

Impacts des changements planétaires sur les insectes.

Conséquences sanitaires

Gérard Duvallet (gerard.duvallet@univ-montp3.fr),
professeur émérite, Université Paul-Valéry Montpellier 3
UMR 5175 - Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE)

Mots-clés : biodiversité ; insectes ; changements planétaires ;
vecteurs de pathogènes ; maladies émergentes.

Introduction

Depuis la Conférence de Rio de Janeiro en 1992 et la signature en particulier de la Convention sur la Biodiversité¹, le public et les responsables ont pris conscience que nous habitons un espace limité, la Terre, relativement modeste à l'échelle de l'Univers. Cela signifie qu'une dégradation subie en un point particulier aura des répercussions sur le globe entier, d'où l'apparition de ce vocable, les changements globaux, au sens d'impact potentiel à l'ensemble de la planète Terre, que je traduis en français par « changements planétaires ». Ces changements sont multiples. *Le changement climatique* est sans doute le plus médiatisé, avec des conséquences considérables sur le fonctionnement des écosystèmes. Mais il ne faut pas négliger les conséquences des *changements d'utilisation des terres*, des *pollutions* et des *invasions biologiques*. Quels que soient les indicateurs que l'on prenne en compte pour décrire l'évolution de l'écosystème global depuis le milieu du XVIII^e siècle (taux de CO₂, taux de N₂O, % des espèces de poissons pêchés totalement exploitées, nombre d'espèces disparues, consommation d'engrais dans le monde, nombre de barrages installés sur les rivières, etc.), on aboutit à une courbe à évolution exponentielle depuis le début de l'ère industrielle (Steffen *et al.*, 2004), similaire à celle de l'évolution de la population humaine mondiale. Il est indispensable que chacun prenne maintenant conscience de son empreinte écologique (Global Footprint Network, 2008).

Les biologistes évaluent depuis quelques années les impacts et les conséquences de ces changements sur le monde vivant (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Des modifications dans la distribution et / ou le comportement de nombreuses espèces sont observées. C'est le cas, en particulier, pour les insectes dont on sait qu'ils représentent au moins 57% de la biodiversité à l'échelle de la planète. Près d'un million d'espèces sont déjà décrites et les spécialistes estiment que près de 5 millions restent à découvrir et à décrire. Ils sont présents dans tous les milieux, à l'exception peut-être du milieu marin, et jouent un rôle considérable dans le fonctionnement des écosystèmes.

¹Définition de cette Convention : « Conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques ».

Les changements planétaires

Le changement climatique est devenu une réalité incontestable confirmée par de nombreuses observations. Selon les modèles climatologiques utilisés par les experts du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), le Nord de l'Europe aurait plutôt tendance à s'humidifier alors que le pourtour méditerranéen aurait tendance à s'assécher. Le réchauffement serait plus important dans le Sud-Ouest de la France (+1°C) que sur le reste du territoire. Cependant, la rapidité avec laquelle se produisent ces phénomènes et leur ampleur à l'échelle régionale et locale demeurent incertaines. Le changement climatique a des impacts directs sur le fonctionnement des écosystèmes en agissant d'une part sur la biodiversité, sur la composition des communautés d'espèces et, d'autre part, sur les divers aspects de l'activité humaine (migrations, voyages, alimentation, hygiène, économie, loisirs) et aussi sur la transmission des maladies, en agissant à la fois sur les hôtes, les agents pathogènes et les vecteurs. Le réchauffement climatique peut ainsi avoir des conséquences sur le risque d'introduction des maladies, des vecteurs et des hôtes intermédiaires (transports de personnes, d'animaux, de marchandises ou par le vent), sur le risque de pérennisation si les conditions nécessaires à l'installation et au maintien de cycles de transmission sont réunies, y compris pendant la saison froide (survie des vecteurs, par exemple), et enfin sur le risque d'extension de la zone géographique de répartition des vecteurs, des hôtes intermédiaires et donc des maladies, en fonction de l'évolution des **biotopes*** favorables aux vecteurs et / ou aux réservoirs et / ou aux hôtes intermédiaires. Les maladies vectorielles sont particulièrement sensibles à un réchauffement climatique, en raison de la sensibilité des arthropodes à la température de leur milieu de vie (survie hivernale, nombre de cycles de reproduction) (Rodhain *et al.*, 2005).

Sous l'expression *changements d'utilisation des terres*, nous entendons l'**anthropisation*** et cela concerne principalement les conséquences de la **déprise agricole*** sur les modifications du paysage. C'est particulièrement important en région méditerranéenne, où il y a de nombreuses contraintes : sécheresse en été, maintien d'un paysage ouvert et d'une biodiversité spécifique grâce au pastoralisme... En raison de cette déprise agricole, nous observons dans ces régions une reforestation naturelle importante.

Un autre aspect est l'impact de la périurbanisation sur la biodiversité. Le mitage des zones agricoles ou des zones naturelles par les immeubles d'habitation, autour des villes et des villages, a des conséquences sur les paysages, sur la biodiversité en général et sur le contact homme - insectes vecteurs potentiels.

Les *pollutions* de l'air, de l'eau et des sols ont des conséquences directes sur la biodiversité et sur la santé des hommes et de ses animaux domestiques. Nous avons observé, par exemple, que l'augmentation de la charge en matière organique des ruisseaux ou des rivières pouvait entraîner des pullulations d'insectes nuisants ou vecteurs à stades immatures aquatiques (cas des **simulies***).

Les *invasions biologiques*, le plus souvent liées à l'action de l'homme, en particulier ses déplacements intercontinentaux, et facilitées par le changement climatique, sont réputées également pour avoir des conséquences dramatiques sur la biodiversité et sur la santé. Nous le verrons ci-après avec des exemples liés aux insectes.

Changements planétaires et biodiversité

- Extinctions totales / extinctions locales

Le taux actuel observé d'extinction d'espèces est des centaines, voire des milliers, de fois supérieur au taux naturel d'extinction sans intervention de l'Homme. On parle d'une sixième crise d'extinction (Leakey et Lewin, 1996). Le rapport du Millenium Ecosystem Assessment (2005)

donne des chiffres pour les vertébrés essentiellement. Pour les insectes, seulement 70 extinctions ont été bien documentées depuis le XV^e siècle, mais cela est dû au fait que les insectes sont insuffisamment étudiés. En prenant comme référence les chiffres donnés par Dunn (2002) pour les oiseaux, on peut estimer que 44 000 espèces d'insectes ont déjà disparu au cours des 600 dernières années. Les scientifiques et les médias cherchent actuellement à identifier les causes de l'extinction massive des abeilles et des insectes pollinisateurs en général. Des travaux récents indiquent que le réchauffement climatique entraînerait l'extinction possible de 15 à 37% des espèces de la planète d'ici 2050.

On observe aussi, à cause de ces changements planétaires, une redistribution de la biodiversité par extinctions locales et migration des espèces. On considère que 40% des espèces ont progressé vers les pôles de 6,1 km par décennie en moyenne au cours du XX^e siècle (Parmesan et Yohe, 2003).

- Modification des aires de distribution

Suite aux évolutions indiquées ci-dessus, on observe une modification des aires de distribution des insectes dans nos régions.

Cas de l'expansion vers le Nord de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*)

Les travaux de l'équipe d'A. Roques à l'INRA d'Orléans (Robinet *et al.*, 2007) ont montré que la limite nord de distribution de cette espèce au niveau du Bassin Parisien correspondait à une zone non favorable à son alimentation au cours de la période 1992-1996. Ces conditions devinrent plus favorables au cours de la période 2001-2004 et la processionnaire du pin a pu aller au-delà de cette limite (fig. 10.1). Désormais, la distribution de cette espèce au Nord n'est plus limitée que par ses capacités de dispersion et par la présence des pins.

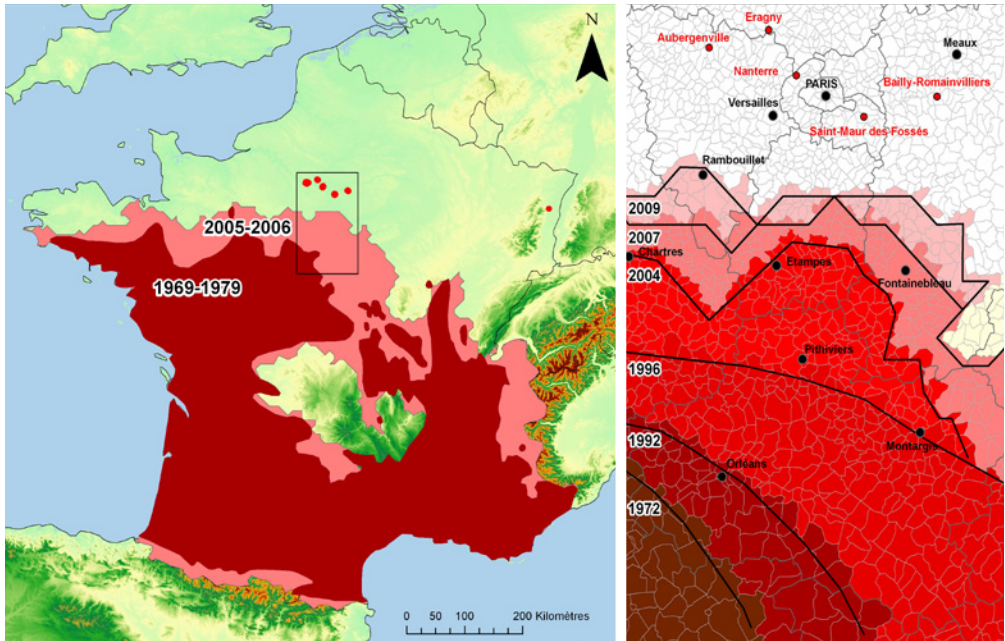


Fig. 10.1: Evolution de la distribution de la processionnaire du pin en France au cours de la période 1969-2009. Source : http://www.orelans.inra.fr/les_unites/ur_zoologie_forestiere/processionnaire_du_pin

Cas de la migration vers le Nord des papillons en Angleterre

Les remarquables cartes interactives du National Biodiversity Network au Royaume-Uni (<http://www.nbn.org.uk>) permettent de visualiser l'évolution de la distribution de nombreuses

espèces animales. Les cartes ci-dessous (fig. 10.2 et fig. 10.3) montrent l'évolution de la distribution de deux espèces de papillons de jour (Rhopalocères) entre les périodes avant 1994 et après. L'expansion vers le Nord est là encore flagrante.

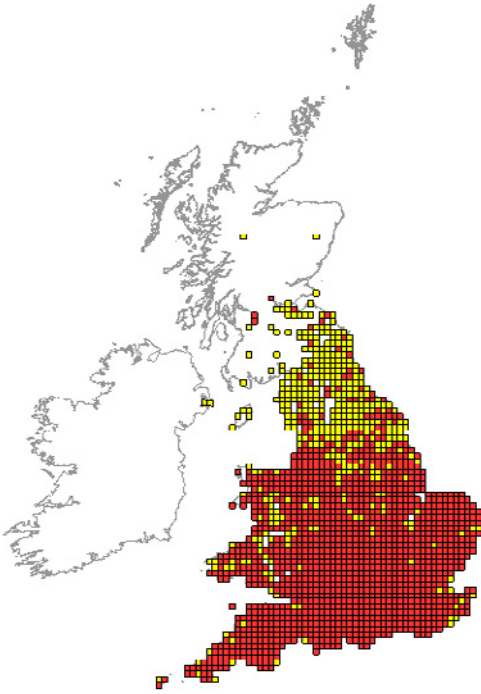


Fig. 10.2 : Evolution de la distribution du papillon *Polygonia c-album* (le «Robert le diable») au Royaume-Uni. En rouge, distribution connue en 1994 ; en jaune, évolution sur la période 1995-1999. Source : <http://data.nbn.org.uk/gridMap/gridMap.jsp?allIDs=1&srchSpKey=NHMSYS0000503893>

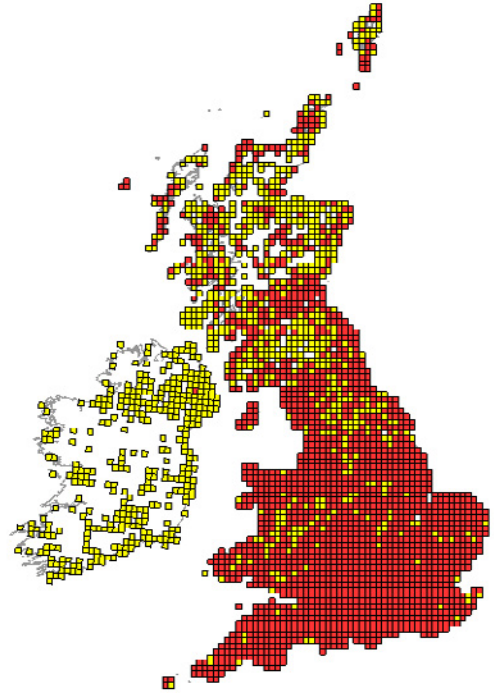


Fig. 10.3 : Evolution de la distribution du papillon *Vanessa cardui* (la «Belle Dame») au Royaume-Uni. En rouge, distribution connue en 1994 ; en jaune, évolution sur la période 1995-1999. Source : <http://www.searchmnb.net/gridMap/gridMap.jsp?allIDs=1&srchSpKey=NBNSYS0100005950>

- Introductions d'espèces

De tout temps des espèces ont été introduites volontairement ou non en Europe, et certaines sont devenues invasives. Ce phénomène s'est accentué avec la multiplication et la rapidité des déplacements intercontinentaux des hommes. La définition suivante est souvent retenue :

« Sont considérées comme invasives (ou envahissantes) dans un territoire, les espèces qui, par leur prolifération dans des milieux naturels ou semi-naturels, y produisent des changements significatifs de composition, de structure et / ou de fonctionnement des écosystèmes. Ces espèces peuvent soit devenir nuisibles pour l'agriculture (lorsqu'il s'agit de plantes elles sont souvent qualifiées dans ce cas de « pestes végétales »), soit modifier le milieu d'une façon défavorable pour les activités humaines, soit réduire considérablement la biodiversité en réduisant l'abondance numérique des espèces autochtones, ou même en les éliminant totalement. ».

Un exemple bien connu est celui du doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* (fig. 10.4), coléoptère originaire d'Amérique du Nord où sa plante nourricière est *Solanum rostratum*. Il s'est adapté en Amérique d'abord puis en Europe sur la pomme de terre, *Solanum tuberosum*, importée des régions andines. Après plusieurs tentatives d'invasion dès 1877, c'est en 1922 qu'une

population s'est installée au Nord de Bordeaux et l'Europe entière était envahie en 1960. Les dégâts furent considérables en termes économiques.



Fig. 10.4 : Le doryphore, *Leptinotarsa decemlineata*, adulte ci-dessus, larve ci-dessous, sur feuilles de pommes de terre.

Adulte : Photo Marc Debreuil.

Larve : source : <http://www.entomart.be/INS-0996.html>



Un autre exemple historique est celui du phylloxéra de la vigne, homoptère originaire également des Etats-Unis, et qui a mis en péril le vignoble européen à partir de 1863. Il a fallu plus de trente ans pour surmonter cette crise, en utilisant des porte-greffes issus de plants américains naturellement résistants au phylloxéra.

Plus récemment, les espèces d'insectes invasives sont nombreuses ; on peut citer à titre d'exemples :

- le papillon des palmiers, *Paysandisia archon* (fig. 10.5, page suivante), originaire d'Argentine et qui a détruit de nombreux palmiers en région méditerranéenne depuis le début des années 2000 ;
- le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (fig. 10.6, page suivante), originaire du Sud-Est asiatique, qui est un des ravageurs principaux du dattier. Il est arrivé dans le Sud de la France en 2006 et a poursuivi les dégâts débutés par *P. archon* sur plusieurs espèces de palmiers ;

- le frelon asiatique, *Vespa velutina* (fig. 10.7), découvert pour la première fois en France dans le Lot-et-Garonne en 2005, qui est originaire d'Asie du Sud-Est. Il s'est répandu assez rapidement dans tout le Sud de notre pays, suivi particulièrement par les apiculteurs en raison des dégâts provoqués aux ruches car il s'agit d'un prédateur important d'abeilles (Villemant *et al.*, 2006).

Les avions qui arrivent en France des régions tropicales, après seulement quelques heures de vol, apportent chaque jour des milliers de moustiques de diverses origines. Des anophèles infectés par



Fig. 10.5 : Le papillon des palmiers, *Paysandisia archon*.
Photo J. Taieb

des protozoaires du genre *Plasmodium*, agents du paludisme, sont à l'origine de ces cas de paludisme aéroportuaire chez des personnes n'ayant pas voyagé (Lusina *et al.*, 2000).

Cas particulier des maladies à transmission vectorielles

Des liens fondamentaux existent entre biodiversité et santé. Il suffit par exemple de penser à tous ces «services écologiques» que sont les produits alimentaires, les 20000 espèces connues de plantes médicinales, la purification de l'air et de l'eau, la production d'oxygène, la pollinisation, l'équilibre psychique des personnes, etc. De nombreuses zoonoses, maladies transmissibles entre l'homme et les autres vertébrés, anciennes ou émergentes, se développent. Nous n'envisagerons ici que des maladies à transmission vectorielle.

La *transmission vectorielle* est la transmission d'un agent patho-



Fig. 10.6 : Le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*. Photothèque INRA, photo D. Rochat.

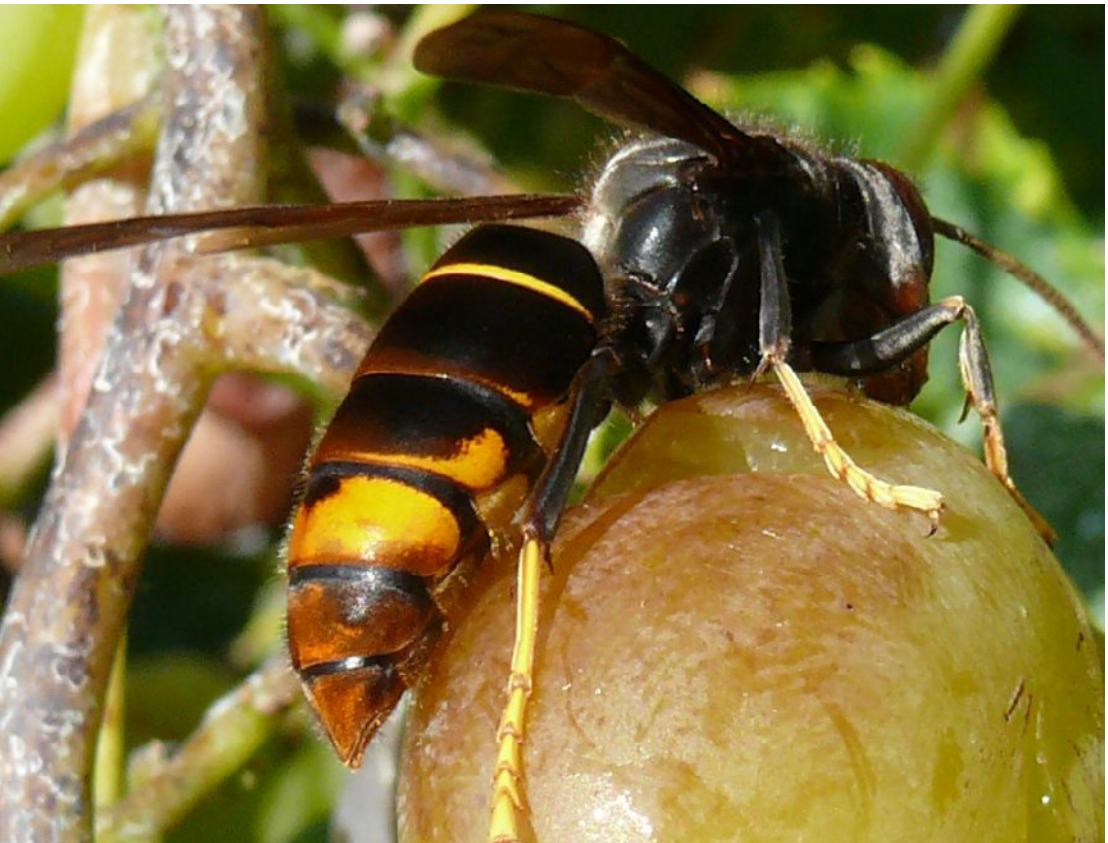


Fig. 10.7: Le frelon asiatique, *Vespa velutina*. Photo D. Pelletier, OPIE-MP.

gène (virus, bactérie, protozoaire ou helminthe) d'un individu infecté à un individu sain par la piqûre d'un arthropode hématophage (insectes ou tiques) lors d'un repas de sang. Il ne faut pas oublier non plus le cas d'insectes non hématophages mais très étroitement liés aux hommes ou aux animaux (mouches **synanthropiques***, blattes, etc.) et qui peuvent être transporteurs passifs de pathogènes. La transmission vectorielle peut être biologique lorsque le pathogène subit un cycle à l'intérieur du vecteur. Dans ce cas, le vecteur devient infectant à l'issue de ce cycle et pourra transmettre le pathogène lors de chacun de ses repas de sang suivants. C'est un mode de transmission très efficace. Cette transmission vectorielle est dite mécanique lorsque le vecteur n'est simplement qu'une seringue volante. Si après avoir piqué un homme ou un animal infecté, il va piquer dans les secondes qui suivent (cas fréquents des repas interrompus) un individu sain, ses pièces buccales souillées (ou la régurgitation du repas précédent) peuvent alors transmettre le ou les pathogènes. Cette transmission n'intervient donc qu'une seule fois et nécessite un contact très étroit entre hôtes et vecteurs (cas des troupes autour des points d'eau en fin de saison sèche en régions tropicales, par exemple) (Rodhain et Perez, 1985).

Les maladies à transmission vectorielle mettent en jeu un système très complexe d'interactions multiples. Il faut tenir compte des interactions entre pathogènes et hôtes, entre hôtes et vecteurs, entre vecteurs et pathogènes. Ces interactions se placent dans un écosystème, lui-même résultante d'un plus grand nombre d'interactions entre **biotope*** et **biocénose***, et sujet aux modifications liées aux changements planétaires. L'écologie étant, par définition, la science des interactions, l'étude des maladies à transmission vectorielle ne peut se faire que dans un cadre écologique, et pas seulement médical.

Les conséquences des changements planétaires sur les maladies à transmission vectorielle peuvent être envisagées sous différents aspects :

- l'augmentation des aires de distribution des vecteurs ;
- l'augmentation de la densité des populations de vecteurs ;
- l'augmentation de la longévité des vecteurs ;
- la diminution de la durée d'incubation des pathogènes chez les vecteurs.

Tous ces aspects aboutissent à une facilitation de la transmission des pathogènes.

Nous ne prendrons ici que quelques exemples d'actualité :

Cas d'*Aedes albopictus* (Delatte *et al.*, 2008) (fig. 10.8)

Ce moustique originaire du Sud-Est asiatique est une espèce invasive, et l'extension de son aire de distribution est liée au commerce international des pneumatiques ou des fleurs (grâce à la résistance des œufs de cette espèce à la dessiccation). Cette espèce est vectrice des virus de la dengue et de la fièvre à chikungunya (épidémie à La Réunion en 2005-2006). On a suivi son développement en Italie (transmission de la fièvre à chikungunya autour de Ravenne en septembre 2007) et, après quelques incursions occasionnelles dans l'Ouest de la France en 1999-2004, cette espèce s'est installée sur la Côte d'Azur en 2005. En 2010, des cas de transmission autochtone des virus de la dengue et de la fièvre à chikungunya ont été observés dans le Sud-Est de la France. Une équipe pluridisciplinaire suit précisément son développement. Fin octobre 2007, sa présence avait été détectée en Suisse, confirmant ainsi son extension à de nouveaux territoires.



Fig. 10.8 : *Aedes albopictus* femelle prenant un repas de sang.

Photo J.-B. Ferré, EID-Med.

Cas des phlébotomes (vecteurs de leishmaniose) (Rioux *et al.*, 2003)

Deux foyers historiques de transmission de la leishmaniose canine et humaine (forme viscérale) étaient connus dans le Sud de la France, en Cévennes et en Provence. Actuellement, on considère qu'il y a un grand foyer de transmission dans un triangle reliant Andorre à Lyon et à Nice. L'aire de distribution des phlébotomes vecteurs s'étend vers le Nord et les conditions climatiques adoucies peuvent faciliter l'apparition de nouveaux foyers. En transportant des chiens parasités, l'Homme met en contact des vecteurs potentiels et des parasites jusqu'à Aix-la-Chapelle en Allemagne, où un cas de transmission locale a été observé chez un bébé (Bogdan *et al.*, 2001). Nous avons également observé que la périurbanisation galopante, en zone agricole, autour des villages du Sud de la France favorisait le développement de gîtes à phlébotomes et donc de foyers potentiels de transmission au chien et à l'Homme.

Moustiques et fièvre à West Nile (Zeller *et al.*, 2001 ; Balenghien *et al.*, 2007)

Ce virus apparu en Afrique de l'Est est transmis entre oiseaux par des moustiques ornithophiles et transporté vers les régions tempérées par les oiseaux migrateurs. Des épidémies sont apparues en France en 1965-67, puis en 1999-2000, et en 2004. Apparu pour la première fois à New York en 1999, ce virus a désormais envahi l'ensemble du continent nord-américain, malgré l'ampleur du système de surveillance mis en place. Un manque de connaissances précises sur le fonctionnement des écosystèmes dans les foyers de transmission ne permet pas de comprendre complètement l'épidémiologie de cette arbovirose.

Fièvre catarrhale du mouton (Blue tongue) (Gerbier *et al.*, 2006)

Cette maladie des petits ruminants est due à un arbovirus et est transmise par un diptère Ceratopogonidae (*Culicoides imicola*). Le développement vers le Nord des populations de ce vecteur a été suivi, ainsi que l'apparition de foyers de maladie en Italie, en Corse, en Espagne. Plus récemment, cette maladie est apparue brusquement dans le Nord de l'Europe près de la frontière entre les Pays-Bas, l'Allemagne et la Belgique. Le virus de cette nouvelle épidémie correspond à un sérotype (n° 8) qui n'était connu jusque là qu'en Afrique australe et orientale. De nouvelles espèces de *Culicoides* sont impliquées dans la transmission du virus. La maladie, dont les effets pathogènes se sont développés aussi chez les bovins, s'est répandue rapidement à tout le Nord de l'Europe, à la moitié nord de la France, puis à l'ensemble du pays, avec un impact économique très important sur la filière élevage.

On voit par ces quelques exemples à la fois le rôle important des régions méditerranéennes du continent européen, aux avant-postes de l'extension vers le Nord des espèces des régions tropicales, mais aussi le rôle crucial des actions de l'Homme dans la circulation des vecteurs et des pathogènes. On insiste aussi sur l'impérieuse nécessité de replacer les études épidémiologiques, trop souvent purement médicales ou entomologiques, dans un cadre écologique.

Conclusion : Enjeux pour la société, défis pour les scientifiques

Les problèmes sanitaires ou économiques, liés aux changements planétaires, ne vont pas s'atténuer de sitôt, ne serait-ce qu'en raison de l'inertie des systèmes. Les hommes, à travers tous les continents, en prennent de plus en plus conscience, sans toujours prendre la mesure des changements de comportements ou de pratiques à mettre en place. La demande de la société envers les scientifiques pour trouver des explications et des solutions à tous ces problèmes ne fera que s'amplifier dans les années à venir (Duvallat, 2010).

Dans de nombreux domaines, des solutions existent déjà, et leur mise en œuvre est du ressort des sciences de l'ingénieur : systèmes moins polluants, systèmes de dépollution, adaptation

des prélèvements dans la nature aux capacités de renouvellement des ressources du milieu, etc. Mais la recherche scientifique est indispensable pour mieux connaître les processus en jeu, y compris les processus écologiques, si l'on veut apporter les solutions les plus efficaces et les plus durables. Et cette recherche scientifique est nécessairement pluridisciplinaire. Les systèmes pathogènes que nous avons évoqués dépendent du fonctionnement des écosystèmes qui les englobent. Les problèmes évoqués sont au carrefour des systèmes pathogènes, des systèmes agro-écologiques et des systèmes économiques, sanitaires et sociaux.

On pourrait, en simplifiant, faire la liste des facteurs facilitant l'émergence de problèmes sanitaires (Duvallet, 2010) :

- les facteurs anthropiques (démographie, aménagements, urbanisation) entraînent la modification des écosystèmes, la création de biotopes favorables, le changement de répartition des populations ;

- la modification des pratiques (déplacement, échanges) supprime les barrières naturelles, et facilite la pénétration dans de nouveaux espaces ;

- les facteurs climatiques (réchauffement global et/ou local, phénomènes extrêmes) peuvent entraîner une extension de l'aire géographique des vecteurs, une modification de la dynamique des populations, et une évolution des compétences vectorielles ;

- les facteurs socio-économiques (dégradation des systèmes sanitaires, affaiblissement des systèmes de surveillance) entraînent la réapparition de maladies anciennes ; ces facteurs interviennent en effet sur le délai d'alerte, la réactivité des services concernés et la réponse apportée.

Certes la recherche scientifique est nécessaire et indispensable pour l'acquisition de nouvelles connaissances, pour mieux identifier et préciser les problématiques et pour proposer de nouvelles stratégies. Mais, il est aussi indispensable que, parallèlement, on utilise les méthodes déjà connues de manière en particulier à soulager les populations concernées par ces changements.

Les disciplines biologiques concernées sont: la systématique, l'écologie, la génétique des populations, la génomique et la post-génomique, l'épidémiologie, etc. ; mais aussi des disciplines des sciences humaines et sociales: sociologie, géographie de la santé, climatologie, etc. Le défi pour les scientifiques est alors clairement la pluridisciplinarité et donc d'accepter (enfin) de travailler dans des équipes pluridisciplinaires ou en réseau. Les réponses aux questions posées ne seront pas apportées par une discipline, mais par toutes les disciplines ensemble ■

Remerciements

J'exprime mes vifs remerciements aux collègues qui m'ont communiqué des documents [Bruno Michel (Cirad), Isabelle Chuine (Cefe-Cnrs) et Stéphane de la Roque (Cirad-FAO)] ou des photographies (les auteurs sont indiqués sous chaque photo).