

Introduction à la leçon inaugurale

Après une année consacrée à la microbiologie et animée par notre collègue le professeur Daniel Portetelle que nous remercions, l'année académique 2008-2009 sera placée sous le signe de la biodiversité animale, plus particulièrement celle des insectes.

Le thème de l'année 2008-2009 intitulé « Biodiversité et Sociétés » envisagera des problématiques qui nous interpellent toutes et tous : Comment l'Homme interagit-il avec la biodiversité animale ? Comment la valoriser ? Comment la protéger ? Comment mieux la comprendre ? Agronomie et biodiversité sont-elles compatibles ?

Cette thématique sera animée par notre collègue, le professeur **Eric Haubruge** qui, dans quelques instants, nous présentera la leçon inaugurale qu'il a intitulée : « Dieu a-t-il une passion démesurée pour les insectes ? ».

L'unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive développe des recherches très diversifiées dans le domaine de l'entomologie, c'est-à-dire l'étude des insectes. Les chercheurs et techniciens qui y travaillent, soit 26 personnes, s'efforcent de comprendre les interactions « pucerons-plantes », étudient la lutte biologique pour la protection des cultures et des récoltes, l'entomologie criminelle et la diversité des insectes fossoyeurs, les insectes vecteurs de maladies émergentes (la fièvre catarrhale ovine transmise par le culicoïde, un moustique par exemple), l'apiculture, notamment les causes de dépérissement des abeilles, la valorisation des papillons endémiques de Madagascar pour la production de soie sauvage, la taxonomie et la biogéographie des insectes, des Hyménoptères, Apoïdes en particulier ainsi que la lombriculture, c'est-à-dire l'élevage des vers de terre pour la production de protéines animales et de composts.

L'unité a également en charge le maintien et le développement d'un patrimoine exceptionnel en Communauté française, à savoir le conservatoire entomologique de Gembloux. Ce conservatoire compte près d'un million et demi d'insectes issus, pour la plupart, de collections privées provenant d'une quinzaine d'entomologistes wallons. L'unité d'Entomologie bénéficie de l'aide précieuse d'une trentaine de collaborateurs passionnés d'entomologie, reconnus mondialement, et qui veillent précieusement sur ce patrimoine et l'enrichissent sans cesse. Tous contribuent d'ailleurs au succès de la revue « Notes fauniques de Gembloux » éditée par les Presses Agronomiques de Gembloux.

Le professeur Eric Haubruge est passionné d'insectes depuis l'âge de 8 ans. Il a côtoyé très tôt la Faculté puisqu'il fréquentait régulièrement les entomologistes du service de Zoologie générale et appliquée déjà à l'âge de 14 ans pour parfaire ses connaissances amateurs dans le domaine des papillons.

Ingénieur agronome, option défense des végétaux, il entre à la Faculté comme assistant du professeur Charles Gaspar. Il réalise sa thèse de doctorat en partenariat avec le Centre de Recherche de l'INRA à Antibes. Ses recherches doctorales portèrent sur la résistance des insectes aux insecticides.

Après un séjour à l'Université de Reading en Angleterre, il oriente ses recherches dans le domaine de la biochimie et de la physiologie des insectes. Auteur de très nombreuses publications scientifiques et directeur de multiples projets de recherche en Belgique et à l'étranger, il est actuellement responsable de l'unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive depuis 2003. Titulaire des enseignements de Zoologie et d'Entomologie à la Faculté, Eric Haubruge est maintenant professeur ordinaire et président du Département « Sciences agronomiques ». Signalons, pour terminer sa présentation, qu'il est l'organisateur du Festival de l'insecte qui se déroule ici même tous les 5 ans et où l'on peut notamment déguster des mets à base d'insectes. Un avant goût vous sera d'ailleurs offert tout à l'heure lors de la réception mais, pour l'instant, je lui cède immédiatement la parole pour qu'il nous présente sa leçon inaugurale.

Année académique 2008-2009 Leçon inaugurale

Dieu a-t-il une passion démesurée pour les insectes ?



Professeur
E. Haubruge²

Mesdames,
Messieurs,
Chères et chers Collègues,
Chères étudiantes,
Chers étudiants,

Le créationnisme est parmi nous

Les créationnistes s'opposent radicalement à la théorie de l'évolution popularisée par Charles Darwin en 1858-1859 qui explique notamment la diversité des organismes vivants sur notre planète.

Selon la doctrine de la création, l'Univers, la Terre et tous les organismes vivants ont été créés par une puissance surnaturelle à partir du néant.

Une enquête internationale récente dans la prestigieuse revue scientifique *Science* montre que les continents américain et européen sont touchés par une vague de conservatisme religieux qui remet en question les concepts d'évolution et de sélection naturelle. Plus de 50 % des personnes interrogées en Turquie, en Grèce, à Chypre, en Bulgarie, en Lituanie et aux USA n'acceptent pas la théorie de l'évolution.

Les créationnistes disposent aujourd'hui de moyens financiers considérables pour diffuser leurs idées. L'affaire de l'Atlas de la Création en témoigne. Sept cent septante pages, près de six kilos, papier glacé, photos « couleur ». Il y a quelques mois, ce pamphlet richement illustré fut diffusé à tous les professeurs de biologie des enseignements secondaire et supérieur. L'objectif de ce pamphlet est d'installer le doute, voire de détourner l'enseignant de tout intérêt pour la théorie de l'évolution. L'auteur va même jusqu'à rendre Darwin responsable des attentats du 11 septembre et du terrorisme que nous connaissons actuellement. Selon cet ouvrage rempli d'erreurs scientifiques flagrantes, voire intentionnelles, la ressemblance entre les espèces fossiles et les animaux actuels démontrerait la fixité des espèces et l'idée même de la création divine.

Bien que le créationnisme dans sa forme actuelle soit apparu dans les Eglises évangéliques nord-américaines au début du XX^{ème} siècle, « créationnisme et fixisme » ont alimenté les débats entre philosophes et naturalistes au fil des siècles. Au 17^{ème} siècle, le pasteur USSHER, en épiluchant avec une rigueur ecclésiastique les écrits religieux, data avec une précision magistrale la création de l'Univers, de la Terre, de l'homme, de la femme mais également des insectes. Le 23 octobre 4004 av. JC, à 9 heures précises, devint la date de la création divine. Cette date fut considérée jusqu'à peu comme dogme de l'église.

² Responsable de l'Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive – Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux

Au 18^{ème} siècle, Buffon et Linné opposaient leurs idées.

Georges-Louis Leclerc appelé « Buffon », « fondateur » de l'écologie moderne, affichait une très grande indépendance face au dogme de l'église. Il laissait peu de place à un Dieu créateur. Selon Buffon, l'histoire de la planète n'est pas compatible avec la chronologie courte de la Bible et du fameux James Ussher. Buffon, à l'issue d'expériences faites dans les forges de Montbard sur le refroidissement d'une sphère métallique, proposa l'âge de 75.000 ans pour la terre.

Le discours était tout autre chez Linné.

Linné, « père » du concept de biodiversité, est avant tout l'initiateur de la classification des organismes vivants suivant le modèle binaire. Il était aussi créationniste et fixiste. Il consacra toute son énergie à recenser les espèces pour montrer la grandeur de l'œuvre créatrice de Dieu.

Dans son domaine d'Hammarby, proche d'Uppsala en Suède, Linné reçut de ses amis et de ses étudiants, des herbiers, des insectes de différentes régions du monde, de sorte qu'il parvint à énumérer 4.203 espèces d'animaux dont 2.102 insectes dans la dixième édition de son célèbre livre *Systema Naturae*.

Combien d'espèces d'organismes y a-t-il sur la terre ?

Mais les espèces identifiées par Linné et par les naturalistes qui lui ont succédé ne représentent que la pointe de l'iceberg

Récemment, un entomologiste du Natural Science Museum en Grande Bretagne, Nigel Stork, entreprit l'évaluation du nombre total des espèces d'animaux et de plantes (en excluant les bactéries et autres unicellulaires). Sur 1.584.200 espèces décrites, 925.000 sont des insectes. Ceux-ci représentent à eux seuls plus de 55% de toutes les espèces nommées des règnes animal et végétal.

A première vue, cette estimation pourrait nous étonner.

Mais les insectes sont de petite taille et le plus souvent peu visibles. On s'intéresse à eux lorsqu'ils ont une grande importance en agriculture comme le doryphore ou en médecine comme le moustique. De plus, la plupart vivent et se développent dans le milieu le plus luxuriant mais le moins connu du monde : la forêt tropicale humide.

Les forêts tropicales humides ne représentent que 6 % de la surface continentale, mais hébergent plus de la moitié des espèces d'organismes résidant sur la Terre. L'exploration de la cime des arbres des forêts tropicales et équatoriales au moyen du radeau montgolfière transportant les scientifiques, a permis de découvrir une faune exceptionnelle et inédite. Des milliers, des millions de nouvelles espèces vivent dans ce biotope préservé de toute action anthropique.

Nous ne le savons pas. Nous ne connaissons même pas l'ordre de grandeur du nombre en question. Les estimations actuellement reprises dans la littérature scientifique situent le nombre d'espèces entre 3,5 et 150 millions pour la totalité des plantes et des animaux.

Toutes les tentatives récentes d'estimation des êtres vivants sur la terre reposent sur le travail remarquable de l'entomologiste américain Terry Erwin réalisé dans les années 1980.

T. Erwin donna une estimation quantitative raisonnable de l'incroyable biodiversité de la canopée des forêts tropicales.

Au Panama, au Brésil et au Pérou, T. Erwin utilisa une méthode radicale. Il pulvérisa entièrement 19 arbres d'une même espèce tropicale, *Luehea seemanii*, au moyen d'un gaz insecticide à action rapide. Au sol, en-dessous de chacun de ces arbres, des bâches reçurent les insectes tués par le gaz.

Ce protocole expérimental lui permit de recenser pas moins de 162 espèces de coléoptères sur cet arbre tropical.

Actuellement, la diversité des espèces d'arbres tropicaux dans le monde se monte à 50.000 espèces. Si le chiffre de 162 espèces est une moyenne raisonnable pour les coléoptères sur chaque espèce d'arbre, alors l'ensemble des espèces des arbres tropicaux pourrait héberger huit millions cent mille espèces de coléoptères.

Les coléoptères représentent environ 40 % de la diversité totale en arthropodes, les arbres tropicaux pourraient abriter quelque 20 millions d'espèces d'arthropodes.

De plus, cette estimation de la diversité ne tient compte que de la canopée. T. Erwin considéra alors dans son estimation, les insectes vivant sur et dans le sol qui se chiffrent à environ 10 millions selon ses collègues spécialisés de la faune du sol. L'estimation finale se situerait donc aux environs de 30 millions d'espèces d'arthropodes vivant dans les forêts tropicales humides.

Si nous nous référons à l'Atlas de la Création distribué à tous les enseignants en biologie des enseignements secondaire et supérieur, Dieu aurait créé les 30 millions d'espèces d'arthropodes au même moment et ces dernières seraient restées identiques au fil du temps. Si l'on se réfère aux chiffres, on pourrait penser que Dieu était passionné par l'entomologie puisqu'il aurait créé plus de 20 millions d'espèces d'insectes.

N'y aurait-il pas une autre explication à l'écrasante diversité entomologique sur la terre ?

La plupart des créationnistes ne tiennent absolument pas compte de la quasi-totalité des découvertes qui ont été engrangées depuis un siècle et demi dans le domaine des sciences biologiques et de l'évolution.

Les scientifiques, eux, paléontologues, entomologistes, zoologistes, botanistes, n'ont cure de cette date butoir de 4004 avant JC popularisée par les créationnistes. Une abondante quantité et une incroyable diversité de fossiles d'insectes sont mises à jour. Depuis 1983, environ 500 familles et 1.000 genres d'insectes se sont ajoutés à la liste déjà importante de fossiles d'insectes : extraits d'ambre et de roches sédimentaires, ces morceaux d'histoire permettent de remonter le temps : 35, 40, 45, 250, 550 millions d'années...

L'évolution des insectes en quatre étapes

Au cours de l'histoire de la vie, on a vu se succéder « extinctions » et « radiations évolutives ».

Depuis le Cambrien, il y a environ 600 millions d'années, cinq extinctions majeures ont touché notre planète. A chacune d'elles, plus de 75% des espèces présentes sur la terre ont disparu.

Jamais les insectes n'ont été touchés de plein fouet par ces crises évolutives. Plus encore, au cours de l'histoire de l'évolution des insectes, on observe au moins

quatre grandes bouffées évolutives qui ont propulsé les insectes au sommet du hit-parade des êtres vivants les plus représentés sur la terre. A savoir l'apparition de l'exosquelette, de l'aile, du stade de chrysalide et enfin, de l'interaction entre les insectes et les plantes.

Nous allons passer en revue ces quatre étapes clés de l'histoire de la vie des insectes.

Tout commence en 1909, lorsque Charles Walcott, paléontologue américain, entreprit la collecte de fossiles en Colombie britannique, plus précisément dans les Rocheuses. Il fut à la base d'une découverte exceptionnelle, la faune de Burgess. On y trouva des organismes possédant à la fois des caractéristiques des mollusques et des arthropodes, mais également des centaines d'espèces qui ne possèdent aucune référence avec les taxa recensés actuellement sur la terre.

C'est le cas de *Hallucigenia*. Cet animal avait l'allure d'une chenille, avec de grosses pattes courtes, chacune étant surmontée d'une minuscule plaque de phosphate de calcium présentant des épines. Cette espèce n'appartiendrait à aucun groupe taxonomique présent sur notre planète.

Mais, parmi les fossiles collectés par Walcott, se trouvaient les Trilobites, premiers représentants connus de l'embranchement des arthropodes auxquels appartiennent les insectes. Ces organismes aquatiques de petite taille possédaient un exosquelette. Ils étaient mobiles et ont pu coloniser des niches écologiques variées où les ressources alimentaires étaient suffisantes.

a) L'exosquelette : une armure en guise de protection

L'exosquelette constitué de plusieurs couches de protéines présente un avantage évolutif pour ces premiers arthropodes. En effet, il les protège des prédateurs et leur permet d'y stocker des substances toxiques présentes dans les milieux aquatiques comme les phosphates de calcium abondants à cette époque. Il s'agit véritablement d'une barrière physique, d'une armure.

Les arthropodes aquatiques comme les euryptérides sont ensuite passés à la vie terrestre à l'Ordovicien-Silurien il y a environ 420 millions d'années.

L'exosquelette leur permettait, d'une part, de résister aux rayons solaires encore très riches en ultraviolets à cette période et, d'autre part, d'éviter la dessiccation.

Les premiers insectes, quant à eux, semblent être apparus un peu plus tard au Dévonien (environ 400 millions d'années).

A cette époque, ces insectes vivaient dans des marécages colonisés par les plantes sous un climat chaud et humide. Les populations de myriapodes et d'acariens y abondaient.

On trouve les fossiles des premiers insectes dans les gisements de Rhynie en Ecosse. Ils ressemblent aux collembolés actuels, insectes sans ailes dotés d'un système visuel primitif. Les premiers insectes devaient vivre dans la litière du sol ou à la surface de l'eau. Leur petite taille de quelques millimètres à quelques centimètres leur a permis de coloniser des niches écologiques spécifiques comme les matières végétales en décomposition le long des zones aquatiques.

Il faut attendre 50 nouveaux millions d'années pour voir apparaître, au Carbonifère, une entomofaune véritablement abondante et diversifiée.

A cette époque, l'Europe et l'Amérique du Nord sont couvertes d'épaisses forêts tropicales chaudes et humides. Les insectes au Carbonifère devaient être avant tout phytophages ou détritivores. Vers 300 millions d'années, on rencontre les odonates, les blattes, les perles, les éphémères, les orthoptères

b) L'aile et la conquête de l'air

Cette deuxième bouffée évolutive chez les insectes est liée à l'apparition de l'aile. Les premiers animaux à conquérir les airs sont en effet les insectes. Sur le plan paléontologique, le mystère reste encore entier. Car la première aile d'insecte connue est le produit d'une évolution déjà longue.

Toutefois, la génétique et l'avènement de la biologie moléculaire nous permettent de comprendre la biologie du développement d'un organisme. Edward Lewis, Prix Nobel de Médecine en 1995, mit en effet en évidence certains gènes responsables de l'organisation des différentes parties de l'insecte.

Un des modèles biologiques les plus étudiés est la drosophile. Une mutation au niveau d'un gène est suffisante pour perturber l'organisation et la biologie du développement de cet insecte. Ainsi, une drosophile ayant normalement une paire d'ailes peut en posséder une seconde. Une autre mutation provoque le remplacement des antennes de la drosophile par des pattes.

De tels cas de figure sont envisageables dans la nature. Sur les îles d'Hawaï, on compte plus de 600 espèces de drosophiles, soit 40% des espèces mondiales. Elles possèdent des morphologies très diverses. Toutefois d'un point de vue génétique, très peu de différences sont observées entre ces espèces. Quelques mutations auront suffi à les différencier.

Une ou plusieurs mutation(s) au niveau des gènes homéotiques pourrai(en)t donc expliquer l'origine des ailes chez les insectes.

Au Carbonifère, les insectes se sont trouvés dotés d'un avantage évolutif considérable. La faculté de voler les aida à échapper à leurs prédateurs terrestres, à réguler la température de l'organisme, à protéger leurs pattes et à coloniser de nouveaux biotopes.

c) Les hormones et la métamorphose

Une troisième phase de diversification de la classe des insectes eut lieu un peu plus tard entre la fin du Permien et le Trias, entre 250 et 200 millions d'années. Cette nouvelle grande étape de l'évolution des insectes est due à une troisième bouffée évolutive « l'apparition de la métamorphose complète » avec le stade chrysalide chez plusieurs groupes d'insectes, notamment les diptères, les hyménoptères et les coléoptères.

Les insectes à métamorphose complète présentent un cycle de développement plus long avec un stade immobile appelé chrysalide, pupe ou nymphe.

Ce cycle commence par le dépôt d'œufs sur une ressource alimentaire, cet embryon devient une larve qui renouvellera son exosquelette à trois ou quatre reprises au cours de son développement. Ces larves vermiformes exploitent très souvent des ressources alimentaires différentes de celles de l'adulte. A la fin du développement larvaire, l'embryon va se transformer en chrysalide ou en pupe juste avant le stade adulte.

L'origine de ce stade immobile est liée à la présence d'hormones chez l'insecte.

L'avènement de la physiologie de l'insecte dont l'un des pionniers est Sir Charles Wigglesworth dans les années 1930 et le développement de méthodes analytiques de plus en plus élaborées comme l'HPLC ou la LC-MS/MS ont permis de mettre en évidence de nombreuses hormones comme, notamment, les hormones juvéniles et l'ecdysone. Ces deux groupes de molécules indissociables contrôlent et régulent l'ensemble du cycle de développement ainsi que le passage d'un stade du développement à l'autre. Le ratio élevé entre la quantité d'hormones juvéniles et celle d'ecdysone caractérise les stades larvaires et le même ratio proche de 0 caractérise la formation de la chrysalide.

Les quatre grands groupes d'insectes modernes avec ce stade immobile - les diptères, les coléoptères, les lépidoptères et les hyménoptères - vont alors présenter un avantage évolutif considérable. Ce stade de développement immobile permet à l'insecte de traverser les périodes sans nourriture ou dont les conditions climatiques sont défavorables. Ces insectes à métamorphose complète vont se diversifier et devenir de plus en plus nombreux en termes d'espèces présentes sur la terre.

d) Les jardiniers de Lucifer

Toutefois la véritable explosion évolutive des insectes eut lieu au cours des périodes suivantes, au Crétacé, il y a environ 100 millions d'années.

Le développement des écosystèmes comparables à ceux que nous connaissons aujourd'hui et l'importante diversification des plantes à fleurs déclenchent la quatrième bouffée évolutive des insectes.

Les insectes et les plantes à fleurs du Crétacé coévoluent ; sous l'effet du binôme « variation-sélection », plantes et insectes se transforment simultanément tout en s'influençant mutuellement. Près de 400.000 espèces d'insectes sont actuellement phytophages et/ou pollinisateurs.

Derrière ce terme coévoluent se cache une interaction diabolique. Les insectes peuvent même être considérés comme étant les jardiniers de Lucifer. Car une plante, sous ses aspects angéliques à la limite du raffinement, détient un arsenal de métabolites secondaires toxiques dans ses tissus et organes.

Ces molécules ont même inspiré les industries phytopharmaceutiques pour la conception de molécules mortelles, les insecticides ; citons à titre d'exemple les pyréthrinoides, la roténone et la nicotine.

Mais la présence de ces molécules toxiques dans la plante n'est absolument pas anodine. C'est le fruit d'un long processus coévolutif entre la plante et les herbivores. C'est un combat permanent : les 300.000 espèces de plantes de notre planète ne cessent de subir l'assaut de 400.000 espèces d'insectes herbivores.

Mais les agressées ne manquent pas d'atouts pour se défendre.

Chez les plantes, les stratégies de défense directe sont axées principalement sur la présence de cires ou de trichomes sur les feuilles et les tiges. Ils empêchent la pénétration du stylet des pucerons et perturbent le déplacement des insectes herbivores sur la plante-hôte.

Les plantes produisent également des métabolites secondaires qui sont le plus souvent des molécules toxiques à l'égard des insectes. Ces substances représentent de 1 à 3 % de la matière sèche de la plante et sont très diversifiées. On connaît les alcaloïdes chez les solanaceae, les glucosinolates chez les brassicaceae, les coumarines chez les ombellifères.

Le raffinement peut aller jusqu'à produire des molécules mimétiques des hormones d'insectes, les phytoecdystéroïdes. C'est le cas, notamment, de l'azadirachtine produit par un arbre appelé Neem. Cette molécule perturbe la croissance des chenilles lorsque celles-ci s'en nourrissent.

Les plantes développent également des stratégies de défense indirecte, parfois très sophistiquées pour faire face aux insectes. Les résultats des recherches que nous réalisons actuellement montrent que les plantes, en réponse à une agression d'insecte ravageur, libèrent des substances volatiles telles que des terpènes, ou d'autres

molécules comme l'hexanal. Ces molécules vous sont familières. L'odeur caractéristique de ces substances volatiles émises par les plantes agressées est similaire à celle d'une pelouse fraîchement tondue.

Au laboratoire, nous utilisons des techniques d'électroantennographie pour identifier les substances volatiles susceptibles d'être détectées par l'antenne d'insecte. Après avoir connecté une antenne à des microélectrodes, nous enregistrons un signal électrique, témoin de l'induction d'un influx nerveux.

La technique d'olfactométrie permet ensuite de vérifier si la molécule détectée par l'antenne d'insecte est attractive ou répulsive pour celui-ci.

En utilisant ces techniques d'électroantennographie et d'olfactométrie, nous avons montré que ces substances volatiles d'origine végétale se comportent comme des molécules informatives pour les prédateurs et les parasites des pucerons et des chenilles.

Episyrphus balteatus, le syrphé ceinturé, est un insecte auxiliaire très commun chez nous. L'adulte est capable de détecter ces substances volatiles d'origine végétale. Le diptère prédateur peut ensuite pondre des œufs à proximité des colonies de pucerons et la larve de syrphé n'aura alors plus qu'à dévorer les pucerons.

La plante est donc capable d'interagir avec les insectes entomophages pour l'aider à se débarrasser de ses ennemis.

Si cette interaction est favorable aux plantes et aux insectes entomophages, les pressions de sélection qui en découlent sont telles qu'elles favorisent chez les insectes herbivores, des stratégies d'attaque directe et indirecte.

L'insecte herbivore peut directement interagir avec la plante pour déjouer ses stratégies de défense. La chenille du lépidoptère *Helicoverpa zea* sécrète, par l'organe grâce auquel elle produit son fil de soie, une enzyme, la glucose oxydase. Cette enzyme diminue la synthèse de métabolites secondaires toxiques comme la nicotine au sein de la plante ravagée par la chenille.

Les expérimentations menées dans notre laboratoire ont montré également que les insectes ravageurs disposent d'une batterie d'enzymes de biotransformation capables de les protéger et de dégrader les métabolites secondaires toxiques présents en grande quantité dans la plante.

Lorsque les crucifères sont attaqués par un insecte herbivore, elles libèrent des gaz toxiques, les isothiocyanates. Le puceron cendré du chou, une espèce infestant les crucifères, possède une enzyme, la myrosinase, capable de dégrader spécifiquement les glucosinolates qui sont les matières premières servant à la fabrication des gaz toxiques. Le puceron déjoue ainsi le système de défense de la plante.

Outre ces stratégies d'attaque directe contre la plante, les insectes herbivores, et plus spécifiquement les pucerons, pratiquent l'art de la manipulation, du sabotage et des alliances cachées. Il s'agit des stratégies d'attaque indirecte.

Les nouveaux outils moléculaires comme les *microarrays* nous permettent maintenant d'étudier simultanément l'activité de plus de 20.000 gènes présents chez la plante-modèle *Arabidopsis*.

Lors d'une infestation de pucerons, on est surpris de constater que la réaction de la plante est semblable à celle d'une plante infestée par un pathogène comme une bactérie. Lorsque le puceron introduit son stylet dans la plante, il met en place une stratégie de furtivité ; il semble mimer l'infestation d'un pathogène comme une bactérie ou un virus. De plus, le fait que le puceron transmette à la plante de nombreuses maladies virales

et bactériennes facilite encore cette stratégie de la manipulation et du leurre. En effet, l'inoculation de la plante par des microorganismes pathogènes (virus et bactéries) mobilise les ressources de la plante et diminue l'efficacité de ses systèmes de défense.

Le sabotage est également un art pratiqué par les pucerons.

Chez la plante de fève *Vicia faba*, lorsque le puceron prélève le phloème au moyen de son stylet, la plante réagit localement. Celle-ci produit des occlusions appelées « forisomes » dans le canal phloémien, empêchant la circulation du phloème et l'alimentation du puceron.

Des travaux de recherches très récents montrent que certaines espèces de pucerons sont capables d'empêcher l'action des forisomes dans les canaux phloémiens. La salive de puceron, lorsqu'elle est appliquée dans un milieu de culture où se trouvent des forisomes, induit la contraction de ceux-ci, les empêchant de bloquer le canal phloémien. Le puceron sabote ainsi la stratégie d'occlusion du canal phloémien de la plante.

Parmi les stratégies d'attaque indirecte, des alliances secrètes sont également possibles pour s'adapter aux plantes et les infester.

Le puceron se nourrit exclusivement de sève transportant les produits de la photosynthèse, riche en sucres et en substances inorganiques. A l'inverse, les acides aminés, les lipides et les stérols indispensables pour sa survie et son développement sont absents de la sève.

L'adaptation du puceron à ce régime alimentaire déséquilibré n'a pu se faire au cours de l'évolution que grâce à son association avec plusieurs bactéries spécialisées dans la synthèse des produits alimentaires manquants : les acides aminés, les lipides et les stérols. L'alliance entre ces bactéries et les pucerons est très ancienne, environ 200 millions. Au cours de cette longue période, les pucerons et les bactéries ont évolué conjointement jusqu'à devenir complètement interdépendants.

Un puceron est en réalité un ensemble de génomes qui interagissent entre eux.

Outre dans la production de ressources alimentaires indispensables au puceron, les bactéries symbiotiques jouent un rôle important dans l'adaptation des pucerons aux plantes-hôtes. Des travaux très récents de notre laboratoire sur des pucerons et leurs bactéries symbiotiques infestant des variétés résistantes de tomates montrent que les bactéries sont réellement impliquées dans l'adaptation du puceron aux variétés résistantes.

Les nouveaux outils de la protéomique et de la métabolomique nous ouvrent des perspectives importantes. Nous avons mis en évidence l'implication et l'interdépendance des génomes du puceron et des bactéries symbiotiques dans l'adaptation aux plantes. Les différentes voies métaboliques impliquées dans l'adaptation du puceron à la tomate intègrent des protéines de transport, des protéines de stress, des enzymes de détoxification à la fois du puceron et des bactéries symbiotiques.

Ces stratégies guerrières, ces manipulations diaboliques, ces interactions entre les plantes et les insectes sans cesse soumises à la pression de sélection sont à la base de cette fabuleuse diversité d'espèces chez les insectes. Ces stratégies et manipulations sont éloignées de l'idée d'une création par une puissance surnaturelle à un moment déterminé.

Les interactions entre les plantes et les insectes se sont mises en place progressivement sous l'effet de la sélection naturelle. 400.000 espèces d'insectes interagissent avec les 300.000 espèces végétales.

e) En guise de conclusion

Nous venons en quelques minutes de dresser un tableau rapide des causes de la diversité des insectes sur la terre et de cette réussite évolutive. Au moins quatre grands événements ont eu lieu dans l'histoire de l'évolution des insectes, quatre bouffées évolutives : l'exosquelette, l'aile, la chrysalide et l'interaction entre les plantes et les insectes. Elles ont permis à ces insectes d'être le groupe taxonomique le plus représenté sur la terre et de devenir les maîtres du monde.

Plus de 55 % des espèces présentes sur notre planète appartiennent à la Classe des Insectes. Ils sont présents sur tous les continents et dans tous les biotopes. Comme je vous l'ai démontré, il s'agit là de modèles biologiques uniques pour aborder l'antinomie « création-évolution ».

En voyageant comme nous venons de le faire dans l'histoire de la vie des insectes, nous nous sommes éloignés des propositions faites par Adnan Oktar dans l'Atlas de la Création, selon lesquelles les organismes vivants ont été créés par Dieu au même moment et seraient arrivés jusqu'à nous inchangés.

Les récentes découvertes paléontologiques couplées aux très nombreuses données sur le génome de plusieurs centaines d'insectes montrent qu'au fil de l'histoire de la vie, de nouveaux groupes taxonomiques d'insectes sont apparus graduellement, parfois même en interdépendance ou en coévolution avec d'autres organismes comme les plantes et les microorganismes. Quelle complexité ! Quelle réussite !

Les nouvelles technologies scrutant les génomes et les protéomes, les méthodes analytiques de plus en plus sensibles et précises, les observations et les faits scientifiques engrangés ces dernières années nous permettent maintenant de mieux comprendre les mécanismes biologiques souvent si complexes et nous permettent de repousser l'ignorance qui mène trop souvent à l'incrédulité et à la déraison.

J'espère que cette présentation vous aura permis de prendre conscience des défis et des enjeux que les scientifiques doivent relever pour que Darwin vive, pour que son œuvre et sa théorie continuent à jaillir et à rejaillir dans nos amphithéâtres.

Je vous remercie de votre attention.