques (sites web des principales institutions nationales et internationales, publications dans des revues scientifiques et documents de base d'institutions spécialisées). À titre d'exemple, dans le cas des phycotoxines, pour l'agent « genre *Dinophysis* », la recherche a été notamment dirigée sur « les espèces qui le constituent », « leur distribution », « leur prolifération », les « variables environnementales de présence ou de croissance », les « valeurs seuils susceptibles de déclencher l'alerte dans la surveillance ».

5. Ou animale ou végétale.

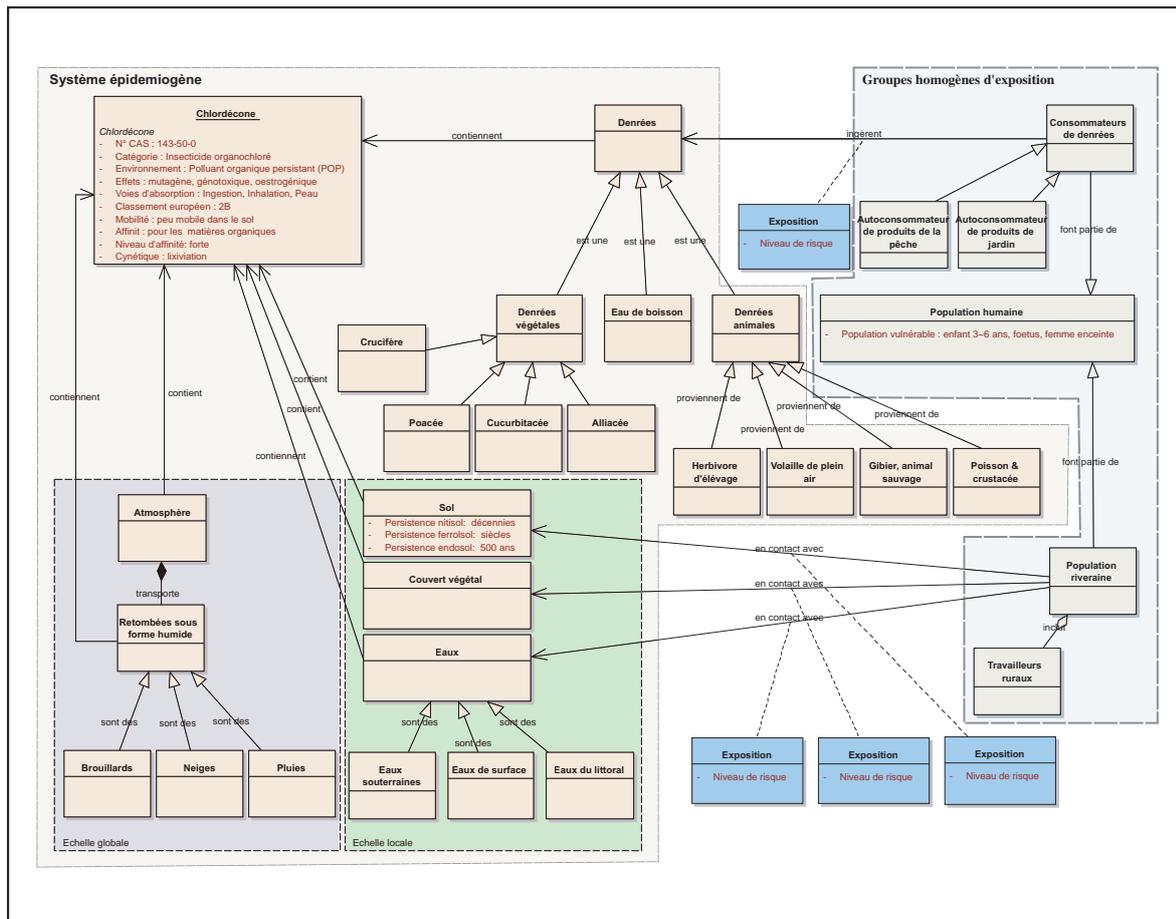
Les quatre situations d'exposition ont enfin été modélisées et représentées graphiquement comme des classes et objets en langage UML. Les modèles ainsi obtenus ont été améliorés en les confrontant à la connaissance du ou des experts du domaine lors d'entretiens (figures 1 à 4).

Figure 1 - **Modélisation, par analyse orientée objets, de la situation d'exposition des populations humaines aux phycotoxines micro-algues d'origine marine**



Les consommateurs de produits de la mer et les populations habitant en zone côtière sont exposées (par consommation de denrées alimentaires provenant de la mer, par inhalation d'embruns marins et/ou par contact avec l'eau de mer) aux toxines produites par quatre groupes d'espèces de microalgues marines du phytoplancton.
Source : Étude MaRiSa

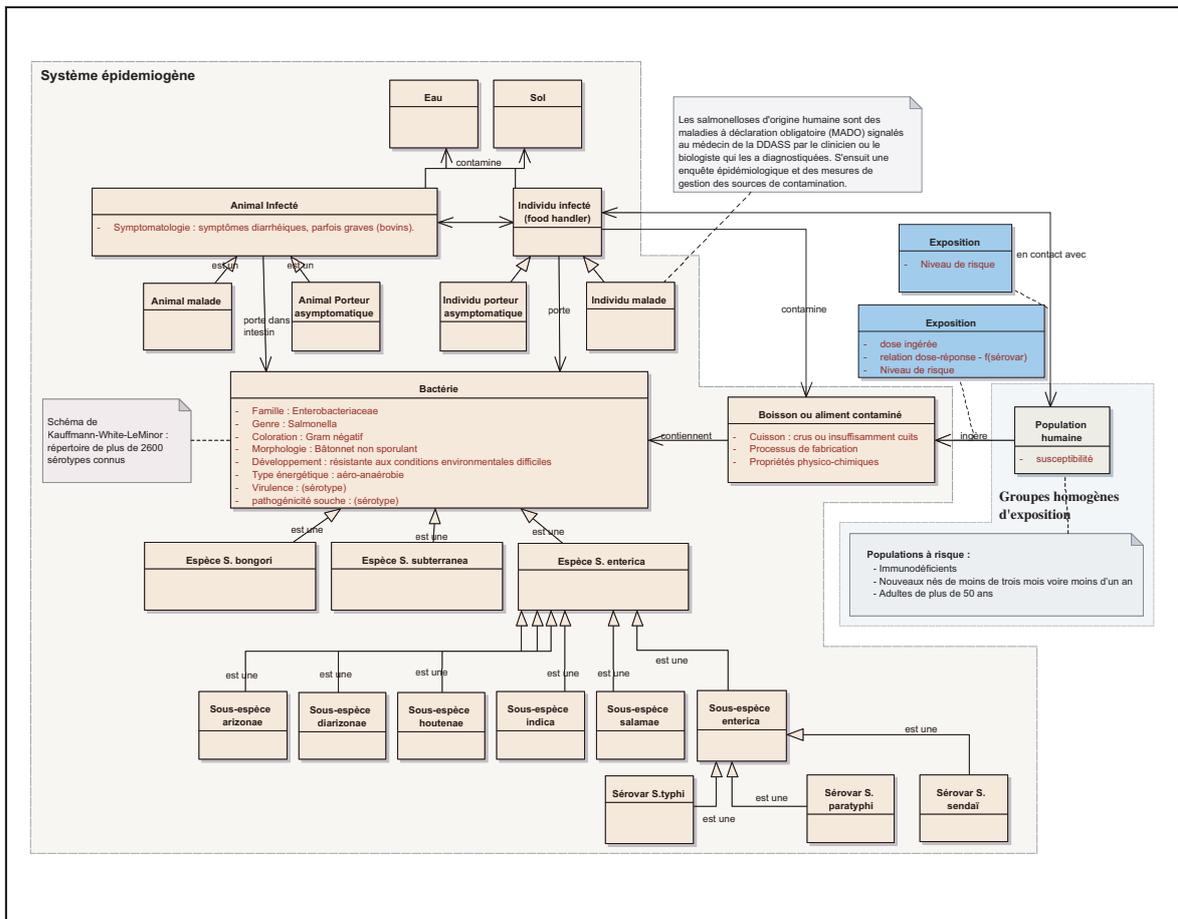
Figure 2 - Modélisation, par analyse orientée objets, de la situation d'exposition des populations humaines au chlordécone



La consommation d'aliments d'origine végétale et animale et d'eau contaminés est la principale source d'exposition humaine. Trois autres situations d'expositions sont dues au contact des populations humaines et animales avec l'eau, le couvert végétal et le sol, milieux contaminés à échelle locale.

Source : Étude MaRiSa

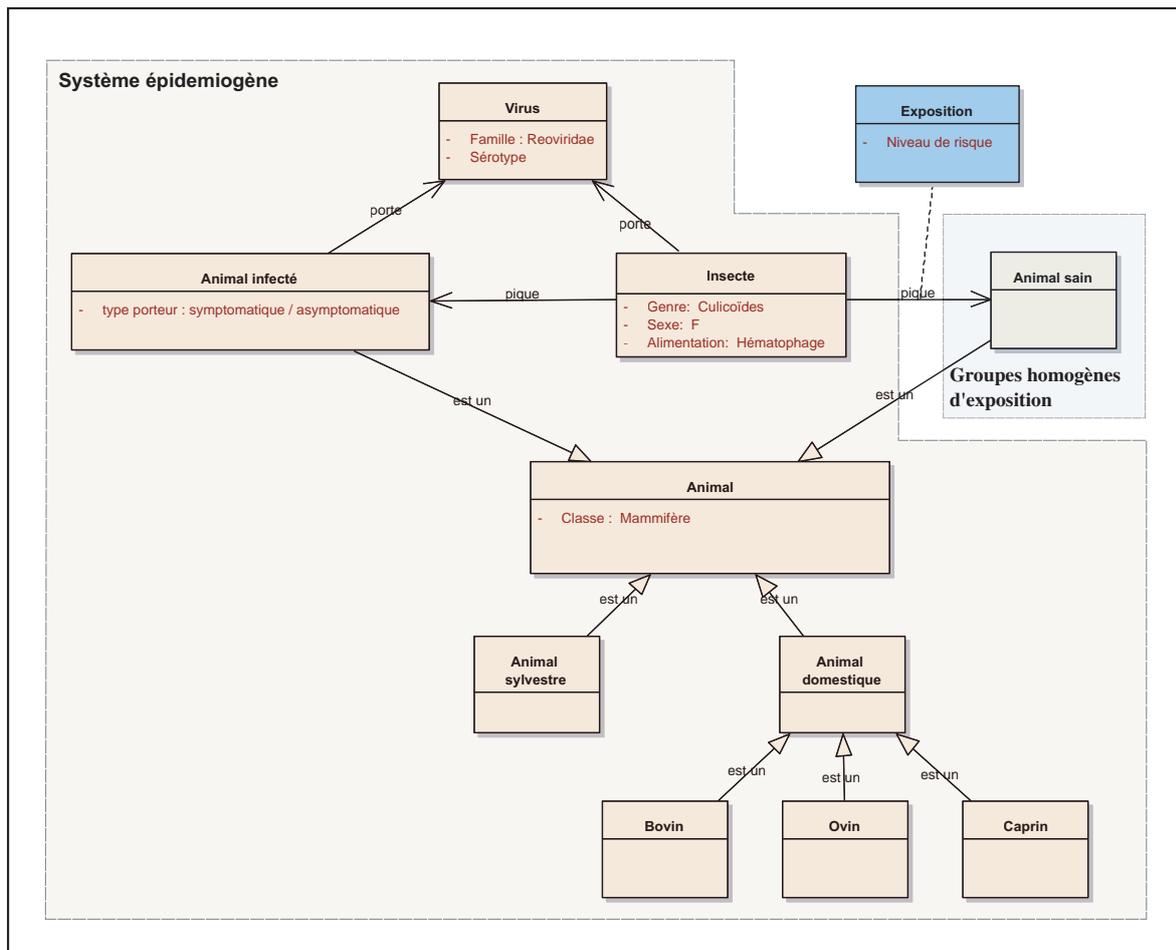
Figure 3 - Modélisation, par analyse orientée objets, de la situation d'exposition des populations humaines aux salmonelles



La principale voie de contamination de l'homme est l'alimentaire, mais elle peut aussi avoir lieu par contact avec des populations humaines ou animales (malades ou porteurs sains).

Source : Étude MaRiSa

Figure 4 - Modélisation, par analyse orientée objets, de la situation d'exposition des populations animales au virus de la fièvre catarrhale ovine (FCO)



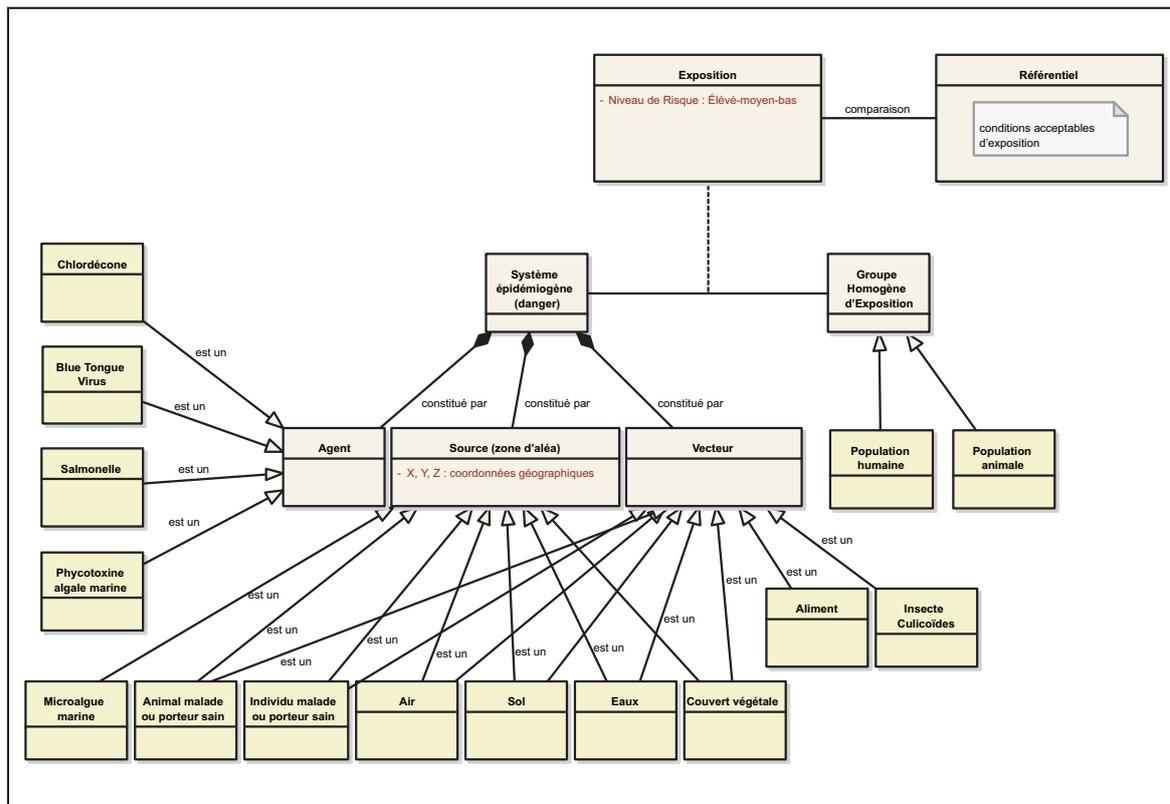
Les ovins et plus rarement les bovins, les caprins et autres ruminants domestiques et sauvages sont exposés aux piqûres d'arthropodes hématophages du genre *Culicoides*, vecteurs du virus de la FCO.
Source : Étude MaRiSa

1.2. Modèle générique de la situation d'exposition

1.2.1. La construction du modèle générique

L'identification de similitudes ou de régularités entre les diagrammes 1, 2, 3 et 4 a conduit à la construction d'un modèle générique de la situation d'exposition (figure 5). Ce modèle générique a permis alors de redéfinir les concepts de « danger », « agent », « source » (ou « origine »), « vecteur » et « populations » (humaines dans le cas des phycotoxines, des salmonelles et du chlordécone, animales dans le cas du virus de la FCO).

Figure 5 - Modélisation, par analyse orientée objets, de la situation d'exposition générique (en rose pâle) à partir des quatre menaces sélectionnées (chlordécone, salmonelles, phycotoxines et virus de la fièvre catarrhale ovine, en jaune)



« Agent », « source » et « vecteur » sont obtenus par la généralisation des agents, sources et vecteurs de chacune des menaces.

Source : Étude MaRiSa

Afin de prendre en compte les régularités entre des situations d'exposition *a priori* aussi diverses que le chlordécone et les salmonelloses, il est proposé le terme de *système épidémiogène* pour mieux décrire les ensembles sources-agents-vecteurs des quatre cas étudiés (figure 5). Par rapport aux travaux de Dor *et al.*, 2009, dans le glossaire de MaRiSa :

- la « source » correspond aux points, aires, zones, localités, êtres vivants, milieux d'où sont émis les agents étudiés ;
- les salmonelles, le chlordécone, le virus de la FCO et les phycotoxines marines d'origine microalgales peuvent être généralisés sous le terme « agent », qui vise des substances chimiques naturelles ou artificielles, des micro-organismes de type viral ou bactérien ;
- le terme « vecteur » regrouperait tout ce qui transporte ou véhicule. Le terme peut être défini, dans le cadre des quatre applications thématiques, comme un homme ou un animal, malade ou porteur sain ; un insecte vecteur d'un agent pathogène ; un

végétal contaminé ; des aliments transformés contaminés ; l'air, l'eau et le sol contaminés ; des matériaux, des supports contaminés ; des travailleurs aux mains contaminées ou foodhandlers. Dans le champ de cette étude, la classe vecteur constitue ainsi *une généralisation*⁶ des différents vecteurs trouvés dans chaque modèle de la situation d'exposition des quatre menaces.

Une autre variable utilisée par Dor et ses collaborateurs, le lieu, n'a pas été prise en compte dans le modèle générique, ni dans les modèles thématiques, car tous les objets dans la modélisation orientée objets ont un point géographique qui les localise implicitement (espace) à un moment donné (temps). Par exemple, dans le cadre de l'exposition des populations humaines au chlordécone, la prise en compte du territoire conduit à l'identification de deux groupes distincts de populations humaines exposées :

- les populations locales (en particulier les agriculteurs et les enfants), qui vivent dans des milieux terrestres et aquatiques contaminés et qui s'alimentent 1) de populations animales (herbivores d'élevage et/ou volailles vivant en plein air (Jondreville *et al.*, 2012), gibiers et animaux sauvages, poissons et crustacés) et 2) produits provenant de leur propre jardin ;
- les populations distantes, exposées aux denrées contaminées, telles que les populations des Antilles n'habitant pas sur des sols contaminés ou celles de la France métropolitaine et des pays importateurs des denrées des îles.

Enfin, pour la représentation des populations dans le contexte de la situation d'exposition, le terme *Groupe d'exposition homogène* ou GEH a été introduit. Largement employé par les entreprises ou la médecine du travail, il est défini comme *l'ensemble de personnes, de postes ou de fonctions de travail pour lesquels on estime que l'exposition au danger est de même nature et d'intensité similaire*⁷.

1.2.2. Le modèle générique des quatre situations d'expositions thématiques

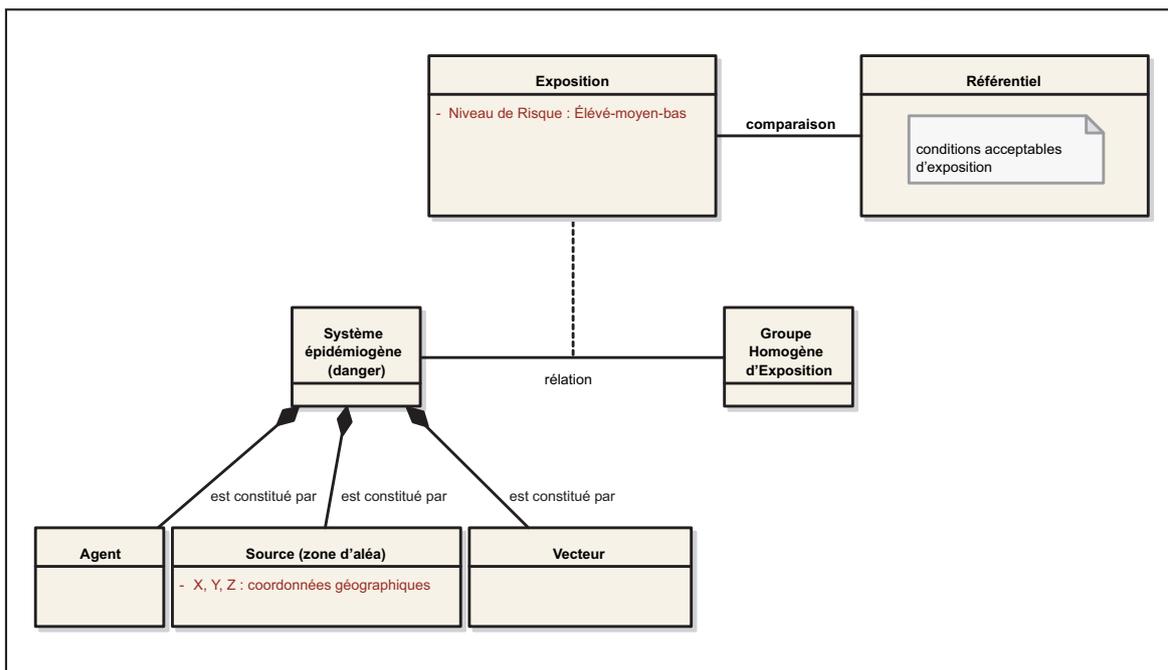
La figure 6 présente le modèle de la situation d'exposition générique, obtenu à partir 1) des nouvelles définitions des objets *agent, vecteur, source, système épidémiogène et groupe homogène d'exposition* et 2) des similitudes ou régularités identifiées entre les situations d'exposition au chlordécone, les salmonelles, les phycotoxines et le virus de la FCO.

La situation d'exposition a été généralisée et représentée comme toute situation de contact *entre populations humaines ou animales et un système épidémiogène*. Les populations exposées sont regroupées en *groupes homogènes d'exposition*.

6. La généralisation est assimilée à un procédé qui consiste à abstraire un ensemble de concepts ou d'objets en négligeant les détails de sorte qu'ils puissent être considérés de façon comparable.

7. Norme XP X 43-244 : éléments de terminologie en hygiène du travail, décembre 1998.

Figure 6 - **Modèle par analyse orientée objets de la situation d'exposition générique, conséquence de la généralisation représentée dans la figure 5**



Le système épidémiogène est constitué par l'agent, la source et le vecteur. L'exposition est caractérisée par la relation entre les classes « système épidémiogène (danger) » et « groupe homogène d'exposition ». L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer son niveau de risque, défini par comparaison avec un référentiel (ensemble de lois, réglementations, bonnes pratiques, etc.).

Source : Étude MaRiSa

1.3. Les processus de la surveillance et de l'alerte de la situation d'exposition

1.3.1. La modélisation des activités ou processus

Le travail de modélisation des processus a porté sur les réglementations et les dispositifs de surveillance qui régissent les quatre menaces sélectionnées.

La denrée alimentaire, cible de la surveillance des non-conformités de la chaîne alimentaire, est régie par le Paquet hygiène⁸ (ensemble de textes de l'Union européenne réglementant l'hygiène, la sécurité sanitaire des aliments et l'alimentation animale). Ce type de surveillance est partagé, dans le cadre de la sécurité sanitaire de la chaîne alimentaire, par trois des agents étudiés, les salmonelles, les phycotoxines et le chlordécone. C'est dans ce domaine que la DGAL intervient en veillant sur l'aliment, la santé végétale ou animale. Certains des processus liés aux salmonelles ont été modélisés en tant qu'exemples de la

⁸ <http://agriculture.gouv.fr/le-paquet-hygiene>

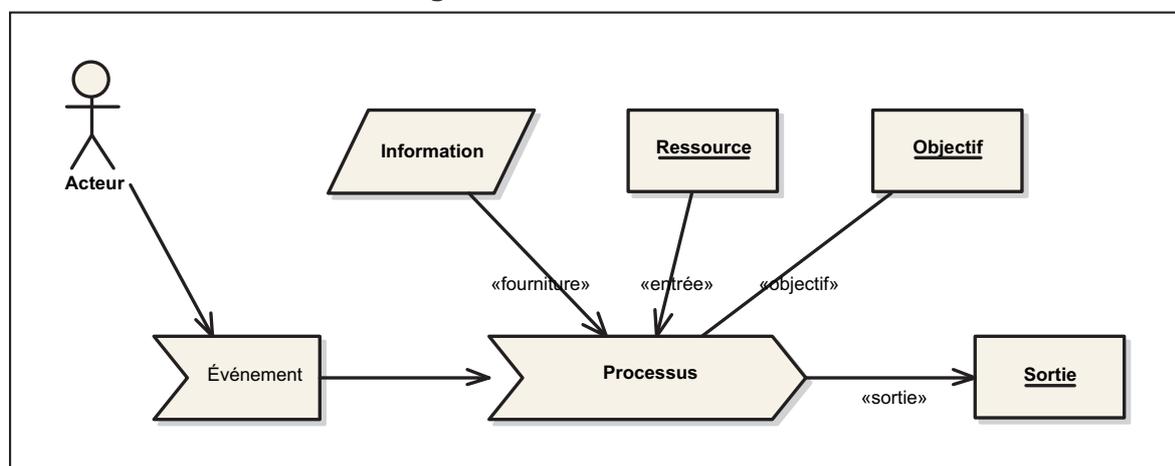
surveillance, l'alerte et le contrôle en sécurité sanitaire des aliments : 1) détection de non-conformités, selon les activités de la mission d'urgence sanitaire (MUS) de la DGAL, 2) gestion des alertes d'origine alimentaire en France, avec l'espace des responsabilités des acteurs au niveau national et européen et 3) une catégorisation des aliments d'origine animale.

Pour ce qui concerne les phycotoxines, leur modélisation a été effectuée comme un autre exemple de la surveillance et de l'alerte en sécurité sanitaire des aliments. La modélisation a associé au volet réglementaire des plans de surveillance et de contrôles officiels de denrées, une surveillance de type environnemental à charge du réseau de surveillance phytoplanctonique (REPHY) conduit par Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) (Belin, 2012).

La modélisation du cas du chlordécone, qui rejoint les salmonelles et les phycotoxines en ce qui concerne la surveillance et le contrôle officiel des denrées, introduit un volet important d'autocontrôle du producteur et du consommateur local, tenant compte du contexte spécifique de la pollution environnementale des systèmes terrestres et aquatiques des îles antillaises.

La modélisation des processus de surveillance, de signalement et d'alerte a été réalisée avec une extension des diagrammes UML d'activité, extension appelée d'Eriksson-Penker (2000) orientée vers la modélisation des activités (processus) métier (figure 7). Dans la section suivante, la fièvre catarrhale ovine (FCO) est proposée pour illustrer la modélisation des processus de surveillance.

Figure 7 - Description d'un processus en utilisant l'extension d'Eriksson-Penker sous la forme de diagrammes d'activités



Avec cette notation, un processus est un ensemble d'activités qui possède un objectif explicite (création de valeur), des entrées et des sorties spécifiques, qui emploie des ressources et peut concerner une ou plusieurs organisations. Les objets d'entrée sont des ressources ou des informations qui seront transformées ou consommées pendant le déroulement du processus. Les objets de sortie représentent l'accomplissement de l'objectif du processus et constituent son résultat primaire, tel qu'un produit fini dans un processus de manufacture ou le signalement d'une non-conformité dans le cadre d'un processus de surveillance.

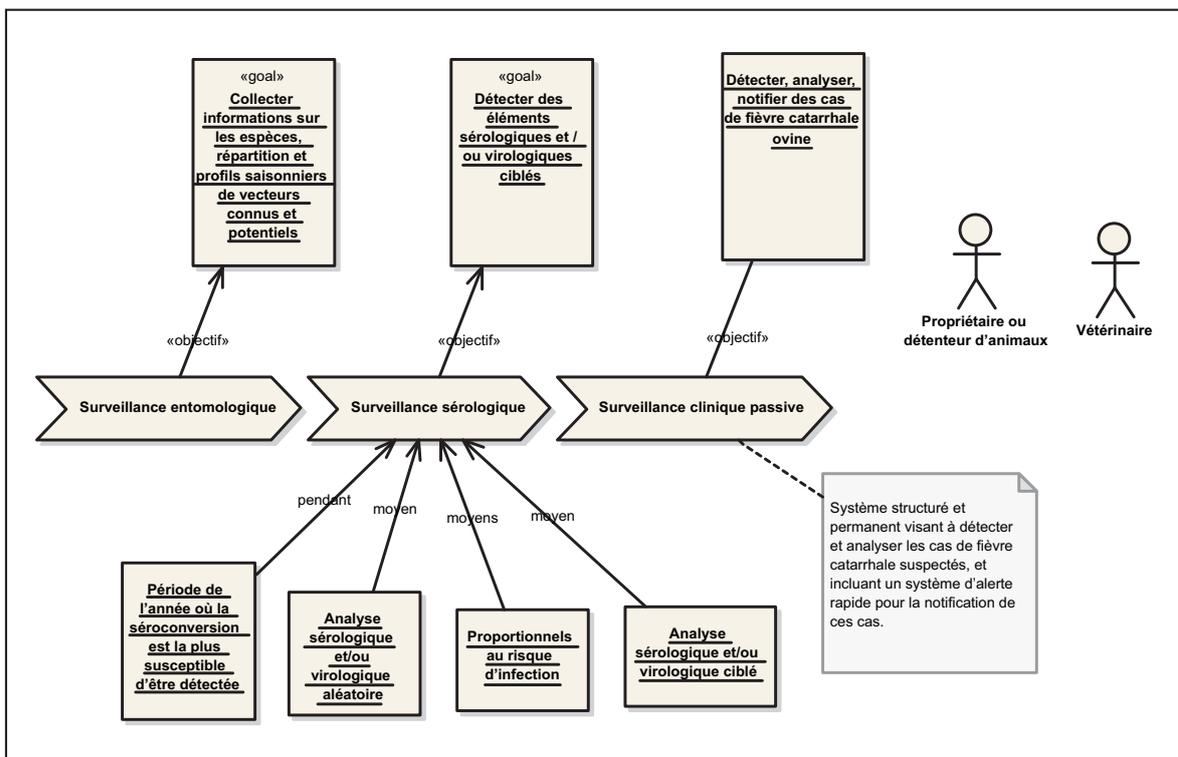
Source : Étude MaRiSa

1.3.2. La fièvre catarrhale ovine (FCO) comme exemple d'application de l'analyse orientée objets à une activité ou processus spécifique

Les diagrammes UML d'activité des figures 8 à 10 représentent la modélisation des processus définis par la directive 2000/75/CE du Conseil du 20 novembre 2000 et le règlement (CE) n° 1266/2007 de la Commission du 26 octobre 2007 qui cadrent les dispositifs de la surveillance et de l'alerte dans le cas de la FCO. Ces textes arrêtent « *les dispositions spécifiques relatives aux mesures de lutte et d'éradication de la fièvre catarrhale du mouton ou bluetongue et de ses modalités d'application en ce qui concerne la lutte, son suivi, sa surveillance et les restrictions applicables aux mouvements de certains animaux des espèces qui y sont sensibles* ». Dans le cas de la surveillance et de l'alerte de la FCO, les textes définissent une *unité géographique de référence* décrite par un quadrillage d'environ 45 km * 45 km (approximativement 2 000 km²), « *à moins que des conditions environnementales spécifiques ne justifient la modification de ces dimensions* ».

Selon les niveaux d'avancement de la maladie, trois états sont décrits pour les unités géographiques : 1) en absence de FCO, *la zone est dite non réglementée* (figure 8) ; 2) en cas de suspicion de FCO, *la zone est dite réglementée* (figure 9) ; 3) en cas de confirmation, la zone est placée dans un état de *bluetongue officiellement confirmée* (figure 10). Des mesures spécifiques à prendre sont définies pour chaque niveau.

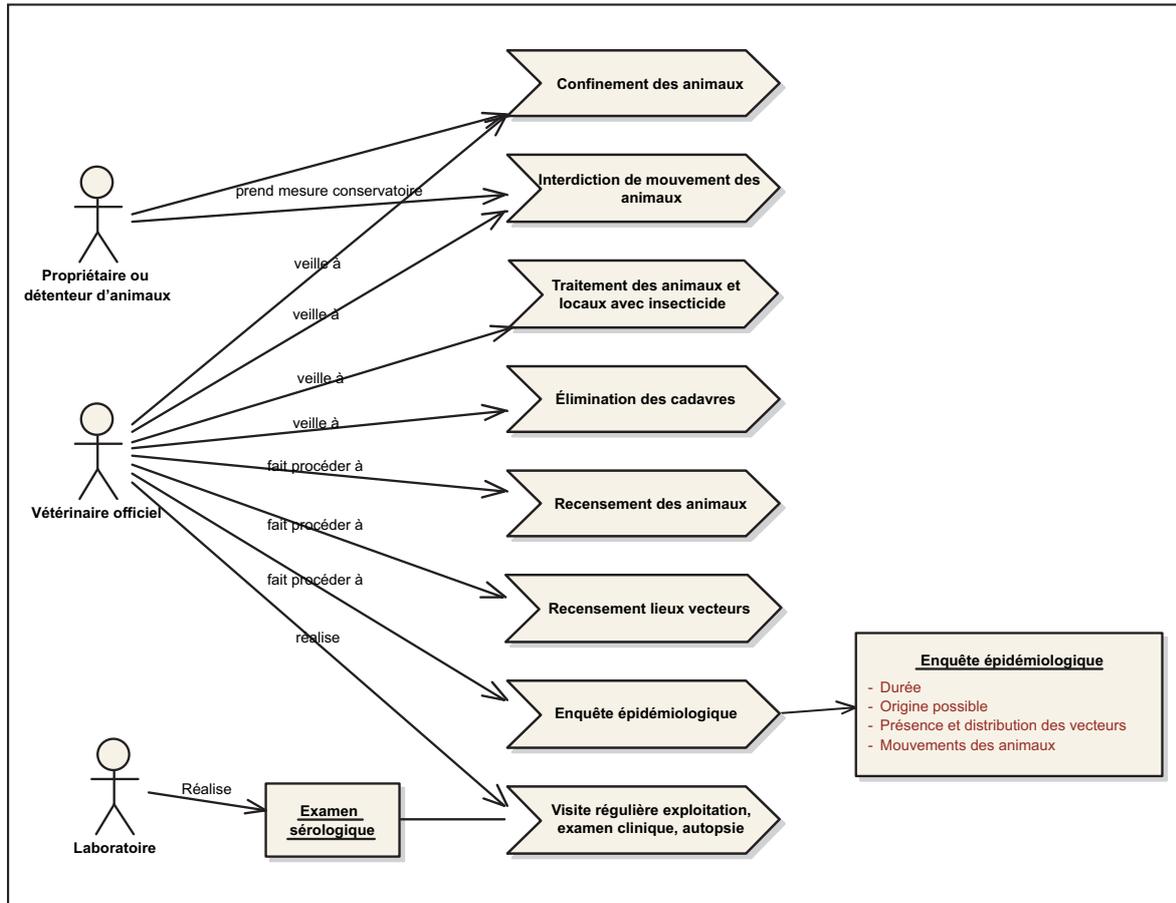
Figure 8 - Représentation par modélisation orientée objets en langage UML (extension d'Eriksson-Penker) de la surveillance des zones dites non réglementées en absence de fièvre catarrhale ovine (FCO)



Cette surveillance est à la fois entomologique sur les insectes vecteurs, sérologique et clinique sur les animaux. Si des cas suspects de FCO sont détectés, une notification de suspicion doit être émise auprès du vétérinaire officiel qui déclenche une surveillance officielle de cette zone qui devient alors zone réglementée.

Source : Étude MaRiSa

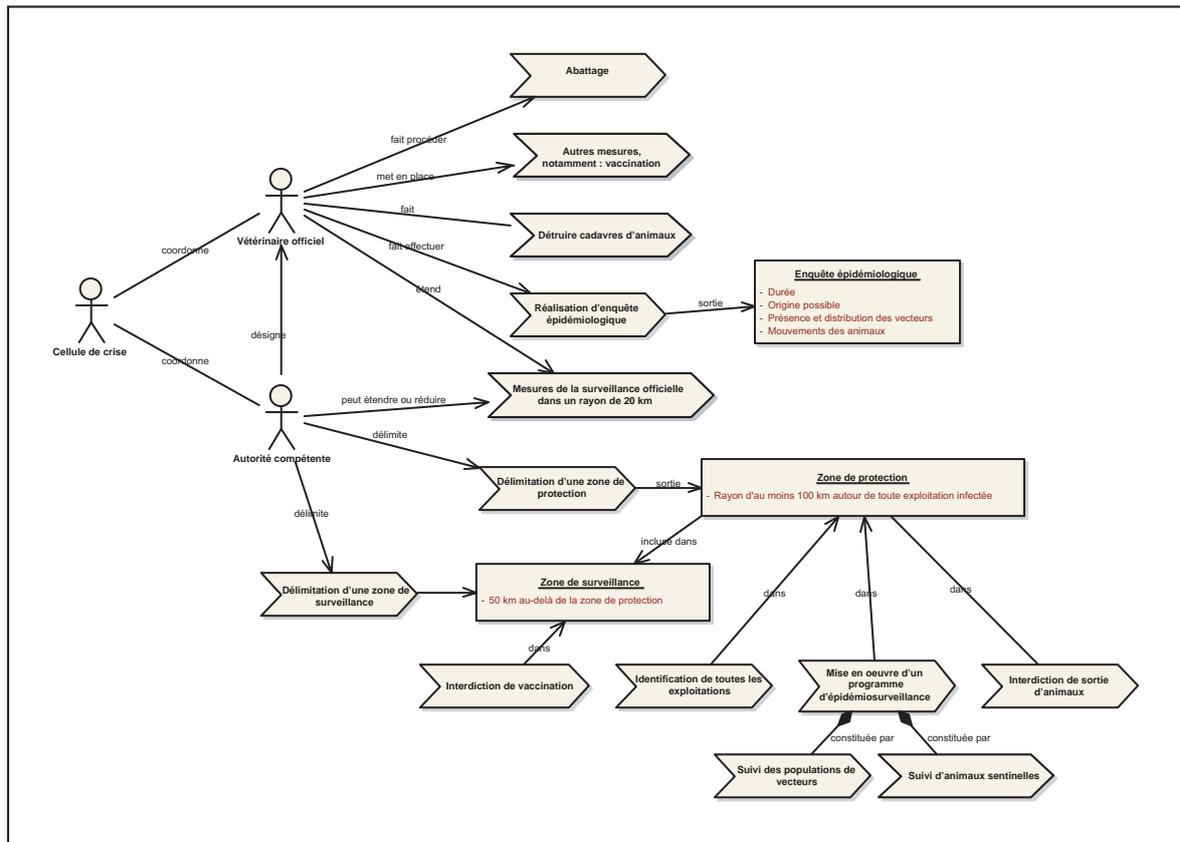
Figure 9 - Représentation par modélisation orientée objets en langage UML (extension d'Eriksson-Penker) de la surveillance des zones dites réglementées en cas de suspicion de cas parmi le bétail



Dans ces zones, le propriétaire des animaux doit prendre des mesures de confinement et respecte l'interdiction de leur transport. Le vétérinaire officiel veille en plus à ce que des mesures de lutte vectorielle soient mises en place et que les cadavres des animaux soient éliminés. Il fait procéder à des recensements d'animaux et des lieux favorables à la reproduction des insectes vecteurs, lance une enquête épidémiologique et suit régulièrement l'évolution de la maladie. Des laboratoires agréés réalisent les examens sérologiques.

Source : Étude MaRiSa

Figure 10 - Représentation par modélisation orientée objets en langage UML (extension d'Eriksson-Penker) de la surveillance des zones où la présence de fièvre catarrhale ovine est confirmée



Dans ces zones, des mesures additionnelles sont mises en œuvre avec création d'une cellule de crise, d'une zone de protection et d'une zone de surveillance.

Source : Étude MaRiSa

2. Un modèle générique de surveillance et contrôle de la situation d'exposition

La situation d'exposition peut être assimilée à un *anthroposystème* qu'il est possible de surveiller et de contrôler. L'*anthroposystème* est défini comme un « système interactif entre deux ensembles constitués par un (ou des) *sociosystème(s)* et un (ou des) *écosystème(s) naturels et/ou artificialisé(s)* s'inscrivant dans un espace géographique donné et évoluant dans le temps » (Levêque et al., 2003).

Ce concept a une vocation opérationnelle : il permet, par son application, de fédérer des champs disciplinaires différents et éclatés sur un objet de recherche commun, l'environnement, en exprimant l'interdépendance des sociétés humaines et des composantes naturelles et artificielles de leurs environnements. L'*anthroposystème* est donc, dans ce processus de modélisation des dispositifs de surveillance, un concept qui renvoie à une vision systémique et dynamique des interactions entre les populations et les milieux, milieux qui sont

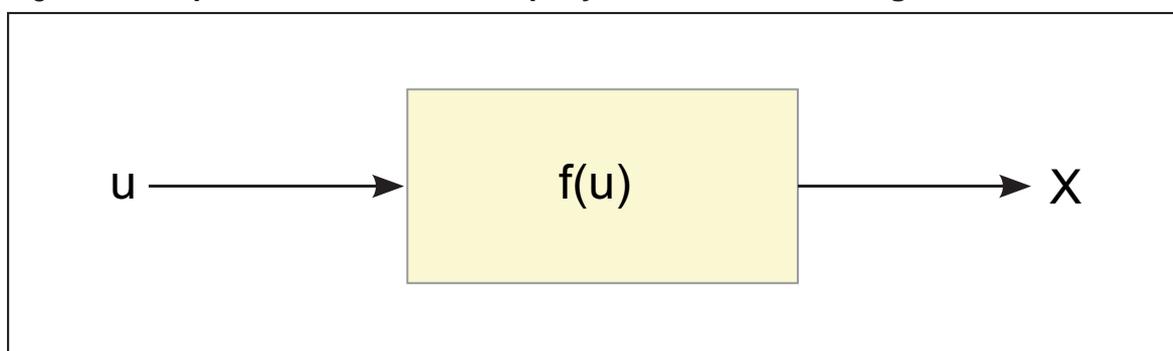
perçus comme un ensemble autorégulé d'éléments en interaction : le contrôle d'un des éléments a un impact sur l'ensemble (Abbadie *et al.*, 2004). Ceci favorise des approches conceptuelles qui permettent d'envisager un ensemble d'éléments en interaction pouvant engendrer des aléas (anthroposystème à risque).

L'étude des processus modélisés suggère que la surveillance et le contrôle de l'anthroposystème à risque supposent d'une manière implicite trois éléments :

- un consensus sur les définitions des états de « santé » et de « maladie » de la population de l'anthroposystème, avec notamment une métrique associée au « normal » et au « pathologique » ;
- une identification des facteurs (variables) qui permettraient de ramener le risque⁹ à des niveaux acceptables ;
- enfin, l'existence d'outils adaptés pour ramener l'anthroposystème à la « normalité », notamment, une organisation politique et institutionnelle adaptée aux spécificités de l'aléa et de la vulnérabilité des populations en cause.

L'anthroposystème peut être alors assimilé à un « système dynamique caractérisé par un ensemble de paramètres de sortie X (le bon état de la santé et de l'environnement), sur lequel on peut agir au moyen d'une commande ou contrôle u » (figure 11).

Figure 11 - Représentation de l'anthroposystème comme un diagramme de bloc



L'anthroposystème est assimilé à un système dynamique caractérisé par un ensemble de paramètres de sortie X (le bon état de la santé et de l'environnement), sur lequel on peut agir au moyen d'une commande ou contrôle u (agissant sur les facteurs ou variables permettant de ramener le risque à des niveaux acceptables).

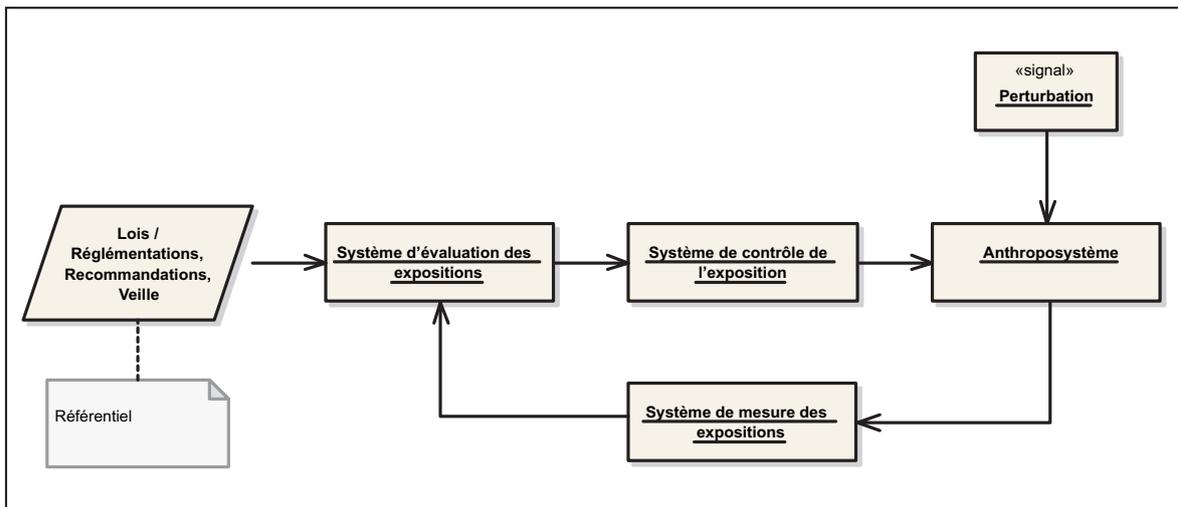
Source : Étude MaRiSa

9. Le risque dans la situation d'exposition a été défini, dans cette étude, comme la conjonction de deux composantes : la probabilité d'occurrence des effets pour la santé de l'homme ou de l'animal et la gravité des effets ou conséquences (enjeux) de l'événement supposé pouvoir se produire (vulnérabilité).

Pour surveiller et contrôler la situation d'exposition (conçue comme la rencontre entre le *système épidémiogène et groupe homogène d'exposition*), des dispositifs doivent être mis en place de façon à permettre, d'une part, la mesure des variables à contrôler et, d'autre part, la gestion de la situation dès qu'il y a alerte. L'alerte est donnée lors qu'apparaît une anomalie dans la mesure ; elle doit être assimilée à un signal émis par le dispositif qui surveille et reçu par le dispositif qui contrôle. L'anomalie est définie comme une non-conformité de la situation d'exposition réelle par rapport au référentiel.

Pour prendre en compte la surveillance et le contrôle de l'exposition, le modèle de la situation d'exposition a été complété en introduisant trois nouvelles entités, le *système de mesure des expositions*, le *système d'évaluation des expositions* et le *système de contrôle de l'exposition*, entités spécialisées dans les tâches « surveillance », « évaluation » et « gestion » respectivement. La configuration obtenue est celle d'un système à rétroaction, représenté dans la figure 12.

Figure 12 - Représentations en langage UML d'un dispositif de surveillance et d'alerte générique en tant que système à rétroaction



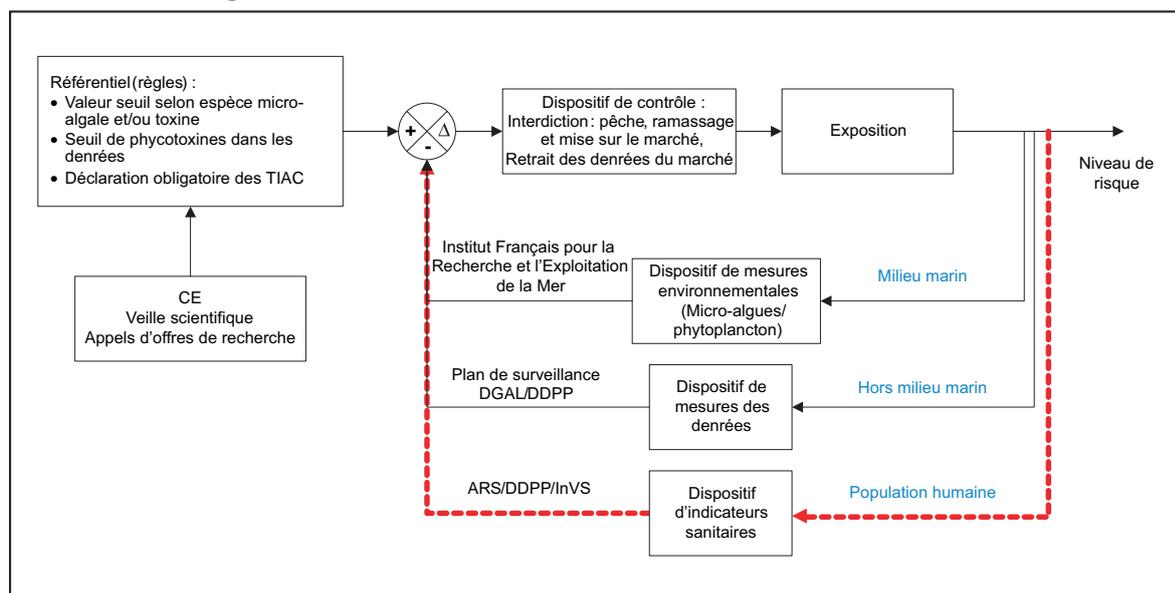
L'anthroposystème contenant les situations d'exposition a été complété en introduisant trois nouvelles entités, pour prendre en compte la surveillance et le contrôle de l'exposition : les systèmes de mesure des expositions, d'évaluation des expositions et de contrôle de l'exposition, spécialisées dans les tâches « surveillance », « évaluation » et « gestion » respectivement.

Source : Étude MaRiSa

Dans cette perspective, la surveillance et le contrôle d'une menace dans un périmètre et un territoire donnés constituent un processus itératif en trois phases : 1) établissement de l'inventaire des situations d'exposition (points de contact du système épidémiogène avec des GHE), 2) évaluation des situations d'exposition (comparaison de la situation d'exposition répertoriée avec le *référentiel* ou « situation d'exposition acceptable ») et attribution d'un niveau de risque, 3) prise de mesures correctives (action sur l'anthroposystème de manière à le faire revenir à l'état « acceptable ») si le risque excède le niveau considéré acceptable. L'implémentation de ces tâches et les fréquences d'itération seront spécifiques au domaine traité.

Les systèmes de surveillance qui opèrent sur des menaces environnementales connues et qui intègrent des systèmes de mesure permettant de déclencher des actions correctives seront appelés « dispositifs d'alerte spécifiques ». La plupart des dispositifs étudiés correspondent à cette catégorie et peuvent être représentés en tant que *systèmes à rétroaction* (Åström and Murray, 2008 ; Micheau *et al.*, 2012). Un exemple d'application a été réalisé dans le cadre de la surveillance des phycotoxines (figure 13). Dans la pratique, plusieurs dispositifs de mesure et/ou de contrôle peuvent coexister, et la topologie du système peut inclure des imbrications ou des enchaînements. La théorie du contrôle¹⁰ peut fournir les outils formels pour les représenter et les traiter. Par exemple, dans le cas des phycotoxines, trois dispositifs de mesure spécifiques ont été identifiés¹¹.

Figure 13 - **Modélisation en langage UML du dispositif de surveillance et d'alerte dans le cadre des intoxications aux phycotoxines micro-algues d'origine marine**



L'Ifremer collabore avec la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) dans le contrôle de la qualité des produits de la mer et du milieu marin (Décret du 5 juin 1984 modifié), particulièrement dans la surveillance des phycotoxines dans les coquillages. La surveillance sanitaire exercée par le Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines (REPHY-IFREMER) s'applique aux coquillages dans leur milieu naturel, dans les zones de production ou dans les zones de pêche professionnelle. Les coquillages, une fois sortis du milieu marin (c'est à dire dans les établissements d'expédition conchylicoles, sur les marchés, à la distribution, avant l'exportation), sont suivis par le Plan de Surveillance géré par la DGAL et mis en œuvre par les Directions départementales de la protection des populations (DDPP). Lors d'une alerte confirmée, l'administration prend les mesures adéquates. Les toxi-infections alimentaires collectives (Tiac) font l'objet d'une déclaration obligatoire à l'Institut de Veille Sanitaire (InVS). Ce dispositif de surveillance permet à l'InVS, aux Agences régionales de santé (ARS) et aux DDPP de réaliser une enquête épidémiologique et vétérinaire destinée à identifier les aliments responsables et de mettre en place des mesures visant à prévenir ces événements.

Source : Étude MaRiSa

10. La théorie du contrôle analyse les propriétés des systèmes dynamiques sur lesquels on peut agir au moyen d'une commande.

11. À compter de janvier 2014, les bulletins de résultats de cette surveillance sont mis en ligne en temps réel par l'Ifremer à l'adresse <https://envlit-alerte.ifremer.fr/accueil>. Un bulletin est décrit comme « Alerte » s'il contient au moins un résultat supérieur au seuil de sécurité sanitaire pour au moins l'une des toxines, ou un résultat susceptible de conduire à une décision administrative (par exemple un deuxième résultat négatif susceptible de conduire à une levée d'interdiction), ou bien un résultat de phytoplancton s'approchant ou dépassant un seuil dit « d'alerte ». Un bulletin est décrit comme Information s'il ne correspond à aucune des définitions ci-dessus, c'est-à-dire en cas d'absence de toxines et avec des concentrations en phytoplancton toxique suffisamment faibles pour qu'il n'y ait aucun risque de contamination.

Conclusion

L'apport de la méthodologie utilisée

Il est habituel de décrire les systèmes de surveillance et d'alerte par une énumération des fonctions qu'ils accomplissent (Girard *et al.*, 2006). Ce type de description est appelé une *décomposition fonctionnelle* (Coad et Yourdon, 1993). Il semble en effet plus facile de décomposer un problème sous la forme d'une hiérarchie de fonctions qui traitent des données. Cependant, cette approche ne semble plus être adaptée à la maîtrise des systèmes dont la complexité croît continuellement, tels ceux de la surveillance et de l'alerte.

L'analyse orientée objets est une méthode conçue pour accompagner l'évolution de la complexité des systèmes logiciels. Cette méthode est fondée sur un ensemble de concepts stables, éprouvés et normalisés, destinés à faciliter la maîtrise de systèmes complexes. Leur application à la surveillance et à l'alerte, dans le cadre de l'étude MaRiSa, a contribué à la compréhension et au partage de la connaissance lors d'échanges avec des experts métier impliquant des approches fines multidisciplinaires, intersectorielles et territoriales de la gestion des systèmes complexes, dans les séances du comité de pilotage de l'étude MaRiSa et lors des entretiens individuels ou collectifs avec les responsables institutionnels.

Les modèles issus de cette analyse, représentés sous la forme de diagrammes graphiques, peuvent jouer le rôle d'une interface entre la connaissance des experts et l'opérationnel, notamment dans des projets liés aux systèmes d'information. Comme le soulignent Mazzega *et al.* (2012), l'intégration de cet outil aux plans d'anticipation, de gestion et de développement des dispositifs de surveillance et d'alerte peut contribuer à optimiser l'action des décideurs et des opérationnels, en particulier pour :

- mutualiser les données, les informations et les moyens logistiques ;
- caractériser avec précision, au niveau préalablement décidé de connaissance, les situations d'exposition sur lesquelles fonder les dispositifs opérationnels de gestion de la surveillance et de l'alerte ;
- et enfin, éclairer les options de la gestion opérationnelle dans l'anticipation des risques.

Partager la connaissance

Afin d'éviter des ambiguïtés ou des incompréhensions dans la description des systèmes étudiés, l'étude MaRiSa s'est attachée à définir le vocabulaire de la surveillance et de l'alerte dans le cadre des situations d'exposition. Ceci a permis de préciser des concepts ou définitions qui étaient partagés par des classes de métiers et non pas par la majorité des acteurs. La modélisation orientée objets a facilité l'analyse et permis la comparaison de menaces et la construction de modèles génériques pour des problématiques aussi éloignées que les maladies infectieuses animales à transmission par insectes vecteurs (FCO) ou les intoxications des populations humaines par des pesticides, par des biotoxines ou par des micro-organismes pathogènes.

Le langage UML peut être un support de communication performant. Il cadre l'analyse, facilite la compréhension de représentations abstraites complexes et son caractère polyvalent et sa souplesse en font un langage universel. Cette étude a demandé des continus allers-retours entre les concepts et leurs représentations, au fur et à mesure qu'augmentait la connaissance sur le sujet des analystes.

Corollaires de la modélisation générique et perspectives

L'intérêt de la modélisation générique réalisée dans MaRiSa a été de formuler *une situation d'exposition standard* en tenant compte de l'ensemble des éléments du système épidémiogène de chaque situation d'exposition de chacune des menaces. Il a été ainsi possible d'évaluer le rôle de ces éléments multiples dans des cas particuliers pour les faire converger sur une description unifiée de l'exposition et de sa dynamique, en établissant ainsi une connexion entre la potentialité de nuisance du système épidémiogène et la vulnérabilité des populations, quelle que soit la problématique envisagée.

L'articulation des éléments du système entre eux et leur hiérarchisation grâce à la modélisation orientée objets propose *une grille de lecture* qui accompagne l'anticipation et l'élaboration d'outils et de stratégies de prévention ou de lutte génériques (Mazzega *et al.*, 2012).

Cette modélisation de la connaissance, intégrative et partagée par les acteurs institutionnels responsables de la surveillance et de l'alerte, ne constitue qu'un premier niveau de la modélisation, étant en même temps non exhaustive et non détaillée. Cependant, elle a mis en exergue la nécessité de continuer à modéliser certains domaines essentiels comme par exemple 1) les *différents référentiels* des situations d'exposition qui permettraient d'aboutir à des définitions opérationnelles de niveaux de risque, et 2) les obligations du Paquet Hygiène, dont MaRiSa n'a fait qu'illustrer quelques filières, comme par exemple celle des denrées d'origine animale.

La modélisation détaillée du contenu du Paquet Hygiène permettrait aussi d'approfondir, en collaboration étroite avec les experts métier, l'adéquation des systèmes d'information actuels afin d'étudier les moyens de les rendre davantage efficaces et intelligibles en introduisant, en même temps, *une normalisation*. Pour optimiser les systèmes d'information, *des plateformes logicielles transverses* seraient à étudier, de façon à améliorer aussi la réactivité, l'efficacité et le coût de la surveillance et de l'alerte, en même temps que le partage entre ses différents acteurs.

Plusieurs aspects n'ont pas été abordés dans le cadre de MaRiSa et mériteraient, à eux seuls, une étude complète :

- l'introduction de *la notion de temps* dans la modélisation, essentielle pour la réglementation de la surveillance et de l'alerte ;
- la prise en compte de l'apport dans ces dispositifs de surveillance et d'alerte, de la société civile, en particulier, des *lanceurs d'alerte* – notion apparue dans les années 1990 – dont l'intervention peut engager « une multiplicité de logiques, allant de la vigilance à la controverse, la normalisation ou le conflit » (Chateauraynaud, 2009) ;
- l'incertitude, l'inconnu, les questions économiques, l'évaluation des dispositifs existants et des circuits de décision.

Cette étude constitue donc une première étape dans le rapprochement des systèmes épidémiologiques étudiés. Même si ses résultats ne sont pas, à ce stade, directement opérationnels, la possibilité d'intégrer ces différentes thématiques dans un modèle générique unifié des situations d'exposition permet d'envisager un angle *d'approche unique* de la surveillance et de l'alerte en termes institutionnels.

Références bibliographiques

- Abaddie L. *et al.*, 2004, « [Comment intervenir dans l'anthroposystème ?](#) », INSU - Prospective « Sociétés et Environnements », 5-6 février 2004.
- Åström K.J. et Murray R.M., 2008, *Feedback systems. An introduction for scientists and engineers*, Princeton, Princeton University Press.
- Barouki R., 2012, « [Le grand écart](#) », *Cahiers de l'ANR*, 6, pp. 2-3.
- Belin C., 2012, « [La surveillance des phycotoxines dans les coquillages du milieu marin. Le réseau Rephy : objectifs, stratégies, et principaux résultats](#) », *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*, ANSES, 45, pp. 19-23.
- Coad E. et Yourdon P., 1993, *Analyse orientée objets*, collection Méthodes Informatiques et pratique des systèmes, Paris et Londres, Masson.
- Chateauraynaud F., 2009, « [Les lanceurs d'alerte et la loi](#) », *Experts*, n° 83, pp. 44-47.
- Dor F., Karg F., Robin-Vigneron L., 2009, « [Recensement et identification des menaces environnementales pour la santé publique](#) », *Environnement Risques & Santé*, 8, pp. 507-17.
- Eriksson H.E. et Penker M., 2000, *Business Modeling with UML*, New York, John Wiley & Sons.
- Figuié M., Peyre M., Binot A., 2013, « [Surveillance des maladies animales infectieuses en Asie du Sud-Est. Valoriser la pluralité des réseaux d'information](#) », *Revasia, Perspective*, 23, octobre.
- Girard J-F., Lalande F., Salmi L-R., Le Boulter S., and Delannoy L., [Rapport de la mission d'évaluation et d'expertise de la veille sanitaire en France](#), ministère de la Santé et des Solidarités, 2006.
- Grall J.-Y., [Réorganisation des vigilances sanitaires. Rapport de mission](#), ministères des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé.
- Institut de Veille Sanitaire, 2005, [L'alerte sanitaire en France – Principes et organisation](#).
- Institut de veille sanitaire, 2009, [Actes du colloque « Surveillance en santé environnementale : pourquoi et comment ? »](#).
- Institut de veille sanitaire, 2011, [Actes du colloque « Veille et surveillance sanitaire : quelles actions pour la santé publique ? »](#), Saint Maurice, France.
- Institut de Veille Sanitaire, 2011, [La veille et l'alerte sanitaires en France](#).
- Jondreville C., Bouveret C., Lesueur-Jannoyer M., Rychen G., Feidt C., 2013, « [Relative bioavailability of tropical volcanic soil-bound chlordecone in laying hens \(*Gallus domesticus*\)](#) », *Environmental Science and Pollution Research*, 20, pp. 292-299.
- Lévêque C., Muxart T., Abbadie L., Weil A., et van der Leeuw S., 2003, « L'anthroposystème :

entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieux », in Lévêque C. et van der Leeuw S. (dir.), 2003, *Quelles natures voulons-nous? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*, Paris, Elsevier.

Mazzega P., Boulet R. and Libourel T., 2012, « Graphs for Ontology, Law and Policy », in Zhang Y. (dir.), [New Frontiers in Graph Theory](#), IN-TECH, pp. 493-514.

Micheau J., Dor F., de Gainza R., Romana C.A., 2012, « [Menaces environnementales et systèmes d'alerte : conceptualisation et enjeux](#) », *Environnement Risques & Santé*, 11, pp. 493-501.

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, 2010, [Les États généraux du sanitaire. Une politique sanitaire renouvelée](#), Direction générale de l'alimentation, 16 p.

Ogata K. (dir.), 1990, *Modern Control Engineering*, Prentice Hall.

Sinno-Tellier S., Beaudreau P., Josseran L., Verrier A., 2009, « [Santé environnementale : surveiller pour alerter](#) », *BEH thématique*, 27-28, 22 juin 2009, pp. 291-295.