

Phèdre : les secrets de l'interprétation

Les interprètes de Racine jouent sur le débit, l'intensité ou la mélodie de la phrase pour susciter l'émotion.

*Oui, Prince, je languis, je brûle pour Thésée.
Je l'aime, non point tel que l'ont vu les enfers,
Volage adorateur de mille objets divers,
Qui va du Dieu des morts déshonorer la couche ;
Mais fidèle, mais fier, et même un peu farouche...*
(Phèdre, Acte II, scène V)

A la création de Phèdre, en 1677, c'est Jean Racine, lui-même, qui dirigea l'actrice, La Champmeslé. Selon le fils de l'auteur, Racine «avait formé la Champmeslé, mais avec beaucoup de peine. Il lui faisait d'abord comprendre les vers qu'elle avait à dire, lui montrait les gestes et lui dictait les tons, que même il notait». Dans le passage étudié, la mort de Thésée, roi d'Athènes, vient d'être annoncée. Phèdre, sa femme, aime en secret Hippolyte, le fils du premier mariage de Thésée avec Antiope, et lui avoue son amour. L'étude des enregistrements de cinq actrices ayant interprété Phèdre, a montré que chacune d'elles privilégie un paramètre acoustique particulier : la fréquence (variations mélodiques), l'intensité (modulations d'amplitude) ou la durée (fluctuations de débit).

Afin d'étudier les modes d'expressivité vocale, nous avons fait une analyse acoustique (grâce au logiciel *Mes-signaux*, mis au point par Robert Espesser) des premiers alexandrins de la déclaration de

Phèdre (Acte II, scène V) par cinq tragédiennes : Sarah Bernhardt (1911), Marie Bell (1965), Silvia Monfort (1973), Nada Strancar (1975) et Natacha Amal (1991).

Contrairement aux autres tragédiennes, Sarah Bernhardt n'avait pas de metteur en scène et suivait ses propres directives. Edmond Rostand décrit l'énergie étonnante que la tragédienne déployait lorsqu'elle dirigeait ses partenaires : «Elle indique des gestes, des intonations, se dresse, veut qu'on reprenne, rugit de rage, se rassied, sourit, boit du thé, commence à répéter elle-même». Comme Sarah Bernhardt, Marie Bell et Silvia Monfort ont joué Phèdre tout au long de leur vie, mais elles ont été dirigées par plusieurs metteurs en scène. Toutefois, d'après les documents d'archives, leur forte personnalité de directrices de théâtre et de grandes tragédiennes semble l'avoir emporté sur les directives de jeu.

Comment se manifeste la personnalité des interprètes de Phèdre ? On constate une grande liberté d'interprétation, malgré les contraintes de la versification. Marie Bell privilégie les variations mélodiques (plus d'une octave sur les vers analysés), Silvia Monfort les fluctuations de débit (de 1 à 4,8 syllabes par seconde, pauses internes incluses) et Nada Strancar l'intensité (les modulations d'amplitude, quand elle passe de la voix chuchotée à la voix projetée, sont de l'ordre de 54 décibels). Sarah Bernhardt et Natacha Amal jouent indifféremment de ces trois paramètres, mais tendent à utiliser davantage les variations mélodiques.

Silvia Monfort fait un usage important des pauses : les silences (48 pour cent de la durée totale du passage) y

sont presque aussi longs que le texte. Marie Bell, Nada Strancar et Natacha Amal privilégient la parole (les pauses représentent 22 pour cent seulement du temps total d'énonciation), tandis que Sarah Bernhardt les utilise peu (10 pour cent). Cela s'expliquerait par la performance vocale recherchée à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e : il était important qu'un acteur puisse déclamer plusieurs vers sans reprendre son souffle.

Dans le passage étudié, les fluctuations vocales et stylistiques sont nombreuses. La déclamation parlée-chantée de Sarah Bernhardt contraste avec la voix chuchotée de Silvia Monfort et avec le ton emphatique de Marie Bell. L'emballlement rythmique de Nada Strancar s'oppose à l'intonation légère de Natacha Amal. À l'inverse du chanteur qui recherche une homogénéité vocale, l'acteur doit déplacer sa voix, c'est-à-dire changer de timbre en fonction de l'état émotionnel du personnage.

L'évolution de la mise en scène a permis de réhabiliter le texte racinien. Ainsi, Antoine Vitez (1975), en se livrant au déchiffrement vocal du texte avec ses acteurs et le musicien Georges Aperghis, s'est sans doute rapproché du travail de notation de Racine. La déclamation pompeuse, dont Molière se moquait déjà, a été progressivement rejetée par les traités de diction, car l'esthétique vocale repousse toujours les codifications anciennes et tente, à chaque époque, d'être plus naturelle. Pourtant, la voix de l'acteur reste toujours inscrite dans un jeu de stylisation et de théâtralisation.

Béatrice ALBERT, Nicole SCOTTO DI CARLO
Laboratoire Parole et Langage,
CNRS ESA 6057



Photo Pic 21



Marc Enguerand, Agence Enguerand



Carte postale série 208, Raphaël Tuck et fils, Ltd Éditeurs

Pour renforcer l'ambiguïté de la déclaration du premier alexandrin étudié (l'aveu de Phèdre s'adresse-t-il à Thésée ou à Hippolyte ?), Marie Bell (à gauche) amplifie les pauses : «Oui, Prince, je languis (395 millisecondes), je brûle (1006 ms) pour (282 ms) Thésée (783 ms)». Du deuxième au cinquième vers, Silvia Monfort (au centre) joue sur les contrastes d'intensité et de débit : «Non point tel que l'ont

vu les enfers, / Volage adorateur de mille objets divers, / Qui va du Dieu des morts déshonorer la couche» (on a symbolisé l'augmentation de l'intensité en agrandissant la taille des caractères et l'accélération du débit en diminuant l'espace qui les sépare). Sarah Bernhardt (à droite) utilise indifféremment les variations d'intensité et de débit.

Le plus grand nombre entier

Les mathématiciens de l'Université de Nancago ont enfin trouvé le plus grand nombre entier : à la surprise générale, c'est le nombre 1. En effet, remarquons, tous les carrés d'un nombre sont supérieurs à ce nombre, sauf le carré de 1 qui est égal à 1. Ainsi puisqu'il existe un plus grand nombre entier, c'est 1, remarquablement petit. CQFD.

Repos néandertalien

Les Néandertaliens, qui ont peuplé l'Europe il y a entre 200 000 et 30 000 ans, avaient semble-t-il découvert conjointement l'art du nouage et de la sieste. L'archéologue Michel Cartoni a découvert en Corse des empreintes de filets, fossilisées dans de l'argile. Des trous de poteaux, dont la hauteur a été évaluée à 1,50 mètre, espacés d'environ deux mètres ayant été repérés sur le site, on pense à des sortes de hamacs.

Où a eu lieu le Big Bang?

Tous les objets célestes s'éloignent les uns des autres à une vitesse proportionnelle à leurs distances respectives. Ainsi va l'expansion de l'Univers. Connaissant les vitesses actuelles des étoiles et galaxies les astrophysiciens de l'Université de l'énergie cosmique ont eu la bonne idée de repasser le film à l'envers et de déterminer où était l'Univers au moment du Big Bang. Et bien, l'Univers a été créé exactement à l'endroit où se trouvaient les astronomes calculateurs. Quelle chance. N'importe quel scientifique, quel que soit le laboratoire qu'il occupe, est au centre du monde. Mais n'en était-il pas déjà persuadé?

La bande à Möbius

L'édition des œuvres de Möbius a permis de découvrir une tranche de vie topologique. Le chien de Pavlov, raconte Möbius, courait sur le côté de la bande de papier translucide qui constituait son Univers, sans pouvoir passer de l'autre côté, où vivait le chat de Schrodinger, à la fois mort de peur et fou d'intérêt (état intermédiaire dont il était familier). Le mathématicien Möbius se saisit de la bande, la coupa, la tordit d'un demi tour, et réunit les deux bords. La bande n'avait alors plus qu'un côté et les deux animaux partageaient le même univers. Hélas, le chien et le chat ne s'entendirent pas. Möbius, agacé par leurs querelles, réédita l'opération de coupe et de torsion, et fit disparaître l'unique côté subsistant, de même que les animaux querelleurs

Mayonnaise sans effort

L'éclatement de vésicules produit des émulsions.

La mayonnaise ne s'obtient qu'au prix d'un mélange vigoureux : l'énergie mécanique apportée sert à diviser le filet d'huile en gouttelettes qui sont alors dispersées dans l'eau du jaune d'œuf et du vinaigre. D'autres émulsions sont spontanées et se forment sans apport d'énergie. Nous avons analysé un mécanisme qui conduit à de telles émulsions.

Dans la mayonnaise, une stabilité relative est apportée par les molécules tensioactives du jaune d'œuf, qui viennent tapisser la surface des gouttelettes d'huile : ces molécules ont une extrémité (tête hydrophile) qui se dissout dans l'eau, tandis que l'autre (chaîne hydrophobe) ne s'y dissout pas. De ce fait, elles facilitent le contact entre l'eau et l'huile. Certains tensioactifs diminuent la tension de surface entre l'eau et l'huile (qui détermine l'énergie nécessaire à leur mise en contact) d'un facteur 10 000.

Nous avons étudié l'émulsification spontanée dans un système où la tension de surface peut être réduite de façon continue jusqu'à des valeurs extrêmement faibles. Ce système est constitué d'un mélange d'eau salée et d'une molécule tensioactive nommée AOT, qui contient une tête hydrophile et deux chaînes hydrophobes. Lorsque l'AOT est ajouté à la solution d'eau salée, il s'y dissout et les molécules d'AOT restent dispersées tant que la concentration est inférieure à une concentration critique. Au-delà de cette concentration, si l'on ajoute encore des molécules d'AOT, celles-ci se regroupent en vésicules de diamètre de l'ordre de 20 micromètres ; les parois de ces vésicules sont alors des doubles couches de molécules d'AOT.

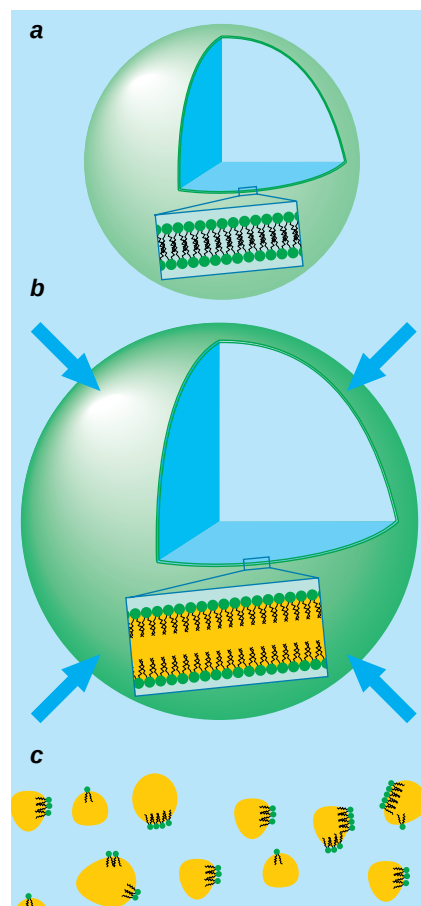
Après avoir obtenu une solution qui contenait beaucoup de vésicules, nous introduisons une gouttelette d'huile à l'aide d'une micropipette. Lorsqu'une vésicule entre au contact de l'huile, la bicouche se désorganise et un pore s'ouvre laissant entrer l'huile : cette dernière pénètre dans la paroi de la vésicule, entre deux couches de chaînes hydrophobes.

En raison de la préférence des chaînes hydrophobes pour l'huile, la concentration de molécules d'AOT isolées en solution décroît en présence d'huile. Ainsi, dans le voisinage de la goutte d'huile injectée, la concentration d'agrégation critique en AOT est inférieure à ce qu'elle est dans la vésicule, où l'huile ne pénètre pas.

Comme les systèmes physiques évoluent de sorte que les concentrations en diverses molécules soient égales partout, l'eau diffuse spontanément ; et comme les molécules d'AOT sont immobilisées dans les parois, les molécules d'eau pénètrent dans les vésicules. Les vésicules gonflent et finissent par éclater comme des bulles de savon, dispersant l'huile de leurs membranes dans la solution aqueuse sous la forme de petites gouttelettes : l'émulsion est formée.

Ainsi, l'émulsification spontanée disperse des microgouttelettes d'huile dans la solution, ce qui fait décroître la concentration d'agrégation critique loin de la gouttelette initiale : d'autres vésicules éclatent et l'émulsification se propage dans toute la solution.

Nous avons utilisé différents types d'huiles. Avec des huiles dont les chaînes sont courtes (comme l'octane, C_8H_{18}), l'émulsification se produit très rapide-



Dans une solution d'eau salée, l'addition de molécules tensioactives d'AOT engendre, au-dessus d'une certaine concentration, la formation de vésicules dont les parois sont des bicouches d'AOT (a). Lorsque l'on ajoute de l'huile à la solution, elle s'incorpore à la bicouche des vésicules (b). Les vésicules se remplissent alors d'eau, car la concentration en AOT à l'intérieur est supérieure à la concentration à l'extérieur. Finalement, la vésicule éclate et pulvérise l'huile dans la solution (c).

ment, alors qu'avec des huiles aux chaînes longues (comme le dodécane $C_{12}H_{26}$), elle est très lente. Pourquoi ces différences ? Parce que les chaînes courtes, contrairement aux chaînes longues, sont très semblables aux chaînes hydrophobes des molécules tensioactives. Elles sont en conséquence de très bon solvants pour les chaînes hydrophobes du tensioactif.

Ce mécanisme d'émulsification spontanée fait intervenir l'architecture moléculaire des tensioactifs : les vésicules sont

composées de molécules ayant deux chaînes hydrophobes, mais nous étudions aujourd'hui des solutions avec des molécules tensioactives à une seule chaîne hydrophobe.

Dans l'industrie apparaissent des «concentrés auto-émulsionnables» où le mélange est inutile. La compréhension des mécanismes d'émulsification spontanée aidera-t-elle à les améliorer

Noushine SHAHIDZADEH,
Laboratoire de physique statistique,
École normale supérieure, Paris.

Les voies de l'hydrogène

Elles ne sont plus impénétrables : dans les molécules qui assurent ses transformations chimiques, l'hydrogène emprunte un réseau de canaux.

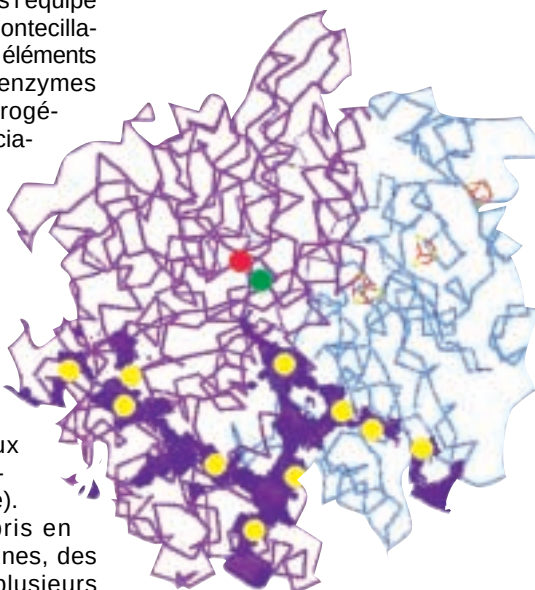
Dans les organismes vivants, les mécanismes de transport restent encore partiellement mystérieux : comment les molécules passent-elles d'une cellule à l'autre ou, au sein d'une même cellule, d'un compartiment à l'autre, du milieu cellulaire à l'intérieur du noyau ? Comment un gaz parvient-il à diffuser de la surface d'une protéine jusqu'à son cœur, où siègent des réactions chimiques ? Dans l'équipe CEA-CNRS UPR 9015 de Juan Fontecilla-Camps, nous avons obtenu des éléments de réponse en étudiant des enzymes bactériennes, nommées hydrogénases, qui catalysent la dissociation de la molécule gazeuse d'hydrogène en deux protons et deux électrons, ou bien, au contraire, la production d'hydrogène à partir de protons et d'électrons : le gaz ne diffuse pas au hasard dans la molécule, mais suit des chemins bien précis (chez certaines bactéries qui vivent dans des milieux dépourvus d'oxygène, l'hydrogène est une source d'énergie).

Les gaz sont souvent pris en charge par des metalloprotéines, des protéines contenant un ou plusieurs atomes métalliques. Certaines catalysent des réactions où interviennent ces gaz, par exemple, la réduction de l'oxygène en eau ou de l'azote de l'air en ammoniac. Dans tous les cas, les réactions ont lieu dans une région particulière de l'enzyme, son site actif : c'est là que le gaz se fixe pendant le transport ou qu'il est transformé. Pour

étudier la façon dont les gaz diffusent dans les protéines, nous avons analysé des cristaux d'une hydrogénase, au moyen du faisceau de rayons X du synchrotron de Grenoble.

Jusqu'à présent, on admettait que, dans les protéines, les atomes bougent suffisamment autour de leur position d'équilibre pour que les gaz puissent se faufiler jusqu'au site actif ou s'en échapper, surtout dans le cas de l'hydrogène, de très petite taille. Or, l'analyse détaillée de la structure tridimensionnelle d'une hydrogénase obtenue par diffraction des rayons X a révélé l'existence d'un réseau de canaux reliant la surface de la protéine au site actif enfoui au cœur de la molécule.

Ces canaux forment un réseau interconnecté et ont un caractère hydrophobe



Le xénon pénètre dans la molécule d'hydrogénase par des canaux (en violet) où sont répartis plusieurs sites de fixation du gaz (les sphères jaunes). La protéine a été représentée par sa chaîne d'acides aminés (une des deux sous-unités est en bleu, l'autre en violet). Les deux sphères centrales indiquent la position du site actif, où sont présents un atome de nickel (en vert), et un atome de fer (en rouge).

(sans affinité pour l'eau), ce qui en fait des passages possibles pour les gaz. Afin de tester cette hypothèse, nous avons fait diffuser des gaz dans des cristaux d'hydrogénase, et observé leur trajet. L'idéal aurait été de faire diffuser de l'hydrogène, puisqu'on sait qu'il interagit avec la protéine. Toutefois, ce gaz n'a pas assez d'électrons pour être détecté aisément par la méthode utilisée, la cristallographie par rayons X. Nous avons donc choisi un gaz inerte plus lourd, contenant plus d'électrons, le xénon. Bien qu'il soit plus gros (deux fois plus gros en moyenne), le xénon est, comme l'hydrogène, un gaz hydrophobe.

Ainsi, lorsque les cristaux d'hydrogénase sont placés sous pression de xénon, on observe que des atomes de xénon pénètrent dans la protéine, très compacte, et s'y fixent le long des canaux hydrophobes déjà observés. Cette expérience prouve que ces canaux sont empruntés par les gaz, ici le xénon. Nous avons, en collaboration avec Patricia Amara et Martin Field, complété ces expériences par des simulations de dynamique moléculaire.

D'après les données structurales de l'hydrogénase, nous avons simulé la diffusion de l'hydrogène dans la protéine : les molécules virtuelles d'hydrogène ne diffusent jamais au hasard dans la protéine, mais, pour circuler, pour atteindre le site actif et éventuellement pour ressortir de l'enzyme, elles empruntent uniquement les canaux mis en évidence par cristallographie.

Ces canaux, présents dans toutes les molécules de la famille des hydrogénases, jouent certainement un rôle important dans le métabolisme de l'hydrogène. Les gaz seraient acheminés de l'extérieur de l'hydrogénase jusqu'au site actif (ou inversement) grâce à ces canaux, mais aussi, vraisemblablement, grâce aux fluctuations des atomes dans la protéine. Ces canaux, lien discret, mais efficace, entre la surface et le site actif, faciliteraient l'accès des gaz jusqu'au cœur de la molécule, et amélioreraient l'efficacité de l'enzyme. Afin de confirmer que ces canaux sont bien le passage obligé de l'hydrogène vers le site actif, l'équipe de Grenoble va tenter de bloquer le canal à l'entrée du site actif par mutation de certains acides aminés : l'activité de l'enzyme devrait alors être notablement réduite. De futures études diront si de tels canaux sillonnent aussi les autres enzymes qui métabolisent des gaz.

Yaël MONTET-BERTHÉAS
Institut de biologie structurale – Grenoble

Propriétés émergentes

L'interaction de plusieurs chaînes biochimiques a des propriétés imprévisibles.

Pendant la digestion, l'amidon du pain est transformé par des enzymes en maltose, puis en glucose qui pénètre dans le sang pour être distribué aux différentes cellules. Il est alors peu à peu dégradé en énergie, en eau et en dioxyde de carbone par une cascade de réactions enzymatiques où le produit de l'une est le réactif de la suivante. Les voies de transmission d'un signal, de l'extérieur vers l'intérieur d'une cellule, sont aussi des cascades de réactions enzymatiques. Upinder Bhalla et Ravi Iyengar, de l'École du Mont Sinaï, à New York, ont montré qu'un ensemble de voies enzymatiques dépendant les unes des autres possède des propriétés qualifiées d'émergentes, c'est-à-dire qu'on ne peut les déduire des propriétés des voies isolées.

Une cascade de réactions prises isolément est sans surprise, c'est-à-dire qu'une molécule initiale – un signal – déclenche rapidement la production d'une molécule spécifique à l'autre extrémité. Cependant, dans une cellule, les voies enzymatiques sont rarement isolées et les produits intermédiaires de l'une sont parfois les réactifs d'une autre : l'ensemble représente un réseau métabolique. Les biochimistes ont modélisé

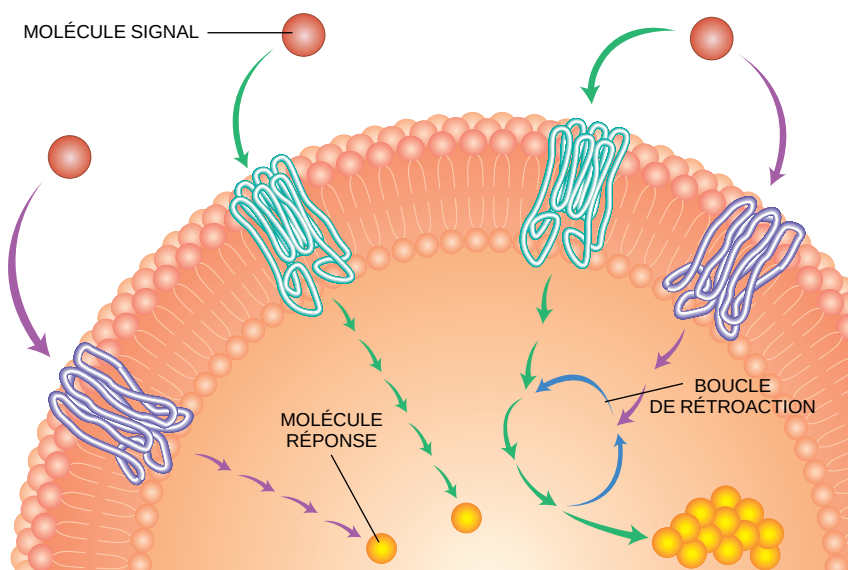
des chaînes de réactions enzymatiques isolées, dont ils ont déterminé les paramètres, tels que les vitesses de réaction ou les concentrations optimales de fonctionnement.

Puis, ils ont modélisé le comportement de deux voies métaboliques associées. Dès ce stade, des propriétés émergentes apparaissent. Après l'arrêt du stimulus déclenchant, les molécules finales continuent à être produites : un cycle métabolique stable, nommé boucle de rétroaction, s'installe et fonctionne en permanence en résistant aux petites fluctuations de concentration.

De plus, de cette association naît un seuil de stimulation qui régule la transmission des signaux : isolées, les chaînes fonctionnent à la moindre stimulation, tandis qu'associées, elles ne réagissent qu'au-delà d'une certaine concentration de molécules.

L'étape suivante a consisté à simuler l'association de quatre voies métaboliques. Là encore, la réponse persiste à l'arrêt de la stimulation. Par ailleurs, les biochimistes ont montré que ce type de réseau adopte un cycle stable qui dépend des conditions initiales telles que la concentration en réactif.

Ces résultats montrent que l'étude de certains phénomènes biologiques requiert la prise en compte de différentes associations de chaînes enzymatiques, l'analyse de leurs propriétés non intuitives et une vision plus globale du métabolisme, car l'analyse des voies métaboliques simples est insuffisante. De même, à une échelle supérieure, l'étude d'un seul neurone est insuffisante à la compréhension de la conscience et de l'apprentissage.



La persistance du signal après l'arrêt de la stimulation est l'une des propriétés émergentes de l'association de plusieurs voies enzymatiques. Isolées, les chaînes de réactions verte et violette produisent une seule réponse (molécule orange) sous l'effet d'un stimulus (molécule rouge). Lorsqu'elles sont couplées, une boucle de rétroaction (en bleu) se crée et la production de molécules réponse continue, même après l'arrêt de la stimulation.

L'origine des insectes

Les insectes seraient des crustacés adaptés à la vie terrestre.

Les découvertes récentes de la biologie moléculaire, débattues au Muséum de Paris, remettent en cause les classifications des insectes et des autres arthropodes. Au milieu du ^{xx}e siècle, les anatomistes pensaient que les insectes devaient être réunis aux myriapodes, les «mille-pattes», dans un groupe d'arthropodes terrestres nommé «atélocérates». Ils étaient apparus il y a environ 400 millions d'années. Les crustacés formaient un groupe encore plus ancien, apparu il y a environ 550 millions d'années et essentiellement aquatique, à l'exception des cloportes.

De nombreux caractères anatomiques séparaient les atélocérates des crustacés : les premiers avaient une seule paire d'antennes, des pattes simples, une «lèvre» sous la bouche, un système de trachées respiratoires qui irriguaient tous les tissus de l'organisme, des glandes digestives particulières. Les crustacés étaient bien différents avec leurs deux paires d'antennes, des pattes bifurquées munies d'une branchie, jamais de «lèvre», pas de trachées ni de glandes intestinales. Les biologistes faisaient remonter la séparation de ces deux lignées au tout début de l'ère primaire ou même juste avant.

À partir de 1990, des séquençages d'acides nucléiques (ADN et ARN) et des reconstitutions de l'histoire évolutive de ces molécules ont précisé la phylogénie du règne animal. Or, certains résultats montraient une nette parenté des insectes non pas avec les myriapodes, mais avec les crustacés. Il fallait revoir toute la question d'après les caractères anatomiques, d'autant que l'étude de l'ordre d'agencement de certains gènes sur l'ADN mitochondrial tendait aussi à réunir crustacés et insectes.

Et si les insectes n'étaient rien d'autre que des crustacés..., mais des crustacés adaptés à la vie terrestre ? Déjà évoquée au début du siècle, l'hypothèse resurgissait. Les caractères anatomiques communs aux myriapodes et aux insectes seraient désormais des convergences adaptatives qui seraient apparues à la sortie du milieu aquatique, et il devenait intéressant de dégager les caractères communs aux insectes et aux crustacés, en particulier certaines structures des yeux, du système nerveux, des mâchoires (mandibules), ou d'hypothétiques correspondances entre les lobes branchiaux des uns et les ailes des autres.

Une différence fondamentale distingue les myriapodes d'une part, les insectes et les crustacés de l'autre (à l'exception cependant des rêmipèdes, extraordinaires petits crustacés des fonds marins découverts seulement en 1981). Les premiers ont un corps uniforme, un «tronc» dont les segments sont tous à peu près semblables ; les seconds ont en commun un corps qui peut se décomposer en «régions» spé-

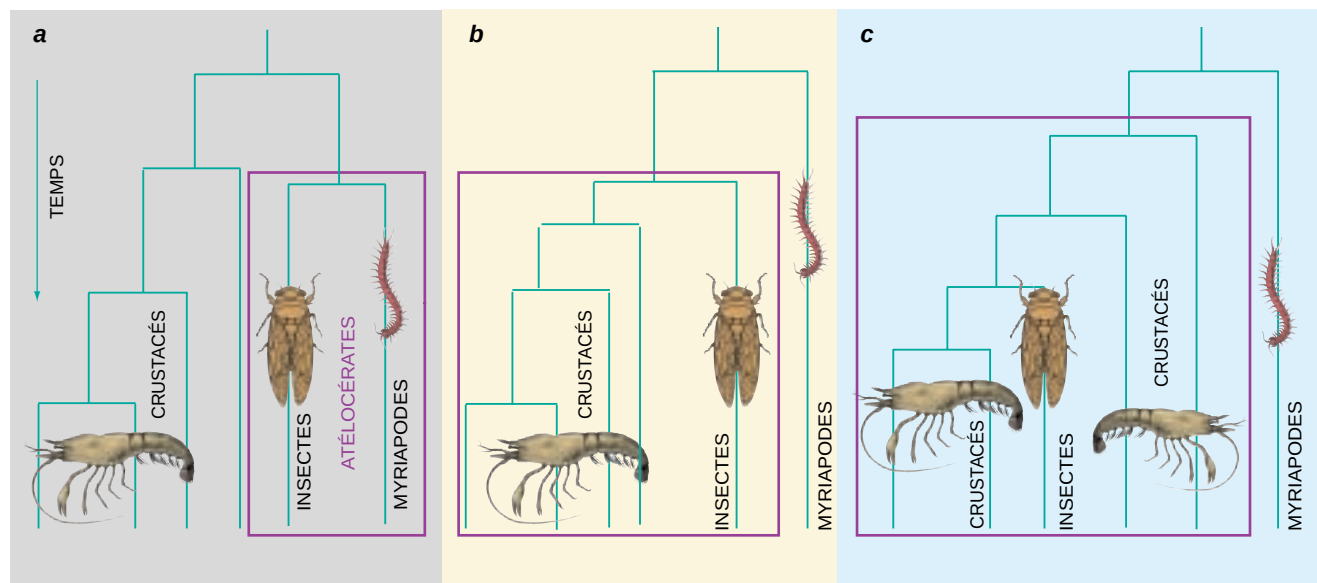
cialisées, tels le thorax ou l'abdomen. Les récentes découvertes de la génétique du développement indiquent que des «gènes à homéoboîte» du système *Hox* (des gènes fondamentaux dans l'organisation de tous les animaux pluricellulaires) seraient responsables de ces spécialisations des différentes parties du corps.

Depuis ces découvertes, les zoologistes ont redoublé d'efforts pour revoir les données anatomiques, aidés par des interprétations nouvelles des caractères morphologiques et par des techniques modernes d'étude, telle la topographie des lieux d'expression de certains gènes du développement. L'examen minutieux des structures du squelette de ces arthropodes, du lieu d'insertion des pattes, de l'origine des ailes des insectes, de l'organisation du système nerveux, et des découvertes spectaculaires d'insectes fossiles vieux de plus de 300 millions d'années – avec non pas trois, mais treize paires de pattes ! –, ont renouvelé les discussions zoologiques.

Cependant le débat n'est pas clos, car de bons arguments demeurent pour réunir insectes et myriapodes. C'est un problème majeur : l'origine des insectes, c'est l'origine de plus de la moitié des espèces du monde vivant. Le premier insecte était-il un crustacé de l'ère primaire qui s'est adapté au milieu terrestre, puis a engendré les millions d'espèces passées et présentes qui ont envahi tous les continents avec le succès que l'on connaît ?

Thierry DEUVE

Laboratoire d'entomologie,
Muséum national d'histoire naturelle



Trois hypothèses proposées pour la phylogénie des insectes, des crustacés et des myriapodes. Soit les insectes sont plus proches parents (ils ont un ancêtre commun) des myriapodes que des crustacés (a). Soit les insectes sont plus proches parents des crus-

tacés que des myriapodes, mais ils n'appartiennent pas au groupe des crustacés actuels (b). Soit, enfin, les insectes sont une lignée parmi d'autres de crustacés, mais cette lignée est adaptée à la vie terrestre (c).

Mammographie numérique

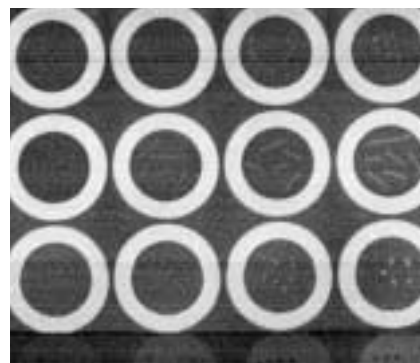
Un nouveau dispositif pourrait déceler des microcalcifications, dans le sein, deux fois plus petites que les dispositifs classiques.

La lutte contre le cancer est souvent une question de temps : plus une tumeur est dépistée rapidement, plus les chances de guérison sont élevées. Une petite tumeur localisée est plus facile à éliminer, par exemple chirurgicalement, et présente peu de risques d'avoir déjà créé des métastases (des cellules cancéreuses ne se sont pas encore échappées de la tumeur primaire pour fonder de nouvelles colonies tumorales éloignées). Un nouveau dispositif de détection des petites tumeurs du sein devrait permettre aux radiologues de dépister des microcalcifications deux fois plus petites que celles que détectent les dispositifs disponibles aujourd'hui, et ceci avec une dose de rayonnement cinq fois plus faible que dans les mammographies classiques.

Lors d'une mammographie, un faisceau de rayons X traverse le sein. Certains photons sont arrêtés par le tissu mou et s'ils traversent une tumeur, ils sont davantage absorbés. Sur l'image, qui indique le nombre de photons arrivant sur l'émulsion photographique, on observe une zone dont la densité diffère. Cette méthode présente deux inconvénients : une proportion



2. Les plaques photographiques détectent moins de photons x (à gauche) que les détecteurs utilisés par l'équipe du LEPSI, de sorte que les contrastes sont meilleurs et que l'on détecte des détails bien plus petits avec la nouvelle méthode (à droite).



notable de photons traverse la plaque photographique sans interagir, donc sans laisser de traces, de sorte qu'on doit augmenter l'intensité du faisceau incident et exposer les femmes à des doses supérieures de rayons X. De surcroît, la numérisation de l'image est difficile de sorte que l'on ne peut utiliser les procédés de traitement de l'image qui permettraient d'améliorer la qualité, ni transférer les données vers des spécialistes éloignés.

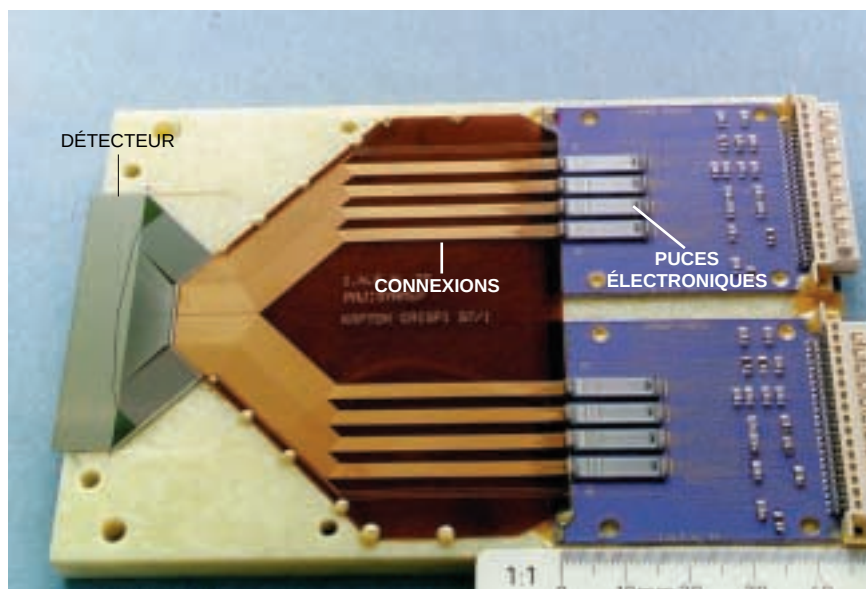
Pour pallier ces inconvénients l'équipe de Renato Turchetta, au Laboratoire d'électronique et de physique des systèmes instrumentaux (le LEPSI), à Strasbourg, a mis au point un dispositif fondé sur les détecteurs au silicium utilisés en physique des particules et sur une nouvelle électronique intégrée. Dans les détecteurs classiques, les photons traversent des sillons tracés dans une plaque de silicium. Dès qu'un photon est absorbé par cette dernière, il engendre une charge électrique

et un circuit électronique reconstruit une image à partir de ces signaux.

Dans le nouveau détecteur, les photons sont absorbés le long de pistes parallèles (voir la figure 1), et chaque piste définit un pixel sur l'image finale. Les pistes mesurent un centimètre de longueur, ce qui est suffisamment long pour que 90 pour cent des photons qui ont traversé les tissus analysés engendrent un signal. Pendant la formation de l'image, de nombreux photons sont absorbés par chaque piste, et il s'agit alors de compter les photons tout en éliminant les signaux parasites dus au bruit de fond. Les détecteurs comptent en parallèle les impulsions, c'est-à-dire le nombre de photons, et le dispositif électronique, adapté à ce flux de photons (beaucoup plus intense que lors de la détection de particules dans les expériences de physique) reconstruit l'image en niveaux de gris.

Les premiers résultats ont été obtenus avec la source de photons X monochromatiques produite par le synchrotron italien de Trieste. Des objets de référence ont été analysés et les résultats obtenus par cette méthode ont été comparés avec ceux d'une radiographie classique (voir la figure 2). Les contrastes sont améliorés, de sorte que des détails très fins apparaissent. On déduit des résultats obtenus que l'on pourrait réduire d'un facteur cinq l'intensité des rayons X nécessaire à une mammographie, et que l'on ferait apparaître des détails deux fois plus petits que ceux mis en évidence par la mammographie classique : on verrait des microcalcifications de 0,05 millimètre de diamètre (avec les mammographies actuelles on ne distingue pas de détails inférieurs à 0,1 millimètre).

Reste à valider la méthode non plus sur des objets, mais sur des patientes, et à trouver un industriel pour passer du prototype à un dispositif commercialisé qui s'adapterait sur les appareils utilisés aujourd'hui.



1. Le détecteur comporte des pistes (les sillons horizontaux) qui sont traversés par les photons incidents détectés par les puces électroniques qui suivent.

FORUM BIO

Etudiants / Entreprises
7 et 8 avril 1999

Espace Double Mixte,
sur le Campus de la Doua
à Villeurbanne (**entrée gratuite**).

parrainé par
la **Fondation Marcel Mérieux**
en collaboration avec
la **Mairie de Lyon**
l'**Université Claude Bernard**
Lyon I

Les objectifs

- **Aider** les jeunes biologistes dans leur orientation professionnelle
- **Initier** une rencontre Étudiants / Entreprises
- **Maîtriser** les outils de la recherche d'emploi
- **Permettre** une rencontre entre les professionnels présents

Les conférences

- Les contrats de recherche Entreprises / Université
- La protection de l'innovation à l'échelle européenne
- Le marketing de la Recherche et du Développement
- Les aides à l'embauche des jeunes diplômés.

Nous contacter

FORUM BIO
Bât. Astrée
43, bd. Du 11 novembre 1918
69622 VILLEURBANNE Cedex

Tél. : 04.72.43.26.34
Fax : 04.72.43.26.35
E.mail : forum.bio@iname.com

[http:// www.multimania.com/forumbio](http://www.multimania.com/forumbio)

Nouvelle espèce de rongeur arboricole

***L'Isothrix sinnamariensis* a été découvert dans les hauteurs de la forêt guyanaise.**

La forêt de Guyane est loin d'avoir révélé tous ses secrets. Les scientifiques qui étudient la faune et la flore de la canopée savent qu'ils découvriront de nouveaux trésors.

Le dernier exemple en date est un petit rongeur arboricole d'à peine 26 centimètres. Il a été déniché par Jean-Christophe Vié, docteur vétérinaire, ancien responsable d'un programme de sauvetage et de recherche mis en place aux abords du barrage de Petit-Saut, à une centaine de kilomètre de Cayenne.

J.-Ch. Vié a attrapé à la main deux rongeurs à quelques jours d'intervalle et dans un rayon de moins d'un kilomètre. Leurs caractéristiques physiques ne semblaient correspondre à aucune espèce répertoriée. Après une captivité d'un mois, les deux échimyidés, deux femelles, ont été envoyés au Muséum d'histoire naturelle de Paris pour examen.

Ce rongeur arboricole possède des caractéristiques particulières : dans les tons de roux et de brun, ses poils sont très doux, alors que l'ensemble des rongeurs de la forêt guyanaise répertoriés ont des poils drus. Il possède de petites taches noirâtres au coin des yeux. Enfin sa queue est plus longue que celle de son plus proche cousin, le pagurus, à moitié dénudée, et elle se termine par une petite touffe de poils, unique chez ce type d'animal.

Une zone de poils blancs est visible au niveau des parties génitales, les pattes sont larges avec des griffes fortes, les oreilles sont légèrement plus petites que celles des autres espèces et arrondies.

Les chercheurs ont d'abord pensé qu'il s'agissait d'une espèce déjà connue, l'*Isothrix pagurus*, présent à quelques centaines de kilomètres de là, au Brésil, et dans l'ensemble du bassin amazonien. Les naturalistes ont poussé leurs recherches plus avant : par séquençage de l'ADN mitochondrial, ils ont déterminé que l'animal est très proche du pagurus du Brésil, du Pérou et de la Bolivie, d'un point de vue morphologique et moléculaire. Mais il diffère de son cousin par le nombre de chromosomes et par un réaménagement chromosomique. Ces deux espèces, sont ainsi génétiquement isolées. L'*Isothrix* a 14 paires de chromosomes contre 11 chez le pagurus.

On connaissait déjà trois sortes d'*Isothrix* : le pictus, le pagurus et le bistrata, bien localisés. Désormais, le genre est composé de cette nouvelle espèce, baptisée *Isothrix sinnamariensis*, du nom de la commune guyanaise de Sinnamary, proche du site où les deux échimyidés ont été capturés. La nouvelle n'a pas fait grand bruit, car l'*Isothrix sinnamariensis* n'est ni plus ni moins qu'une sorte de rat, peu populaire. Elle dénote que la forêt tropicale d'Amazonie est encore méconnue. Caractérisée par l'absence de lumière, cette forêt présente les variétés faunistiques et floristiques les plus riches du monde : les chercheurs ont déjà identifié près de 200 mammifères, dont une centaine de chauves-souris, une centaine de batraciens, 700 oiseaux, 430 espèces de poissons d'eau douce et quelque 1 500 espèces d'arbres. Il reste à faire.

Stéphane URBAJTE



Isothrix sinnamariensis nouveau et sympathique rongeur de la forêt guyanaise.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES

DIDIER NORDON

**Des cailloux
dans les choses sûres**



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F
Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

Plantes trompeuses

Certaines plantes abusent les insectes pollinisateurs avec des fleurs sans nectar. On modélise l'apprentissage de l'insecte.

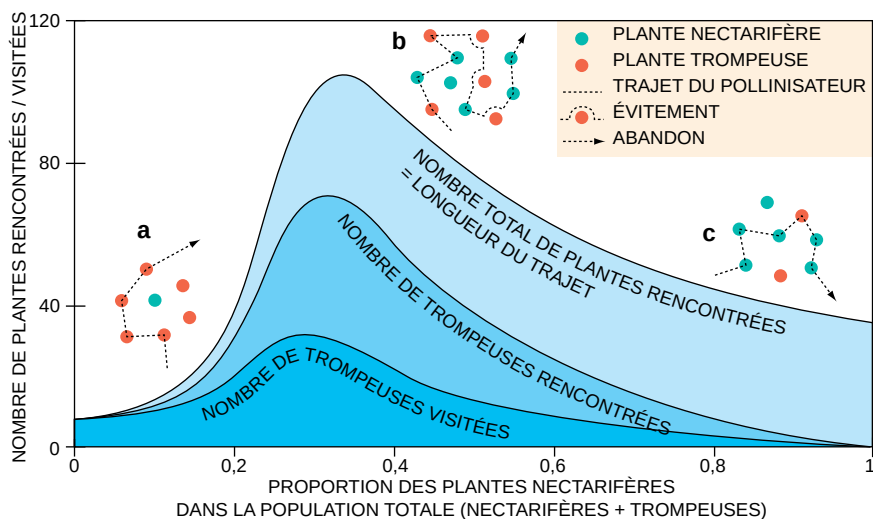
La relation entre insectes et plantes à fleurs semble un modèle de réciprocité. Les insectes qui viennent chercher leur nourriture dans les fleurs transportent, en passant de fleur en fleur, le pollen de la plante et assurent sa reproduction. Celle-ci récompense chaque visite par du nectar ou du pollen et signale la présence de cette récompense par une corolle et des parfums. Toutefois, le signal est parfois fallacieux : la plante produit une corolle attirante et des parfums comme les autres plantes, mais sans rien donner. Il y a une pollinisation « par tromperie ».

Certaines plantes trompeuses profitent du voisinage d'une plante honnête en fournissant le même signal à l'insecte. Le pollinisateur confond alors les deux plantes et continue à visiter la malhonnête, simplement parce qu'il ne la distingue pas de l'honnête. Dans d'autres cas, la plante trompeuse se contente d'être attractive, sans ressembler à une plante honnête. Le pollinisateur peut alors apprendre à l'éviter, mais il ne se rend compte de la supercherie qu'après avoir visité quelques unes de ses fleurs. La trompeuse assure ainsi sa reproduction en profitant de la « naïveté » de ses

pollinisateurs et du temps qui leur est nécessaire pour la démasquer.

Afin de simuler sur ordinateur ce mécanisme de tromperie sans mimétisme, on a modélisé l'apprentissage des pollinisateurs. Initialement, ceux-ci n'ont pas d'expérience. Toutes leurs estimations des gains attendus de telle ou telle plante ne sont que des *a priori* : l'insecte suppose qu'une plante fournit d'autant plus de nectar qu'elle fait de grandes fleurs, ce qui est généralement le cas. Au fil des visites, le pollinisateur va associer à chaque plante la récompense qu'elle fournit réellement, et décidera de visiter une plante s'il en attend autant ou plus que la moyenne des gains obtenus de chaque plante déjà visitée.

Le taux de pollinisation théorique des plantes trompeuses dépend dès lors de leur fréquence par rapport aux plantes nectarifères (leur densité). En effet, plus une plante trompeuse est fréquente, plus souvent le pollinisateur la rencontrera et donc plus facilement il apprendra à l'éviter. En outre, les pollinisateurs abandonneraient rapidement une population composée majoritairement de plantes trompeuses, car ils n'y trouveraient pas assez à manger. La plante trompeuse devrait donc être avantagée à faible fréquence. Toutefois, si l'on considère les visites de pollinisateurs comme une ressource limitée, alors la plante trompeuse entre en compétition avec les plantes nectarifères qui poussent à proximité : être trop rare devient désavantageux. Ces deux mécanismes déterminent une dépendance non linéaire de la den-



1. La proportion des plantes nectarifères et des plantes trompeuses (sans nectar) dans une population détermine le comportement de l'insecte pollinisateur. Quand les trompeuses sont majoritaires (a), l'insecte, faute de point de comparaison, n'apprend pas à les éviter : il visite celles qu'il rencontre. Toutefois, il se décourage vite en raison du faible gain : le trajet moyen (n o m b r e t o t a l d e p l a n t e s r e n c o n t r é e s) d e p l a n t e s r e n c o n t r é e s e s t c o u r t .