

LA NOTION D'ÉMERGENCE

The Notion of Emergence

Jacques **BARNOUIN***

* *Unité de Recherche d'Epidémiologie Animale,
Centre de Recherches INRA 63122 St Genès Champanelle
Courriel : barnouin@clermont.inra.fr*

SUMMARY

The communication aims to precise the notion of emergence. This notion concerns the unexpected occurrence of a new entity, shape or property and applies to economics, politics, arts or disease events. The 3 dimensions of emergence are linked to information, statistics and concept of complexity. The first dimension, often popularized through the mass media, can facilitate the production of original epidemiological data and help to improve disease detection systems. The statistical dimension of emergence requires improving statistical/computer approaches in different domains (without a priori detection systems, rare events, non linear modelling). The conceptual dimension of emergence, based on the founder work of Georges Henry Lewes (1875), is today translated through approaches concerning adaptative systems, non linear dynamic systems and methods of emergent computation. A research strategy to work on conceptual emergence is proposed, which is based on the definition of model vegetal and zoonotic pathosystems from which innovative and appropriate methods in biology; informatics and mathematics could be performed to study the conditions of emergence of epidemiological events, such as a new pathogen, a new host or a new route of transmission for a known pathogen.

MOTIVATIONS-OBJECTIFS

Le but de la présente synthèse est de préciser la notion d'émergence, de manière générale et dans un cadre épidémiologique. Mais au final, ce sera l'ensemble des communications du colloque *émergences2006* qui devrait aider à clarifier l'émergence dans une perspective santé. La notion d'émergence est employée dans des domaines très divers (pays émergent, média émergent, forme artistique émergente, maladie émergente). Etymologiquement, l'émergence correspond à l'apparition soudaine de quelque chose qui était jusqu'alors caché (réseau aquifère souterrain : émergence d'une source). La notion d'émergence correspond aussi à une idée de nouveauté, et est à ce titre utilisée pour qualifier l'apparition d'un organe nouveau dans un phylum. L'émergence correspond également à « ce qui sait s'imposer par sa valeur ». Enfin, l'emploi du verbe émerger dans « la partie émergée de l'iceberg » confère à l'émergence la dimension d'un inconnu inquiétant relié à la partie immergée. Apparition soudaine, nouveauté, qui s'impose à l'esprit et correspond à un inconnu inquiétant sont donc les attributs linguistiques principaux de l'émergence. Sur un plan bibliographique, l'émergence est un mot de plus en plus cité (il est lui-même émergent) dans divers domaines. Ainsi, le nombre d'articles utilisant le vocable *emerging* ou *emergence* est passé de 5944 en 1998, à 11008 en 2005 dans la base de données *Current Contents Connect* : toutes disciplines, et de 202 en 1998, à 471 en 2005, pour les seules disciplines *Arts and Humanities*. Mais, quelle est la résonance des différentes dimensions de l'émergence en épidémiologie ?

LES DIMENSIONS DE L'ÉMERGENCE

Pour envisager à quels niveaux de sa réflexion la notion d'émergence peut intéresser le scientifique, et en particulier l'épidémiologiste, on peut la présenter sous trois dimensions, évènementielle, statistique et conceptuelle.

L'émergence évènementielle correspond à la perception d'une situation (politique, économique, sanitaire) ayant une dynamique non attendue et qui questionne, voire qui inquiète, notamment parce qu'elle comporte une part de proximité avec soi (proximité spatiale, temporelle, d'habitude de vie). Ces caractéristiques confèrent à l'émergence une attractivité (l'attrait du *new*, allié à celui du *great thrill*) et une valeur informationnelle pouvant induire une mise en exergue ou un non-dit (grippe « espagnole »). En épidémiologie, la dimension évènementielle de l'émergence peut entraîner une confusion entre émergence et épidémie. L'allure épidémique est le mode de développement normal d'un grand nombre de maladies, alors que la notion d'émergence, porteuse d'innovation, correspond à la survenue d'une maladie jusqu'alors non apparue sous le jour qui est le sien au moment où sa survenue est observée. Au final, une maladie peut être considérée comme émergente sans que la signification de ses variations d'incidence soit claire [2, 3]. L'émergence évènementielle peut être l'occasion :

a) de mobiliser esprits et crédits au service de structures pouvant être impliquées dans le « traitement » de l'émergence;

b) de construire des bases de connaissance via la collecte de données épidémiologiques originales difficiles à collecter hors événement émergent (un des talons d'Achille de l'épidémiologiste étant l'existence de données / l'accès aux données) ;

c) d'optimiser la connaissance de certains mécanismes de pathogénicité (rouilles et propagation des épidémies végétales, ESB et structure des protéines, neuropathie émergente humaine à allure épidémique et déterminants du stress oxydatif [4]) ;

d) d'affiner les systèmes de surveillance et de gestion de la santé.

Ainsi, effectuer une « veille intelligente » sur les émergences évènementielles apparaît une nécessité, bâtir une force de proposition (équipe de recherche « sans mur ») sur ces questions une prudence stratégique, et trouver l'équilibre entre réflexion méthodologique et mobilisation pragmatique, un passage obligé pour garantir pertinence et capacité d'action scientifiques (cf. le *Center for Emerging Issues* de Fort Collins, chargé d'anticiper pour le compte de l'*United States Department of Agriculture* les problèmes de santé animale émergents constituant une menace potentielle pour le bétail national, et d'identifier les conditions de marché émergent pour les produits animaux).

La dimension statistique de l'émergence, abordée par plusieurs communications du présent colloque, est reliée au fait que le fait émergent peut correspondre à l'observation d'une entité « distincte » des entités déjà décrites, ou d'une entité connue en croissance significative au sein d'un espace-temps de référence (la référence « vraie » étant écologique, et la référence pratique « administrative »). Cette déclinaison de l'émergence inclut d'investir, pour pouvoir décider à bon escient de la réalité d'une émergence et tenter de la modéliser, plusieurs espaces méthodologiques. Il faut en effet disposer, pour étudier statistiquement l'émergence, de systèmes d'information et de techniques analytiques aptes à détecter et à classer sans a priori (cf. les communications consacrées à cette question) des descriptifs cliniques ne correspondant pas à des maladies étiquetées [5], ainsi que des pathogènes nouveaux ou non attendus ; ceci avec une rapidité de mise en oeuvre, une sensibilité et une spécificité suffisantes. Il conviendrait aussi, pour tenter de répondre avec pertinence à la question de l'émergence :

a) de mettre au point des procédures statistiques aptes à différencier occurrence sporadique et émergence (temps, espace);

b) de disposer de méthodes aptes à modéliser les évènements rares,

c) d'être à même de considérer dans la modélisation de l'émergence, l'implication de facteurs d'amplification complexes (profils climatiques, relations écologiques locales) pouvant intervenir à diverses échelles de temps et d'espace.

d) de pouvoir avancer des hypothèses étiologiques (maladie transmissible ou pas, foyers aléatoires ou non) à partir de l'étude de la dynamique des cas émergents ;

e) de mettre en œuvre des approches non linéaires/à seuil (les phénomènes de seuil jouant un rôle majeur en épidémiologie : âge seuil, temps de contact seuil, dose seuil).

Les dimensions événementielle et statistique des faits émergents ne permettent pas, à elles seules, de conceptualiser l'émergence, un objectif a priori majeur si l'on veut tenter de dépasser une gestion de type pompier des crises et la production de réflexions plus ou moins floues et générales sur les menaces émergentes.

La dimension conceptuelle de l'émergence, liée à la notion de complexité [6], prend ses racines dans les écrits de Georges Henri Lewes, publiés autour de 1875 [7]. Ainsi, les théories émergentistes (qui n'ont aucune relation avec la notion de maladie émergente) proposent que pour décrire les objets qui nous entourent, il ne faut pas que prendre en compte leurs constituants, mais aussi les liens existant entre ces constituants. Finalement, « le tout est la combinaison des parties et des règles qui les relie, et non la simple somme des parties ». Dans cette conception, l'émergence correspond à l'apparition d'entités ou de propriétés à un niveau supérieur d'organisation (ex.: la population), non attendues à partir des conditions de base régissant le niveau inférieur (ex.: l'individu). L'émergence est une manifestation de la dynamique auto-organisatrice d'un système, elle-même modulée par des contraintes externes ou/et les variations aléatoires des paramètres du système [8]. Au niveau biologique, le fonctionnement de la communauté des fourmis (avec « émergence d'une capacité à prendre le chemin le plus court vers la nourriture », qui n'existe pas chez la fourmi isolée et est reliée à un plus grand dépôt de phéromone sur le trajet court, plus rapide à parcourir, et donc plus susceptible d'allers-retours et de dépôts attractifs), et celui du cerveau, illustrent la capacité d'un système à s'auto-organiser. Ainsi, le cerveau peut être considéré comme un système complexe formé de parties en interactions, confronté à un environnement dynamique, capable d'adaptation et d'apprentissage et exhibant à un niveau supérieur des capacités émergentes (conscience, réflexion, mémoire) non explicables au vu du fonctionnement des parties (neurones et processus physico-chimiques sous-jacents).

Les théories et outils méthodologiques adaptés à l'étude des capacités d'auto-organisation d'un système (avec production de propriétés émergentes) correspondent aux domaines des systèmes complexes adaptatifs (entités interagissant selon des règles locales avec émergence de propriétés globales), des systèmes dynamiques non linéaires (équations différentielles) et des technologies de type *emergent computation* (réseaux neuronaux, simulations, théorie des AMAS ou *Adaptive Multi-Agent System*) [8]. Dans ces cadres méthodologiques, dont le développement est favorisé par l'accroissement de la puissance des ordinateurs, l'émergence correspond à l'apparition de formes originales au sein d'un système d'agents en interaction, ou à des qualités singulières d'un système n'existant que lorsqu'un paramètre réglant l'intensité d'interactions entre constituants du système franchit un ou des seuils. Quant aux systèmes informatiques de type *emergent computation*, ils sont supposés réaliser une fonction (dite émergente) sans que le codage du système dépende de la connaissance de cette fonction. Dans la technologie AMAS, la fonction réalisée évolue via l'évolution de l'organisation du système, qui dépend elle-même des règles organisant les relations entre composants du système.

PERSPECTIVES-MESSAGES

A partir des conceptions existant sur la notion d'émergence, une réflexion à but générique concernant l'émergence épidémiologique (en tant que « rupture de l'équilibre coévolutif entre les populations pathogènes et les peuplements hôtes », cf. Sache dans le présent volume), pourrait être réalisée, a priori avec profit, dans un cadre multidisciplinaire [2]. Une stratégie possible consisterait à effectuer, après consensus, une recherche éco-épidémiologique portant sur un très petit nombre de pathosystèmes modèles (par exemple, deux en pathologie végétale et deux concernant une zoonose) [9] considérés comme émergents et gardant des capacités « d'émergence structurelle » (innovation épidémiologique liée au fonctionnement de la coévolution d'espèces). La dénomination d'émergence essentielle est proposée ici en opposition à « l'émergence conjoncturelle », liée principalement à des imprudences épidémiologiques (« autophagie », produit

contaminé, échappement d'une souche modifiée, désinfection inadéquate, promiscuité d'espèces, sélection mal conduite, facteurs d'immunodépression).

Quant à la nouveauté épidémiologique « radicale » qui définirait l'émergence au sein des systèmes modèles végétaux ou animaux, elle pourrait concerner l'implication d'un nouveau pathogène, un changement dans les « priorités de vectorisation », un nouveau mode de transmission / hôte ou une nouvelle gravité reliée à une cassure antigénique.

Les « qualités idéales » des pathosystèmes modèles pourraient être qu'ils aient un caractère ubiquiste, qu'ils ne soient pas indépendants des évolutions climatiques et de leurs conséquences [10], qu'ils impliquent des vecteurs [11] transmetteurs de plusieurs types d'agents (pathogènes/commensaux, bactéries/virus, variants), eux-mêmes capables d'utiliser des récepteurs cellulaires conservés à travers les espèces et qui soient susceptibles de réassortiments. Par ailleurs les pathosystèmes modèles devraient a priori concerner plusieurs types d'hôtes (sauvages/domestiques ou cultivés), poser un problème à l'Homme et être liés à l'occurrence de maladies identifiables, dont les cas semblent pouvoir être collectés avec une précision acceptable.

Pour ce qui est de la multidisciplinarité nécessaire à l'étude de systèmes modèles, elle pourrait concerner écologues, épidémiologistes, généticiens, immunologistes, informaticiens, microbiologistes, mathématiciens et sociologues. Cette mobilisation sur un pathogène-ou sur un cortège de pathogènes-pourrait être l'occasion de faire progresser l'épidémiologie dans son ensemble (« de la corrélation à l'explication »), à l'instar de ce qui a été réalisé en génétique via *Arabidopsis thaliana* ou *Drosophila melanogaster*.

Concrètement, on pourrait, de manière complémentaire :

- a) acquérir des connaissances fines sur les paramètres de fonctionnement des pathosystèmes modèles, pour aboutir au décryptage des situations de coopération et non coopération régissant les relations dynamiques entre composants des pathosystèmes ;
- b) engager une modélisation des risques à partir d'hypothèses d'émergence ;
- c) créer des systèmes informatiques capables d'auto-organisation (architecturés indépendamment des phénomènes émergents possiblement reliés au pathosystème).

A partir de là, on pourrait étudier les conditions d'apparition de phénomènes émergents au niveau des systèmes modèles et essayer de proposer des procédures génériques de modélisation prédictive des phénomènes d'émergence en épidémiologie.

Quelle que soit la créativité à développer en matière d'émergence, la mise en chantier de travaux conceptuels devra s'attacher à garder les pieds sur terre et à considérer avec attention les biais qui guettent le scientifique agissant dans un cadre d'émergence. A ce propos, peut-on citer, en tant que facteurs possibles de biais :

- a) la découverte récente (ou la non découverte) de certains agents pathogènes ;
- b) l'amélioration des techniques de diagnostic au laboratoire, une exhaustivité accrue de dépistage et la mise en place de systèmes de surveillance spécifiques ;
- c) le manque de collecte d'informations standardisées concernant les premiers cas, avec en conséquence la nécessité de recueillir des informations a posteriori, d'où un risque de dégradation de la qualité de l'information disponible;
- d) la difficulté à mettre en évidence une situation témoin (absence d'émergence), dans le temps (inexistence de données concernant les facteurs d'émergence avant la survenue de la maladie émergente) et dans l'espace (comment mettre en évidence une zone « sans cas » au sein d'un espace en but à une émergence ?).

Au final, la prise en compte de la dimension événementielle de l'émergence, bien qu'incontournable, ne doit pas prendre le pas sur la nécessité de mettre au point des stratégies et des méthodes (biologiques, informatiques, mathématiques) aptes d'aboutir conceptualiser la notion de maladie émergente à partir de connaissances fines intégrées dans des pathosystèmes modèles producteurs de situations d'émergence.

BIBLIOGRAPHIE

1. Toma B., Thiry E., 2003. Qu'est-ce qu'une maladie émergente ? *Epidémiol. santé anim.*, 44: 1-11
2. Stephens D.S, Moxon E.R., Adams J., Altizer S., Antonovics J., Aral S., Berkelman R. et al., 1998. Emerging infectious diseases: a multidisciplinary perspective. *Am. J. Med. Sci.*, 315: 64-75

3. Conly J.M., Johnston B.L., 2004. Avian influenza, the next pandemic?, 2004. *Can. J. Infect. Dis.*, 15:5
4. Barnouin J., T. Verdura Barrios, M. Chassagne et al., 2001. Nutritional and food protection against epidemic emerging neuropathy. Epidemiological findings in the unique disease-free urban area of Cuba. *Vitamin Nutr. Res.*;71: 274-285
5. Vourc'h G., Bridges V.E., Gibbens J., De Groot B.D., McIntyre L., Poland R., Barnouin J., 2006. Detecting emerging diseases in farm animals through clinical observations. *Emerg. Infect. Dis.* 12: 204-210
6. Guespin-Michel J., Charlionet R., Gascuel P., Gaudin F., Guespin-Michel J., Gayoso J., Ripoll C., 2005. *Emergence, complexité et dialectique*, Ed. Odile Jacob, Paris, 297 pp
7. Lewes G.H., 1874-79. *Problems of life and mind: the foundations of a creed*, 5 vols. London
8. Georgé J.P., Gleizes M.P., Glize P., 2003. Conception de systèmes adaptatifs à fonctionnalité émergente : la théorie des AMAS. *Revue IA, Hermès*, 17: 591-626
9. Childs J., Shope R.E., Fish D., Meslin F.X., Peters C.J., Jonhson K., Debess E. et al., 1998. Emerging zoonoses. *Emerg. Infect. Dis.*, 4, Special issue on conference on emerging infectious diseases, Atlanta, USA, March 8-11, 1998
10. Valleron A.J., 2005. Climat et santé. In : *Santé-environnement, nouvelles perspectives de recherche*, Ministère Délégué à la Recherche, Séminaire des 31 mars et 1^{er} avril 2005, 12 pp
11. Rodhain F., 2003. Emergences de maladies à transmission vectorielle. *Epidémiol. santé anim.*, 44 : 33-49