

## La pollution atmosphérique et la communication chimique chez les insectes :

### Connaissances et perspectives

David Marchand

*Texte soumis en 1999 pour le concours de rédaction scientifique d'Antennae*

**D**epuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, les activités humaines croissantes n'ont cessé de faire augmenter la pollution, et ceci dans tous les milieux. La libération de produits industriels polluants sous forme gazeuse et la déforestation à grande échelle ont contribué à modifier qualitativement et quantitativement les composés chimiques atmosphériques.

Chez les insectes, les comportements (p. ex. alimentaires, reproducteurs, défensifs et sociaux) sont souvent induits par des informations chimiques (Alcock, 1984). Or, depuis la production et l'émission de ces substances chimiques par un individu "émetteur" jusqu'à leur réception et leur intégration au niveau du système nerveux d'un individu "receveur", les changements physico-chimiques produits par la pollution humaine peuvent perturber ce processus de communication chimique. Jusqu'à ce jour, très peu d'études se sont intéressées à cet aspect. Cependant, avec la littérature traitant de l'impact des polluants sur les conditions environnementales et les connaissances acquises sur les effets de certains facteurs biotiques et abiotiques sur la communication chimique, il est possible de mesurer l'importance du rôle joué par la pollution sur la dynamique de population par ce processus de communication chimique.

#### Les effets directs de la pollution atmosphérique sur la communication chimique

De nombreuses études ont mis en évidence l'effet de polluants atmosphériques tels que l'ozone, le SO<sub>2</sub> ou le CO<sub>2</sub> sur les interactions plantes-insectes. Les modifications engendrées sont souvent en faveur des insectes herbivores (Hughes et al., 1982; Trumble et al., 1987; Jones et Coleman, 1988; Holopainen et al., 1991; Holopainen et al., 1995).

Après un stress telle une exposition aux radiations, aux pesticides, aux polluants atmosphériques ou une déficience nutritionnelle, les plantes deviennent

généralement une meilleure source de nourriture pour les insectes herbivores, dans la mesure où ce stress entraîne une augmentation d'azote total disponible dans les tissus végétaux (White, 1984). Cette meilleure qualité nutritive de la plante ne se traduit cependant pas forcément par un meilleur développement de l'herbivore, car la plante va, en réaction à un taux d'attaque plus élevé, produire des substances chimiques secondaires pouvant affecter la survie larvaire (Paine et al., 1993). Les dommages structuraux au niveau de la membrane foliaire, causés par des polluants atmosphériques (p. ex. ozone, pluies acides), entraînent une augmentation des défenses chimiques produites par certaines plantes (Dercks et al., 1990; Jordan et al., 1991).

Les polluants atmosphériques peuvent également interagir directement avec les substances chimiques produites par les plantes en modifiant leurs caractéristiques physico-chimiques. Par exemple, l'oléorésine, principal facteur de la résistance des arbres face aux insectes, est un composé dont certaines caractéristiques physiques semblent être déterminées génétiquement alors que d'autres sont sensibles aux changements environnementaux (Hanover, 1975). Or, la pollution atmosphérique provoque un changement dans la composition de l'oléorésine chez les conifères (Huttunen, 1984).

La pollution peut perturber la libération des composés chimiques par les plantes en agissant également au niveau des sites d'émission. Face au stress provoqué par les polluants atmosphériques, les premières structures exposées sont les stomates et les cellules gardes (Malhotra et Khan, 1984). La libération de substances volatiles se fait normalement à travers les stomates. Or, il a été constaté à plusieurs reprises qu'une exposition à l'ozone et aux pluies acides provoquait une fermeture, au moins partielle, des stomates (Malhotra et Khan, 1984; Cannon, 1990). Les plantes, en se protégeant contre les polluants atmosphériques (qui pénètrent par les stomates et s'accumulent dans l'organisme), modifient ainsi leur patron d'émission et, par la même occasion, la communication chimique entre une plante et un herbivore.

Si les polluants atmosphériques affectent ainsi le comportement alimentaire des herbivores à la suite d'une modification des caractéristiques physico-chimiques des plantes (éléments nutritifs, éléments de défense et émission de substances chimiques), ils jouent également un rôle dans le comportement reproducteur des insectes. Ainsi, Jones et Coleman (1988) ont mis en évidence que, si les adultes et les larves du coléoptère *Plagiodera versicolora* (Coleoptera : Chrysomelidae) mangent préférentiellement des plants de coton préalablement exposés à de fortes concentrations d'ozone, les femelles préfèrent cependant pondre sur les plants non exposés. Chez certaines espèces, au contraire, les polluants peuvent agir en synergie avec les signaux chimiques normalement utilisés par les femelles pour choisir un site de ponte. Les femelles gravides du moustique *Culex quinquefasciatus* (Diptera : Culicidae) préfèrent, par exemple, pondre au niveau d'une eau polluée où les produits du métabolisme microbien sont des substances attractives au même titre que la phéromone d'oviposition habituellement produite par les femelles (Blackwell et al., 1993).

Très peu d'études démontrent l'action directe des polluants sur les molécules chimiques synthétisées dans le règne animal. Cependant, ces signaux sont en général libérés dans l'atmosphère et entrent en contact avec les émissions anthropogéniques. Arndt (1995) a mis en évidence que l'ozone dégrade la phéromone d'agrégation de *Drosophila melanogaster* (Diptera : Drosophilidae). Si, à l'heure actuelle, on ne peut généraliser ces résultats à d'autres informations chimiques ou à d'autres espèces, force est de constater que la pollution atmosphérique pourrait avoir des conséquences graves et directes sur la communication chimique entre les individus.

#### **Effets indirects de la pollution sur la communication chimique**

Il semble que les principaux effets des polluants atmosphériques sur les populations d'insectes soient indirects et affectent moins les parasitoïdes et les prédateurs que les herbivores (Whittaker et Warrington, 1990). Cependant, dans certains cas, le taux de parasitisme d'herbivores est inversement proportionnel à la concentration en SO<sub>2</sub> atmosphérique (Whittaker et Warrington, 1990). Selon ces auteurs, le taux de croissance plus rapide de la population d'herbivores à des concentrations en SO<sub>2</sub> plus élevées leur permettrait d'échapper au contrôle des parasitoïdes. Ainsi, même si la pollution n'a pas d'effet direct sur la capacité à parasiter ou à attaquer une proie, le fait qu'elle agisse sur le taux de crois-

sance et la dynamique de population de l'hôte peut réduire la fenêtre d'action (p. ex. la perception des substances chimiques émises par l'hôte ou la proie) des parasitoïdes et des prédateurs.

La perception et l'évitement des polluants sont des réponses que l'on observe dans de nombreux taxa (Sheehan, 1984). Si certains individus sont ainsi capables, par des indices chimiques, d'éviter une proie ou un hôte pollué, cela leur confère l'avantage de ne pas incorporer ces polluants dans leur organisme (effet direct). Le fait de percevoir et d'éviter des polluants peut aussi provoquer des changements dans la dynamique des populations. Ceci entraîne alors une diminution de la communication chimique entre, par exemple, un prédateur et sa proie si cette dernière a tendance à éviter un environnement pollué (effet indirect).

En perturbant la distribution des populations dans un milieu, la pollution peut amener des espèces animales à modifier leur comportement alimentaire (p. ex. en consommant les plantes moins susceptibles aux polluants) (Sheehan, 1984). Or, la diète pourrait avoir des effets sur la qualité et la quantité des précurseurs de signaux chimiques (Delisle et Bouchard, 1995). Ainsi, les composés chimiques retrouvés dans les coremata (organes sécréteurs de phéromone) des mâles dépendent de la qualité de la diète larvaire (Krasnoff et Roelofs, 1989). De plus, chez certaines espèces, le mâle transfère à la femelle, durant l'accouplement, des alcaloïdes pyrrolizidines (provenant de la diète) qui sont ensuite incorporés dans les œufs (Dussourd et al., 1988), ce qui affecte la chimie des coremata de sa progéniture mâle (Krasnoff et Roelofs, 1989). Par conséquent, non seulement les polluants, en modifiant le passé alimentaire d'un mâle, agissent sur la qualité de sa phéromone mais cet effet peut également persister à travers les générations.

Enfin, la pollution, en affectant d'autres comportements (comme la capacité à se déplacer), pourrait également perturber la communication chimique dans la mesure où l'individu receveur doit parfois se diriger sur de longues distances pour trouver la source chimique. Ceci est d'autant plus vrai si l'on prend en compte le fait que les polluants atmosphériques entraînent une diminution de la durée d'efficacité d'un signal chimique (Averill et al. 1987; Arndt, 1995).

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans la communication chimique entre les individus et ceci, aussi bien au niveau de l'émission et la réception de signaux chimiques qu'au niveau des réponses comportementales (McNeil, 1991). Or, plusieurs polluants atmosphériques ont des effets directs sur le climat. Depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, la concentration du CO<sub>2</sub> at-

mosphérique est en augmentation constante du fait de nombreuses activités humaines notamment le brûlage des combustibles fossiles et la déforestation (Freedman, 1995). L'un des principaux effets d'une augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique est un réchauffement global au niveau de la surface de la Terre. Les estimations les plus réalistes indiquent que cette augmentation serait de 1,5 à 3,0°C d'ici à l'an 2100 (Wigley et Raper, 1992). Or, il est généralement reconnu que la régulation de la température au niveau du système nerveux est importante pour l'intégration des informations sensorielles (May, 1985). D'autre part, plusieurs études chez des Lépidoptères ont mis en évidence que les conditions thermiques durant le cycle vital d'un individu (au stade larvaire ou adulte) peuvent avoir des conséquences importantes sur sa capacité à émettre ou à capter et intégrer les signaux chimiques (Baker et Cardé, 1979; Castrovillo et Cardé, 1979; Turgeon et McNeil, 1983; Deslisle, 1992; Royer, 1993). Ainsi, du point de vue évolutif, nous pouvons considérer que ce "faible" réchauffement planétaire en raison des émissions polluantes aura des effets à long terme sur les processus de communication chimique chez les insectes.

L'augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique a aussi des répercussions sur le taux de précipitations liquides (Freedman, 1995) et donc sur le taux d'humidité relative au niveau de certaines niches écologiques. Comme la température, l'humidité relative peut aussi affecter, chez plusieurs espèces d'insectes, le comportement d'appel (émission d'une phéromone sexuelle) des femelles et la réceptivité des mâles ainsi que leur capacité à s'orienter vers la source de phéromone (Royer et McNeil, 1991). Les précipitations jouent aussi un rôle important dans des processus de communication chimique au cours desquels des substances hydrosolubles, telles que les phéromones de marquage, sont utilisées et dont la durée de vie est réduite par la pluie (Quiring et McNeil, 1984; Averill et Prokopy, 1987).

La pollution agit également sur la photosynthèse, mais son effet varie en fonction du type de polluant, de sa concentration et de sa durée d'action. De courtes expositions à de faibles concentrations de SO<sub>2</sub> stimulent généralement la photosynthèse chez un certain nombre de plantes. Dans la plupart des cas, cependant, de fortes concentrations en SO<sub>2</sub> ou de longues expositions à de faibles concentrations inhibent la photosynthèse (Malhotra et Khan, 1984). D'autres polluants tels que NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et les HF (fluorures sous forme gazeuse) peuvent également entraîner une baisse de la photosynthèse. La pollution, en modifiant la disponibilité des nutriments et la photosynthèse chez les plantes,

agit indirectement au niveau de leur capacité à produire des substances défensives (Bryant et al, 1983). Ceci a, bien sûr, des répercussions sur la communication chimique entre un herbivore et sa plante hôte.

### **Impacts à court et à long termes de la pollution sur la communication chimique**

Les effets des polluants atmosphériques sont de deux ordres. On peut tout d'abord constater des dommages intenses résultant de l'action de fortes concentrations de gaz sur une courte période de temps. On note également des dommages chroniques lorsque de faibles concentrations de polluants gazeux agissent pour une longue période de temps. Ce phénomène touche aussi bien le règne végétal (Bialobok, 1984) que le règne animal (Sheehan, 1984).

Les dommages intenses vont agir directement au niveau cellulaire et vont altérer les processus physiologiques et biochimiques d'un organisme. Ainsi, à court terme, la pollution peut avoir un impact important sur la communication chimique, notamment en altérant les mécanismes de production, d'émission et de réception d'une substance chimique. Cette action des polluants à forte concentration agit donc essentiellement sur les individus d'une ou de quelques générations.

Les dommages chroniques vont plus particulièrement conduire à une réduction de la taille et à une augmentation du temps de développement des plantes et des animaux. Ces effets peuvent résulter en une disparition totale et définitive de certaines espèces dans une niche écologique. À la suite d'une modification importante des conditions environnementales, la flexibilité des individus à réagir à de nouvelles informations chimiques est mise à l'épreuve, comme pour trouver une autre ressource alimentaire, mais aussi pour communiquer avec ses co-spécifiques puisque la diète peut avoir un effet sur la composition phéromonale. Si cette flexibilité à établir une "nouvelle" communication chimique est faible, deux scénarios sont envisageables. Le premier serait la disparition pure et simple de la population. La deuxième possibilité serait la migration de certaines espèces afin d'éviter les effets de la pollution et de trouver son alimentation "habituelle" dans un autre endroit.

Si la pollution peut avoir des effets sur le régime de précipitations, la réciproque est également vraie. Lors d'expériences sur le puceron *Euceraaphis betulae* (Homoptera : Drepanosiphidae), Neuvonen et Lindgren (1987) ont constaté que lorsque les précipitations étaient en dessous de la normale, les traitements acides n'avaient pas d'effet alors que lorsque les précipitations

étaient au-dessus de la normale, le traitement acide augmentait la qualité du feuillage de la plante hôte pour les pucerons. Par conséquent, il existe une interaction très étroite entre l'effet des pluies acides et les facteurs environnementaux (climatiques).

L'impact de la pollution sur la communication chimique est donc très vaste. Il varie en fonction de la concentration de polluants dégagés, leur durée de vie, mais aussi en fonction des conditions environnementales telles que les pluies ou encore les vents dominants qui contribuent à élargir le champ d'action des polluants atmosphériques.

### Conclusion

Chez la plupart des insectes, les comportements alimentaires et reproducteurs sont largement influencés par des sémiocimiques libérés dans l'environnement. Il n'est donc pas étonnant de constater que les émissions polluantes produites par l'homme puissent directement agir sur ce processus de communication.

Si les preuves de l'effet direct des polluants atmosphériques sur la communication chimique restent encore peu nombreuses, force est de constater que ces premières recherches démontrent que des polluants sont capables de dégrader des signaux chimiques (p. ex. les phéromones) et d'influencer le taux d'émission ainsi que la capacité à recevoir et intégrer ces substances. Ces effets directs doivent, à l'avenir, être étudiés plus précisément car ils jouent, à n'en pas douter, un rôle prépondérant dans la dynamique des populations d'insectes.

La pollution peut avoir des effets importants sur la communication chimique aussi bien à court terme qu'à long terme. Ceci laisse présager que la capacité des individus à percevoir et éviter la pollution mais aussi leur flexibilité à répondre à de "nouveaux" signaux chimiques sont des critères importants pour la sélection d'individus qui persisteront dans un environnement de plus en plus pollué.

### Liste de références

Alcock, J. 1984. *Animal Behavior: An Evolutionary Approach*. 3e Ed. Sinauer Associates. Massachusetts.  
Arndt, U. 1995. Air pollutants and pheromones - a problem? *Chemosphere* 30 : 1023-1031.  
Averill, A.L. et Prokopy, R.J. 1987. Residual activity of oviposition-detering pheromone in *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) and female response to infested fruit. *J. Chem. Ecol.* 13 : 167-177.

Averill, A.L., Bowdan, E.S. et Prokopy, R.J. 1987. Acid rain affects egg-laying behavior of apple maggot flies. *Experientia* 43 : 939-942.  
Baker, T.C. et Cardé, R.T. 1979. Endogenous and exogenous factors affecting periodicities of female calling and male sex pheromone response in *Grapholitha molesta* (Busck). *J. Insect Physiol.* 25 : 943-950.  
Bialobok, S. 1984. Controlling atmospheric pollution, p. 451-478. In M. Treshow (éd.), *Air pollution and plant life*. John Wiley & Sons Ltd, Toronto.  
Blackwell, A., Mordue (Luntz), A.J., Hansson, B.S., Wadhams, L.J. et Pickett, J.A. 1993. A behavioural and electrophysiological study of oviposition cues for *Culex quinquefasciatus*. *Physiol. Entomol.* 18 : 343-348.  
Bryant, J.P., Stuart Chapin, F. et Klein, D.R. 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos* 40 : 357-368.  
Cannon, W.N., Jr. 1990. Olfactory response of eastern spruce budworm larvae to red spruce needles exposed to acid rain and elevated levels of ozone. *J. Chem. Ecol.* 16 : 3255-3261.  
Castroville, P.J. et Cardé, R.T. 1979. Environmental regulation of female calling and male response periodicities in the codling moth (*Laspeyresia pomonella*). *J. Insect Physiol.* 25 : 659-667.  
Delisle, J. 1992. Age related changes in the calling behaviour and the attractiveness of obliquebanded leafroller virgin females, *Choristoneura rosaceana*, under different constant and fluctuating temperature conditions. *Entomol. Exp. Appl.* 63 : 55-62.  
Delisle, J. et Bouchard, A. 1995. Male larval nutrition in *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) : an important factor in reproductive success. *Oecologia* 104 : 508-517.  
Dercks, W., Trumble, J. et Winter, C. 1990. Impact of atmospheric pollution on linear furanocoumarin content in celery. *J. Chem. Ecol.* 16 : 443-454.  
Dussourd, D.E., Ubik, K., Harvis, C., Resch, J., Meinwald, J. et Eisner, T. 1988. Biparental defensive endowment of eggs with acquired plant alkaloid in the moth *Utethesia ornatrix*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 85 : 5992-5996.  
Freedman, B. 1995. *Environmental ecology: The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses*, 2e éd. Academic Press, San Diego.  
Hanover, J.W. 1975. Physiology of tree resistance to insects. *Annu. Rev. Entomol.* 20 : 75-95.

- Holopainen, J.K., Kainulainen, E., Oksanen, J., Wulff, A. et Karenlampi, L. 1991. Effect of exposure to fluoride, nitrogen compounds and SO<sub>2</sub> on the numbers of spruce shoot aphids on Norway spruce seedlings. *Oecologia* 86 : 51-56.
- Holopainen, J.K., Kainulainen, P. et Oksanen, J. 1995. Effect of gaseous air pollutants on aphid performance on Scots pine and Norway spruce seedlings. *Water Air Soil Pollut.* 85 : 1431-1436.
- Hughes, P.R., Potter, J.E. et Weinstein, L.H. 1982. Effects of air pollution on plant-insect interactions: Increased susceptibility of greenhouse-grown soybeans to the Mexican bean beetle after plant exposure to SO<sub>2</sub>. *Environ. Entomol.* 11 : 173-176.
- Huttunen, S. 1984. Interactions of disease and other stress factors with atmospheric pollution, p. 321-356. In M. Treshow (éd.), *Air pollution and plant life*. John Wiley & Sons Ltd, Toronto.
- Jones, C.G. et Coleman, J.S. 1988. Plant stress and insect behavior : Cottonwood, ozone and the feeding and oviposition preference of a beetle. *Oecologia* 76 : 51-56.
- Jordan, D.N., Green, T.H., Chappelka, A.H., Lockaby, B.G., Meldahl, R.S. et Gjerstad, D.H. 1991. Response of total tannins and phenolics in loblolly pine foliage exposed to ozone and acid rain. *J. Chem. Ecol.* 17 : 505-513.
- Krasnoff, S.B. et Roelofs, W.L. 1989. Quantitative and qualitative effects of larval diet on male scent secretions of *Estigmene acrea*, *Phragmatobia filiginosa*, and *Pyrrharctia isabella* (Lepidoptera: Arctiidae). *J. Chem. Ecol.* 15 : 1077-1093.
- Malhotra, S.S. et Khan, A.A. 1984. Biochemical and physiological impact of major pollutants, p. 113-157. In M. Treshow (éd.), *Air pollution and plant life*. John Wiley & Sons Ltd, Toronto.
- May, M.L. 1985. Thermoregulation, p. 507-552. In G. A. Kerkut et L.I. Gilbert (éds.), *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry, and Pharmacology*, Vol 4. Pergamon Press, New York.
- McNeil, J.N. 1991. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.* 36 : 407-430.
- Neuvonen, S. et Lindgren, M. 1987. The effect of simulated acid rain on performance of the aphid *Euceraaphis betulae* (Koch) on silver birch. *Oecologia* 74 : 77-80.
- Paine, T.D., Redak, R.A. et Trumble, J.T. 1993. Impact of acidic deposition on *Encelia farinosa* Gray (Compositae: Asteraceae) and feeding preferences of *Triethabda geminata* Horn (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Chem. Ecol.* 19 : 97-105.
- Quiring, D.T. et McNeil, J.N. 1984. Intraspecific competition between different aged larvae of *Agromyza frontella* (Rondani) (Diptera: Agromyzidae): advantages of an oviposition-detering pheromone. *Can. J. Zool.* 62 : 2192-2196.
- Royer, L. 1993. Effets de divers facteurs biotiques et abiotiques sur la reproduction de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* (Hbn.). Thèse Ph.D. Université Laval. Québec.
- Royer, L. et McNeil, J.N. 1991. Changes in calling behaviour and mating success in the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*), caused by relative humidity. *Entomol. Exp. Appl.* 61 : 131-138.
- Sheehan, P.J. 1984. Effects on individuals and populations, p. 23-50. In P.J. Sheehan, D.R. Miller, G. C. Butler et P. Bourdeau (éds.), *Effects of pollutants at the ecosystem level*, Scope 22. John Wiley & Sons Ltd, Toronto.
- Trumble, J.T., Hare, J.D., Musselman, R.C. et McCool, P.M. 1987. Ozone-induced changes in host-plant suitability : Interactions of *Keiferia lycopersicella* and *Lycopersicon esculentum*. *J. Chem. Ecol.* 13 : 203-218.
- Turgeon, J.J. et McNeil, J.N. 1983. Modifications in the calling behaviour of *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae), induced by temperature conditions during pupal and adult development. *Can. Entomol.* 115 : 1015-1022.
- White, T.C.R. 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia* 63 : 90-105.
- Whittaker, J.B. et Warrington, S. 1990. Effects of atmospheric pollutants on interactions between insects and their food plants, p. 97-110. In J.J. Burdon et S.R. Leather (éds.), *Pests, pathogens and plant communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Wigley, T.M.L. et Raper, S.C.B. 1992. Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios. *Nature* 357 : 293-300.

David Marchand est étudiant au doctorat au laboratoire de Jeremy McNeil à l'Université Laval.