

La biodiversité contre les maladies infectieuses ?

Les maladies infectieuses et leur contrôle font l'objet d'une attention croissante, ne serait-ce qu'en raison des enjeux économiques à la clé. Dans ce contexte, que peut nous apprendre l'écologie, et notamment l'étude des interactions entre populations humaines et pathogènes ? Qu'un des grands enjeux à venir dans la gestion des écosystèmes sera le maintien d'une diversité suffisante à contenir vecteurs et hôtes des maladies. Et qu'à l'heure de la mondialisation l'objectif exigera des politiques communes.

par Denis Couvet, Olivier Dehorter, Pierre-Yves Henry,
Frédéric Jiguet, et Romain Julliard (*)

Corpus théorique

Deux séries d'arguments amènent à penser que, globalement, la diversité limite l'extension des maladies infectieuses.

Spécificité et diversité

Les pathogènes présentent une spécificité plus ou moins étroite avec leurs hôtes (c'est-à-dire les organismes chez lesquels ils survivent et prolifèrent). Cette spécificité se situe à l'échelle de l'espèce ou d'un groupe d'espèces, voire au niveau plus étroit du génotype. Ainsi, chez l'espèce humaine, on connaît des génotypes

résistants à la malaria, ou au HIV. De la même manière, la résistance aux pathogènes des variétés cultivées (blé, riz, maïs...) ou des races domestiquées (bovins, ovins...) est très variable.

Cette spécificité prend une grande importance lorsque l'on considère les risques de contagion. La rencontre d'un hôte non réceptif, c'est-à-dire au sein duquel le pathogène ne peut pas se développer, va freiner son extension. Il existe un effet de seuil : en dessous d'une certaine proportion d'individus réceptifs au sein d'un peuplement d'individus, la maladie disparaît.

C'est un des principes importants de la vaccination, qui, au-delà de la protection des

individus vaccinés, a aussi comme fonction de stopper l'extension de la maladie, en lui opposant un ensemble d'hôtes non réceptifs (ce sont en quelque sorte des « puits » pour le pathogène). On peut ainsi calculer la proportion d'individus à vacciner, afin d'éviter une épidémie. Ce type de calcul est notamment utilisé dans le cas des renards et de la rage, c'est-à-dire dans un cas où il est difficilement concevable de vacciner l'ensemble de la population, mais où l'on peut quantifier l'effort nécessaire afin de stopper l'extension de la maladie.

La diversité - nombre de gènes de résistance, ou nombre d'espèces dans la communauté - a un rôle similaire à la vaccina-

tion, en fournissant un ensemble d'hôtes non compatibles.

Densité et diversité

La densité des individus sensibles, en augmentant le taux de contact entre individus infectés et individus susceptibles d'être infectés, joue un rôle important dans la propagation des pathogènes. Pour une densité donnée d'individus, une plus forte diversité, génétique ou spécifique, entraîne une plus faible densité des individus sensibles, donc réduit les risques de contagion.



Antoine Devouard/REA

La maladie de Lyme est transmise à l'homme par les tiques qui prélèvent les bactéries pathogènes chez les souris. Les tiques sont susceptibles d'entrer en contact avec de nombreuses autres espèces de vertébrés qui, elles, ne sont pas porteuses de la bactérie pathogène. Par conséquent, plus la diversité en vertébrés est grande, plus la probabilité que les tiques soient porteuses de la maladie est faible.

Applications

Un certain nombre d'exemples illustrent le rôle de la diversité comme facteur de résistance aux maladies infectieuses, aussi bien dans les agro-écosystèmes que dans les écosystèmes dits « naturels ».

Agriculture : les expériences menées sur le riz

Des agronomes chinois ont pu quantifier sur le riz cet effet positif de la diversité. Ils se sont livrés à l'expérience sui-

vante, ceci sur une échelle conséquente : 10 000 ha.

Plutôt que de semer une seule variété de riz, ils en ont mélangé deux :

- ✓ une variété 1, plus résistante aux maladies qui affectent traditionnellement cette céréale ;
- ✓ une variété 2, plus appréciée des consommateurs (donc vendue plus chère), mais aussi plus sensible à ces maladies.

Les auteurs ont obtenu un gain de rendement de 20 %, et une moindre prévalence des maladies, ce qui a permis une réduction significative de la quantité de pesticides utilisés [1].

Notons par ailleurs que cette utilisation de la diversité n'est pas simple pour l'agronome, car

elle nécessite la récolte de deux variétés qui n'ont pas nécessairement la même précocité, et leur récolte doit tenir compte de ce décalage : l'utilisation de la diversité dans les espaces agricoles peut demander une certaine sophistication dans les techniques agronomiques.

La gestion des résistances en agriculture

Pour réduire la sensibilité de l'agriculture aux maladies infectieuses, les sélectionneurs, qu'ils s'occupent d'animaux ou de végétaux, devraient tenir compte de la variable résistance aux maladies,

qu'elle existe ou qu'elle puisse être mobilisée par la sélection.

On s'est ainsi aperçu récemment que les variétés américaines de maïs avaient perdu un mécanisme de résistance à *Diabrotica virgifera virgifera*, ravageur majeur de cette céréale, au contraire des variétés européennes, qui la possèdent, ainsi que leur ancêtre sauvage, la téosinte [2]. Cette résistance consiste en une production de beta-caryophyllène, molécule qui a la propriété d'attirer les nématodes, prédatrices de *Diabrotica*. Ajoutons que cette dernière a fait des ravages dans les cultures de maïs aux Etats-Unis, mais pas en Europe...

Cet exemple illustre par ailleurs le rôle que pourrait jouer la diversité en agriculture, à l'opposé des pratiques développées tout au long du XX^e siècle et qui ont plutôt exploré le paradigme opposé, à savoir la recherche du super géno-

type, capable de la meilleure performance, et que l'on duplique à l'infini. Dans un monde où de nombreux organismes interagissent, et notamment des pathogènes, cette absence de diversité fragilise les agro-écosystèmes.

Ecosystèmes « naturels » : le cas de la maladie de Lyme

D'autres auteurs ont essayé d'évaluer le rôle positif que jouerait la diversité, dans le cas de la maladie de Lyme. Cette maladie d'origine bactérienne est présente aux Etats-Unis et en Europe continentale. Elle est transmise à l'homme par les tiques (qui sont des acariens, groupe proche des araignées), qui prélèvent les bactéries pathogènes chez les souris. Les tiques sont susceptibles d'entrer en contact avec de nombreuses autres espèces de vertébrés,

qui, elles, ne sont pas porteuses de la bactérie pathogène. Par conséquent, plus la diversité en vertébrés est grande, plus la probabilité que les tiques soient porteuses de la maladie est faible.

Les auteurs [3] ont ainsi mis en correspondance la diversité en vertébrés avec la prévalence de la maladie (voir figure 1).

Les conséquences perverses d'une extrême simplification dans l'analyse des écosystèmes

Pour des raisons analytiques et pédagogiques évidentes et légitimes, on raisonne sur un écosystème très simplifié. Ainsi dans le cas des maladies, le système écologique est généralement envisagé avec un nombre restreint d'acteurs, par exemple deux sur la figure 2.

C'est ainsi que l'on présente généralement le cas de la malaria, les moustiques jouant le rôle de vecteurs.

Les inconvénients de cette simplification surviennent lorsqu'on cherche des solutions pour éradiquer la maladie, et que les stratégies sont élaborées en s'en tenant à ce

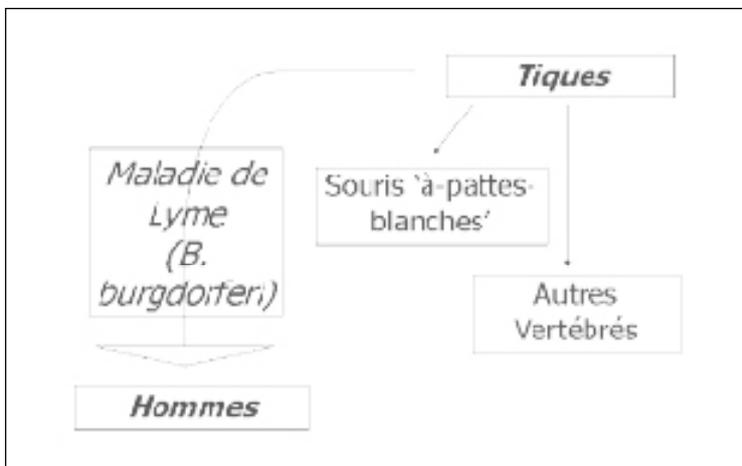


Figure 1

cadre analytique simplifié : la solution la plus évidente devient alors d'éradiquer le vecteur.

C'est une solution le plus souvent utopique lorsqu'il s'agit d'espèces de petite taille, à forte fécondité. En effet, si l'on sait assez bien « éradiquer » des espèces de grande taille, à faible fécondité, que ce soit les baleines, les éléphants, ou encore les séquoias, cette éradication est beaucoup plus difficile pour les espèces à forte fécondité : l'élimination du loup en France au siècle dernier a été très difficile, et a demandé de gros efforts, dans la durée. La difficulté est encore plus grande lorsqu'on a affaire à des espèces de petite taille, dont on a du mal à inventorier l'ensemble des habitats.

Les perspectives apportées par une analyse plus complète du fonctionnement de l'écosystème

A travers une simplification abusive de notre représentation de l'écosystème étudié, on se prive de la possibilité de considérer le rôle d'autres interactions majeures, susceptibles d'être modifiées afin de contrôler l'abondance des vecteurs et, plus généralement, du pathogène.

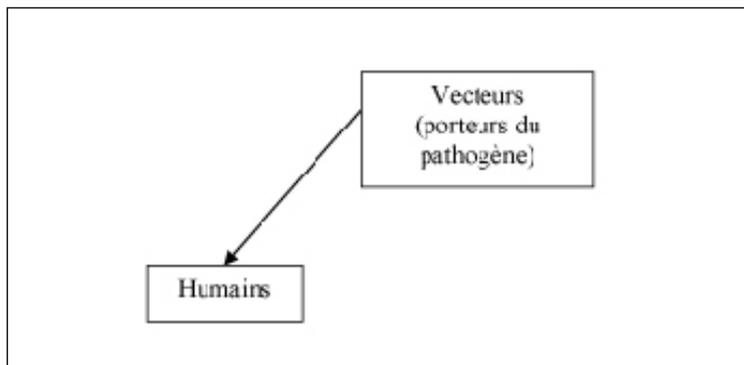


Figure 2

Si l'on considère l'écosystème avec un niveau de complexité plus réaliste, tenant compte des acteurs majeurs, de nouvelles possibilités de lutte apparaissent. La figure 4 représente quelques-uns de ces acteurs, indiquant par - (respectivement +) ceux qui auront un impact négatif (respectivement positif) sur le pathogène. Ainsi, il apparaît que la prévalence du pathogène devrait diminuer lorsque l'on favorise les espèces non-réservoirs, c'est-à-dire ne portant pas le pathogène, et ceci pour deux raisons. D'une part, les espèces réservoirs, en compétition avec les espèces non-réservoirs, devraient diminuer en abondance. D'autre part, il y aura un effet de dilution, lorsque le vecteur s'alimente aussi à partir de ces espèces non-réservoirs. Il s'agit donc d'augmenter l'abondance des espèces hôtes non-réservoirs, aux dépens des espèces hôtes réservoirs. Ceci a été illustré

plus haut avec la maladie de Lyme.

Une autre possibilité de lutte contre le pathogène considéré est de favoriser les prédateurs des vecteurs de la maladie. Ainsi, dans le cas de la malaria, il semblerait que la densité des populations de poissons, qui se nourrissent des larves de moustiques, affecte largement la prévalence de la maladie.

Ce dernier exemple renvoie au principe de la « lutte biologique », très utilisée en agriculture afin de lutter contre les ravageurs des cultures : plutôt que de s'attaquer directement au ravageur de la culture, on favorise le prédateur de ce ravageur (cf. figure 3).

Un exemple des enjeux de la simplification analytique : l'impact des pesticides à différentes échelles de temps

Lorsqu'un pesticide agit sur plusieurs niveaux trophiques (par exemple, vecteur et prédateur), les conséquences de son utilisation peuvent être très contrastées selon l'échelle de temps considérée. Si à court terme, en éliminant le vecteur, les conséquences sont positives, à moyen terme il en va souvent autrement. En effet, les espèces de niveau trophique inférieur sont généralement de plus petite taille et de plus forte fécondité. Elles vont, par conséquent, resurgir plus rapidement dans l'habitat, avec une densité plus élevée qu'avant le traitement, car elles ne sont alors plus contrôlées par leur prédateur. Cet effet a été bien montré dans le cas des ravageurs du coton [4], et il devrait aussi concerner les vecteurs de maladies. Ainsi l'utilisation du DDT, si elle permet le contrôle des moustiques à court terme, a, généralement, un effet négatif à moyen terme sur la prévalence de la malaria, en affectant aussi compétiteurs et prédateurs. A cette échelle de temps, en l'absence de leurs compétiteurs et prédateurs, lorsque ceux-ci tardent à revenir dans l'écosystème, l'abondance des moustiques est ainsi renforcée. Cette analyse « écosystémique », c'est-à-dire tenant compte des acteurs majeurs de

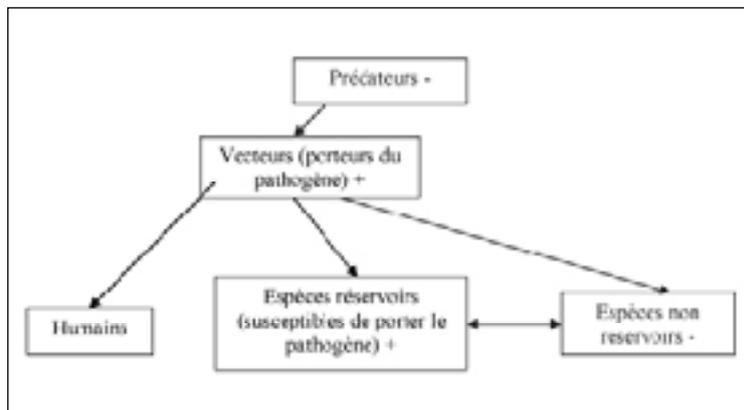


Figure 3

l'écosystème, est utilisée avec succès dans le domaine des pêcheries. La prédiction de l'état des stocks de poissons exploités, par exemple les capelins en mer du nord, s'améliore grandement lorsque l'on tient compte de l'état des principales populations prédatrices, cabillauds et harengs [5].

La santé comme bien public

Face aux maladies hautement contagieuses et qui peuvent rapidement traverser l'ensemble du monde, la santé doit être considérée comme un bien commun de l'humanité : tous les pays ont à gagner à une politique efficace de lutte contre les maladies. C'est un des enjeux de la vaccination, notamment dans les pays pauvres. C'est sans doute aussi un enjeu à venir dans la gestion

des écosystèmes : le maintien d'une diversité suffisamment importante, dans des écosystèmes peu perturbés, afin de contenir vecteurs et hôtes des maladies, et provoquer des effets de dilution des pathogènes. Cette gestion de la diversité pourrait faire l'objet de politiques communes : les déficiences dans un pays peuvent avoir des conséquences assez rapides sur les pays voisins, voire à l'échelle mondiale, en raison de l'intensité des flux commerciaux et migratoires. On pourrait alors proposer une écologie de la santé qui reposerait sur le triptyque « maladies humaines, maladies affectant les espèces cultivées et domestiquées, fonctionnement des écosystèmes » (voir figure 4). Une prévention des maladies infectieuses suppose alors de ne négliger aucune de ces trois composantes : la fragilité d'une seule peut rapidement anéantir les bénéfices apportés par une



Cyril Ruoso/BIOS

Il est crucial d'avoir des systèmes de veille des variations de l'état de la biodiversité, ce qui est fait pour le suivi des oiseaux communs. Il serait intéressant d'établir une veille sanitaire sur la faune sauvage qui nous entoure, capable de détecter des épizooties émergentes avant qu'elles ne créent des situations de panique.

gestion efficace des deux autres.

Les services écologiques

Nous avons discuté le rôle positif de la biodiversité pour les sociétés humaines dans l'optique d'un contrôle des maladies. La biodiversité fournit de très nombreux autres services écologiques, qu'il s'agisse de la productivité des écosystèmes (utiles en agriculture, foresterie, ou encore afin de stocker du carbone), de la résistance et de la résilience face aux perturbations, ou

encore de la prédictibilité des réponses aux changements globaux, tels que le réchauffement climatique.

Un problème auquel se heurtent les gestionnaires de la biodiversité est que la biodiversité est en accès libre, ce qui a comme conséquence - classique en économie pour des ressources en accès libre - un excès de prélèvement et un déficit de renouvellement ; en d'autres termes, une sur-exploitation, mais aussi une sous-utilisation, des services apportés par la biodiversité.

Les écologues ont un rôle crucial à jouer, en identifiant et

quantifiant ces services, leurs modes de fonctionnement, les menaces qui pèsent sur eux. Combinée à des outils économiques appropriés (taxes, permis, appropriation de ces services...), cette connaissance pourrait aider à parvenir à une gestion tenant compte davantage des services écologiques [6], et plus généralement à améliorer la coexistence entre sociétés humaines et biodiversité.

La nécessité d'observatoires et d'indicateurs de biodiversité

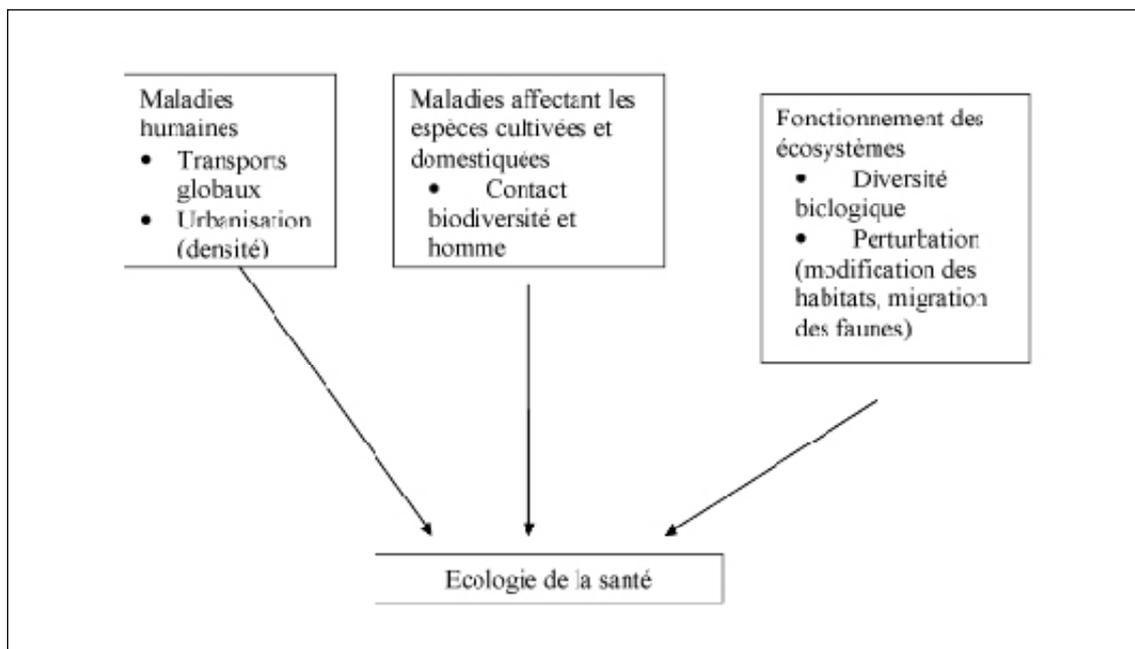


Figure 4

Une limite importante à la compréhension des enjeux liés à la biodiversité tient aux échelles spatio-temporelles auxquelles ils interviennent. Le manque de données sur la biodiversité dans l'espace et dans le temps est d'autant plus criant dans le contexte de changements globaux que nous connaissons actuellement, changements climatiques ou changements d'occupation des sols (intensification de l'agriculture, urbanisation et, plus généralement, augmentation de la population humaine).

A côté de systèmes expérimentaux pointus qui permettent de tester des hypothèses sur les mécanismes biologiques en jeu dans les épidémies, il est crucial d'avoir des systèmes de veille à large échelle spatiale

et sur le long terme, de description des variations de l'état de la biodiversité. Des exemples en France et à l'étranger montrent que c'est possible à moindre coût (par exemple, le suivi des oiseaux communs). Ces suivis peuvent concerner des paramètres complexes.

Il serait intéressant d'établir une veille sanitaire sur la faune sauvage qui nous entoure, capable de détecter les épizooties émergentes et d'analyser leur dynamique avant qu'elles ne créent des situations de panique.

Note

(*) UMR 5173 MNHN-CNRS-P6 « Conservation des espèces, restauration et suivi des populations ».

Bibliographie

- [1] Zhu *et al.*, Nature, 2000.
- [2] Rasmann *et al.*, 2005, Nature, 434, 732-734.
- [3] Ostfeld and LoGiudice, 2003, Ecology 84, 1421-1427.
- [4] Daily G. (ed.), 1997 *Nature's Services: Social dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington D.C., 393 p.
- [5] Hjermmann *et al.*, 2005, PNAS 102, 11679-11684.
- [6] Heal G. 2000. *Nature and the market place*. Island Press, Washington D.C., 2000.

