

LA RESISTANCE AU FROID ET A LA CHALEUR: DEUX DONNEES FONDAMENTALES DANS LE
CONTROLE DES INSECTES DES PRODUITS ENTREPOSES.

Georges CHAUVIN¹ et Guy VANNIER²

1- Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée
Campus de Beaulieu
35042 RENNES Cédex FRANCE

2- Laboratoire d'Ecologie Générale
4, Avenue du Petit Château
91800 BRUNOY FRANCE

ABSTRACT Both cold hardiness and heat tolerance are important criteria in determining whether or not an insect can occupy a biotope. The lowest temperature at which the body fluid ceases to be supercooled is the supercooling point (SCP). In a freeze-intolerant species, SCP induces death. The highest temperature at which an insect becomes motionless is the thermostupor point (TSP) It is nearly lethal temperature. The thermal range from SCP to TSP is called Specific Eurythermal Potential (SEP).

SCP and TSP are reliable parameters which can be used in physical control methods of stored products. Using devices described by VANNIER (1986, 1987) we have measured SCP on eggs, larva, adults and TSP on active instars (larva, adults) in two keratophagous Lepidoptera: Tinea pellionella and Tineola bisselliella. We have got similar results on other pests dwelling in beehives (Galleria mellonella, Achroia grisella), furs and museum insects collections (Anthrenus verbasci) grain crops (Sitophilus granarius, Orizaephilus surinamensis).

SCP as low as -25°C in eggs of G. mellonella or TSP as high as +55.7 °C in O. surinamensis are useful directions for use in Control of pests.

INTRODUCTION

Chaleur et froid sont des facteurs physiques qui permettent de lutter contre les insectes ravageurs des produits entreposés. Les méthodes empiriques anciennement utilisées en ce domaine sont maintenant remplacées par des techniques très précises comme le montrent les travaux réalisés sur les effets thermiques des microondes (FLEURAT-LESSARD et al., 1979; ANGLADE et al., 1979) ou ceux qui portent sur les conséquences des basses températures (VANNIER et CHAUVIN, 1988). Afin de pouvoir appliquer de telles méthodes de lutte, il convient de bien connaître la tolérance thermique de l'insecte à éliminer.

L'influence de la température sur la vie d'un insecte se traduit par un diagramme appelé échelle thermobiologique. Cette présentation schématique a été proposée pour la première fois par BACHMETJEW (1907) reprise par UVAROV (1931) et complétée par VANNIER (1987). Ces auteurs définissent un optimum thermique qui correspond à une température moyenne où les grandes fonctions

physiologiques s'effectuent harmonieusement. Ces fonctions sont dynamisées dans la zone supra-optimale ou ralenties dans la zone infra-optimale. Lorsque la température augmente au-delà de la zone supra-optimale, l'insecte manifeste une activité désordonnée. Si la température continue à augmenter, l'activité motrice s'arrête au point de thermotorpeur (=P.T.T., Heat stupor) ou point d'inhibition motrice ; puis l'insecte atteint sa température supérieure limite et meurt. Lorsque la température décroît, l'insecte entre en un état de vie ralentie appelé psychrotorpeur (cold stupor).

A une certaine température inférieure à 0°C, des cristaux de glace se forment dans le corps de l'insecte, ce qui provoque sa mort s'il n'est pas résistant à la congélation. Cette température inférieure limite est le point d'abaissement cryoscopique (= P.A.C.) ou supercooling point. L'écart thermique entre le P.T.T. et le P.A.C. est appelé le potentiel eurhythmique spécifique (=P.E.S.). Ainsi que le mentionnent STOREY et STOREY (1989), très peu d'insectes résistent à la congélation; quelques Hyménoptères Cynipides et des larves de Diptères.

Le P.T.T. et le P.A.C. sont des paramètres physiques spécifiques et caractéristiques du stade de développement d'un insecte. Leur connaissance rend plus efficace et plus précise toute désinsectisation par méthode thermique. Nous avons donc entrepris de réaliser ces mesures chez divers insectes des denrées entreposées, à différents stades de leur développement.

MATERIEL ET METHODE

Nous avons effectué des mesures de P.A.C. et de P.T.T. chez des Lépidoptères et des Coléoptères, à divers stades de leur développement (Le P.T.T. n'est pas mesurable sur les stades immobiles). Nous compléterons ultérieurement ces données préliminaires par des mesures systématiques sur tous les stades du développement chez une même espèce.

Les insectes soumis à nos tests sont les hôtes de différents produits entreposés:

- 1) Tinea pellionella et Tineola bisselliella sont des Lépidoptères kératophages de la famille des Tineidae appelés communément "mites des vêtements". La durée des stades sans nourriture (adultes, nymphes et oeufs) est de l'ordre de 15 jours. La vie larvaire, beaucoup plus longue, peut dépasser un an. Ces espèces, dont la biologie est bien connue, sont élevées dans notre laboratoire sur des fourrures de rat musqué (CHAUVIN, 1977).
- 2) Galleria mellonella et Achroia grisella sont des Lépidoptères de la famille des Pyralidae. Ils vivent dans les ruches d'abeilles et peuvent causer d'importants dégâts aux rayons de cire gaufrée entreposés après la récolte du miel. Nous les élevons, au laboratoire, sur un mélange de 2/3 de cire et 1/3 de pollen, à la température constante de +30°C. (CHAUVIN et CHAUVIN, 1984).
- 3) Anthrenus verbasci est un Coléoptère Dermestidae qui s'attaque aux fourrures, tissus de laine et collections diverses des musées. Nous l'élevons au laboratoire, sur des fragments de peaux de lapin, à la température ambiante.
- 4) Orizaephilus surinamensis (Col.:Cucujidae) et Sitophilus granarius (Col.:Curculionidae) qui se nourrissent des céréales et de leurs dérivés. Les sujets que nous avons testés nous ont été fournis par FLEURAT LESSARD (Station de Zoologie de l'I.N.R.A. à Pont de la Maye, Gironde, France).

Nous avons mesuré la température d'inhibition motrice (P.T.T.) à l'aide d'un dispositif microgravimétrique composé de trois parties: 1) Une électrobalance CAHN RG (sensibilité: 0,1 microgramme); 2) Une chambre de mesure dont la température est conditionnée par un thermostat à circulation liquide asservi par un programmateur électronique qui règle la vitesse d'accroissement

thermique de l'air autour de l'insecte; 3) un enregistreur potentiométrique linéaire qui trace en continu la courbe de perte de poids de l'animal. Avec ce matériel nous avons enregistré l'évolution pondérale des échantillons (oeuf, larve, nymphe ou adulte) en atmosphère sèche (0% HR) en conditions thermiques croissantes. La sensibilité de l'électrobalance permet d'enregistrer les moindres mouvements de l'insecte. Ce dernier est installé à l'intérieur d'une petite nacelle en aluminium (10x10 mm) suspendue à l'extrémité du fléau de la balance.

L'actogramme obtenu se présente sous forme de traits verticaux sur la courbe de poids. La hauteur des traits est proportionnelle à la force d'agitation de l'échantillon. Lorsque la température augmente, le dernier soubresaut indique le point d'inhibition motrice par la chaleur ou point de thermotorpeur. A partir de ce point critique, l'insecte entre en léthargie et meurt.

Les P.A.C. ont été mesurés à l'aide d'un dispositif mis au point par VANNIER (1986) et par VERNON et VANNIER (1987). La chambre de mesure, en acier inoxydable (30x50 mm) est insérée dans un manchon réfrigéré par un serpentin à l'intérieur duquel circule un liquide cryogénique qui peut atteindre la température de -30°C . La vitesse de refroidissement est maintenue constante par un programmeur électronique à raison de 1°C par minute. La mesure de la température au niveau de l'insecte est réalisée à l'aide d'un thermocouple nickel-chrome de 0,5 mm de diamètre, à réponse rapide ($0,5^{\circ}\text{C}$ par seconde). Le thermocouple et l'échantillon, placés ensemble dans la chambre de mesure, sont connectés à un thermomètre digital relié à un système d'enregistrement. Le contact entre la sonde thermique et l'insecte est établi soit par pénétration anale, soit par adhérence au moyen d'une fine couche de graisse végétale.

RESULTATS

1) Températures de thermotorpeur.

La Fig. 1 présente un actogramme obtenu avec un adulte de T. bisselliella. La phase d'activité commence et s'interrompt de façon progressive. Le dernier mouvement enregistré indique le moment où nous effectuons la lecture du P.T.T.

Le tableau I présente les résultats obtenus. La valeur minimale ($46,7^{\circ}\text{C}$) est observée chez les adultes de T. pellionella, la valeur maximale ($55,1^{\circ}\text{C}$) chez les larves jeunes de Galleria mellonella. La différence entre ces deux valeurs extrêmes ($8,4^{\circ}\text{C}$) est relativement faible: il n'existe pas de différences fondamentales entre ces différentes espèces. Pour une même espèce, la valeur du P.T.T. varie peu au cours du développement, en dépit des fortes différences pondérales.

2) Points d'abaissement cryoscopique

La Fig. 2 présente un enregistrement de la température interne d'une larve de T. pellionella. Le P.A.C. lu sur la courbe correspond à la rupture de l'état de surfusion. Il précède une augmentation de la température appelée "rebond". Ce phénomène correspond à une libération d'énergie lors de la formation des premiers cristaux de glace dans l'hémolymphe de l'insecte.

Le traitement que nous avons fait subir à tous les échantillons a entraîné leur mort: aucune des espèces traitées ne résiste à la congélation.

Le tableau II résume nos résultats. La température la plus basse ($-25,2^{\circ}\text{C}$) est observée chez les oeufs d'A. verbasca, la température la moins basse ($-8,5^{\circ}\text{C}$) chez les larves du dernier stade d'A. grisella. Pour chacune des

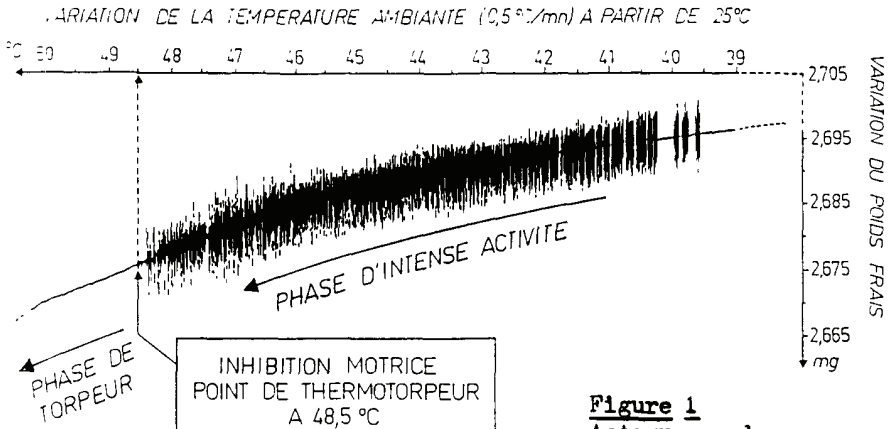


Figure 1
Actogramme de
Tineola bisselliella
adulte

Tableau I . Points de thermotorpeur et poids des échantillons testés. Les moyennes sont indiquées avec leurs écarts-types.

Espèces	Stades de développement	Poids frais (mg)	Point de thermotorpeur(°C)
<u>Tinea</u> <u>pellionella</u>	Larves stade 2 (n=6)	0,37 ± 0,09	48,2 ± 1,1
	Larves dernier stade(n=19)	5,01 ± 2,85	47,4 ± 0,5
	Adultes (n=3)	5,90 ± 1,61	46,7 ± 0,8
<u>Tineola</u> <u>bisselliella</u>	Larves stade 2 (n=3)	0,90 ± 0,26	48,9 ± 0,3
	Larves dernier stade(n=4)	8,02 ± 1,05	50,7 ± 0,7
	Adultes (n=3)	2,95 ± 0,82	49,2 ± 0,6
<u>Galleria</u> <u>mellonella</u>	Larves stade 2 (n=6)	3,37 ± 2,18	55,1 ± 0,6
<u>Achroia</u> <u>grisella</u>	Larves stade 2 (n=10)	0,74 ± 0,51	49,8 ± 1,0
<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>	Larves dernier stade (n=6)	3,64 ± 1,22	54,0 ± 1,0
	Adultes (n=5)	2,56 ± 0,30	53,1 ± 0,5
<u>Orizae-</u> <u>philus</u> <u>surinamen-</u> <u>sis</u>	Larves dernier stade (n=6)	0,43 ± 0,15	54,2 ± 1,3
	Adultes (n=24)	0,33 ± 0,06	54,4 ± 0,9
<u>Sitophilus</u> <u>granarius</u>	Adultes (n=10)	2,11 ± 0,37	53,1 ± 1,0

Tableau II Points d'abaissement cryoscopiques et poids des échantillons testés. Les moyennes sont indiquées avec leurs écarts-types.

Espèces	Stades de développement	Poids frais(mg)	P.A.C. (°C)
<u>Tinea</u> <u>pellionella</u>	Oeufs (n=24)	0,033 ± 0,005	- 24,7 ± 1,6
	Larves stade 2 (n=3)	0,027 ± 0,003	- 18,7 ± 2,0
	Larves dernier stade (n=40)	6,09 ± 2,90	- 13,3 ± 2,5
	Adultes (n=6)	2,54 ± 0,58	- 15,6 ± 4,4
<u>Tineola</u> <u>bisselliella</u>	Oeufs (n=24)	0,037 ± 0,009	- 22,6 ± 2,2
	Larves dernier stade (n=24)	7,32 ± 2,60	- 16,3 ± 5,0
	Adultes (n=6)	2,15 ± 1,05	- 20,9 ± 1,2
<u>Galleria</u> <u>melonella</u>	Oeufs (n= 24)	0,044 ± 0,005	- 22,6 ± 1,2
	Larves stade 2 (n=12)	1,17 ± 0,93	- 9,6 ± 2,3
	Larves dernier stade (n=6)	151,80 ± 31,69	- 12,4 ± 2,0
	Adultes (n=5)	82,12 ± 19,55	- 16,8 ± 0,9
<u>Achroia</u> <u>grisella</u>	Oeufs (n=12)	0,030 ± 0,008	- 23,2 ± 1,0
	Larves stade 1 (n=12)	0,020 ± 0,001	- 18,8 ± 2,5
	Larves dernier stade (n=12)	43,41 ± 12,18	- 8,5 ± 1,7
	Adultes (n=8)	12,15 ± 3,95	- 13,9 ± 3,2
<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>	Oeufs (n=6)	0,033 ± 0,004	- 25,2 ± 0,2
	Larves dernier stade (n=24)	3,11 ± 0,97	- 12,3 ± 4,0
	Adultes (n=12)	2,85 ± 0,59	- 16,0 ± 2,3
<u>Orizaephilus</u> <u>surinamensis</u>	Larves dernier stade (n=24)	0,37 ± 0,19	- 14,9 ± 4,9
	Adultes (n=24)	0,37 ± 0,007	- 16,8 ± 2,4
<u>Sitophilus</u> <u>granarius</u>	Adultes (n=24)	2,16 ± 0,25	- 15,4 ± 3,5

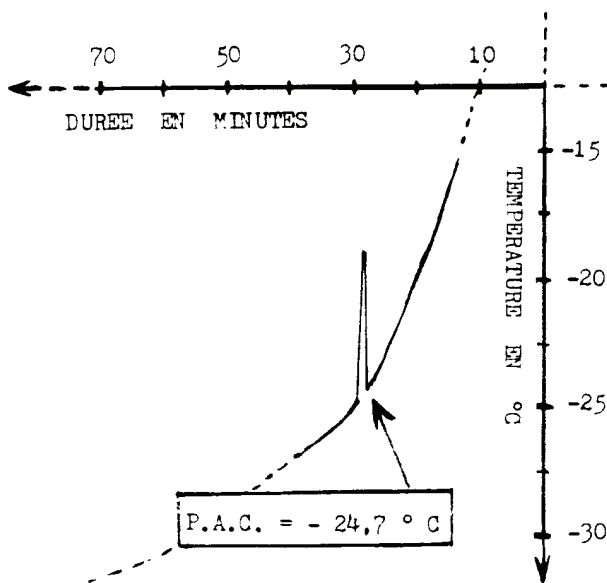


Figure 2 :

Enregistrement du point
d'abaissement cryoscopique
d'un oeuf de Tinea pellionella
pesant 0,036 mg

Tableau III

Valeurs spécifiques des P.T.T. et P.A.C. obtenus en se référant aux stades de développement les plus résistants à la chaleur ou au froid testés dans notre étude préliminaire.

Espèces	P.T.T. (°C)	P.A.C. (°C)
<u>Tinea pellionella</u>	+ 49	- 25
<u>Tineola bisselliella</u>	+ 51	- 23
<u>Galleria mellonella</u>	+ 56	- 23
<u>Achroia grisella</u>	+ 50	- 24
<u>Anthrenus verbasci</u>	+ 54	- 26
<u>Orizaephilus surinamensis</u>	+ 55	- 17
<u>Sitophilus granarius</u>	+ 54	- 16

espèces, les oeufs représentent le stade de développement le plus résistant au froid.

DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Les données préliminaires que nous avons obtenues montrent que les points de thermotorpeur et d'abaissement cryoscopique sont des valeurs qu'il faut connaître pour lutter contre les insectes des produits entreposés par des méthodes thermiques. Le tableau III résume nos résultats.

Le seuil d'inhibition motrice (P.T.T.) exprimé en degrés centigrades est un paramètre physique dont les variations sont faibles pour une même catégorie d'individus. Le franchissement de cette température n'entraîne pas toujours la mort immédiate mais les effets de la chaleur provoquent alors des lésions internes irréversibles qui altèrent les fonctions vitales. Nos résultats montrent que pour détruire les deux principales espèces qui, en France, causent des dommages aux tissus de laine et aux fourrures (T. pellionella et T. bisselliella), il faut appliquer une température de 51 °C. Pour les autres espèces testées, une température égale ou supérieure à 56 °C est nécessaire.

Le point d'abaissement cryoscopique (P.A.C.), exprimé en degrés centigrades est un second paramètre physique dont les variations sont faibles pour une même catégorie d'individus. Chez une même espèce, il semble que les oeufs soient les plus résistants au froid, au cours du cycle de développement, il faut donc obligatoirement tenir compte de cette résistance pour désinsectiser un substrat par le froid. Ainsi, il faudra soumettre fourrures et tissus de laine à -25 °C pour les débarasser des Tineïdes. La plus forte résistance au froid notée chez les oeufs confirme une règle générale en cryobiologie: un organisme qui ne s'alimente pas ou dont le tube digestif est vide accroît sa résistance au froid en prolongeant l'état de surfusion de son milieu intérieur.

Les valeurs extrêmes des P.T.T. et P.A.C. que nous avons obtenues chez les insectes des produits stockés sont inférieures à celles mesurées chez d'autres arthropodes. Ainsi les pseudoscorpion Eremogarypus perfectus étudié par VANNIER (1987) présente une température d'inhibition motrice de 65 °C. Quant à la limite de résistance au froid, elle semble appartenir à la prépupe de Hyalophora cecropia (étudiée par ASAHINA et TANNO, 1966), qui tolère une température de -70 °C.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anglade P., Cangardel H. et Fleurat-Lessard F. (1979) Applications des C.E.M. de haute fréquence et des microondes à la désinsectisation des denrées stockées. C.R. XIV Symp. Int. Applicat. énergétiques des micro-ondes. I.M.P.I. Monaco, III, 57-69.
- Asahina E. and Tanno K. (1966) Freezing resistance in the diapausing pupa of the Cecropia silkworm at liquid nitrogen temperature. Low Temp. Sci. B, 24, 25-34.
- Bachmetjew P. (1907) Experimentelle entomologische studien vom physikalish-chemischen standpunkte aus. Band II. Einfluss der äusseren faktoren auf Insecten. Staatsdruckerei, Sophia, XVI, 944p.
- Chauvin G. (1977) Contribution à l'étude des Insectes kérotophages (Lepidoptera: Tineidae). Leurs principales adaptations à la vie en milieu sec. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 295 p.
- Chauvin G. and Chauvin J. (1985) The influence of relative humidity on larval development and energy content of Galleria mellonella (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). J. Stored Prod. Res. 21, 79-82.

- Fleurat-Lessard F., Lesbats M., Lavenseau L., Cangardel H., Moreau R., Lamy M. et Anglade P. (1979) Effets biologiques des micro-ondes sur deux insectes Tenebrio molitor L. (Col:Tenebrionidae) et Pieris brassicae L. (Lep: Pieridae). Ann. Zool.Ecol.anim. 11, 457-478.
- Storey K.B. et Storey J.M. (1989) Comment les animaux survivent au gel. La Recherche, 208; 332-341.
- Uvarov B.P. (1931) Insects and climate. Trans. Ent. Soc. London, 79, 1-232.
- Vannier G. (1986) Accroissement de la capacité de surfusion chez les adultes de Chrysoperla carnea (Insecte Névroptère) entrant en diapause hivernale. Neuroptera International, IV, 71-82.
- Vannier G. (1987) Mesure de la thermotorpeur chez les insectes. Bull. Soc. Ecophysiol. 12, 165-186.
- Vannier G. et Chauvin G. (1988) Hétérogénéité des paramètres liés à la croissance et à la résistance au froid dans une population larvaire de Tinea pelionella L. (Lepidoptera:Tineidae). Acta Oecologica, Oecol. gener. 9, 397-408.
- ernon P. et Vannier G. (1987) Etude expérimentale de la tolérance au froid chez les adultes d'un Diptère subantarctique: Anatalanta aptera Eaton (Sphaeroceridae). C.N.F.R.A., 58, 151-167.

LA RESISTANCE AU FROID ET A LA CHALEUR :
DEUX PRINCIPES DE BASE DE LA LUTTE CONTRE
LES INSECTES DES PRODUITS STOCKES

Georges CHAUVIN (1) et Guy VANNIER (2)

- (1) Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée
Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France
(2) Laboratoire d'Ecologie Générale, U.A. C.N.R.S. n° 689
4 avenue du Petit Château, 91800 Brunoy, France

RESUME

La résistance au froid et la résistance à la chaleur sont deux critères importants pour mesurer si un insecte peut ou non occuper un biotope. La température la plus basse à laquelle les fluides corporels cessent d'être sur-refroidis est le point d'abaissement cryoscopique (SCP). Chez une espèce qui ne résiste pas au froid, le SCP entraîne la mort. La température la plus élevée à laquelle un insecte devient inerte est le point de thermo-torpeur (TSP). C'est presque la température létale. L'échelle thermique se situant entre le SCP et le TSP s'appelle la Potentiel Eurythermique Spécifique (SEP).

Le SCP et le TSP sont des paramètres fiables qui peuvent s'utiliser dans les méthodes de lutte physique contre les déprédateurs des produits stockés. En employant les appareils décrits par Vannier (1974, 1986), nous avons mesuré le SCP sur les oeufs, les larves, les adultes, et le TSP aux stades actifs (larves, adultes), de deux lépidoptères Kératophages : *Tinea pellionella* et *Tinea bisselliella*. Nous avons obtenu des résultats semblables sur d'autres déprédateurs vivants sur les hêtres (*Galleria mellonella*, *Achroia grisella*), la fourrure, les collections d'insectes de musées (*Sitophilus granarius*, *Oryzaephilus surinamensis*).

Des valeurs de SCP de -25° pour les oeufs de *G. mellonella* ou de TSP de $+55,7^{\circ}$ C pour *O. surinamensis* constituent des informations intéressantes pour lutter contre les déprédateurs.