

La communication chez les insectes et autres organismes

Alain Lenoir

IRBI, Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte, UMR CNRS 6035
Université François Rabelais, Tours
CDDP Tours, 6 avril 2011

Pour qu'il ait communication il faut émission d'un signal par un individu émetteur, et que ce signal soit perçu par un autre individu de la même espèce, le récepteur. Celui-ci réagit, cette réponse est perçue à son tour par l'émetteur qui va en tirer un bénéfice. Par exemple une grenouille mâle chante, une femelle perçoit le chant et répond en s'approchant du mâle, et va accepter de s'accoupler. Le chant peut cependant aussi être perçu par un prédateur ou un parasite. Dans ce cas, au niveau de l'espèce, le coût ne doit pas excéder le bénéfice sinon le signal disparaîtrait. Classiquement on distingue dans la communication quatre types de signaux selon leur nature : sonore, tactile, visuelle et chimique, mais aussi l'écholocation dont on ne parlera pas ici. Souvent la communication se fait en utilisant plusieurs canaux à la fois comme on le verra.

Communication visuelle

Elle est en général peu importante chez les invertébrés. Chez les guêpes, une hiérarchie agressive linéaire stricte se met en place au printemps entre fondatrices puis entre la reine et les ouvrières. Tibbets a montré chez une espèce américaine (*Polistes dominulus*) que le nombre et la taille des tâches du clypéus en avant de la tête sont corrélés avec la taille de l'animal et son statut de dominance : les plus grosses deviennent dominantes. Il y a ainsi reconnaissance individuelle, ce qui est très rare chez les insectes (Tibbets and Dale, 2004). Ce signal indiquant le statut est utilisé couramment chez les oiseaux, par exemple la taille de la tâche noire de la gorge des moineaux dans les agressions nutritives.

Communication tactile

Elle est fondamentale chez les mammifères (voir exposé de Raymond Nowak). On connaît le « langage des fourmis » : quand deux fourmis se rencontrent, elles se « parlent » avec leurs antennes. En fait elles se touchent pour échanger des informations sur leur visa chimique (voir plus loin). Les fourmis échangent de la nourriture liquide, un comportement appelé trophallaxie, et échangent des battements antennaires rapides pour s'informer de leur état de motivation. Il ne s'agit pas d'un langage. Certains coléoptères myrmécophiles (« qui aiment les fourmis ») ont au cours de leur évolution appris à mimer le langage antennaire des fourmis, ils savent quémander une trophallaxie aux fourmis ouvrières.

Communication sonore

Tout le monde connaît le chant des grillons, sauterelles qui est un appel sexuel. Certaines fourmis peuvent aussi striduler grâce à un grattoir situé sur l'abdomen, avec un stylet qui frotte dessus. Ce chant est très primitif et sert surtout en situation de stress, d'alarme.

Communication chimique

Chez les insectes, la communication chimique est fondamentale. Karlson et Lüscher ont créé en 1959 le terme de phéromone à la suite de l'identification du bombykol

(phéromone sexuelle du papillon du ver à soie, *Bombyx mori*) par Butenandt la même année. Tous les domaines de la vie des insectes sont concernés : phéromones sexuelles, phéromone royale des abeilles, reconnaissance coloniale et à l'intérieur de la colonie entre individus, alarme, formation de pistes chimiques (recrutement de congénères pour la défense du nid et exploiter une source de nourriture, déménager), marquage du territoire. La quantité de phéromones peut être extraordinairement faible. On a ainsi calculé que 1 mg de la phéromone de piste d'*Atta* (fourmi champignoniste tropicale) permettrait de faire 3 fois le tour du monde en conservant son efficacité.

On a tendance actuellement à séparer les phéromones (au sens large) des signaux identitaires (Wyatt, 2010) :

- Phéromone (entre individus d'une même espèce), kairomone (signal utilisé par un prédateur ou un parasite), allomone (signal utilisé par une espèce pour duper une autre espèce à son profit), synomone (signal entre deux espèces à bénéfice réciproque) : molécule ou combinaison de molécules qui déclenche une réponse innée ;
- Signature chimique : mélange de molécules dont la composition est apprise par le récepteur, permettant la reconnaissance de l'autre individu ou colonie.

La reconnaissance coloniale chez les fourmis

Les fourmis sont de véritables usines chimiques, on a ainsi identifié 40 glandes (21 chez l'abeille). Nous avons beaucoup travaillé sur la reconnaissance coloniale : la colonie de fourmis est en général une entité fermée ; les étrangers sont reconnus et rejetés (Lenoir, 2004). Cette reconnaissance est liée à une odeur coloniale portée sur la cuticule. Grâce aux techniques modernes d'analyse chimique (chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse) qui permettent d'analyser des quantités infimes de substances (quelques nanogrammes !) on a pu montrer que les substances impliquées dans la reconnaissance sont des hydrocarbures (chaînes de carbone et d'hydrogène) très peu volatils. Ces substances sont présentes sur la cuticule de tous les insectes qu'elles protègent contre la dessiccation. Chez les insectes sociaux elles servent en plus pour la reconnaissance coloniale et forment une sorte de code-barres identitaire. Elles sont échangées entre les individus en permanence pour former un visa colonial commun (Dahbi et al., 1998). Ce fait a été retrouvé chez toutes les fourmis, par exemple récemment chez la petite fourmi noire de nos jardins *Lasius niger* (Lenoir et al., 2009). Dans certaines espèces comme chez les abeilles, il existe même des individus spécialisés dans la reconnaissance des intrus, des gardiennes. Diverses espèces ont détourné ce système de reconnaissance coloniale pour s'introduire dans la colonie de fourmis sans se faire attaquer en mimant l'odeur de l'hôte. C'est ainsi que de nombreux myrmécophyles sont parfaitement intégrés dans la société de fourmis qui les héberge : ils ont l'odeur de leur hôte. Les jeunes fourmis à l'émergence n'ont pas d'odeur, leur odeur se forme en plusieurs jours pendant lesquels elles apprennent l'odeur de leur colonie. Les fourmis esclavagistes ont tiré profit de cet apprentissage : elles utilisent de jeunes ouvrières d'une autre espèce (kidnappées lors de raids) qui apprennent à leur éclosion imaginale l'odeur de leurs parents adoptifs et elles se mettent à leur service (D'Ettorre et al., 2002). À l'intérieur de la colonie, la reine a une odeur particulière : tout en ayant l'odeur de la colonie, elle se différencie par diverses molécules comme cela a été montré récemment par électroantennographie (D'Ettorre et al., 2004).

Un aspect en plein développement est la recherche des protéines de récepteurs olfactifs et gustatifs avec la génomique. On trouve chez la fourmi moissonneuse *Pogonomyrmex barbatus* 344 gènes de récepteurs odorants avec environ 350 glomeruli dans les lobes olfactifs du cerveau, soit un récepteur par glomérule du cerveau, incluant des gènes de récepteurs aux hydrocarbures (Smith et al., 2011). Chez la fourmi de feu *Solenopsis invicta* on en trouve au moins 297, 367 chez la fourmi d'Argentine et 430 chez la fourmi charpentière *Camponotus* alors qu'il y en a 10 chez le poux, 50-60 chez la drosophile, 165 chez l'abeille (Wurm et al., 2011) et 205 chez la blatte américaine. On estime que ce développement important des gènes de récepteurs odorants est lié à la communication chimique importante dans la vie sociale. Chez les mâles de fourmis qui ont une vie sociale très peu développée et une durée de vie très courte, le nombre de récepteurs est beaucoup plus faible (215-260 chez le mâle de *Camponotus*, 116 chez le mâle d'abeille). Il est possible actuellement d'avoir une vue très précise du cerveau des insectes et même de reconstituer le trajet des neurones sensoriels et autres neurones (voir images sur le diaporama).

Communication interspécifique et tricherie

Les signaux émis par un animal peuvent être utilisés par d'autres espèces comme des prédateurs, par exemple des chauves-souris, et des parasites. C'est ainsi que le Grillon (*Gryllus integer*) a comme prédateur des mouches parasites Tachinides *Ormia ochracea* dont les larves tuent l'hôte en une semaine. Les mâles chanteurs sont parasités à 80%. Il existe une stratégie pour minimiser les dangers : ne pas chanter et se mettre à proximité d'un mâle chanteur pour intercepter des femelles. Ces mâles satellites sont parasités seulement à 14%. À Hawaï, il est apparu en 2003 une mutation sur les ailes qui empêche les mâles de chanter et en quelques années on trouve 90% des mâles qui ne chantent plus (Zuk et al., 2006).

Communication multicanaux

On a vu que les fourmis échangent des signaux tactiles qui leur permettent aussi de reconnaître chimiquement le partenaire. Le grillon australien *Teleogryllus oceanicus* mâle courtise classiquement les femelles par un chant. Il existe une hiérarchie entre les mâles, les dominants agressant les dominés pour les empêcher de chanter. Les mâles subordonnés compensent ce déficit en produisant plus de phéromones cuticulaires (hydrocarbures) qui les rendent plus attractifs envers les femelles (Thomas and Simmons, 2009). Cette modification est rapide : si on met en présence deux mâles dominants, l'un des deux devient dominé en 24 heures et change son profil chimique pour se rapprocher de celui d'un dominé (Thomas and Simmons, 2011).

La communication chimique entre microorganismes

Le monde des microbes apparaît de plus en plus comme fascinant ; c'est là qu'on trouve une biodiversité fantastique (voir l'arbre du vivant). La communication chimique entre individus d'une même espèce et entre individus d'espèces différentes est probablement d'une complexité colossale que l'on commence seulement à entrevoir. On citera un seul exemple, celui des amibes *Dictyostelium discoideum*, unicellulaires mangeuses de bactéries. Quand les conditions environnementales deviennent mauvaises, elles s'agrègent en émettant un signal très simple : de l'AMPc (le carburant cellulaire) qui attire les congénères. Elles se regroupent alors pour former une « limace » qui va se transformer en fructification. Pour cette raison, ole

appelle amibes sociales. Toutes les amibes du pédicelle se sacrifient et vont mourir pour permettre aux autres de se transformer en spores résistantes qui vont se disperser et attendre des jours meilleurs. C'est un bel exemple d'altruisme. Par ailleurs, certaines souches d'amibes vont tricher et essayer de gagner les meilleures places en haut du pédicelle et se transformer en spores (Strassmann, 2010).

Communication entre plantes et insectes

On sait depuis peu que les plantes peuvent communiquer entre elles, par exemple émettre un signal d'alarme volatil à destination des plantes voisines quand elles sont attaquées par un herbivore (un insecte le plus souvent). Ce système est utilisé par des fourmis symbiotes de plantes. Quand la plante est attaquée, cela provoque des vibrations qui font sortir les fourmis mais les feuilles endommagées émettent des substances volatiles que les fourmis perçoivent. Elles ont un effet attractif et les fourmis vont essayer de repousser l'agresseur. Il s'agit selon les espèces de plantes des terpènes, aldéhydes, alcools, cétones. Dans un cas, on a trouvé aussi du méthyl-salicylate (= essence de Wintergreen, odeur de pomme sûre, très utilisée en parfumerie et arômes alimentaires) (Blatrix and Mayer, 2010). La coopération entre acacias et fourmis dans les savanes africaines est un bon exemple : les fourmis protègent les acacias de la défoliation par les éléphants et girafes. Si l'on supprime les fourmis, l'arbre est très rapidement mangé et meurt (Anonyme, 2010; Goheen and Palmer, 2010).

Perturbations de la communication sous l'effet de polluants

Trois articles font le bilan des données dans ce domaine qui montrent de nombreux exemples de modifications de seuils de sensibilité aux phéromones sous les effets des métaux lourds, de pesticides et plus généralement des perturbateurs endocriniens (voir plus loin) (Clotfelter et al., 2004; Zala and Penn, 2004; Lane et al., 2011). Quelques exemples chez les vertébrés :

- Interactions prédateur – proie chez les poissons : les métaux lourds abaissent le seuil de détection et d'évitement des prédateurs et à l'inverse la détection des proies chez les poissons prédateurs.
- La détection des partenaires sexuels est modifiée par les perturbateurs endocriniens (EDCs = Endocrine Disruptor Chemicals)

Plus récemment on a montré que la symbiose plantes – bactéries est altérée avec les pesticides et le PCB. Les plantes sont en interaction avec tout un cortège d'organismes comme les autres plantes, la microfaune (nématodes) et la microflore (bactéries dont certaines symbiotiques fixatrices d'azote comme les *Rhizobium*, de nombreux champignons mycorhizes). Une communication chimique complexe et fragile est en place ; facilement perturbée par divers polluants (Badri et al., 2009).

Perturbateurs endocriniens (EDCs)

Ce n'était pas le sujet de la conférence, mais il n'est plus possible de faire semblant d'ignorer le problème. C'est Rachel Carson (1907 – 1964) qui en 1962 a la première soulevé la question avec son livre culte « *Silent spring* » (Le printemps silencieux) : sous les effets du DDT les oiseaux comme les rapaces dans les grandes plaines agricoles des USA devenaient stériles (d'où le titre du livre). Cela a sans doute été le début du mouvement écologiste et a conduit à l'interdiction du DDT aux USA en 1972. Ensuite, il faut attendre la chimiste Theo Colborn (née en 1927) qui lors d'un PhD à 58 ans en 1980 découvre que femelles de prédateurs dans les grands lacs

des USA sont déféminisées sous les effets de substances chimiques pendant le développement embryonnaire. Elle écrit *Our stolen future* en 1996 (L'Homme en voie de disparition, avec préface d'Al Gore, 1997). Elle invente le terme *EDCs* = *Endocrine Disruptor Chemicals* pour qualifier ces substances de synthèse qui ont en formule de base un noyau aromatique comparable à celui des hormones sexuelles des vertébrés, et interfèrent donc avec les récepteurs de ces hormones en les stimulant ou les bloquant. De nombreuses substances sont des perturbateurs endocriniens : biocides (pesticides, herbicides, tous des « cides »), phtalates (dans le plastique – on les retrouve partout dans l'atmosphère, dans le sol, sur les fourmis), PCB, bisphénol, parabènes, etc.) et nous empoisonnent lentement. La grossesse et la petite enfance sont particulièrement sensibles.

Ouvrages

On pourra consulter les manuels suivants :

- Tanzarella : cours Biologie Licence, Master, Doctorat (Tanzarella, 2006).
 - Danchin : Écologie comportementale, Chapitre 14 : Communication et évolution des signaux (Danchin et al., 2005).
 - Anne Teyssède : La Communication animale, sur la scène de l'évolution. Paris, Nathan, 1993. Préface d'Alain Lenoir.
 - et plus ancien, mais une vraie mine : L'univers odorant de l'animal d'Yvelyne Leroy (Leroy, 1987).
- En anglais : *Pheromones and animal behaviour* (Wyatt, 2003).

Articles de synthèse

De nombreux articles en anglais sur la communication chimique, 50 après la découverte des phéromones. Voir par exemple (Penn, 2006; Wyatt, 2010).

Références

- Anonyme (2010). Quand les fourmis défendent les acacias contre les éléphants. *Le Monde*, 4 septembre.
- Badri, D. V., Weir, T. L., van der Lelie, D., Vivanco, J. M. (2009) Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interactions. *Current Opinion in Biotechnology* 20(6), 642-650.
- Blatrix, R., Mayer, V. (2010). Communication in ant-plant symbioses, in: *Plant communication from an ecological perspective*. Baluska, F. and Ninkovic, V. (eds), Berlin, Springer, 127-158.
- Clotfelter, E. D., Bell, A. M., Levering, K. R. (2004) The role of animal behaviour in the study of endocrine-disrupting chemicals. *Animal Behaviour* 68(4), 665-676.
- Dahbi, A., Jaisson, P., Lenoir, A., Hefetz, A. (1998) Comment les fourmis partagent leur odeur. *La Recherche*, 32-34.
- Danchin, E., Giraldeau, L.-A., Cézilly, F. (2005) *Écologie comportementale*, Dunod.
- D'Ettorre, P., Heinze, J., Schulz, C., Francke, W., Ayasse, M. (2004) Does she smell like a queen? Chemoreception of cuticular hydrocarbon signal in the ant *Pachycondyla inversa*. *J Exp Biol* 207, 1085-1091.
- D'Ettorre, P., Mondy, N., Lenoir, A., Errard, C. (2002) Blending on with the crowd: social integration into their host colonies using a flexible signature. *Proc. R. Soc. London B* 269, 1911-1918.
- Goheen, J. R., Palmer, T. M. (2010) Defensive plant-ants stabilize megaherbivore-driven landscape change in an African savanna. *Current Biology* 20, 1-5.

- Lane, J. E., Forrest, M. N. K., Willis, C. K. R. (2011) Anthropogenic influences on natural animal mating systems. *Animal Behaviour* In Press, Corrected Proof.
- Lenoir, A. (2004). Les fourmis, in: *Graines de Sciences*, Le Pommier. 6, 1-19.
- Lenoir, A., Depickère, S., Devers, S., Christidès, J.-P., Detrain, C. (2009) Hydrocarbons in the ant *Lasius niger*: From the cuticle to the nest and home range marking. *Journal of Chemical Ecology* 35(8), 913-921.
- Leroy, Y. (1987) *L'univers odorant de l'animal*. Paris, Boubée.
- Penn, D. J. (2006). Chemical communication, in: *Chemical ecology: from genes to ecosystem*. Dicke, M. and Takken, W. (eds), Wageningen, Springer, 9-18.
- Smith, C. R., Smith, C. D., Robertson, H. M., Helmkamp, M., Zimin, A., Yandell, M., Holt, C., Hu, H., Abouheif, E., Benton, R. et al (2011) Draft genome of the red harvester ant *Pogonomyrmex barbatus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Strassmann, J. E. (2010). Dictyostelium, the social amoeba, in: *Encyclopedia of Animal Behavior*. Breed, M. D. and Moore, J. (eds), Oxford, Academic Press. 1, 1-7.
- Tanzarella, S. (2006) *Perception et communication chez les animaux*, de Boeck.
- Thomas, M. L., Simmons, L. W. (2009) Sexual selection on cuticular hydrocarbons in the Australian field cricket, *Teleogryllus oceanicus*. *BMC Evol Biol* 9, 162-173.
- Thomas, M. L., Simmons, L. W. (2011) Short-term phenotypic plasticity in long-chain cuticular hydrocarbons. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Tibbetts, E. A., Dale, J. (2004) A socially enforced signal of quality in a paper wasp. *Nature* 432, 218-222.
- Wurm, Y., Wang, J., Riba-Grognuz, O., Corona, M., Nygaard, S., Hunt, B. G., Ingram, K. K., Falquet, L., Nipitwattanaphon, M., Gotzek, D. et al (2011) The genome of the fire ant *Solenopsis invicta*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Wyatt, T. (2003) *Pheromones and animal behaviour*, Cambridge University Press.
- Wyatt, T. (2010) Pheromones and signature mixtures: defining species-wide signals and variable cues for identity in both invertebrates and vertebrates. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 196(10), 685-700.
- Zala, S. M., Penn, D. J. (2004) Abnormal behaviours induced by chemical pollution: a review of the evidence and new challenges. *Animal Behaviour* 68(4), 649-664.
- Zuk, M., Rotenberry, J. T., Tinghitella, R. M. (2006) Silent night: adaptive disappearance of a sexual signal in a parasitized population of field crickets. *Biology Letters* 2(4), 521-524.