

Des insectes à la synchronie menstruelle ou l'étendue de la communication chimique dans le monde vivant*

par Robert WOLF

Université Paul Sabatier

CNRS - Labo de synthèse et physico-chimie organique
118, route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex 4

RÉSUMÉ

*L'univers des insectes nous devient familier grâce à la télévision, aux journaux, au cinéma. Les images agrandies et d'une exceptionnelle qualité de ce monde particulier, nous fascinent par leur étrangeté et parfois éveillent en nous des craintes irraisonnées. Nous avons découvert dans cet empire d'étonnantes originalités, en particulier un mode de communication discret, silencieux et invisible, qui utilise des composés chimiques en quantité infinitésimale pour transporter de l'information. Dans ce domaine, il y a une quarantaine d'années, Adolf Butenandt décrit pour le papillon du ver à soie (*Bombyx mori*) la première phéromone d'appel à nuptialité. Cette découverte va mener loin, car il est maintenant acquis que cette étrange manière de communiquer n'est pas limitée aux insectes, elle appartient au vivant, et vraisemblablement elle est présente dans toutes les espèces, des bactéries aux humains.*

Le sens que nous donnons à *communication* et *chimie*, mérite d'être précisé. On se rend compte de cette nécessité quand on cherche à découvrir les mots qu'un groupe d'étudiants en sciences associe à chacun d'eux. Pour *communication* viennent immédiatement à l'esprit : journaux, téléphone, parler, écouter, fax, ... c'est-à-dire ce qui désigne les *moyens* de communication. Dans cet article nous retenons davantage un second sens du mot : recueillir une information, quelqu'en soit le moyen, et la transformer

* **NDLR** : Cet article a été repris par le professeur R. WOLF à partir de deux articles qu'il a publiés précédemment dans *Fréquence Chimie*, le journal de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse ; nous remercions le Rédacteur en Chef de cette revue d'avoir bien voulu nous autoriser à condenser ces deux articles en un seul.

Le professeur R. WOLF a tenu deux conférences à l'ENSCT sur le même thème dans le cadre des Olympiades Nationales de la Chimie, où il a repris la plupart des notions exposées ici. *Fréquence Chimie* n° 4, juillet 1994 et n° 12, juillet 1996.

en conduite. Un fléchage qui indique la direction de la Poste, un passant qui explique où elle se trouve, sont deux sources d'informations (visuelle et auditive) qui seront transformées en conduite : se rendre au bureau de Poste. Quant au mot *chimie* les auditeurs évoquent le nylon, les colorants, les insecticides, les engrais, la pollution... c'est-à-dire privilégient la chimie au service du modèle de société dans lequel nous sommes actuellement plongés. Curieusement, la chimie du vivant n'est pas évoquée. Constatons combien notre culture profonde reste ancrée à l'idée qu'il y a une différence de nature entre chimie et chimie du vivant. En fait, le transfert d'information à partir d'un produit chimique quelconque, qui pourrait sortir d'un flacon de laboratoire, existe bien. L'acétate d'isoamyle par exemple, transporté par le vent à l'état de trace, établit une communication entre deux abeilles. Celle qui l'émet *commande* une attitude agressive à celle qui la reçoit. En ce sens, la signalisation moléculaire montre que la séparation entre chimie et biologie n'est qu'un divorce sur malentendu. Elle permet aux chimistes commençants d'acquérir une autre image de notre science, de se convaincre que chimie et biologie sont deux facettes d'un même savoir. Une séance de travaux pratiques consacrée à la synthèse d'un ester n'est pas forcément inutile. Il peut s'agir de l'ester qui permet à deux insectes de sexe opposé de se retrouver dans un champ de cinquante hectares (figure 1). C'est le récit sur une quarantaine d'années, de cette étonnante découverte que nous allons raconter, avec le regard d'un chimiste non spécialiste du domaine.

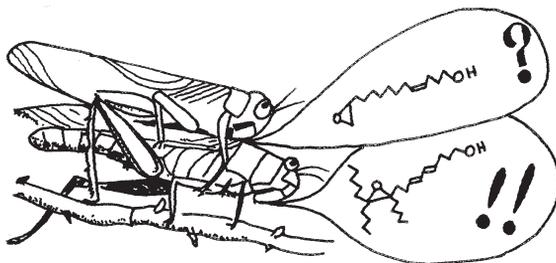


Figure 1

PAPILLONS ET COMMUNICATION PRÉNUPTIALE

Dès le siècle dernier des observateurs astucieux ont remarqué que, dans une même espèce de papillons les mâles sont attirés par les femelles mises en cage. En plaçant une cloche sur la cage, les retrouvailles sont interrompues. Après quelques errements dans l'interprétation il devint clair que le véhicule de cette attirance était une odeur, encore fallait-il le démontrer. Il y a pratiquement soixante ans ce défi intéresse le laboratoire allemand du Pr. Adolf Butenandt à Munich. Cette équipe de Recherche tente de décou-

vrir les composés chimiques indispensables à la vie mais présent dans les organismes en très petite quantité : hormones et vitamines. Dans cette direction entre 1926 et 1939 A. Butenandt apporte une contribution fondamentale à la connaissance des hormones sexuelles. Il découvre en particulier la testostérone et son rôle. La qualité de ses découvertes lui vaut, à trente-six ans, le prix Nobel de Chimie, hommage qu'il recevra la paix revenue. A cette époque, il se fixe comme objectif l'isolement d'une molécule, si elle existe, permettant à un couple de papillons de se rencontrer. Quel est le problème à résoudre ? Si la communication pré-nuptiale passe effectivement par une odeur, c'est-à-dire par une ou plusieurs molécules spécifiques, on doit pouvoir l'isoler, en faire la synthèse et vérifier si elle est bien le vecteur du comportement. Pour réussir il faut surmonter des difficultés énormes : la plus importante est certainement la quantité extrêmement petite de produit mise en jeu. Un insecte ce n'est pas bien gros, la glande source de l'odeur est des centaines de fois plus petite et c'est à l'intérieur de cette dernière que se trouve le composé chimique recherché. Ces réalités nous amènent dans la zone d'une dizaine de nanogrammes (10^{-8} g.) de composé actif. Pour espérer en isoler un milligramme il faut partir de 100 000 insectes avec le défi de pouvoir l'extraire. L'entreprise fut cependant tentée.

L'insecte choisi est le Bombyx du mûrier, le ver à soie (*Bombyx mori*), surtout pour la maîtrise ancestrale de son élevage, en Chine, il y a plus de deux mille ans. On sait que mâle et femelle du Bombyx sont strictement monophage, et ne mangent que la feuille du mûrier. De plus ils ne volent pas, ce qui fut certainement une commodité pour les expérimentateurs !

La première tentative est réalisée sur un million de cocons, desquels naquirent 313 000 femelles permettant d'isoler autant de glandes. On apprend assez vite que le dérivé recherché est un alcool. Il est manipulé sous forme d'un ester solide, coloré, facile à purifier et à régénérer. Malgré les 5,25 mg isolés après des années de travail la première tentative se solde par un échec. Cependant un savoir indispensable s'accumule. Un progrès essentiel est la mise au point d'un test biologique qui permet de savoir si l'on progresse dans la bonne direction. Ce test peut se définir ainsi : on prend comme repère la quantité d'extrait qui provoque dans un groupe de trente à soixante mâles de *Bombyx mori* la sarabande pré-nuptiale de la moitié d'entre eux.

La seconde tentative est entreprise à partir de 500 000 glandes et fournit 12 mg d'ester. L'alcool correspond à la formule brute $C_{16}H_{30}O$, il est baptisé Bombykol (figure 2).

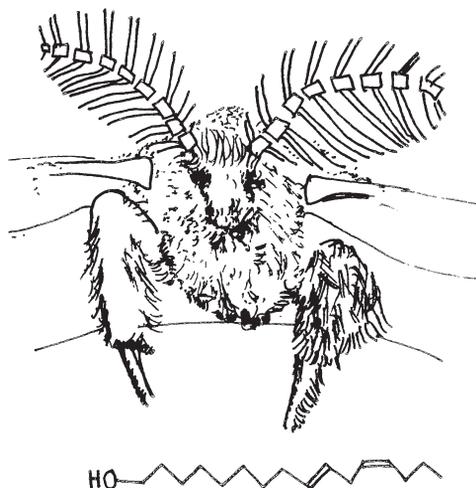


Figure 2 : Le Bombykol.

Il restait à confirmer le résultat en réalisant la synthèse totale du Bombykol. Elle fut entreprise, comporte une dizaine d'étapes et conduit à des quantités de produit énormes comparées à ce que demande la signalisation moléculaire. Tous les Bombyx du monde en une saison en produisent moins qu'une seule préparation standard. L'efficacité du produit de synthèse fut contrôlée et trouvée positive. Il fallut vingt-deux ans pour aboutir à cette réussite et établir de manière définitive, en 1959, l'importance de la communication chimique dans le monde des insectes. On utilise communément le terme de phéromone pour désigner le signal moléculaire émis entre individus d'une même espèce qui confère un avantage à chacun. Cette définition permet la distinction avec les hormones, qui relèvent aussi de la signalisation moléculaire mais à l'intérieur d'un individu.

Admirons chez les papillons les performances du dispositif de communication mis en place par l'évolution. D'abord une glande, de deux ou trois cent mille cellules, capable de synthétiser à partir de composés simples comme des acides gras ou leurs esters, un dérivé volatil qui va servir de sémaphore chimique. La quantité est infinitésimale, de l'ordre d'une dizaine de nanogrammes. Cependant il faut faire intervenir ici le nombre d'Avogadro pour se rendre compte de quelle manière le système est fonctionnel. Dix nanogrammes d'une phéromone communément rencontrée, contiennent comme ordre de grandeur 25 000 milliards de «molécules individuelles». Vu sous cet angle, on comprend pourquoi une telle quantité de «grains moléculaires», portée par un vent favorable, peut informer un papillon mâle jusqu'à plusieurs kilomètres. Bien entendu, les ré-

cepteurs, portés par les antennes sont adaptés aux quantités mises en jeu. A chaque instant une centaine de molécules suffit pour piloter le papillon mâle vers la future épousee. Ramené à l'échelle humaine, cela veut dire qu'en dissolvant une goutte de Bombykol (50 mg) dans un milliard de tonnes d'eau, 1 km^3 , une goutte de cette solution contiendrait encore assez de molécules actives pour obtenir une réponse positive au test que nous avons évoqué.

Les électrochimistes affirment même qu'il est dès maintenant possible, en utilisant des ultramicroélectrodes sur une cellule d'antenne de papillon de déceler la rencontre d'une seule molécule individuelle avec son récepteur.

UN THÈME SANS LIMITE

Un domaine immense s'ouvrait à la recherche. Il a bénéficié au fil des années d'au moins trois atouts :

- D'abord le thème est sans limite. Si l'on suppose que chaque espèce d'insectes dispose, ne serait-ce que d'une dizaine de dérivés pour communiquer, on imagine le catalogue des produits utilisés par les 800 000 espèces actuellement répertoriées (figure 3).
- Second facteur favorable : nous ne sommes pas neutres dans les problèmes de cohabitation entre les hommes et les insectes ; nos intérêts, ceux du charançon et du doryphore divergent, davantage encore depuis que nous sommes passés de l'agriculture morcelée aux modes géants de production. Or très vite il est apparu que la connaissance de la signalisation moléculaire des insectes nous donnait le pouvoir d'intervenir en notre faveur dans l'équilibre des populations. Un pouvoir qui intéresse un large secteur de l'activité humaine.
- Troisième atout, ces trente dernières années cette recherche a bénéficié plus que d'autres des extraordinaires progrès de l'instrumentation scientifique, particulièrement ceux de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrographie de masse, chacune étant utilisée individuellement ou de façon couplée. Ces méthodes permettent des séparations de produits et identifications de structure à l'échelle du nanogramme. A cette échelle on peut même réaliser des dizaines de réactions chimiques (oxydation, réduction, estérification...). Un exploit comme celui de Butenandt est de nos jours accessible en quelques mois par une équipe de taille modeste. De tout cela il résulte que les quelques milliers de scientifiques qui travaillent dans le monde sur ce thème ont rassemblé une moisson de découvertes extraordinaires. Nous avons choisi de raconter la communication chimique dans des situations très différentes. Chez les insectes d'abord, puis lorsque ceux-ci sont en interaction avec le monde végétal. Nous parlerons ensuite de certaines amibes, qui dans l'évolution sont à la fois mono et pluricellulaires. Dans notre Arche de Noé nous ajouterons un couple de lamproie, un verrat et sa truie... sans exclure les humains.

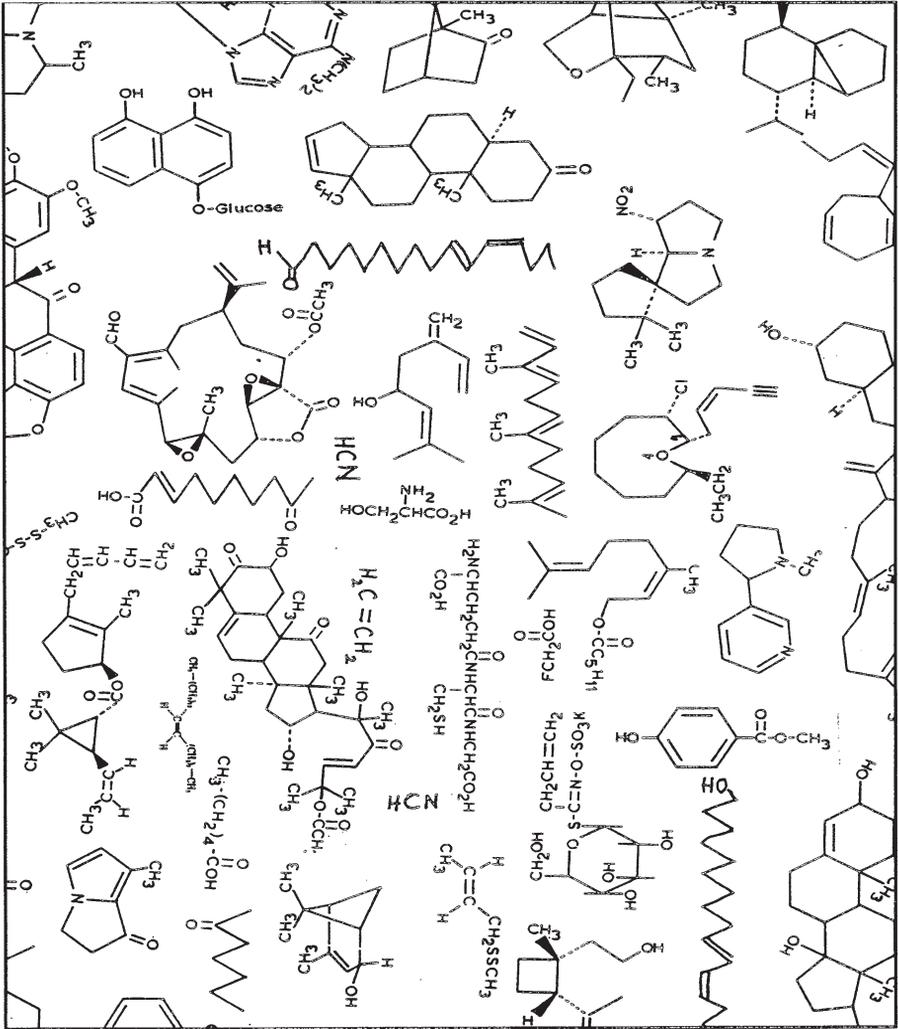


Figure 3 : Des signaux moléculaires parmi des milliers d'autres.

LE PAPILLON PIÉGÉ

Voyons d'abord comment la signalisation moléculaire de l'appel sexuel peut être utilisé à notre avantage. Au-dessus d'un champ de chaume on constate qu'un papillon mâle se dirige vers la source de phéromone jusqu'à faire un kilomètre en douze minutes. Nous utilisons une telle performance à le perdre. Des pièges contenant l'attractant de synthèse sont utilisés pour attirer les mâles et les détruire. Des opérations de grande envergure ont été tentées contre les dévastateurs des forêts. Ainsi il y a quelques années les ministères de l'agriculture de Norvège et Suède, avec l'appui de 40 000 propriétaires forestiers ont distribués un million de pièges contenant l'attractant sexuel d'*Ips typographicus*, un insecte ravageur. Le résultat : sept milliards d'insectes capturés en deux ans avec des espoirs de limiter les dégâts de cet insecte. On peut aussi saturer l'appel à nuptialité sur de grandes surfaces en utilisant des quantités de l'ordre de quelques milligrammes par hectares. Pratiquement la phéromone est incluse dans de petits morceaux de plastique capillaire qui laisse l'odeur se dégager lentement. Les papillons mâles sont soumis au supplice : chercher en vain des femelles jamais découvertes. En progressant dans cette lutte on utilise maintenant des procédés de plus en plus élaborés qui mêlent la signalisation moléculaire sexuelle, les insecticides classiques en petite quantité (attracticides), conjointement, si possible, avec les parasites de l'insecte prédateur.

Dès maintenant une cinquantaine d'entreprises à travers le monde proposent des phéromones spécifiques ainsi que les connaissances et accessoires nécessaires pour les utiliser au mieux. Pour le moment on estime à 1 % les récoltes mondiales protégées de cette manière mais cette méthode de contrôle des populations d'insectes a beaucoup d'atouts et devrait augmenter en importance.

LES SÉMAPHORES CHIMIQUES : UN LANGAGE TRÈS DIVERSIFIÉ

Des informations autres que la recherche nuptiale peuvent être transmises par communication chimique, rassemblement, balisage, alarme, repérage de site de ponte, reconnaissance d'identité, défense... Pour chaque type d'information le signal moléculaire est le plus souvent complexe : il ne s'agit pas d'un produit chimique unique mais d'un cocktail formé de plusieurs composés. Bien plus, souvent l'insecte émetteur ajoute de l'information en jouant sur les concentrations globales ou relatives, en utilisant des émissions pulsées en fonction du temps, en ajoutant à la chimie des signaux acoustiques, des postures rituelles, des signaux optiques pour les insectes nocturnes... Pour souligner encore davantage l'importance du procédé chimique de communication c'est par cette voie que la reine d'abeille inhibe le développement des ovaires des ouvrières, ce n'est plus une conduite mais une modification physiologique qui est subie ! (M. BARBIER et J. PAIN 1960). En bref, la communication chimique est une composante dans un système intégré construit pour fournir les informations nécessaires à des répon-

ses qui nous semblent stéréotypées, mais qui répondent en fait à des situations diversifiées et complexes. Pour les chercheurs le décryptage du système est une captivante et longue marche, dans laquelle ils ne sont pas à l'abri de se tromper de chemin.

APPEL À SE RÉUNIR, MARQUAGE DE PISTE...

L'interprétation du comportement des insectes n'est pas toujours évidente. En chimiste naïf, j'ai lu et cru, que l'appel à se réunir était bien illustré par le comportement des mouches. En été quand l'une d'elle découvre quelque relief de repas, dix minutes plus tard de nombreuses consœurs partagent le festin, la muscamone, un hydrocarbure monoéthylénique à vingt-trois atomes de carbone, isolé de la mouche (figure 4) servant à se réunir. Un ami entomologiste, Luc Passera, a corrigé mon erreur. La mouche étant un insecte solitaire, elle ne s'occupe pas des ressources alimentaires de ses congénères, avec lesquelles elle est en compétition. En fait c'est l'odeur de la ressource alimentaire qui est à l'origine du rassemblement (rendez-vous gastronomique), une bonne occasion, avec une phéromone spécifique de lancer un appel à nuptialité (rendez-vous galant)... quand on ne vit qu'un seul été, cette hâte n'est pas à reprocher.

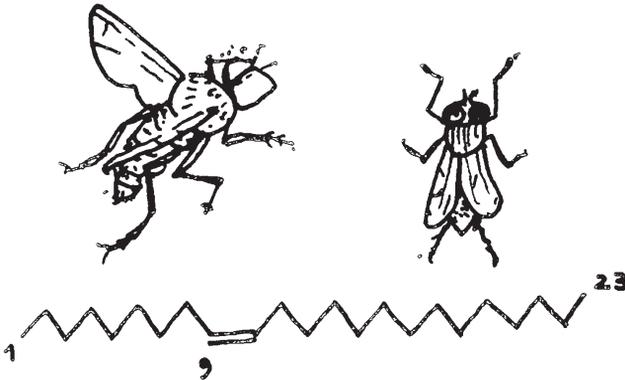


Figure 4 : La mouche et la muscamone.

Les phéromones qui commandent l'agrégation sont essentielles chez les insectes sociaux. Ainsi le criquet *Schistocerca gregaria* alterne les vies solitaires et grégaires, ce sont des phéromones spécifiques qui commandent les regroupements.

Toujours chez les insectes sociaux, l'organisation collective nécessite de trouver ou de retrouver des lieux en suivant des itinéraires, il en résulte que le marquage des territoires et des pistes est essentiel. La signalisation moléculaire répond à cette nécessité.

Chez la fourmi *Tetramorium caespitum L.*, la phéromone de piste des ouvrières est composée de deux pyrazines (figure 5) dans la proportion 70/30. Chaque fourmi dont le poids est d'un demi-milligramme transporte environ 4 ng ($4 \cdot 10^{-9}$ g) de mélange. Le test biologique qui permet de vérifier l'information couplée à ces molécules mérite d'être cité : sur un buvard on balise une piste circulaire avec une solution très diluée du mélange ; la marche au hasard des fourmis se trouve canalisé par le tracé. Dans cet exemple c'est bien le mélange 70/30 des pyrazines qui conduit à l'efficacité maximale. Soulignons que les molécules de marquage de piste sont utilisées avec parcimonie. Tout calcul fait, un mg du mélange des pyrazines permettrait de signaler 40 000 km. A l'idée de suivre une piste s'oppose celle d'interdire un lieu. Elle aussi peut être transcrite avec un produit chimique. La mouche pondeuse *Rhagoletis cerasi L.*, spécialisée dans la cerise nous offre un bon exemple de site interdit. Elle permet d'expliquer pourquoi nous disons «le ver est dans le fruit» et non «les vers sont dans le fruit». Quand nous prenons la précaution de regarder s'il y a éventuellement un occupant dans une cerise, nous constatons que pratiquement toujours, l'intrus est seul. En fait la mouche dépose un seul œuf par fruit en signalant l'occupation de celui-ci par une phéromone. Cette dernière a été isolée et sa structure déterminée en 1987. Elle a une formule étonnante (figure 6) puisqu'elle associe le glucose, un acide palmitique modifié et la taurine $H_2NCH_2CH_2SO_3H$. Comme la protection des cerisiers par ce répulsif s'est révélée efficace, plusieurs synthèses totales ont été proposées. La dernière en date (K. Mori 1994) est en dix-huit étapes avec un rendement de 5,9 % ce qui est très honorable.



Figure 5 : Deux pyrazines comme phéromones de piste.

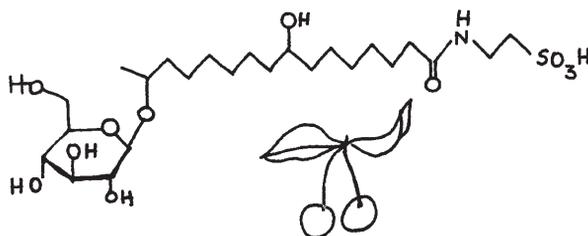


Figure 6 : Phéromone de contrôle : un seul œuf par cerise.

L'ALARME ET LA DÉFENSE

Autre communication fort utile, l'**alarme** : lorsque sur un rosier les prolifiques pucerons se pressent en paquets serrés alors qu'un prédateur carnivore vient manifester son appétit, il est bon de se disperser en se laissant tomber. Cette chute est commandée par une phéromone d'alarme. Pour le puceron *Myzus persicae* il s'agit du E, β farnésène. Ce composé offre un bon exemple de la continue compétition entre plantes et insectes au cours de l'évolution. En effet une espèce de pomme de terre sauvage, *Solanum berthaultii*, émet précisément le même composé par les poils de ses feuilles. Cette plante en simulant une alarme évite d'être envahie par les pucerons prédateurs consommateurs de sa sève. Nous reviendrons sur le thème de l'écologie chimique dans la cohabitation des insectes et des plantes.

On sait qu'il existe un flou sans remède entre la défense et l'attaque, la première, préférée dans notre langage social, car elle absout du terme d'agresseur. Quoi qu'il en soit, les composés chimiques dont la fonction est de détourner l'autre de vouloir vous attaquer, ou d'occuper votre niche, sont nombreux et caractérisés depuis longtemps. Il y a une raison à cela : les quantités mises en jeu sont souvent des dizaines de milliers de fois plus importantes que pour les phéromones sexuelles ou de marquage. L'acide formique, son nom dit son origine, est décelé par le promeneur qui dérange une fourmi-lière. La composition des jets d'acide est élaborée, ils contiennent souvent un tensioactif, l'acide octanoïque par exemple (synonyme de caprylique) qui permet aux gouttelettes de bien s'étaler sur la victime à fin de mieux l'irriter. Plus agressif encore, l'acide cyanhydrique **HCN** est d'un emploi courant. Une espèce de mille-pattes, *Apheloria Corrugata* stocke celui-ci sous forme de mandelonitrile lequel peut être transformé brusquement en gaz toxique. Toujours au Ministère de la Défense des insectes, on observe d'autres stratégies : tantôt brutales, tantôt perverses. *Brachynus crepitens*, qui a tout l'air d'un scarabée, pratique le bombardement. Dans une véritable chambre à explosion cet insecte oxyde brutalement un mélange de deux hydroquinones (figure 7) en

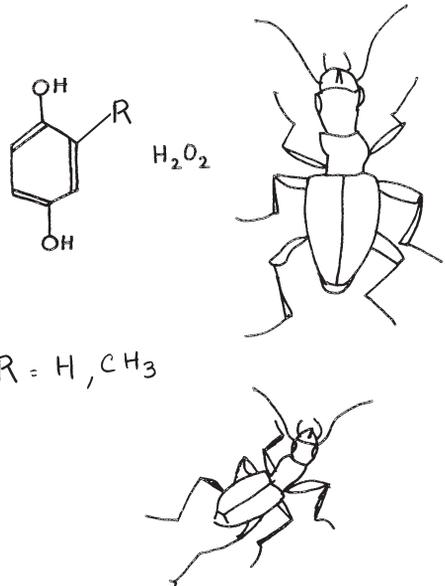


Figure 7 : Le bombardier.

quinones par l'eau oxygénée à 25 %. Ce procédé lui donne quelques avantages sur les occupants abusifs de ses niches familières. Plus discrètement certains pucerons utilisent des substances psychotropes pour se défendre de l'araignée *Zygiella notata*. Si cette dernière consomme trop de pucerons elle finit par être droguée et construit des toiles aberrantes.

Sans être fortement toxique les désappétants ont pour rôle de couper l'appétit aux consommateurs. Tel mollusque, *Aplysia brasiliiana* a une chair si désagréable à consommer qu'il décourage bien des prédateurs ; on connaît la formule chimique du composé qui le rend immangeable.

UNE COMPLEXITÉ CAPTIVANTE ET DÉROUTANTE

La communication chimique entre les insectes est complexe et diversifiée. Quand on possède les éléments scientifiques d'une affirmation, souvent les résultats qui suivent montrent qu'ils doivent être complétés, et ne peuvent être généralisés.

Nous avons parlé des glandes sources de phéromones, c'est souvent vrai mais pas toujours. Les phéromones peuvent aussi provenir de zones d'excrétion peu structurées et sans canal de sortie. Le bombykol provoque le comportement pré-nuptial du Bombyx mâle ? C'est vrai, mais une quinzaine d'années après sa découverte on a décelé la présence d'une seconde molécule, le bombykal, c'est-à-dire l'aldéhyde correspondant. Curieusement ce dernier inhibe l'attraction de la phéromone sexuelle. On pense immédiatement que l'aldéhyde est présent pour réguler la cohue des prétendants et donner le signal de fin d'appel. On lit que cette interprétation est trop simpliste pour rendre compte des données expérimentales.

La femelle du papillon a-t-elle toujours l'initiative de l'appel pré-nuptial ? Les mâles célibataires arrivent-ils toujours isolément ? Il n'en est rien. Pour les papillons nocturnes *Hepialus hecta* ce sont des phéromones émises par des mâles qui commandent un rassemblement de mâles. Ceux-ci forment un essaim dans lequel ils planent et volent avec un mouvement pendulaire. Les femelles attirées à la fois par une phéromone pré-nuptiale et des stimuli optiques touchent un mâle en vol et le couple se retire sur une plante voisine. Nous avons parlé des récepteurs placés sur les antennes. Ce n'est pas exclusif : la mouche de la cerise en possède au bout des pattes, c'est quand même plus commode pour savoir, en «goûtant», si la cerise est occupée.

Nous venons d'apprendre que des centaines de milliers de molécules spécifiques, circulent dans l'atmosphère en transportant l'information nécessaire au monde des insectes. Mais cet empire avec son million d'espèces, n'est pas isolé du reste des vivants,

il cohabite, coexiste, coévolue avec un million d'autres espèces, parmi lesquelles nous comptons pour une ! Cela sous-entend que des communications chimiques se sont établies en tous sens, chaque espèce étant affiliée avec des végétaux ou animaux particuliers. Dans une insaisissable complexité la communication chimique est présente pour offrir à chaque espèce des chances de se perpétuer. C'est la longue cohabitation entre les insectes et les végétaux qui va maintenant nous offrir des exemples complexes de transfert d'informations par produits chimiques et la grande surprise de ces dix dernières années est de constater que les plantes participent de manière active à ce langage.

INSECTES ET RÈGNE VÉGÉTAL

Dans des appareils spécialement conçus pour analyser la «respiration» des plantes, on constate que celles-ci émettent continuellement un mélange de produits chimiques. Le cocktail fourni par un plant de coton comporte une quinzaine de composés (figure 8) connus des chimistes et joliment baptisés : pinène, bisabolène, farnésène... la quantité produite est, pour l'ensemble, de l'ordre du microgramme en trois heures d'après-midi. Encore une fois nous soulignons que cette quantité extrêmement petite correspond à l'échelle moléculaire, pour chacun des produits, à des dizaines de milliers de milliards de molécules individuelles ! De quoi signaler des volumes énormes et susciter des conduites chez les insectes munis du bon récepteur.

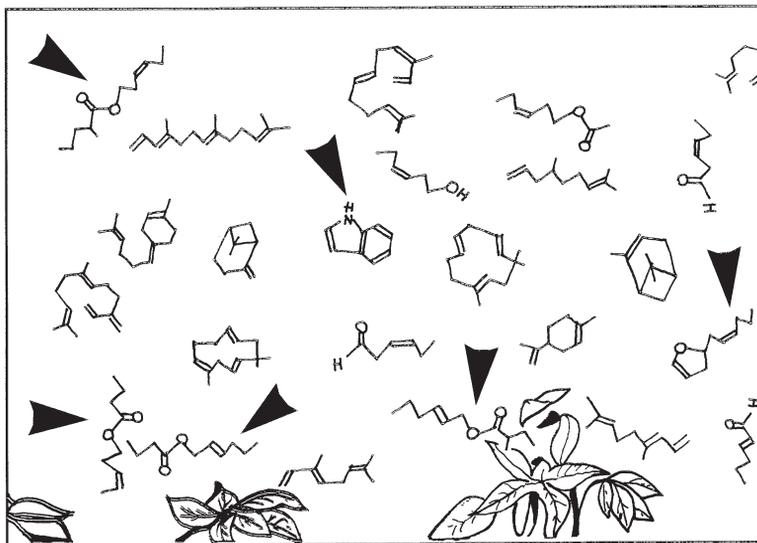


Figure 8 : Le cotonnier agressé modifie ses émissions chimiques.

Si l'on agresse ce plant de coton avec cinq chenilles affamées (des larves de *Spodoptera exigua* Hübner) l'émission est fortement modifiée. D'abord une demi-douzaine de composés nouveaux sont détectés, figure 8, parmi lesquels l'indole et la jasmone. Ensuite, les quantités globales recueillies, toujours pour trois heures dans les trois après-midi qui suivent, sont respectivement multipliées par 20, 100 et 40. Ces événements démontrent à l'expérimentateur que le plant de coton dispose d'un système complexe d'émission de produits chimiques, et qu'il est modifié par une agression. Cet embryon de langage chimique est présent chez les plantes les plus diverses. Pour quelles raisons ? Bien des hypothèses ont été explorées : cicatrifier la blessure, éviter des infections bactériennes ou virales, refouler l'arrivant avec des molécules dissuasives : toxiques, malodorantes, gluantes, désappétantes, ... ou encore informer les plantes voisines ? Autant de proposition que la recherche essaie de vérifier en commençant d'abord par les plantes de grande culture servant à l'alimentation de l'homme.

Les résultats sont parfois inattendus. On sait interpréter une partie au moins de la «conversation» entre le maïs (*Zea mays*), une chenille gourmande de ses feuilles (*Spodoptera frugiperda*) et une guêpe parasite de cette dernière (*Cotesia Marginiventris*). On a observé depuis longtemps que cette guêpe assure la nourriture de sa progéniture en pondant un œuf dans la chenille préalablement paralysée. Ce n'est pas une défense mais une agression chimique caractérisée ! La chenille, garde-manger vivant qui finit par périr, assure le développement de l'œuf en une semaine environ. Mais comment dans l'étendue d'un champ de maïs la guêpe découvre-t-elle ses victimes ? Une première idée fut explorée : peut-être la chenille émet des traces de composés volatils repérés par les guêpes ? La réponse fut négative, pratiquement aucun signal de ce genre n'a été décelé. Pourtant l'expérimentation montre que la guêpe détecte à des distances considérables des dérivés chimiques volatils. Bien plus, elle peut, par apprentissage, associer une odeur inconnue à une récompense (une chenille bien entendu !). Une interprétation devenait possible : les émanations odorantes du maïs agressé sont interprétées par la guêpe comme la présence d'une chenille qui commence à dévorer les feuilles. La plante appliquerait le proverbe : l'ennemie (la guêpe) de mon ennemie (la chenille) est mon amie, donc je l'appelle par voie chimique. Reste à découvrir par quel stimulus la plante est avertie de l'agression du prédateur. A ce niveau encore on retrouve une signalisation moléculaire. La chenille n'émet pas de substances volatiles, mais ne peut pas cacher la nature de ses régurgitats et déjections. C'est le couplage des produits chimiques de ceux-ci avec les blessures faites en mangeant la feuille qui déclenche la réaction d'alerte. Une feuille blessée d'un coup de rasoir et le plant ne réagit pratiquement pas. Mais le dépôt de régurgitat sur cette blessure provoque une émission qui attire la guêpe. Quand nous parlons de feuille c'est en fait la plante entière qui répond à l'agression de la chenille phytophage, les feuilles non blessées participent à l'émission.

Deux faits sont inattendus : d'abord le rôle actif de la plante qui par signalisation moléculaire aide la guêpe dans ses recherches. Ensuite la possibilité de modifier le comportement des guêpes par apprentissage avec l'idée sous-jacente de les utiliser comme agents de police dans les grandes cultures. Sans doute, ce ne sera pas une sinécure d'être l'instructeur d'un guêpier ! Mais l'homme est autant intéressé que la plante à la limitation de certaines chenilles et explore comment utiliser ces subtils mécanismes en sa faveur. La voie mérite d'être étudiée avec prudence, car ces équilibres dépendent d'un nombre énorme de facteurs. En ajoutant au drame des trois partenaires, guêpe, maïs et chenille, ne serait ce qu'un champignon et une bactérie par acteur, on sent bien avec quelle rapidité le problème se complique... ! Pour l'anecdote, notons que dans ces communications l'une des info-molécules est le β trans bergamotène, un joli nom qui fait penser à Nancy.

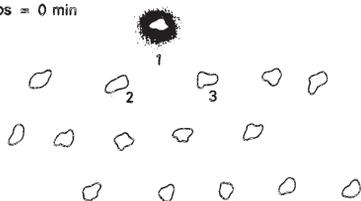
On a pu démontrer que les signaux moléculaires émis par les végétaux ont d'autres fonctions. Dans un rayon d'une vingtaine de mètres, ils informent les plantes de même espèce de la venue d'un prédateur, information qui provoque préventivement le système de défense. Ces résultats et beaucoup d'autres montrent qu'un réseau dense et complexe de communications chimiques fonctionne entre les insectes et le monde végétal.

Quittons insectes et végétaux pour remonter dans l'évolution vers des créatures monocellulaires.

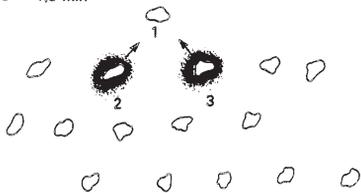
AMIBES ET BACTÉRIES

Pour un non spécialiste en biologie, intuitivement, le procédé qui consiste à transmettre une information par un produit chimique relève d'une construction du couple émetteur-récepteur plus simple que celle nécessitée par les communications, sonore et a fortiori optique. Comme chaque individu pour sa survie a besoin de recueillir des informations venant du monde extérieur on n'est pas surpris de lire que chez les êtres monocellulaires c'est justement par reconnaissance moléculaire que ces informations sont obtenues (chemiotaxie). Ainsi *Escherishia Coli*, à la recherche d'un nutriment, se dirige à l'aide de ses flagelles vers le L.aspartate dès que la concentration de ce dernier atteint 3 mg par m³, une donnée qui lui est fournie par des récepteurs adaptés. La même bactérie fuit les ions nickel et cobalt divalents, toxiques à sa survie. Cette saisie d'informations chimiques par la bactérie contient en germe les bases de la signalisation moléculaire. En milieu aquatique, il est vital pour une cellule d'obtenir des informations sur la concentration d'un cation dans le milieu extérieur afin de réguler les pompes qui maintiennent le gradient de concentration entre le dedans et le dehors. De façon pragmatique on peut suggérer que la communication chimique se développe quand les rejets moléculaires naturels de la bactérie permettent à ses consœurs d'imiter une migration favorable ou à un prédateur de la repérer et d'aller la consommer. La communication

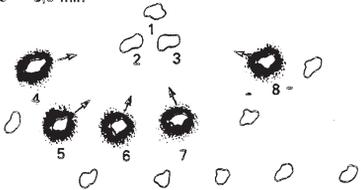
a) Temps = 0 min



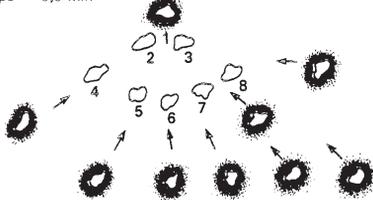
b) Temps ~ 1,5 min



c) Temps ~ 3,0 min



d) Temps ~ 5,0 min



De proche en proche, grâce à une signalisation chimique, cent mille amibes environ se réunissent en quelques heures, quand la faim se fait sentir, pour former la 'limace' au bas de la prochaine colonne.

Figure 9 : Amibes-rassemblement (extrait de [5])

chimique est inséparable, consubstantielle au vivant. C'est la découverte tardive et par fragments du phénomène (insectes, végétaux, poissons, hormones humaines...) qui retarde la prise en compte globale de son importance. Ces remarques nous amènent aux amibes, gourmandes de débris et surtout de bactéries.

Un centimètre cube de terre peut contenir, comme ordre de grandeur, un million de bactéries et mille amibes : ces dernières ont une taille de dix à vingt fois plus grande que celle des bactéries. Dans le sol les amibes les plus importantes sont dites acrasiales, du nom de la sorcière *Acrasia*, Reine des Fées dans un poème d'Edmund Spenser, qui attirait les hommes en les envoyant pour les transformer en animaux.

Le comportement des amibes *Dictyostelium Discoïdeum* est considéré comme une des premières tentatives de l'évolution dans le passage des êtres vivants monocellulaires vers les structures pluricellulaires. Cette particularité a attiré les biologistes qui disposent là d'un modèle particulièrement bien adapté pour étudier comment environ cent mille amibes individuelles se rassemblent en une espèce de limace d'un millimètre (figure 10), se différencient et fabriquent ensemble environ 70 000 spores. Ces amibes ont une vie brève, sont relativement simples : une situation très favorable pour des études expérimentales.

Chaque amibe, isolément, essaie de réaliser le projet de chaque créature : trouver les conditions les plus confortables pour survivre et se multiplier. Quand

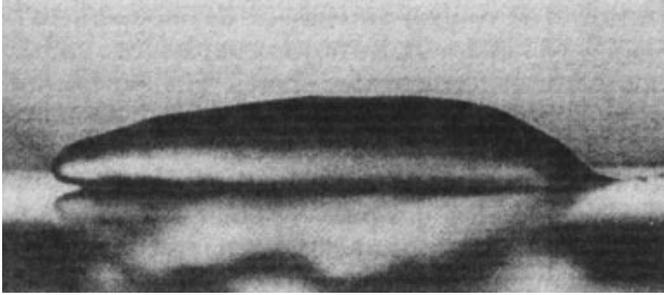
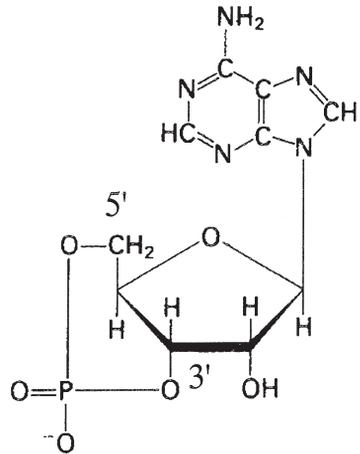


Figure 10 : Amibes-limace (une 'limace' faite de 100 000 amibes)

la nourriture abonde, il n'y a pas de problème. Si les conditions matérielles deviennent difficiles, ce que l'on sait faire à volonté en les privant de bactéries, on observe après une période de huit heures, que les amibes qui formaient une couche uniforme dans la boîte de Pétri commencent à se rassembler vers un centre. Celui-ci est issu d'une amibe unique (figure 9). On a pu démontrer que l'appel de détresse est une salve moléculaire formée d'adénosine monophosphate cyclique (AMP cyclique, figure 11). En passant, admirons quel succès représente la caractérisation d'un composé chimique dans ces conditions, un composé entre des milliers d'autres possibles ! Le signal est périodique, émis environ toutes les six minutes, et dans un rayon de l'ordre de six à dix diamètres d'amibes. Celles qui sont touchées par le signal sont alors stimulées pour deux conduites. Elles remontent le gradient de concentration du dérivé phosphoré vers le lieu d'appel et émettent à leur tour de l'AMP cyclique. Pour que le système fonctionne, le signal doit être périodiquement détruit afin qu'il ne soit pas noyé dans le bruit des signaux précédents. C'est une enzyme, la phosphodiesterase qui assure cette destruction.



3',5'-AMP cyclique ...

Figure 11 : l'AMP cyclique.

Pour savoir comment l'amibe est guidée par la phéromone, les chercheurs ont envisagé deux dispositifs : ou bien elle possède des récepteurs différemment placés donnant des signaux d'intensité différentes suivant la direction, ou bien la concentration est déterminée, disons chaque minute, mémorisée, la direction étant choisie en fonction de

deux mesures successives. Les résultats expérimentaux sont en faveur de ce dernier dispositif. Chaque espèce d'amibes acrasiales possède un signal moléculaire particulier. Bien sûr les chercheurs, pas forcément malveillants mais curieux, ont mélangé deux espèces différentes pour observer que chacune s'agglomère sans erreur avec ses seules congénères ! Le but du rassemblement provoqué par la pénurie alimentaire, est de former des spores, mieux adaptées que les amibes elles-mêmes aux conditions difficiles. La sporulation relève aussi de la communication chimique : un facteur de différenciation intervient qui impose aux amibes deux destins différents. Il a été caractérisé et bizarrement c'est un dérivé chloré du gaïacol (figure 12). Par son action, sept dixièmes environ des amibes donneront des spores, les autres serviront à former l'armature d'une espèce de très petit champignon qui se forme à partir de la limace. Tout se passe comme si ces deux destins étaient distribués au hasard (qui choisit ?), suivi par des migrations à l'intérieur du tout petit champignon, chaque amibe se dirigeant vers le lieu de sa destinée. Un événement tout à fait inattendu a pu être mis en évidence. Si l'être composite, la limace, est coupé en deux, la commande du gaïacol est annulée et la différenciation dans chacune des deux moitiés repart à zéro !

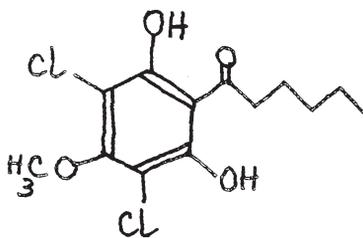


Figure 12 : Amibes ; Ce message chimique, un dérivé du gaïacol, discrimine parmi cent mille amibes, 'la limace', celles qui sont bonnes à former des spores (70%), de celles qui, plus modestement, formeront la tige d'un minuscule champignon.

LA LAMPROIE

En se promenant dans les rues de Bordeaux quelques vitrines de restaurant invitent le passant à venir manger de la lamproie (*Petromyzon marinus*). C'est une espèce de poisson primitif sans mâchoire (agnathe) qui a la forme d'une anguille. Sa bouche est circulaire et s'applique comme une ventouse au poisson qui sera dévoré. En terme d'évolution la lamproie marque l'émergence des vertébrés et son squelette est plus cartilagineux qu'osseux. Son apparition remonte, estime-t-on, à 530 millions d'années. Elle est commune dans les eaux marines aux embouchures des fleuves. Pour l'attraper les pêcheurs de la Gironde placent dans une nasse pour la nuit une lamproie mâle sexuellement mature (figure 13). Le lendemain matin ils recueillent des lamproies femelles attirées par l'appel du mâle. On a pu déterminer que c'est l'urine qui contient la ou les molécule(s) attractive(s). Dans le mélange des composés extraits de celle-ci on a caractériser la testostérone, la même molécule qui chez les humains commande les caractères de masculinisation de l'embryon. Le seuil de concentration pour obtenir une

réponse positive est de l'ordre du milligramme pour 30 m³ d'eau. Une étude plus détaillée montre cependant que la testostérone n'est pas seule active, car l'urine elle-même est dix mille fois plus efficace. Ou bien une ou plusieurs autres molécules sont présentes avec un pouvoir attractif énormément plus grand, ou bien un effet synergique intervient entre la testostérone et quelque(s) autre(s) molécule(s).

L'apparition de la testostérone dans ce récit en tant que phéromone, c'est-à-dire en tant que molécule chimique intervenant entre deux individus d'une même espèce (la lamproie) au profit de chacun, illustre la difficulté à trop bien définir les mots hormones et phéromones. Car cette testostérone est bien la même qui valut en 1939 le Prix Nobel à Butenandt pour la découverte de la première hormone sexuelle, définie alors comme une molécule messagère intercellulaire, donc à l'intérieur de l'individu. La testostérone transporte donc des informations sans rapport entre elles chez la lamproie et chez l'humain. Cela est vrai aussi pour l'AMP cyclique rencontré chez les amibes, la même molécule est utilisée comme second messenger dans la plupart des cellules, c'est-à-dire sert de relais entre un signal reçu à l'extérieur de la cellule et l'intérieur de celle-ci. On observe là un phénomène qui s'est imposé dans l'étude du vivant : une même molécule, une même unité fonctionnelle (protéine, enzyme...) sont adaptables et réutilisables dans des dispositifs diversifiés et pour des usages très différents. Il y a là un principe d'économie, de parcimonie, matérialisé d'une certaine manière dans le code génétique, universellement présent dans le vivant, capable de fabriquer des pièces détachées utilisables par des êtres différents.

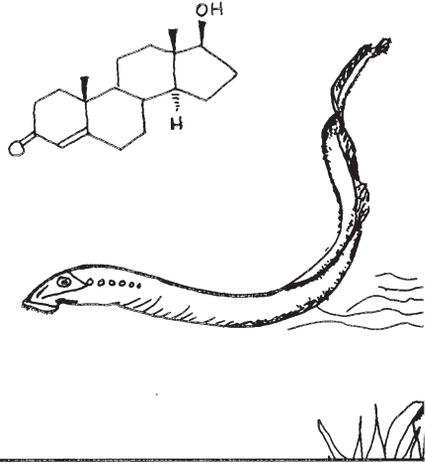


Figure 13 : La testostérone participe à l'appel de la lamproie mâle au moment de l'accouplement.

PRÉLUDES À L'ACCOUPEMENT DU PORC (*SUS SCROFA*)

Il y a encore quelques décennies, pour s'accoupler, la truie et le verrat étaient enfermés dans un petit enclos pendant que l'éleveur et son copain buvaient en attendant que cela se fasse (figure 14). On savait que l'accouplement était précédé d'approches sexuelles qui duraient un bon quart d'heure. Le verrat n'a pas de vésicule à contenir le

sperme et le fabrique extemporanément. Le rituel se terminait par un échange de salive entre le verrat et la truie après quoi cette dernière consentait. Pour déterminer le jour de l'accouplement fertile, le naisseur, riche en connaissances pratiques, appliquait les mains sur le dos de la femelle ou s'y mettait à califourchon. Des réactions réflexes indiquaient le moment propice ; cependant une truie sur trois ne répondait pas à ces tests.

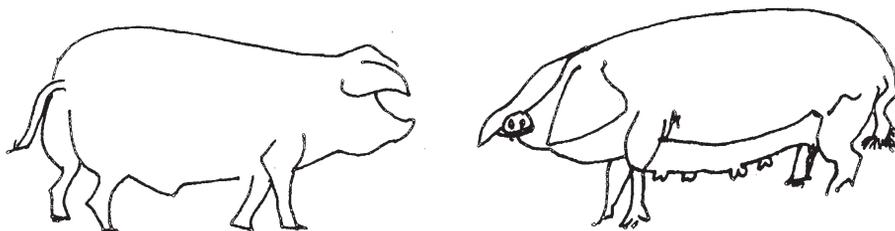


Figure 14 : La chimie intervient dans nos ébats.

L'insémination artificielle et l'élevage en batterie ont bouleversé ces pratiques et l'agronomie a étudié sans romantisme l'ultime câlinerie du verrat (ceux qui ont vu la scène me disent que le mot câlin n'est pas adapté !).

Dans la salive de celui-ci on a pu caractériser, puis isoler deux molécules actives. Elles sont très proches en formulation de la testostérone. L'étude de leur mode d'action a permis une curieuse utilisation. Ces stéroïdes pulvérisés dans la bouche de la truie permettent, pratiquement dans tous les cas, de faire apparaître les réflexes de la période fertile. Le produit est vendu en pharmacie vétérinaire sous le nom de «Boar-mate» (accouplement du verrat).

Quand cette histoire est racontée en public, des auditrices confient au conférencier combien ce genre de découverte éveillent des analogies déplaisantes. Le chimiste signataire en convient, cependant les résultats de la recherche scientifique étendent à l'humain beaucoup d'observations de ce genre et permettent à Jean Didier Vincent dans la «Biologie des passions» (Edit. Odile Jacob, 1994) de montrer comment nos conduites sont assujetties à des commandes biologiques qui nous échappent en grande partie. La communication chimique dans notre espèce est plus délicate à explorer car elle modifie profondément certaines de nos façons de penser. Notre culture n'a pas de représentation pour appréhender ce transport d'information silencieux et invisible. L'expression «Je ne peux pas le sentir» est l'une des rares à évoquer l'olfaction dans les rencontres humaines. Non seulement le procédé échappe à nos sens, mais nous avons des réticences à admettre que nos conduites pourraient devoir quelque chose à des commandes téléguidées échappant à notre libre arbitre... et pourtant !

LA SYNCHRONIE MENSTRUELLE

On sait depuis longtemps que lorsqu'un groupe de femmes vit ensemble de manière proche il apparaît un phénomène de synchronie menstruelle. Le phénomène peut être observé dans les dortoirs de lycée, les communautés religieuses, les ateliers... Avant que ne se forme un groupe, les femmes ont des cycles dispersés dans le mois et après une quinzaine de semaines de vie commune les cycles tendent à coïncider sur une période de quelques jours. Des expériences ont été menées pour démontrer la réalité du phénomène et tenter d'en découvrir l'origine. Guidés par des naturalistes ayant relevé des phénomènes approchants chez d'autres mammifères les chercheurs ont focalisé leur attention sur la sueur axillaire (des dessous de bras).

Un groupe de femmes au cycle menstruel régulier, défini par vingt-neuf plus ou moins deux jours, sert de donneur. Ces dames notent soigneusement les dates des règles et recueillent sur des cotons, trois fois par semaine et pendant trois cycles menstruels complets la sueur axillaire. On groupe les échantillons rassemblés pendant les trois jours qui suivent les règles, puis ceux recueillis des quatrième au sixième jours, les jours 7, 8, 9 et ainsi de suite. On forme ainsi dix ensembles de sueur axillaire, chacun obtenu par période successive de trois jours et provenant de donneurs différents. Avec chaque ensemble on prépare des solutions alcooliques des sueurs récoltées. La seconde partie de l'expérience consiste à faire inhaler ces extraits à intervalle de quelques jours à dix dames ayant des cycles menstruels réguliers mais dispersés dans le mois. On constate qu'après dix à treize semaines le calendrier des cycles s'est fortement déplacé vers celui des solutions pilotes. On conclut qu'il existe une ou plusieurs substances dans les glandes axillaires, produites de manière cyclique qui imposent un nouveau rythme. Bien entendu les groupes étudiés contiennent des témoins auxquels sont appliqués des solutions alcooliques vierges ; les dames concernées ne subissent pas de variation de cycle, validant ainsi l'expérience.

Que les hommes ne soient pas jaloux, par vie commune avec une dame nous avons aussi quelque influence. Notre sueur axillaire contient aussi des molécules de régulation capable de normaliser le cycle menstruel de femmes ayant des cycles réguliers hors de la moyenne (moins de vingt-six jours, plus de trente-deux jours).

On sait que le cycle menstruel est soumis à de multiples facteurs, fatigue, maladie, choc émotionnel, ... mais dans des conditions choisies il est clairement piloté par signalisation moléculaire. Le chimiste est impatient de connaître le nombre et la nature des molécules qui interviennent. Dans un article récent, Xiao-Nong Zeng et coll. (1996) montrent qu'au moins trente-cinq composés sont présents dans la sueur axillaire. Ce résultat illustre combien la recherche est ingrate et difficile, car trente-cinq c'est beaucoup trop pour découvrir facilement ceux qui ont un rôle essentiel dans cette synchro-

nie. D'autant plus que dans ce mélange d'autres produits chimiques relèvent de la communication, par exemple ceux qui permettent au nouveau-né de reconnaître sa mère.

Dans tous les exemples que nous avons choisis il y a une séparation claire entre un individu qui émet les infomolécules, le milieu qui porte le signal, l'air ou l'eau, et l'individu qui reçoit l'information et la transforme en conduite ou subit une modification physiologique. On imagine facilement que la communication chimique à l'intérieur d'un individu, le passage des phéromones aux hormones, relève d'une complexité infiniment plus grande. En toute logique nous devrions maintenant aborder le domaine des produits chimiques qui commandent les processus de mue chez les insectes, évoquer la première rencontre entre chimie hormonale et contraception (en 1921)... ce serait le thème d'un autre article. Le seul exemple que nous retenons illustre comment l'embryon féminin humain ne peut qu'obéir à une cascade de commandes hormonales dérégulée.

PSEUDO-HERMAPHRODISME

Chacun de nous a lu que les hormones androgènes, la testostérone en particulier, sont responsables de la masculinisation de l'embryon et commandent celle-ci par des mécanismes complexes. Bien sûr on ne peut pas réaliser d'expériences dans ce domaine mais, malheureusement, la nature nous offre quelquefois des conditions quasi expérimentales. Dans l'hyperplasie des surrénales, c'est-à-dire quand les surrénales possèdent un nombre trop grand de cellules sans avoir de caractère cancéreux, le fœtus féminin est soumis à un excès d'hormones androgènes. En conséquence, inévitablement, mécaniquement pourrait on dire, cette agression entraîne la virilisation des organes génitaux externes ; l'appareil masculin se développe et la personnalité fille est touchée. A la naissance une intervention chirurgicale lourde suivie d'un rééquilibrage hormonal sont nécessaires pour tenter de retrouver la personnalité fille. La responsabilité des commandes chimiques est ici clairement mise en évidence. On utilise le terme de pseudo-hermaphrodisme, car dans l'hermaphrodisme vrai, celui de l'escargot par exemple, une même glande produit les gamètes mâles et femelles, ce n'est pas le cas ici. Dans un pays comme le nôtre, la fréquence de cette malformation est de l'ordre d'une naissance sur cinq mille, une centaine de cas annuellement. Dans ce domaine la recherche porte sur la possibilité de déceler très tôt la menace d'ambiguïté sexuelle et de prévenir la malformation par un rééquilibrage hormonal. Devant ces données, nous nous interrogeons sur ce que nous considérons comme le normal chez chacun de nous. Il recouvre une infinie variation d'influence hormonale, et, dans ces conditions, où commence l'anormal ? On découvre qu'une connexion forte existe entre génétique et comportement.

EN CONCLUSION

Sur quelques exemples choisis parmi des centaines plus intéressants les uns que les autres, nous avons montré que la communication chimique est une des propriétés fonctionnelles du vivant. Ce mode de transfert de l'information est présent partout, des êtres monocellulaires à l'espèce humaine. Dans ce domaine la communauté scientifique a acquis son savoir en partant de modèles extrêmement différents. Cette remarque est illustrée par la variété des mots qui désignent le messager chimique : phéromone, hormone, facteur de croissance ou de différenciation, neuro-transmetteur... Un fil conducteur se dégage cependant : au départ la synthèse de la molécule messagère, son transport aérien, aquatique, ou dans les «humeurs» des êtres multicellulaires, puis, une arrivée sur une protéine cible, une traduction vers le système neuronal, une transformation en signal qui enfin commande une conduite ou déclenche un effet physiologique. Chaque étape suscite des recherches approfondies pour en comprendre la complexité et découvrir les diversités du système. A tous les niveaux le biologiste moléculaire apporte sa marque. Ces résultats nous donnent un éclairage original sur l'évolution. On a mis récemment en évidence chez l'abeille domestique des gènes relevant du système olfactif qui présentent une forte ressemblance avec ceux des vertébrés, ce qui plaide pour l'existence de gènes ancestraux communs pour un large ensemble d'espèces utilisant la signalisation chimique comme moyen de communication.

Vient la question qui pour nous est la plus intéressante, quelle est l'importance de la communication chimique chez les humains ? La synchronie menstruelle nous a montré qu'en tous cas elle est présente. Cependant l'exploration de ce domaine qui ne fait que commencer, une trentaine d'années au plus, rencontre au moins deux obstacles. D'abord, même s'il y a une analogie entre une phéromone d'alarme et un cri d'alerte, le langage humain a pris le pas, et de beaucoup, sur la communication chimique. Cette dernière, par nature invisible et silencieuse, est difficile à découvrir même dans les domaines où elle pourrait jouer un rôle essentiel.

Second obstacle : bien des résultats relevant de la signalisation moléculaire donnent lieu à controverse et cela pour une raison déjà évoquée. Autant il nous est facile de comprendre et d'accepter les conduites stéréotypées de la souris (rituel d'accouplement, conduites maternelles ou agressives...) et de les corrélérer à des commandes chimiques bien caractérisées, autant nous avons une réticence naturelle à accepter que de tels mécanismes puissent intervenir à notre insu dans nos conduites. Cette difficulté est surtout morale. La communauté scientifique, avide de savoir, explore de toutes façons les influences possibles des facteurs olfactifs sur nos conduites et nos états d'âmes : anxieux, dynamiques, dépressifs, euphoriques... elle va jusqu'à rechercher si nos choix amoureux sont influencés par des «odeurs» enregistrées inconsciemment. L'existence chez l'homme de deux nez, dont l'un serait «sexuel», l'organe voméronasal, est intri-

quant. Les chimiorécepteurs de ce dernier sont totalement différents de ceux de notre système olfactif principal. Bien plus, les neurones des deux systèmes sont connectés à des régions différentes du cerveau, c'est-à-dire engendre des réactions comportementales différentes.

Quel futur pour la communication chimique ? On relève dans le monde qui nous entoure une foule d'observations qui posent questions et dans lesquelles la communication chimique pourrait jouer un rôle. Pourquoi des peurs contagieuses puis paniques aboutissent aux fuites collectives et suicidaires des lemmings ? Comment la fertilité d'une espèce varie en fonction de la surpopulation, une commande que l'on sait exister, indépendamment des individus ? Comment sont réglés les pourcentages entre masculin et féminin ? Comment sont modulées les alternances pacifiques et guerrières des animaux sociaux - des fourmis et des hommes - ? A ce propos, l'augmentation de la production de soldats dans des fourmilières de même espèce soumises à compétition est une découverte étonnante (L. Passera, L. Keller et Coll. une collaboration entre Toulouse et Lausanne, 1996). Sans aucun doute des dizaines de facteurs interviennent dans l'apparition de ces événements, le futur dira dans quelle mesure et comment intervient l'information transportée par des produits chimiques et si celle-ci joue un rôle dans nos choix amoureux.

Surtout n'oublions pas que l'olfaction est partie intégrée dans l'ensemble des autres systèmes qui recueillent et traitent l'information (vision, audition, toucher, magnétisme...). Le papillon mâle qui remonte le gradient d'odeurs vers sa femelle, enregistre des images, des sons, les tourbillons du vent et y ajoute un vol erratique pour augmenter ses chances de survie. Les sources d'informations et les conduites s'entrecroisent en champ clos, capables de se modifier quand changent entre les espèces les solidarités et les compétitions. Malgré tout ce qui s'écrit quotidiennement nous pensons que notre savoir sur le vivant est encore modeste face à cette complexité. Le chimiste se forge ce point de vue quand il tente de lire un livre de 1200 pages sur la cellule [5], il la voit comme un volume de quelques microns cubes plein à ras bord de milliers de machineries chimiques.

En attendant, modestement et utilement, les forestiers utilisent la crotte de chien ou les dérivés chimiques qui s'y trouvent pour éloigner les cerfs et les biches des jeunes plantations de chênes et les organisateurs des Jeux Olympiques d'hiver de Lillehammer protègent les pistes des rennes vagabonds avec l'urine de loup...

Le futur des découvertes sur les «odeurs» a toutes les chances d'être surprenant.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W.C. AGOSTA : «*Chemical Communication : The language of pheromones*» ; Scientific American Library, 179 p., New York, N.Y (1992).
- [2] J. T. BONNER : «*Les signaux chimiques des amibes sociales*», Pour la Science, n° 68, p. 60 (1983).
- [3] R. BROSSUS : «*Phéromones*», La Communication Chimique chez les animaux. Collection Croisée des Sciences (Belin, CNRS) (145 réf.) (1996).
- [4] J. TUMLINSON, J. LEWIS et L. VET : «*Comment certaines guêpes détectent leurs hôtes*», Pour la Science, n° 187, p. 84 (1993).
- [5] DARNELL et Coll. : «*La cellule, biologie moléculaire*», Éditions Vigot-Decarie.