

Des fleurs répondent au son des abeilles en vol

L'article « Comment le son des abeilles affecte l'humeur humaine » publié récemment dans les colonnes de la présente revue (N°1120) par le docteur NONOTTE-VARLY (Président de l'Association Francophone d'Apithérapie) relate l'effet de relaxation psychologique induit par l'écoute d'enregistrements de sons d'abeilles. À cet égard, des travaux de recherche indiquent, depuis quelques années, que les sons des abeilles « parlent » également aux fleurs (*figure 1*).

Se pourrait-il effectivement que les plantes puissent entendre, voire écouter, leur environnement pour, dans certains cas, s'y adapter ? Telle est en tout cas la question que se posent des chercheurs depuis des dizaines d'années à en croire le résultat d'une interrogation de moteurs de recherches scientifiques avec la requête « plante et son ». **L'hypothèse d'une capacité de perception sonore en botanique est sérieusement considérée et, force est de constater que ce nouvel axe de recherche, appelé « phytoacoustique », suscite autant d'intérêt que de controverses scientifiques !**

Il a déjà été montré que des plantes pouvaient réagir aux bruits (vibrations) de mastication de chenilles en synthétisant davantage de molécules de défense nocives pour l'agresseur. D'un autre côté, la production d'ondes sonores par les plantes a été décrite à plusieurs reprises et cela depuis les années 1960. Néanmoins, les mécanismes de ces bruits ultrasoniques restent à élucider : des phénomènes de cavitation (naissance et oscillation de bulles de gaz dans un liquide) sont avancés pour expliquer les émissions acoustiques des plantes.

Voler fait du bruit

Le son émis par un insecte en vol est caractérisé, entre autres intensité et timbre, par la fréquence de ses battements alaires responsable de la hauteur mesurée en Hertz (Hz). Les sons produits par les battements d'ailes des insectes vont des fréquences inaudibles de 5 à 8 Hz produites par des papillons dotés d'ailes de 10 cm de long jusqu'à des fréquences avoisinant les 1 000 Hz chez de petits moucheron pourvus d'ailes de 1 mm de long (l'aile d'une mouche domestique bat environ 200 fois par seconde). La fréquence du son est corrélée à la longueur des ailes, mais aucune relation simple reliant la fréquence et la taille des ailes n'est applicable à tous les insectes. Le spectre de fréquences du bruit de vol des insectes comporte de nombreuses harmoniques causées par les mouvements complexes de l'aile et peut-être aussi par les caractéristiques mécaniques du thorax qui est déformé par les muscles du vol indirect. Lors du vol des insectes, les ailes n'oscillent pas selon une sinusoïde parfaite ; elles incluent plutôt une rotation conséquente autour du grand axe. La fréquence fondamentale du bruit de vol est en corrélation directe avec la fréquence observée du battement d'aile. Ainsi, **le zonzonnement du moustique mâle s'établit-il à 600 Hz (400 Hz pour la femelle) et le bourdonnement d'une abeille à 240 Hz (figure 2). En revanche, lorsque les abeilles ventilent, la fréquence de battement des ailes avoisine les 300 Hz et les reines nouvellement écloses « chantent » à 430 Hz pour claironner leur émergence.**



Figure 2 : Ailes antérieure et postérieure, accrochées ensemble, de l'abeille

En général, les insectes dotés de muscles de vol synchrones ont des fréquences de battement des ailes relativement faibles, jusqu'à environ 50 Hz ; les insectes dotés de muscles de vol asynchrones utilisent souvent des fréquences plus élevées, généralement supérieures à 100 Hz.

On sait que des déplacements nanométriques peuvent être suffisants pour induire une réponse neuronale adéquate dans

les organes auditifs et mécano-sensoriels. L'énergie mécanique transmise aux structures sensorielles est extrêmement faible. Ainsi, la voix humaine, dans une conversation calme d'un niveau de pression acoustique d'environ 60 décibels, peut provoquer des vibrations dans les structures biologiques, hors organes auditifs, de quelques dizaines de nanomètres. Le microphone, qui opère comme un convertisseur de pression acoustique en signal électrique, illustre bien l'exploitation de déplacements nanométriques induits par un son. Ce capteur contient une membrane souple qui est mise en mouvement par l'onde sonore. Les déplacements de la pièce mobile génèrent une variation de courant à l'origine d'un signal électrique.

Les ondes acoustiques sont des vibrations mécaniques qui ont besoin d'un milieu matériel (gazeux, liquide ou solide) pour se propager. Dans l'air, le son produit des alternances de zones de surpression (compression) et de raréfaction des atomes et molécules, sans qu'il y ait déplacement d'air à longue distance, contrairement au vent. Les ondes sonores sont dites « longitudinales » parce que les oscillations engendrées sont parallèles à la direction de propagation de l'énergie (figure 3). Des organismes vivants peuvent émettre et percevoir de tels signaux sur un large spectre de fréquences. Globalement, les émissions animales vont des infrasons (baleines, éléphants, girafes) aux ultrasons (chauves-souris, dauphins).

La perception des sons par les organismes vivants est habituellement abordée sous l'angle de la mécano-perception qui se décline en trois étapes :

- ① Capture de l'information,
- ② Transduction du signal,
- ③ Réponse physiologique adaptée.

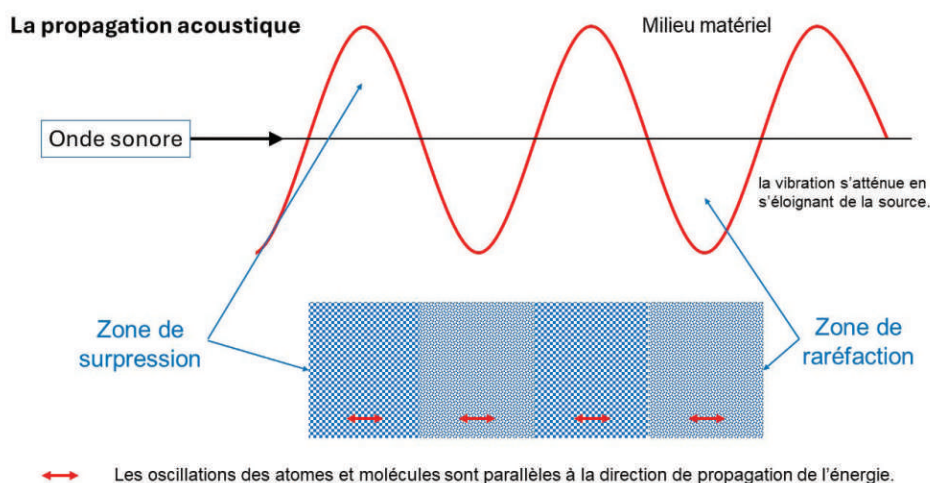


Figure 3 : Représentation schématique de la propagation acoustique

Or, il a été montré qu'une fleur peut servir de récepteur sonore et capter les vibrations de son environnement.

Des fleurs tendent l'oreille à l'approche des abeilles

On savait déjà que des fleurs envoient aux pollinisateurs des signaux quant à leur statut nectarifère. Ainsi, par exemple, les fleurs de marronnier changent de couleur après avoir été pollinisées (figure 4).

Par ailleurs, **des investigations récentes (2019) montrent que des fleurs d'onagre (*Oenothera drummondii*) sécrètent, en quelques minutes seulement, un nectar plus sucré (concentration en sucres 1,2 fois plus élevée) lorsqu'elles sont exposées au son d'une abeille volante (à plusieurs centimètres de la fleur) ; ce qui est censé augmenter les chances de pollinisation croisée de la plante. Rappelons que les abeilles sont capables de discriminer des différences de concentrations en sucres aussi faibles que 1 à 3 %.**



Figure 4 : Fleurs jaunes et roses du marronnier

Une qualité ou une quantité accrue de la récompense sucrée augmente la probabilité qu'un pollinisateur visite et s'attarde sur une autre fleur de la même espèce. Toutefois, la production d'une récompense améliorée est coûteuse pour la plante. Des analyses réalisées sur des asclépiades dévoilent que plus du tiers de l'énergie photosynthétique quotidienne est dépensée pour produire du nectar : énergie qui n'est plus disponible pour

la plante. De plus, une sécrétion riche et abondante peut se dénaturer et/ou attirer des voleurs de nectars.

Aussi, **une synchronisation entre la production d'une récompense améliorée et la visite d'un pollinisateur constitue une assurance d'efficacité du mutualisme fleur/pollinisateur.** Ce mécanisme pourrait être déclenché par le son du pollinisateur volant en approche. En effet, les mesures révèlent

que les sons aéroportés des pollinisateurs entraînent la vibration mécanique des pétales qui, en réponse, sécrètent un nectar plus sucré. Ce sont donc les pétales des fleurs qui captent l'information sonore et convertissent le stimulus acoustique en une réponse biologique (figure 5).

Notons que l'air n'est pas le seul milieu de propagation sonore : les plantes ont effectivement la capacité de capter des vibrations transmises par la terre. Dans le cas du maïs, il apparaît que près de la moitié de ses racines s'incline vers une source sonore si la fréquence des vibrations émises se situe autour de 200 Hz. À ce propos, mentionnons les recherches ayant montré que les racines du pois cultivé (*Pisum sativum*) réagissent aux vibrations acoustiques générées par l'eau en mouvement à l'intérieur de tuyaux et transmises à travers le sol, en l'absence d'humidité du substrat : étonnant, non ?

Les leviers d'action des fleurs

Étant donné la grande diversité des plantes à fleurs, les phénomènes intervenant dans la synthèse et sécrétion de nectar sont multiples et de nombreux points restent à clarifier (figure 6).

Plusieurs mécanismes ont cependant été mis en évidence :

✓ **Le rôle des invertases** : Les nectaires produisent des quantités variables de saccharose, de glucose et de fructose, qui sont les sucres majoritaires dans les nectars floraux. L'hydrolyse du saccharose (disaccharide) en glucose et fructose (monosaccharides), dans les nectaires et lors de la sécrétion de nectar est due à une invertase de la paroi cellulaire des cellules nectarifères. Comme les hexoses (glucose et fructose) ne sont généralement pas des composants de la sève élaborée (du phloème), la proportion d'hexoses dans le nectar dépend de la présence et de l'activité des enzymes hydrolysant le saccharose (figure 7). Le clivage irréversible du saccharose est catalysé par les invertases. Les invertases existent sous de nombreuses isoformes avec diverses localisations subcellulaires et propriétés biochimiques.

Ainsi, on distingue les invertases vacuolaires, les invertases extracellulaires et les invertases neutres. Les invertases extracellulaires sont des protéines non solubles liées à la paroi cellulaire. L'activité de l'invertase est déterminante dans le rapport saccharose/hexoses, mais elle ne constitue pas le seul levier d'action.



Figure 5 : Pétales en forme d'antenne parabolique de la véronique

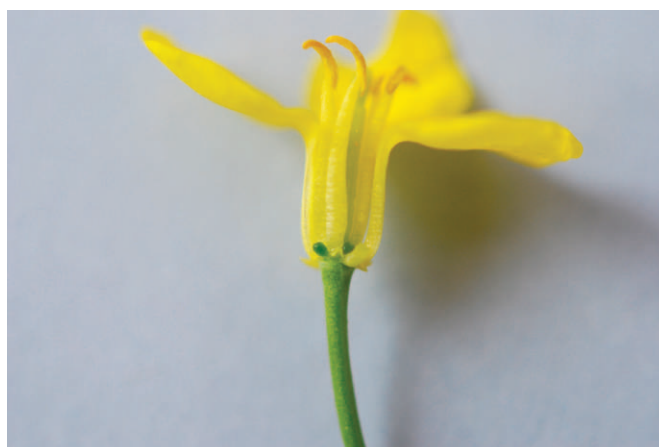


Figure 6 : Nectaires verts de la fleur de colza

✓ L'amidon en guise de réserve moléculaire :

Des investigations menées sur des fleurs du genre *Nicotiana* montrent qu'une partie des sucres peut être temporairement stockée sous forme d'amidon ; la teneur en amidon pouvant ensuite diminuer lorsque la production de nectar est maximale. L'amidon, un polymère de glucose, pourrait ainsi constituer une source de glucides pour la production de nectar avant et pendant la phase sécrétoire. D'ailleurs, des études conduites sur les nectaires floraux de litchi révèlent que les sucres du nectar proviennent à la fois de la sève élaborée et de produits de dégradation de l'amidon dans les nectaires (figure 7).

✓ Un processus de réabsorption :

La sécrétion de nectar est un processus dynamique caractérisé par une période de production concomitante avec ou suivie d'une réabsorption. La

réabsorption des sucres a notamment été montrée chez des orchidées terrestres, au moment de la fanaison des fleurs.

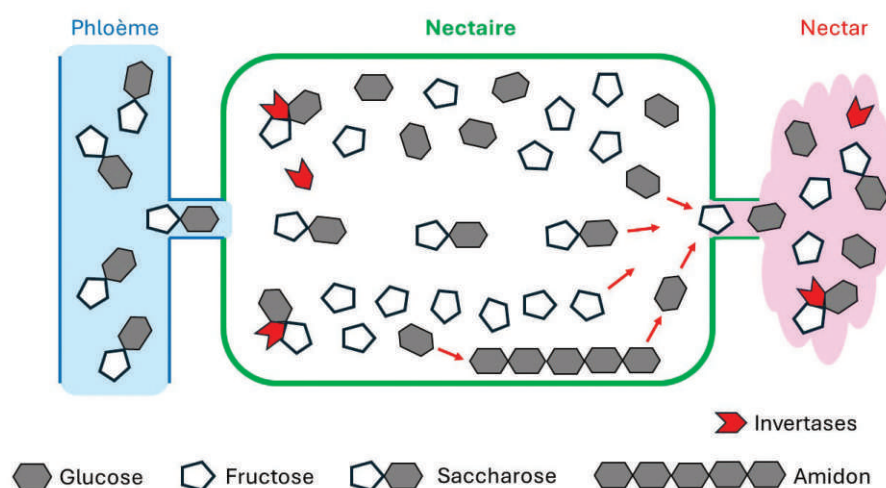


Figure 7 : Schéma simplifié des rôles des invertases et de l'amidon dans la sécrétion du nectar.

De la friture sur la ligne ?

La capacité des fleurs à percevoir l'approche d'un pollinisateur leur permet de produire, avec mesure, un nectar attractif précisément au moment où l'animal vient se ravitailler (figure 8). De plus, le son constitue un moyen de communication direct et économe en énergie dans les interactions pollinisateur-fleur. Cela dit, on peut légitimement s'interroger sur l'impact de la pollution sonore anthropique sur le mode de communication acoustique décrit plus haut, car les bruits du monde moderne se sont beaucoup élevés avec la mécanisation des tâches et les innombrables modes de transport. Ce bruit omniprésent dans les zones urbaines et péri-urbaines pourrait potentiellement perturber les interactions sonores entre les pollinisateurs et les plantes à fleurs. Quoi qu'il en soit, des études ont déjà montré que le bruit produit par les activités humaines dérange plusieurs espèces d'oiseaux vivant en milieu urbain, au point qu'ils ne s'entendent plus chanter !

Finalement, je me rends compte qu'à l'instar de Monsieur Jourdain, dans *Le Bourgeois gentilhomme* de Molière, qui disait de la prose sans le savoir, je faisais du biomimétisme à mon insu... Je m'explique : mon chat ne mange que des croquettes fraîches ; une fois ramollies, elles sont snobées par l'animal. Aussi, pour réduire le gaspillage et éviter d'attirer les félins du voisinage, ai-je appris à répondre à la demande (du chat) en ne délivrant qu'une seule portion de croquettes, bien croustillantes et donc appétissantes, précisément au moment où l'animal le réclamait (à cor et à cri !) ; un mode de fonctionnement somme toute déjà opérant de longue date entre la fleur et l'abeille. ●



Figure 8 : Abeille pollinisatrice possiblement « entendue » par les fleurs de colza

Bibliographie

- GAGLIANO M. Green symphonies : a call for studies on acoustic communication in plants. *Behavioral Ecology* doi:10.1093/beheco/ars206, 2012.
- GAGLIANO M. et coll. Tuned in : plant roots use sound to locate water. *Oecologia* doi:10.1007/00442-017-3862-z, 2017.
- KAFASH Z. et coll. Traffic noise induces oxidative stress and phytohormone imbalance in two urban plant species. *Basic and Applied Ecology* 60 : 1-12, 2022.
- TIEDGE K. et LOHAUS G. Nectar sugar modulation and cell wall invertases in the nectaries of day- and night- flowering *Nicotiana*. *Frontiers in Plant Science* 9 : 622, 2018.
- SHIVANNA K. Phytoacoustics – Plants can perceive sound and respond. *Journal of the Indian Botanical Society* 102(1) : 01-05, 2022.
- VEITS M. et coll. Flowers respond to pollinator sound within minutes by increasing nectar sugar concentration. *Ecology Letters* 22 : 1483-1492, 2019.