

LA MUSCARDINE

Anne-Marie RANTET POUX¹

Résumé : La récolte d'une muscardine sur mouche est décrite et illustrée. Puis le développement et le contrôle du champignon sur l'insecte sont aussi expliqués.

Title: The muscardin

Summary: The collection of a muscardin on fly is described and illustrated. Then the development and control of the fungus on the insect are also explicited.

Mots-clés/key-words : *Entomophthoraceae*, *Cordycipitaceae*, *Clavicipitaceae*, *Ophiocordycipitaceae*, lutte biologique/biological control.

LE PREMIER NOVEMBRE 2011, nous aperçûmes sur un chardon une petite mouche rose bonbon qui scintillait dans la rosée matinale. (*Fig. I : II*). C'était *Scathophaga stercoraria*, populairement appelée « mouche à merde », en position anormale, morte et rigide, étreignant le haut de la feuille du chardon, avec ses ailes déployées comme si elle était prête à prendre son envol. Son immobilité paraissait provoquée par son abdomen dilaté, complètement emplâtré par une masse beige rosée, rosâtre qui se révéla être une masse mycéienne et des corémies d'un champignon. *Entomophthora muscae* (Coh.) Fresen est le nom du champignon responsable de sa mort. C'est une muscardine.

Une muscardine, c'est un insecte qui est attaqué par un champignon parasite. Pourquoi ce nom-là ? La première muscardine décrite est une maladie cryptogamique du ver à soie où les cocons malades, recouverts d'un duvet cotonneux et d'un beau blanc, sont appelés dragées (muscardin en languedocien et provençal) (BOISSIER DE SAUVAGES, 1763 : 82 ; DE SÈVE, 1818 : 73).

C'est AGOSTINO BASSI (1836 : VI) qui avance le premier que le responsable de cette maladie est un champignon : *Botrytis paradoxa* Bals-Criv. décrit par BALSAMO-CRIVELLI (1835a). La même année, cet auteur changera le nom du champignon pour le dédier à BASSI en *Botrytis bassiana* Bals-Criv. (BALSAMO-CRIVELLI, 1835b : 611) qu'il faut appeler désormais *Cordyceps bassiana* Z.Z. Li, C.R. Li, B. Huang & M.Z. Fan, (*Li et al.*, 2001 : 751). Pour la petite histoire, cet agent responsable de la muscardine blanche du ver à soie fut le premier champignon pathogène d'insectes décrit.

¹) 1121 Chemin de Merlande, 82300 Monteils-Caussade

annemarierantetpoux@yahoo.fr

Dans le cas qui nous interpelle, *Entomophthora muscae* a provoqué sur la mouche une muscardine rose comme de la pâte d'amande rose. Mais auparavant, ce champignon a rendu la mouche *Scatophaga stercaria* complètement dépendante, au service de sa reproduction (*Fig. 1 : 11*).

La mouche a eu l'infortune de rencontrer une spore du champignon 5 à 6 jours avant sa mort. La spore a germé sur la cuticule de l'insecte, surtout au niveau de son abdomen. L'hyphe fissure cette cuticule en secrétant des enzymes et pénètre dans l'insecte. Puis cet hyphe germinatif à l'intérieur de l'hôte se transforme en une vésicule d'où partent de nombreux hyphes qui se répandent dans tout l'abdomen en envahissant d'abord les tissus adipeux puis les autres tissus en causant la mort de l'insecte. Quelque temps après la mort de la mouche, le mycélium va recouvrir entièrement l'abdomen de l'insecte donnant sa couleur à la muscardine. Les corémies émergeront des membranes inter-segmentaires de l'abdomen ; les conidiophores sur les corémies formeront alors de très nombreuses conidies. Celles-ci pourront ainsi se propager et contaminer un autre insecte. La tête, le thorax et les appendices (pattes, ailes, antennes) semblent peu contaminés. (BROBYN & WILDING, 1983) (*Fig. 2 : 11*). On constate que les mouches sont souvent accrochées aux plantes par leur proboscis (leur trompe, leur organe de succion) (*Fig. 3 : 14*). La position de la mouche morte, facilement visible, rigide et en position élevée, ressemble à unurre, soit en simulant la position pré-copulatoire d'un individu disponible (un individu attiré sexuellement s'infectera en s'approchant de ceurre), soit en réalisant une proie pour un autre insecte qui cherche à se nourrir. De plus, cette position favorise une dispersion efficace des conidies (spores asexuées) du champignon par le vent (*Fig. 3 : 14*). Nous savons bien que tous les champignons, les gros, les petits, les minuscules utilisent toutes les stratégies possibles et imaginables pour que leurs spores soient emportées et dispersées le plus largement possible! Ainsi, le mycélium du champignon grandissant dans la mouche l'oblige à aller s'agripper, s'ancrer par tous les moyens à une herbe ou à une branche la plus haute possible, et à ouvrir complètement ses ailes, l'abdomen généralement recourbé ventralement sans doute en manipulant l'hôte. (BROBYN & WILDING, 1983).

Un tout récent travail en montre le mécanisme possible, FREDERICKSEN *et al.* (2017) démontrent que le champignon manipule l'insecte en agissant au niveau des muscles. Ces chercheurs ont étudié les interactions entre les cellules d'un champignon *Ophiocordyceps unilateralis* s. l. et son hôte, la fourmi charpentière (*Camponotus castaneus*) lors de la période cruciale où l'insecte parasité se fixe avec ses mandibules. Il était déjà connu que le champignon secrète des molécules capables de provoquer des changements dans l'expression de gènes de l'insecte et aussi capables d'induire l'atrophie des muscles des mandibules de la fourmi (HUGHES *et al.*, 2011), mais on ne savait pas comment le parasite coordonnait ces actions pour manipuler la fourmi. Donc FREDERICKSEN *et al.* (2017) ont utilisé la microscopie électronique couplée à des techniques d'analyse d'image pour visualiser les distributions, les abondances et les interactions des hyphes de ce champignon avec les cellules de l'hôte manipulé. Ils ont montré que les hyphes envahissent tout le corps de l'insecte



Figure 1 : la muscardine de *Scathophaga stercoraria* parasitée par *Entomophthora muscae*.
Photo ANNE-MARIE RANTET POUX



Figure 2 : masse mycélienne rosâtre (flèche bleue) et corémies blanches (flèches rouges)
d'*Entomophthora muscae* recouvrant l'abdomen de *Scathophaga stercoraria*.
Photo ANNE-MARIE RANTET POUX

sauf le cerveau qui reste intact. Donc le contrôle du comportement de l'ancrage de la fourmi sur les plantes ne transite pas par une manipulation du cerveau. Par contre les hyphes forment une structure en réseau qui enserre les muscles (et seulement les muscles) jusque dans les appendices. FREDERICKSEN *et al.* (2017) en concluent que cette structure en réseau au niveau musculaire permet de manipuler d'abord le comportement de la fourmi puis d'alimenter le champignon pour sa croissance et sa reproduction. C'est pour cette raison que l'on observe très souvent l'abdomen des insectes parasites aplati car il est vidé de tous les éléments nutritifs ayant servi à la croissance du champignon (exemple sur une autre récolte de muscardine : Fig. 4 : 14).

Impressionnant processus de parasitisme !

Le phylum Entomophthoromycota Humber (HUMBER, 2012 : 481), séparé récemment des Zygomycota s. l. comprend environ 250 espèces de champignons qui sont principalement parasites et pathogènes des arthropodes ou saprophytes du sol et de la litière, et qui sont étroitement dépendants de leur hôte pour compléter leur cycle vital. On estime qu'ils existent depuis près de 400 millions d'années (GRYGRANSKYI *et al.*, 2012). La famille des *Entomophthoraceae* de ce phylum comprend tous les taxons qui sont des parasites obligatoires des arthropodes et insectes dont fait partie *Entomophthora muscae* (GRYGRANSKYI *et al.*, 2012 ; GRYGRANSKYI *et al.*, 2013). Ce taxon (parasite à large spectre d'hôte) est d'une grande importance pour la régulation de la population naturelle de nombreux diptères (MALIK *et al.*, 2007)

- Il existe des muscardines de différentes couleurs provoquées par des champignons entomopathogènes qui appartiennent essentiellement à la famille des *Entomophthoraceae* et à trois familles des Hypocreales (*Cordycipitaceae*, *Clavicipitaceae*, *Ophiocordycepitaceae*) (LOVETT *et al.*, 2017). Quelques exemples :
- a) muscardine verte causée par *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch et *Metazhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin,
 - b) muscardine brune causée par *Aspergillus flavus* Link et *Aspergillus tamari* Kita,
 - c) muscardine vert pomme causée par *Hirsutella necatrix* Minter, B.L. Brady & R.A. Hall qui s'attaque aux acariens,
 - d) muscardine grise causée par *Isaria javanica* (Friedrichs & Bally) Samson & Hywel-Jones qui s'attaque aux hémiptères (pucerons, cochenilles,...),
 - e) muscardine verte causée par *Nomuraea rileyi* (Farl.) Samson surtout connue sur les cocons de vers à soie qu'il recouvre d'hyphes verts, il attaque aussi de nombreuses larves et pupes de lépidoptères et de coléoptères,
 - f) muscardine orange causée par *Aspergillus ochraceus* K. Wilh. (= *Sterigmatocystis japonica* Aoki *et al.*) qui s'attaque aux mouches,
 - g) muscardine rouge causée par *Sorosporella uvella* (Krass.) Giard qui s'attaque aux larves de lépidoptères,
 - h) muscardine jaune causée par *Isaria farinosa* (Holmsk.) Fr.
 - i) muscardine jaune-rouge causée par *Isaria fumosorosea* Wize.

Les champignons entomopathogènes peuvent aider à la lutte biologique contre les ravageurs (BUTT *et al.*, 2001). On peut y voir une alternative intéressante pour limiter l'utilisation de certains insecticides chimiques impactant l'environnement. Voici quelques exemples :

En Afrique où les invasions de criquets causent des dégâts considérables aux cultures, *Entomophaga grylli* (Fresen.) A. Batko est le champignon spécifique régulateur naturel des populations de ces insectes ; ainsi dans le sud du Nigéria, le superbe criquet puant, bariolé jaune et noir (*Zonocerus variegatus*) subit régulièrement des épidémies de la « maladie du sommet » qui limitent ses pullulations. Au Bénin, sur le même criquet, *Entomophaga grylli* reste le principal facteur de mortalité de 50% des jeunes (GNAGO *et al.*, 2009). Devant de tels effets, on a très tôt pensé qu'on pouvait utiliser ce champignon comme biocide contre les criquets migrateurs ravageurs (PELL *et al.*, 2001).

Metazhizium anisopliae est le champignon ennemi du hanneton (*Anaploisia austriæ*) qui infeste les cultures de céréales. Il a été utilisé dans le cadre de la lutte biologique contre les termites, les moustiques, les cicadelles et les scarabées. Ses spores sont même utilisées sous forme de spray et vendues pour lutter contre les insectes tels que les mouches blanches et les pucerons (INGLIS *et al.*, 2001).

Cordyceps bassiana (= *Beauveria bassiana*) (LI *et al.*, 2001) est un ascomycète cosmopolite. On l'utilise comme biocide pour tuer ou contrôler la population des insectes tels que les termites (INGLIS *et al.*, 2001). Il est aussi utilisé contre le charançon des bananeraies en alternative à des insecticides toxiques ; il est aussi recommandé dans la lutte contre le *Paysandisia archon*, le papillon tueur de palmier (MILLET *et al.*, 2007) ainsi que contre les larves du charançon rouge du palmier (BESSE *et al.*, 2011).

Peut-être, le nom de ce champignon *Tolypocladium inflatum* W. Gams passe inaperçu ! Et pourtant c'est lui qui fournit depuis une trentaine d'années la cyclosporine, le puissant immunodépresseur qui prévient le rejet d'un organe transplanté (SVARSTAD *et al.*, 2000). Mais il a un autre nom plus connu : *Cordyceps subsessilis* Petch (HODGE *et al.*, 1996). Et c'est un parasite d'insectes (HODGE *et al.*, 1996 ; LOVETT *et al.*, 2017 ; SAMSON & SOARES, 1984).

En conclusion, signalons que les insectes peuvent prendre leur revanche contre les champignons à l'instar des mouches du genre *Suillia* qui sont coprophages, saprophages et mycétophages. Il en existe trois espèces communes en France : *Suillia humilis* fréquente sur *Tuber melanosporum* Vittad. dans les zones méridionales, *S. fuscicornis* présente dans tout l'hexagone, *S. gigantea* plus septentrionale et fréquente sur *Tuber uncinatum* Chatin (la truffe de Bourgogne) (COUTIN, 1989). Ces mouches rousses qui résistent bien aux périodes de froid hivernales sont actives par temps ensoleillé et dégagent une odeur sulfureuse (SO₂). Ces mouches rabassières,



Figure 3 : *Scathophaga stercoraria* fixée au sommet d'un chardon par ses pattes et son proboscis (flèche rouge).

Photo ANNE-MARIE RANTET POUX



Figure 4 : la muscardine de *Musca domestica* parasitée par *Entomophthora muscae*.

Photo ANNE-MARIE RANTET POUX

attirées par l'odeur des truffes, se posent généralement sur le sol au-dessus de truffes mûres pour y déposer leurs œufs. Après éclosion, les larves se fraient un chemin jusqu'aux truffes qu'elles pénètrent en creusant des galeries. Elles transforment ce jouyau gustatif en une bouillie épaisse et fétide. Souvent ces larves de *Suillia* ont été précédées par des adultes de *Liodes cinnamomea* (coléoptères) qui ont creusé le sol pour, eux aussi, déposer leurs œufs sur les truffes. (COUTIN, 1989). Tous les caveurs connaissent ces mouches et doivent faire vite !

Dame Nature nous joue de ces tours !....

BIBLIOGRAPHIE

- BALSAMO-CRIVELLI G. G.**, 1835a.- *Gazetta di Milano*. Suppl. 1.
- BALSAMO-CRIVELLI G. G.**, 1835b.- *Aufstellung von zwei neuen Arten Mucedineen, Botrytis Bassiana und Mucor radicans, und über die Entwicklung der ersteren Art im Seidenwurme*. *Linnaea*, 10 : 609-618.
- BASSIA A.**, 1836.- *Del Mal del segno calcinaccio o moscardino, malattia che afflige i bachi da seta, e sul modo di liberarne le bigattaje anche le più infestate*. Parte seconda. Éd. Orcesi, Lodi, Italie, XIV p., 58 p.
- BESSE S. CRABOS L. & PANCHAUD K.**, 2011.- un champignon contre le charançon rouge du palmier. Des palmiers « enfermés dehors» en cage pour tester une solution de biocontrôle. *Phytoma*, 648 : 28-31.
- BOISSIER DE SAUVAGES**, 1763.- Mémoires sur l'éducation des vers à soie. Second mémoire. Éd. Gaude, Nîmes, 192 p.
- BROBYN P. J. & WILDING N.**, 1983.- «Invasive and developmental process of *Entomophthora muscae* infecting house flies, *Musca domestica* ». *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 80(1) : 1-8.
- BUTT T. M., JACKSON C. W. AND MAGAN N.**, 2001.- *Introduction - Fungal Biological Control Agents: Progress, Problems and Potential*, p. 1-8 in *Fungi as biocontrol agents*, Éds. Butt T. M., Jackson C. W. & Magan N. ; CABI, New-York, 390 p.
- COUTIN R.**, 1989.- Truffes et mouches rabassières. *Insectes*, 75 : 6-8.
- DE SÈVE J. E.**, 1818.- *Nouveau dictionnaire d'histoire naturelle, appliquée aux arts, à l'agriculture, à l'économie rurale et domestique, à la médecine, etc.* : Cal-Cez, vol. 19, Mam Med. Éd. Deterville, 619 p.
- FREDERICKSEN M. A., ZHANG Y., HAZEN M. L., LORETO R. G., MANGOLD C. A., CHEN D. Z. & HUGHES D. P.**, 2017.- Three-dimensional visualization and a deep-learning model reveal complex fungal parasite networks in behaviorally manipulated ants. *PNAS*, 114(47) : 12590-12595.
- GNAGO A. J., FOUA BI K. & BEKON K. A.**, 2009.- Facteurs affectant les épidémies de *Entomophaga grylli* (Zygomycètes, Entomophthorales) chez les populations du criquet *Zonocerus variegatus* au Sud du Bénin en Afrique de l'Ouest. *Sci. & Nat.*, 6(2) : 149-161.

- GRYGANSKYI A. P. , HUMBER R. A., SMITH M. E., K., HODGE K., HUANG B., K. VOIGT K. & R. VILGALYS R.**, 2013.- Phylogenetic lineages in *Entomophthoromycota*. Persoonia, 30 : 94-105.
- GRYGANSKYI A. P. , HUMBER R. A., SMITH M. E., MIADLIKOWSKA J., WU S., VOIGT K., WALTHER G., ANISHCHENKO I. M. & VILGALYS R.**, 2012.- Molecular phylogeny of the Entomophthoromycota. Molecular Phylogenetics and Evolution, 65 : 682-694.
- HODGE K. T. & KRASNOF S. B. & HUMBER R. A.**, 1996.- *Tolypocladium inflatum* is the anamorph of *Cordyceps subsessilis*. Mycologia, 88 : 715-719.
- HUGHES D. P., SANDRA B ANDERSEN S. B., HYWEL-JONES N. L., HIMAMAN W., BILLEN J. & BOOMSMA J. J.**, 2011.- Behavioral mechanisms and morphological symptoms of zombie ants dying from fungal infection. BMC Ecol., 11 : 13.
- HUMBER R. A.**, 2012.- Entomophthoromycota: a new phylum and reclassification for entomophthoroid fungi. Mycotaxon, 120 : 477-492.
- INGLIS G. D., GOETTEL M. S., BUTT T. M. & STRASSER H.**, 2001.- Use of Hyphomycetous Fungi for Managing Insect Pests, p. 23-70 in Fungi as biocontrol agents, Éds. Butt T. M., Jackson C. W. & Magan N. ; CABI, New-York, 390 p.
- KELLER S.**, 2002.- The genus *Entomophthora* (Zygomycetes, Entomophthorales) with a description of five new species. Sydowia, 54(2) : 157-197.
- LI Z.-Z., LI C.-R., HUANG B. & FAN M.-Z.**, 2001.- Discovery and demonstration of the teleomorph of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., an important entomopathogenic fungus. Chin. Sci. Bull., 9 : 751-753.
- LOVETT B., LEGER R. J. ST.**, 2017.- The insect pathogen, p. 925-943 In The Fungal Kingdom. Éds. HEITMAN J., HOWLETT B., CROUS P., STUKENBROCK E., JAMES T. & Gow N., ASM Press, Washington, 1160 p.
- MALIK A., SINGH N. & SATAYA S.**, 2007.- House fly (*Musca domestica*) a review of control strategies for a challenging pest. J. Environn. Sci. Health, Part B, 42(4) : 453-469.
- MILLET S., BONHOMME A. & PANCHAUD K.**, 2007.- Vers un moyen de lutte biologique contre *Paysandisia archon* ? Un champignon au secours des palmiers. Phytoma, 604 : 38-42.
- PELL J. K., EILENBERG J., HAJEK A. E. & D.C. STEINKRAUS D. C.**, 2001.- Biology, Ecology and Pest Management Potential of Entomophthorales, p. 71-154 in Fungi as biocontrol agents, Éds. Butt T. M., Jackson C. W. & Magan N. ; CABI, New-York, 390 p.
- SAMSON R. A. & SOARES G. G. JR.**, 1984.- Entomopathogenic species of the hyphomycete genus *Tolypocladium*. J. Invert. Pathol., 43 : 133-139.
- SVARSTAD H., BUGGE H. C. & DHILLION S. S.**, 2000.- From Norway to Novartis: Cyclosporin from *Tolypocladium inflatum* in an open access bioprospecting regime. Biodivers. & Conservation, 9(11) : 1521-1541.