

Rôle de l'environnement dans la dynamique des agents pathogènes et des maladies infectieuses

Dynamique des bactéries pathogènes dans les écosystèmes naturels: de l'observation locale à la modélisation régionale

Période : février 2008 à mars 2009

Patrick MONFORT, Franck CANTET et Tatiana VALLAEYS

Université Montpellier 2 – CNRS/Ifremer « Ecosystèmes Lagunaires » UMR 5119 - Montpellier

Mots clés : **Aeromonas, Cholera, Chironome, Dynamique, Modélisation, Télédétection, Vibrio Cholerae**

La dynamique¹ spatiale et temporelle des bactéries pathogènes dans les écosystèmes naturels est complexe car elle dépend d'une part de l'effet direct des facteurs biotiques² et abiotiques³, et d'autre part, de l'effet de ces facteurs sur les interactions avec leurs hôtes. Si de nombreuses études ont montré depuis longtemps que les facteurs environnementaux expliquent la dynamique des bactéries, dont celle des pathogènes, peu d'études essayent de faire le lien entre anthropisation⁴ et modification des dynamiques des bactéries pathogènes. En effet pour montrer l'impact des variations des contraintes environnementales dues aux activités humaines sur la dynamique des bactéries pathogènes, il est nécessaire de prendre en compte cette dynamique à différentes échelles, depuis celles des communautés (interactions entre organismes) jusqu'à celles des écosystèmes (locales à régionales, voire planétaire). Il est certain que les travaux sur les interactions entre les organismes sont les plus nombreux depuis plusieurs années.

La compréhension des dynamiques bactériennes à de plus larges échelles nécessite de disposer de nombreuses données dans le temps et à des échelles au moins régionales permettant de construire des modèles prédictifs de la dynamique des agents pathogènes. De tels modèles couplés avec des données socio-économiques des populations humaines sont indispensables pour apprécier les risques sanitaires.

Les rubans gélatineux d'oeufs de chironomes, un réservoir naturel d'*Aeromonas* spp.

Les chironomes sont des insectes ressemblant beaucoup aux moustiques mais qui ne piquent pas. Ils prolifèrent dans les zones humides, les lacs et les rivières. **Senderovitch et al. (2008)** montrent par des techniques de biologie moléculaire que différentes espèces d'*Aeromonas* (*A. caviae*, *A. hydrophila*, *A. punctata*, *A. veronii* et *A. schubertii*) colonisent les rubans gélatineux des œufs de chironomes. Ces *Aeromonas* sont capables de dégrader cette masse gélatineuse tout comme *Vibrio cholerae*, ce que ces auteurs avaient déjà montré dans des travaux précédents (Halpern et al. 2006 : 2004 : 2003). Les *Aeromonas* identifiés sont aussi porteurs de gènes de virulence. Les rubans d'œufs de chironomes

constituent donc un facteur favorisant la dynamique d'*Aeromonas*, dont certaines espèces potentiellement pathogènes. Le développement des chironomes dans les réservoirs destinés à produire de l'eau potable pose des problèmes dans différents pays comme en Chine, Grande-Bretagne, Israël, Japon et aux Etats-Unis. La pollution organique des écosystèmes aquatiques est un facteur favorable aux chironomes qui sont très résistants à de nombreux polluants. Le développement important de chironomes dans les écosystèmes aquatiques représente donc un facteur favorable au développement d'*Aeromonas*, et donc un risque en Santé publique, cette bactérie étant considéré comme potentiellement pathogène pour l'humain.

Commentaire

Les travaux de cet article soulignent ainsi que de nouvelles niches écologiques peuvent être trouvées même pour une bactérie bien connue comme *Aeromonas*. Il est alors nécessaire de prendre en compte de telles niches dans l'explication de la dynamique de cette bactérie.

Observer et prédire les épidémies de cholera au moyen de données satellitaires.

Vibrio cholerae est bien connue pour être une bactérie autochtone⁵ des rivières, estuaires et des zones côtières. La température, la salinité, les précipitations, le phytoplancton⁶ et les copépodes⁷ sont les facteurs majeurs qui expliquent la dynamique de cette bactérie pathogène. Les blooms⁸ de phytoplancton entraînent d'importants blooms de zooplancton⁹ dont les copépodes qui sont connus pour être un hôte naturel de *V. cholerae*. En effet, il a été montré depuis quelques années que *V. cholerae* forme des biofilms sur les carapaces des copépodes, dans une relation symbiotique ou commensale, qui deviennent ainsi un réservoir important de cette bactérie. Les marées provoquent l'intrusion des eaux côtières chargées en zooplancton à l'intérieur des terres dans les grandes zones de delta du Bengladesh, mettant ainsi en contact les populations humaines et *V. cholerae*.

Constantin de Magny et al. (2008) ont construit un modèle mathématique qui décrit la dynamique du cholera à Calcutta

(Inde) et à Matlab (Bangladesh) sur la période 1998-2006. Ce modèle utilise les données fournies par la télédétection de la température de l'eau en surface et de la chlorophylle A (Chl A) dans le Golfe du Bengale ainsi que de la pluviométrie. Parce que ces données évoluent saisonnièrement, il est nécessaire de rechercher des anomalies, c'est-à-dire des événements qui ne sont pas liés aux cycles saisonniers. Ces anomalies sont calculées à partir des moyennes mensuelles (T° de surface, Chl A et pluviométrie) qui sont soustraites aux données de chaque mois. Les auteurs tiennent compte aussi, dans un modèle prévisionnel de dynamique du cholera, d'un temps de latence de un à deux mois entre les variations des deux paramètres (T° de surface et Chl A) et l'épidémiologie de la maladie dans la population.

Commentaire

Un des résultats remarquables de ces travaux montre qu'une augmentation de 1 mg/m³ de l'anomalie moyenne de Chl A explique une augmentation d'environ 32 % des cas de cholera à Calcutta et à Matlab avec un temps de latence d'un mois. Cet article est particulièrement pertinent en démontrant les capacités d'observation à large échelle utilisées pour modéliser la dynamique d'une bactérie pathogène, donc des épidémies associées. Le modèle prédictif d'une telle dynamique permet alors de visualiser les effets de l'anthropisation et surtout de leurs variations sur les dynamiques de tels agents pathogènes. Ainsi dans le cas présent, tous facteurs favorisant des blooms de phytoplancton (i.e. apports de phosphore, augmentation de la T°) auront pour conséquence de favoriser la dynamique de *V. cholerae* et donc les épidémies de cholera.

Conclusion générale

Le rôle de l'anthropisation des écosystèmes naturels sur la dynamique spatiale et temporelle des bactéries pathogènes paraît évident depuis longtemps. Cependant peu de travaux visent à le démontrer. En effet, une telle démonstration nécessite le recours à des modèles mathématiques prenant en compte les facteurs environnementaux à une échelle suffisamment large, et donc, au moins régionale. Pour construire de tels modèles, il est nécessaire de connaître l'écologie des bactéries pathogènes. Alors que l'écologie d'*Aeromonas* dans les milieux aquatiques a fait l'objet de nombreux travaux, **Senderovitch et al. (2008)** montrent qu'il existe une interaction importante entre cette bactérie et les pontes de chironomes. Ainsi tout facteur environnemental qui modifie la dynamique des chironomes aura une conséquence sur la dynamique d'*Aeromonas*.

En modélisant la dynamique de *V. cholerae* à partir de données issues de la télédétection, **Constantin de Magny et al. (2008)** ont pu construire un modèle prédictif à une échelle régionale (Golfe du Bengale) qui permet de prédire l'évolution de la dynamique de cette bactérie, et donc, de la maladie. En disposant d'un tel modèle, il est possible de prédire les risques sanitaires associées aux conditions climatiques, et surtout, à leurs variations.

L'eau est un des vecteurs majeurs de transmission de bactéries pathogènes. Dans le cas des bactéries pathogènes qui sont aussi des bactéries autochtones des écosystèmes aquatiques comme *Aeromonas* et *Vibrio*, il est indispensable de tenir compte de leurs interactions avec les communautés présentes dans ces milieux. Ainsi *Aeromonas* est associée à des insectes, les chironomes, comme *V. cholerae* au zooplancton, les copépodes. Dans les deux cas, ces associations jouent des rôles majeurs sur leurs dynamiques. C'est en modélisant celles-ci avec les autres facteurs biotiques et abiotiques qu'il est possible d'apporter les informations nécessaires aux gestionnaires et aux décideurs en santé publique quant à l'évolution des dynamiques des bactéries pathogènes sous l'effet des contraintes environnementales et de leurs variations.

En conclusion, l'exemple de *V. cholerae* est actuellement unique dans la modélisation de sa dynamique à une échelle régionale. Cette modélisation permet aujourd'hui de prévoir des épidémies de cette bactérie dans les régions concernées par ce modèle. Pour les autres bactéries pathogènes, il manque encore trop d'informations pour développer des modèles de dynamique équivalents. L'exemple *Aeromonas* montre que des informations restent à acquérir sur l'écologie des bactéries pathogènes présentes naturellement dans les écosystèmes aquatiques avant de pouvoir établir des modèles à des échelles régionales permettant d'apporter des aides à la gestion et l'évaluation des risques.

Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Anthropisation, Climate Change, Dynamic, Ecosystem, Pathogen.

.....
Publications analysées
.....

Constantin de Magny G, Murtugudde R, Sapiano MRP et al. Environmental signatures associated with cholera epidemics. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008; 105 (46): 17676-81.

Senderovich Y, Gershtein Y, Halewa E et al. *Vibrio cholerae* and *Aeromonas*: do they share a mutual host? ISME J. 2008; 2: 276-83.

.....
Publications de référence
.....

Halpern M, Raats D, Lavion R et al. Dependent population dynamics between chironomids (non-biting midges) and *Vibrio cholerae*. FEMS Microb. Ecol. 2006; 55: 98-104.

Halpern M, Broza YB, Mittler S et al. Chironomid egg masses as a natural reservoir of *Vibrio cholerae* non-O1 and non-O139 in freshwater habitats. Microb. Ecol. 2004; 47: 341-9.

Halpern M, Gancz H, Broza M et al. *Vibrio cholerae* hemagglutinin/protease degrades chironomid egg masses. Appl. Environ. Microbiol. 2003; 69: 4200-4.

.....
Revue de la littérature
.....

Ehrlich GD, Hiller NL, Hu FZ. What makes pathogens pathogenic. Genome Biol. 2008; 9: 225.1-7

Huq A, Whitehouse CA, Grim CJ et al. Biofilms in water, its role and impact in human disease transmission. Curr. Opin. Biotech. 2008; 19: 244-7.

Morand S, Guégan J-F. How the biodiversity sciences may aid biological tools and ecological engineering to assess the impact of climatic changes. Rev. Sci. Tech. O.I.E. 2008; 27 (2): 355-66.

.....
Publication non sélectionnée
.....

Dyble J, Bienfang P, Dusek E et al. Environmental controls, oceanography and population dynamics of pathogens and harmful algal blooms: connecting sources to human exposure. Environ. Health. 2008; 7 (suppl 2): S5.

Cet article ne porte pas sur la dynamique de bactéries pathogènes mais il permet d'appuyer la conclusion générale. En effet, les auteurs font une analyse théorique sur l'importance du couplage des modèles biologiques avec les modèles physiques qui permettent de lier les interactions complexes entre les facteurs environnementaux et l'hydrodynamique. Pour relier les pathogènes et la santé humaine, ils soulignent l'importance de prédire les dynamiques, d'identifier les échelles spatiales et temporelles des populations de pathogènes et de leurs interactions dans l'écosystème et de tenir compte de la compréhension de ces dynamiques dans les stratégies de gestion du risque pour la santé humaine.

.....
Lexique: définition des termes spécifiques utilisés dans la note
.....

- ¹ Dynamique des populations: Etude des relations entre une population d'individus appartenant à une même espèce et l'écosystème dans lequel elle vit. L'approche peut se faire dans le temps et/ou dans l'espace.
- ² Biotique: Facteurs liés à l'ensemble des interactions du vivant sur le vivant dans les écosystèmes
- ³ Abiotique: Facteur physique et/ou chimique ayant une action sur les organismes dans les écosystèmes
- ⁴ Anthropisation: Effet de l'action humaine sur les écosystèmes
- ⁵ Autochtone: Se dit d'une espèce qui vit naturellement dans un écosystème donné.
- ⁶ Phytoplancton: Microalgues qui se laissent transporter au gré des courants.
- ⁷ Copépodes: Petits crustacés vivant dans les milieux aquatiques marins et continentaux, dont les adultes ne mesurent le plus souvent qu'un ou deux millimètres. Ils constituent une part du zooplancton.
- ⁸ Bloom: Augmentation rapide de la concentration en phytoplancton ou en zooplancton.
- ⁹ Zooplancton: Animaux du plancton, c'est-à-dire les animaux de petites tailles transportés aux grès des courants.