

Ensuite, aucun *serial killer* n'est plus efficace: 700 000 morts par an.

Enfin, sa nuisance ne vient pas de lui, mais des hôtes très pernicieux qu'il peut transporter. C'est donc bien un trio qui est à l'œuvre: un parasite, une femelle moustique qui l'accueille et l'être humain qu'elle contamine en le piquant pour pomper son sang. Notons que cette dame n'agit pas ainsi par méchanceté, mais parce que le sang recueilli contient des protéines nécessaires au bon développement de ses œufs. En piquant un humain infecté, elle aspire en même temps le parasite, qui gagne son estomac, avant, pour notre plus grand malheur, de gagner ses glandes salivaires: c'est par cette salive qu'il sera transmis lorsqu'elle piquera un nouvel humain.

La Nature étant, comme l'on sait, sophistiquée, toutes les espèces de moustiques ne sont pas compétentes pour accueillir tous les virus ou parasites. Par exemple, seuls les Anophèles transportent *Psalmodium falciparum*, le responsable du paludisme. Et ce sont les *Aedes* (dont *Aedes albopictus*, le fameux « tigre », Fig. 1) qui portent les virus de la dengue, du Zika et du chikungunya.

Depuis quelques décennies, un double mouvement se dessine. Le premier est une invasion, l'invasion par nous, les humains, des habitats animaux. Pour accroître la superficie de nos villes et de nos champs, nous défrichons, nous avançons dans les profondeurs des forêts, domaine jusque-là réservé aux bêtes, petites ou grandes. Il en résulte des épidémies parfois très graves, comme celles du sida ou de la maladie à virus Ebola. Car les virus, jadis isolés, sortent de ces zones forestières peu habitées et se propagent sans frontières.

L'autre mouvement est celui de l'adaptation. Les moustiques voient en nous de merveilleux repas de sang. Dans ces conditions, pourquoi s'obstiner à piquer la nuit des êtres trop souvent protégés par des moustiquaires, alors qu'en plein jour ces mêmes réservoirs de sang se retrouvent sans défense? Et pourquoi demeurer dans la jungle, alors que les repas de sang s'accumulent dans les villes? C'est ainsi que les espèces nocturnes deviennent diurnes, les forestières, urbaines.

*Comment lutter?*

D'abord, ainsi que vous le suggère le bon sens, empêcher les moustiques de se multiplier en supprimant les « gîtes larvaires », ces eaux stagnantes où ils naissent et passent la première partie de leur vie. Ensuite, éviter de se faire piquer. La prévention, comme chacun sait, est la meilleure des médecines. Un programme massif de moustiquaires imprégnées d'insecticide a permis de réduire de moitié le nombre de morts du paludisme.

Des médicaments existent pour contrer les malaises du parasite une fois qu'il nous a infectés. Ainsi, la « poudre des Jésuites », la future quinine, et l'artémisinine, extraite d'une plante bien connue de la vieille pharmacopée chinoise. Malgré la combinaison de plusieurs molécules, les phénomènes de résistance se multiplient, notamment dans l'Est du Cambodge, une zone où, par chance, la prévalence, c'est-à-dire le nom-



Fig. 1 Moustique tigre – Crédit photo: PHANIE.

bre de personnes atteintes sur une période donnée, reste peu élevée. De telles résistances en Afrique, plus peuplée et plus touchée, auraient des conséquences dramatiques.

Ces limites de l'efficacité des médicaments et les difficultés extrêmes rencontrées pour fabriquer des vaccins ont ouvert la voie à d'autres méthodes plus radicales. Par exemple, le lâcher de mâles préalablement rendus stériles dans une zone de moustiques sauvages. Ou l'utilisation de ciseaux moléculaires, le fameux CRISPR-Cas 9, capables de supprimer des gènes indésirables, mais aussi d'en insérer de nouveaux, comme celui d'une résistance au paludisme.

Plus fou encore, le forçage génétique, en anglais *gene drive*, permet à une modification génétique réalisée grâce aux ciseaux moléculaires CRIPR-Cas 9 d'être transmise de façon quasi certaine de génération en génération. C'est ainsi que l'on pourrait génétiquement programmer l'extinction complète et définitive des moustiques. Certains, rappelant le nombre de décès causés par ces jolis insectes, y sont déterminés. D'autres sont beaucoup plus prudents, rappelant leur rôle essentiel dans la chaîne alimentaire et dans la pollinisation. Ils se demandent aussi quels « hôtes » les parasites choisiraient si leurs transporteurs habituels disparaissaient. Quant aux manipulations génétiques, leur sécurité n'est pas encore garantie.

Non scientifique, mais économiste, je voulais continuer mon travail sur la mondialisation en abordant la santé. Grâce au docteur de Saint-Aubin, et bien sûr à des dizaines d'experts, à commencer par mon enseignante en cheffe Anna-Bella Failoux, j'ai pu écrire cette « géopolitique des moustiques ». Qui confirme, s'il en était besoin, l'unité fondamentale de notre planète. *One health*. La vie ne connaît pas de frontières, ni géographiques, ni entre les règnes.

*Déclaration de liens d'intérêts* L'auteur déclare qu'il n'a pas de liens d'intérêts.

<https://doi.org/10.1016/j.crv.2019.09.006>

## Session II. Diversity, diversification, extinction

6

### The origin of diversity in insects: Speciation, adaptation and the Earth dynamics

Philippe Grandcolas

*Institut de systématique, évolution, biodiversité (ISYEB),*

*Muséum national d'histoire naturelle, CNRS, Sorbonne*

*Université, Paris, France*

*E-mail address: pg@mnhn.fr*



The diversity of insects is often explained as a product of major radiations, triggered by remarkable adaptations that allowed them to exploit different environments and to accompany the rise of flowering plants. A significant part of insect diversity results however from allopatric speciation with niche conservatism that exposed species to different conditions and stimulated adaptive divergence. We demonstrated that for several groups of insects (cockroaches, crickets and grasshoppers) in the island of New Caledonia.

Since Darwin and Wallace, islands are considered as laboratories of evolution, being closed systems of manageable size. New Caledonia is especially interesting in this respect, according to unique characteristics. Being the oldest oceanic island in the world and quite isolated from continents, biological evolution occurred there in situ during long periods. As a tropical and medium-sized island harboring a very rich biodiversity, it also offered facilities to study many different evolutionary questions. New Caledonia (hereafter NC) has thus the best characteristics as a model system, allowing testing very diverse evolutionary assumptions with limited efforts

and infrastructures. Unfortunately, these amazing geographical characteristics have also constrained the scientific study of NC until now, especially because of its isolation from large academic centers.

Establishing NC as a modern oceanic model system resulted however from our work, later than the 1990s. Before, NC had the reputation of an amazingly old Gondwanan place and was intuitively considered as a continental fragment. If so, its usefulness as a model system to study evolution would have been limited since the biota of continental islands (e.g., Madagascar or New Zealand) are a complicated mix of organisms dating back to the separation with neighboring continental territories or having colonized the island by dispersal. In most of these cases, it happened difficult to distinguish between both these different components and to examine evolutionary assumptions that require a reference dating point. The reasons why NC was traditionally considered a continental territory were the age of its deep geological basement and the local occurrence of relict species. In agreement with this common assumption, the NC geological deep basement is ancient and predates Gondwanan breakup. But this basement has been submitted to important environmental disturbances because of the island location at the limit between two tectonic plates. Actually, the island has been submerged twice for a long time at Paleocene and Eocene epochs and only emerged around  $37 \pm 3$  Ma.

This geological background was in need of independent testing with biological studies. We thus built multiple molecular phylogenetic trees of different groups of organisms, dated with probabilistic methods and external calibration points. A first review [1] and a more recent meta-analysis [2] of these studies showed that most groups colonized NC and diversified just after 37 My, confirming the geological scenario of recent terrestrial emergence. However, a few local species belong to groups that were dated much older than 37 My, representing true relicts, i.e. recent species that remained from old clades [3]. These old clades can only be assumed to have been ancestrally present in the region, colonizing NC after its emergence and going extinct in other territories, either drowned islands or mutated continental ecosystems.

These different results strongly indicated that NC is an oceanic island, even if very old—actually the oldest one in the world—and that its local biota dated back to island emergence. Relicts are fascinating species, unfortunately too sparsely known after the major extinction of their relatives to support any robust biogeographic scenario. Fossil data are absolutely needed to assess the evolutionary history of these taxa without speculation.

Setting up this biogeographic scenery has allowed one to properly conduct speciation studies by inferring the age and the ancestral phenotypic characters of local lineages. We did that in several groups of insects, cockroaches, crickets, and grasshoppers, and we showed that speciation occurred mainly in relation to orography, in allopatry and with niche conservatism. Closely related species occurred as narrow endemics in the same habitats of neighboring areas, mainly on adjacent small mountains. Sympatry, when observed, was inferred to be secondarily caused by the increase of distribution area of older species. Even if most speciation events seemed to have occurred without any important evolutionary change, some adaptive shifts have been detected in several cases, from different food plants on metalliferous soils to different habitats in the forest understory. The major conclusion that can be drawn from high speciation rate and narrow endemism in New Caledonia is that speciation went before, not always together with adaptive divergence. Here we offer both a new and powerful natural laboratory of evolution, calibrated in space and time, and a model of speciation where niche conservatism is the engine for adaptive divergence.

**Disclosure of interest** The author declares that he has no competing interest.

#### References

- [1] P. Grandcolas, J. Murienne, T. Robillard, L. Desutter-Grandcolas, H. Jourdan, E. Guilbert, et al., New Caledonia:

a very old Darwinian island? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 363 (2008) 3309–3317.

- [2] R. Nattier, R. Pellens, T. Robillard, H. Jourdan, F. Legendre, M. Caesar, et al., Updating the Phylogenetic Dating of New Caledonian Biodiversity with a Meta-analysis of the Available Evidence, *Sci. Rep.* 7 (2017) 3705.  
 [3] P. Grandcolas, R. Nattier, S.A. Treweek, Relict species: a relict concept? *Trends Ecol. Evol.* 29 (2014) 655–663.

<https://doi.org/10.1016/j.crvi.2019.09.007>

7

## A glance at the deep past history of insects

André Nel

Institut de systématique, évolution, biodiversité, ISYEB, UMR 7205, CNRS, MNHN, UPMC, EPHE, Muséum national d'histoire naturelle, Université des Antilles, Sorbonne Université, CP 50, Entomologie, 57, rue Cuvier, 75005 Paris, France  
 E-mail address: [andre.nel@mnhn.fr](mailto:andre.nel@mnhn.fr), [anel@mnhn.fr](mailto:anel@mnhn.fr)



With more than 1,100,000 described species, the insects are the most diverse clade of extant animals, far before all other groups. Nevertheless, they undergo a drastic decrease of their populations, due to the sixth extinction of human origin. Thus it is important to define when and how they became so diverse and if they were impacted by the major crises of biodiversity in the deep past to estimate the importance of the current one. Insects are generally among the best preserved terrestrial fossil organisms, much more complete than the vertebrates. They are also much more frequent. Thousands can be found in Konservat-Lagerstätten since the Carboniferous. They are preserved either in lacustrine sediments as compression fossils, or embedded in amber (fossil resins) (Fig. 1).

The Hexapoda (or six-legged arthropods, viz., wingless Collembola, Diplura, Protura ; wingless and winged Insecta) are among the oldest known terrestrial organisms, with first records dated from the Middle Devonian of Rhynie in Scotland. Recent molecular phylogenetic dating suggests that they appeared during the Silurian or even the Ordovician, with the first terrestrial plants. The Devonian hexapodan record is very scarce and disappointing, with less than six described fossils, all wingless [1].

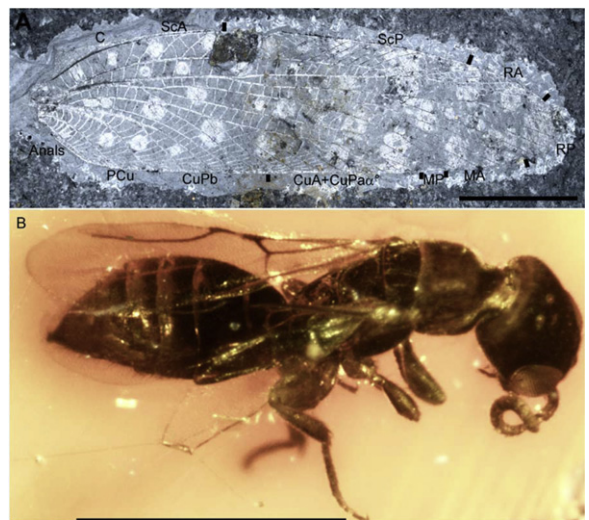


Fig. 1 A. Compression fossil, Orthoptera, Middle Permian (China). B. Amber inclusion, Hymenoptera Bethyilidae, earliest Eocene (France). Scale bars: 10 mm (A), 1 mm (B).

A. Fossile en compression, Orthoptera, Permien moyen (Chine). B. Fossile dans de l'ambre, Hymenoptera Bethyilidae, Éocène basal (France). Échelles: 10 mm (A), 1 mm (B).