

EFFET DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR LA PERSISTANCE DES CONIDIOSPORES DE L'HYPHOMYCÈTE ENTOMOPATHOGÈNE, *NOMURAEA RILEYI*, À LA SURFACE D'UN COUVERT VÉGÉTAL

J. FARGUES ⁽¹⁾, M. ROUGIER ⁽²⁾, R. GOUJET ⁽¹⁾ & B. ITIER ⁽²⁾ (*)

⁽¹⁾ INRA, Station de Recherches de Lutte biologique, La Minière, 78280 Guyancourt, France

⁽²⁾ INRA, Station de Bioclimatologie, 78850 Thiverval-Grignon, France

La persistance des conidiospores de *Nomurea rileyi* (F.) Samson à la surface du couvert végétal a été étudiée *in situ* en culture de féverole (« Féverole 1 et 2 ») et de chou. L'effet du rayonnement solaire sur la survie du germe a été analysé, d'une part, dans des microparcelles recouvertes d'écrans sélectifs arrêtant les radiations de longueurs d'onde inférieures à 320 nm (UV A⁺) ou à 400 nm (UV⁻) ou par un écran total vis-à-vis du rayonnement direct (RYT⁻) et, d'autre part, dans une microparcelle découverte (RYT⁺). Les conditions microclimatiques ont été suivies pendant toute la durée des expérimentations et le contrôle de l'activité résiduelle du champignon a porté essentiellement sur le dénombrement des spores viables sur milieu nutritif après mise en suspension d'un broyat des échantillons de feuilles prélevés sur le terrain. Dans le cas des variantes expérimentales (RYT⁺) et (RYT⁻) le potentiel infectieux a été éprouvé sur des larves de *Spodoptera littoralis* Boisd. (*Lépidoptère Noctuidae*) alimentées pendant 24 h avec des rondelles de feuilles recueillies dans le couvert.

La durée de demi-vie de l'inoculum sporal est étroitement liée à l'ensoleillement ; par temps clair elle peut atteindre un minimum de 3,6 h (« Féverole 1 »), alors que dans les microparcelles totalement protégées du rayonnement direct, elle est supérieure à 40 h. Les données d'activité pathogène confirment l'inactivation de l'inoculum soumis au rayonnement solaire.

Parallèlement, le recours aux écrans transparents (UV A⁺) ou opaques (UV⁻) au proche ultra-violet (320-400 nm) a permis de démontrer clairement l'effet léthal de l'UV A naturel sur les conidiospores de *N. rileyi*, dont les demi-vies peuvent être réduites jusqu'à 4 fois (« Féverole 1 » : $x_{UV A^+} = 11,6$ h au lieu de $x_{UV^-} = 48,2$ h).

A partir de ces résultats, on estime que par temps ensoleillé en été, le potentiel d'inoculum de *N. rileyi* exposé au rayonnement solaire direct peut chuter de 10⁴ fois en une semaine, alors que par temps couvert cette réduction n'aurait été que de 100 fois.

MOTS CLÉS : *Nomurea rileyi* (F.) Samson, persistance, conditions microclimatiques, rayonnement solaire, ultra-violet, écrans sélectifs, couvert végétal.

(*) Avec la collaboration technique de H. Vermeil de Conchard.

Un des principaux facteurs limitant l'utilisation des germes pathogènes d'insectes en protection des cultures est leur rapide perte d'activité dans le couvert végétal. La rémanence des inoculums infectieux exposés au rayonnement solaire sur le feuillage dépasse rarement 2 jours en l'absence de formulation des propagules (Ignoffo & Hostetter, 1977 ; Burges, 1981).

L'inactivation par les radiations solaires des microorganismes entomopathogènes tels que virus (Jaques, 1977 ; Richards & Payne, 1982) et bactéries (Pinnock *et al.*, 1977) est souvent rapportée (Ignoffo & Hostetter, 1977). En revanche, la sensibilité au rayonnement solaire des microsporidies (Maddox, 1977 ; Brooks, 1982) et des champignons parasites d'insectes (Roberts & Campbell, 1977) a été relativement peu étudiée.

Par ailleurs, on constate que très peu de travaux font référence aux conditions microclimatiques dans lesquelles ont été réalisés les essais de survie des germes en milieu naturel.

C'est pourquoi nous avons entrepris l'approche microclimatique de la persistance des conidiospores d'un isolat de l'hyphomycète *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson au champ, compte tenu de l'intérêt de cette espèce pour la régulation des populations de noctuides (Kish & Allen, 1978 ; Ignoffo *et al.*, 1981). Le principe de l'expérimentation a consisté à analyser au cours du temps l'évolution de la viabilité et du pouvoir pathogène d'un inoculum cryptogamique exposé à un rayonnement solaire naturel ou fractionné, par la mise en place d'écrans sélectifs au-dessus de la végétation. Le suivi des paramètres microclimatiques a été assuré *in situ* à l'aide d'une batterie de capteurs spécifiques reliés à une centrale d'acquisition de données.

MATÉRIEL ET TECHNIQUES

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Trois expérimentations successives ont été conduites à La Minière, près de Versailles (Bassin parisien) pendant les mois de juillet et d'août 1984, en champ de féverole (« Féverole 1 » du 2 au 13 juillet et « Féverole 2 » du 17 au 31 juillet) et en plantation de chou (« Chou » du 1^{er} au 16 août). Dans chacune de ces séries, on a disposé des 4 microparcelles suivantes :

- (1) une microparcelle découverte, soumise au rayonnement solaire naturel (290 à 2 500 nm), référencée (RYT⁺) ;
- (2) une microparcelle recouverte d'un écran total vis-à-vis du rayonnement direct, constitué d'une toile cirée blanche, référencée (RYT⁻) ;
- (3) une microparcelle avec un écran en verre transparent au rayonnement ultra-violet solaire, référencée (UV A⁺) et
- (4) une microparcelle dotée d'un écran en verre recouvert d'un film opaque aux radiations ultraviolettes naturelles, référencée (UV⁻).

Chaque écran, de 4 m² de surface, a été monté sur un bâti métallique à 4 pentes, assurant la « protection » d'une surface du couvert végétal d'environ 1 m² dans laquelle ont été prélevés les échantillons.

L'étude des propriétés physiques des matériaux utilisés pour confectionner les écrans placés sur les microparcelles (UV A⁺) et (UV⁻) montre que le verre (UV A⁺) ne laisse passer les radiations ultraviolettes qu'à partir de 320 nm et que l'addition du film (UV⁻) repousse cette limite inférieure à 400 nm (fig. 1). La variante (UV A⁺) est donc perméable uniquement à la fraction UV A du rayonnement solaire. Dans le domaine du visible (400-700 nm), la transmission par le verre atteint 90 % et elle est abaissée à 83 %

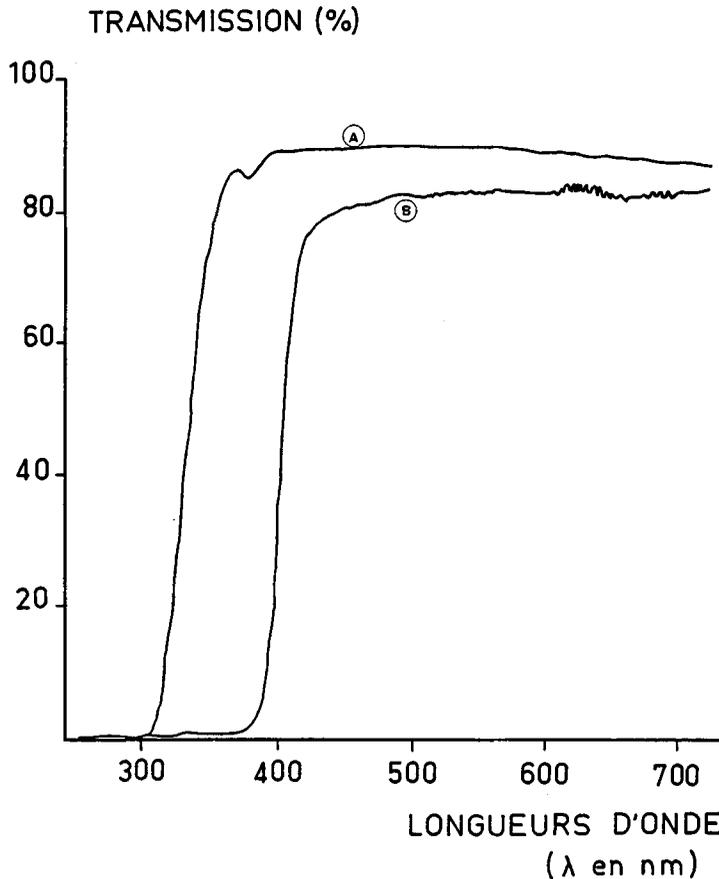


Fig. 1. Spectre de transmission des matériaux utilisés pour confectionner les écrans des microparcelles (UV A⁺) et (UV⁻) : verre (= A) et verre + film opaque au rayonnement ultraviolet (=B).

par la présence du film opaque aux UV (UV⁻) (fig. 1). Enfin, on a noté que le verre absorbe peu les radiations infrarouges jusqu'à 2 700 nm (presque 100 % des I.R. transmis à 2 500 nm) alors que la combinaison, verre plus film opaque aux UV, est un peu moins transparente à ces longueurs d'onde (environ 80 % de transmission à 2 500 nm).

Sur l'ensemble du dispositif, les paramètres microclimatiques étudiés ont été les suivants : durée d'insolation, rayonnement global, durée d'humectation du feuillage, température et humidité de l'air (tabl. 1). Sous chaque écran, la température de surface des feuilles a été mesurée en continu à l'aide de pinces prototypes à microthermocouple (Rougier & Goujet, 1988).

TABLEAU I

*Paramètres microclimatiques et appareillages utilisés sur les dispositifs de terrain pendant la campagne d'étude de la persistance du germe *Nomuraea rileyi* en 1984*

PARAMÈTRE	VARIABLE	APPAREIL	CAPTEUR (x)	TYPE DE MESURE (y)	DISPOSITION DES CAPTEURS
Température	Sol (température de référence)	Canne de sol (1,20 m de profondeur)	Thermocouple K	Ponctuelle	1 (a)
			Sonde de platine	Continue	1 (a)
	Air	Prise ventilée	Thermocouple T	Continue	1 (a)
	Feuilles	Pinces-prototypes de ROUGIER et GOUJET	Microthermocouple T	Continue	1 (b)
Humidité relative	Température air et HR %	Psychromètre automatique type SECK et PERRIER	Thermocouple T	Continue	1 (a)
Mouillage	Durée d'humectation	Humectographe électronique INRA-STEFCE	Capteur capacitif	Continue	1 (b)
Vent	Vitesse m/s	Anémomètre MCB		Continue	1 (a)
Rayonnement	Global (400-200 nm) Wm ⁻²	Pyranomètre LAMBDA	Photodiode au silicium	Continue	1 (a)
Insolation	Durée (heures)	Héliographe de CAMPBELL et STOKE		Continue	1 (a)

(a), (b) : Capteurs utilisés sur l'ensemble du dispositif (a), ou par microparcelle (b).

(x) : Thermocouples : type T = cuivre-Constantan ; type K = chromel Alumel.

(y) : Tous les appareils de mesure en continu sont connectés sur une acquisition de données JOSY 800.

PRODUCTION DE L'INOCULUM FONGIQUE ET TRAITEMENT DU COUVERT VÉGÉTAL

L'isolat fongique, *N. rileyi* n° 5 (Mycothèque INRA de la Station de Recherches de Lutte biologique, La Minière) a été retenu en raison de son intérêt agronomique, du fait de son agressivité à l'égard des chenilles de la noctuelle égyptienne du coton, *Spodoptera littoralis* Boisduval (Fargues & Rodriguez-Rueda, 1980 ; Maniania & Fargues, 1984). L'inoculum a été recueilli par grattage superficiel de cultures conduites pendant 3 semaines en foles de Roux sur milieu semi-synthétique gélosé maintenues à 23 °C ± 1 °C sous une photophase de 16 h (Fargues & Rodriguez-Rueda, 1980).

Dès l'évaporation de la rosée au champ (vers 8 h T.U.) les traitements de la surface du couvert végétal des microparcelles ont été réalisés par pulvérisation du feuillage jusqu'au point de ruissellement avec une suspension aqueuse de conidiospores titrée à 3 × 10⁸ spores/mL⁻¹ à l'exception de l'expérimentation « chou » pour laquelle le traitement a été effectué à 15 h T.U.

CONTRÔLES DE LA PERSISTANCE DE L'INOCULUM FONGIQUE

Après traitement, les prélèvements de feuilles contaminées ont été faits quotidiennement pendant 15 j. Ces échantillons ont été soumis à des contrôles microbiologiques (pour les 4 variantes expérimentales) et à des contrôles pathologiques (limités aux échantillons récoltés dans les parcelles RYT⁺ et RYT⁻ en raison de la lourdeur des protocoles).

Les contrôles microbiologiques ont consisté à prélever au hasard à la surface du couvert végétal de chaque parcelle 4 feuilles de féverole ou 1 feuille de chou. Des rondelles calibrées ont ensuite été découpées à l'aide d'un emporte-pièce à raison de 1 rondelle par feuille de féverole et de 4 rondelles par feuille de chou. Chaque rondelle a été placée dans un pilulier, garni de billes de verre, contenant 10 mL d'eau stérile. Après agitation pendant 10 mn à 700 oscillations par mn, les 4 suspensions propres à une variante expérimentale ont été réunies en une suspension-mère unique. On a ensuite procédé aux suspensions-dilutions et aux ensemencements sur milieu nutritif gélosé supplémenté en chloramphénicol à 0,5 ‰, en boîtes de Pétri, à raison de 4 boîtes par dilution. Après 10 j d'incubation à 23 °C ± 1 °C, le dénombrement des colonies a permis d'estimer le nombre de conidiospores viables par unité de surface foliaire.

Les contrôles pathologiques ont consisté à apprécier l'activité pathogène résiduelle de l'inoculum en exposant des chenilles nouvelles-nées (âgées de moins de 16 h) de *S. littoralis* à des échantillons de feuillage traité ou non traité. Vingt chenilles ont été déposées au fond d'une boîte cylindrique en polystyrène cristal sur du papier filtre humidifié. Une rondelle de feuille, calibrée suivant le protocole décrit précédemment, y a été ajoutée, face contaminée orientée vers le fond de la boîte. Pour chaque série de prélèvements on a disposé de 4 boîtes, soit 4 lots de 20 chenilles pour les 2 variantes expérimentales (RYT⁺) et (RYT⁻). Après 3 j, le substrat foliaire a été remplacé par du feuillage frais non contaminé, renouvelé ensuite tous les 2 j. Les insectes ont été observés quotidiennement afin de contrôler la mortalité et les cadavres ont été prélevés au fur et à mesure pour être placés en chambre humide jusqu'à sporulation du germe à la surface de la cuticule. Tous ces essais de contrôle du potentiel infectieux de l'inoculum ont été menés en conditions normalisées dans des enceintes régulées à 25 °C ± 1 °C sous une photophase de 16 h (Fargues & Rodriguez-Rueda, 1980).

La persistance des microorganismes entomopathogènes, caractérisée par leur demi-vie, temps au bout duquel le nombre de germes viables est divisé par 2, a été établie à partir des droites de régressions obtenues sur l'évolution du potentiel d'inoculum en fonction du temps d'exposition au rayonnement (Pinnock *et al.*, 1971).

La normalisation de la distribution des pourcentages de mortalité, nécessaire à l'analyse du potentiel infectieux en fonction du temps, a été faite par transformation angulaire du type $x = \arcsin \sqrt{\%}$ (in Snedecor & Cochran, 1971).

RÉSULTATS

CONDITIONS MICROCLIMATIQUES PENDANT L'EXPÉRIMENTATION

En juillet et en août 1984, la durée d'insolation a été variable ; elle a été plus importante pendant la 1^{re} série expérimentale « Féverole 1 » que pendant les 2 autres séries.

« Féverole 2 » et « Chou » (tabl. 2). Ainsi, au cours des 4 premiers jours des essais, les conditions d'insolation à la surface du couvert ont été 2 fois plus élevées dans l'expérimentation « Féverole 1 » (47,9 h d'insolation et 10 650 joules/cm²) qu'en « Féverole 2 » (23,1 h et 6 460 joules/cm²) ou qu'en « Chou » (16,3 h et 4 472 joules.cm⁻²) (tabl. 2). Par ailleurs, la durée du mouillage du feuillage, sous forme de rosée (du 2 au 13 juillet et du 17 au 31 juillet) ou de pluie (1^{er} au 16 août), a été plus courte pendant la première quinzaine du mois de juillet que pendant les 2 quinzaines suivantes.

Les températures de feuilles ont été voisines de la température de l'air en l'absence de rayonnement direct (RYT⁻) mais, dans les autres cas, elles ont été plus fortes pendant la phase diurne. Les écarts ainsi mesurés ont atteint un maximum de l'ordre de 8 °C entre 12 h et 14 h T.U. par ciel clair (fig. 2). L'absence de différence entre les températures de feuilles observées dans les variantes (RYT⁺), (UV A⁺) et (UV⁻) s'explique par le niveau élevé de transmission dans l'infra-rouge des écrans utilisés.

TABLEAU 2

Durée d'insolation (a), intensité du rayonnement solaire global (b), durée de mouillage du couvert végétal (c) et précipitations (d) pendant les expérimentations consacrées à l'étude de la persistance de l'inoculum de Nomuraea rileyi

Expérimentation	Paramètre physique	Temps en jours						
		1	2	3	4	5	6	7
« Féverole 1 » (2 au 8 juillet 84)	durée d'insolation ^a	13,7	26,0	35,8	47,9	62,3	76,6	89,1
	rayonnement global ^b	2 920	5 610	7 200	10 560	13 580	16 580	19 290
	durée du mouillage ^c	0	0,7	9,5	16,0	24,3	30,3	34,0
« Féverole 2 » (17 au 22 juillet 84)	durée d'insolation ^a	2,2	8,8	10,1	23,1	35,8	45,4	56,6
	rayonnement global ^b	1 060	2 810	3 720	6 460	9 150	11 350	13 800
	durée du mouillage ^c	5,2	17,0	26,0	36,5	47,2	53,7	53,7
« Chou » (1 ^{er} au 7 août 84)	durée d'insolation ^a	3,7	7,8	9,4	16,3	22,0	33,1	36,0
	rayonnement global ^b	542	1 842	2 752	4 472	6 002	8 352	9 442
	durée du mouillage ^c	5,5	19,0	23,0	33,0	43,3	50,5	73,8
	précipitations ^d	0	4	12,2	13,3	21,8	21,8	23,3

(a) Durée cumulée de l'ensoleillement en h.

(b) Énergie cumulée en joules/cm² à partir des mesures effectuées avec un pyranomètre Lambda (400 à 1 200 nm) étalonné par rapport à une thermopile « Eppley », correspondant à 95 % du rayonnement solaire (290 à 3 000 nm).

(c) Durée cumulée d'humectation du feuillage en h.

(d) Hauteur cumulée des précipitations en mm (pas de pluie pendant les expérimentations « Féverole 1 » et « Féverole 2 »).

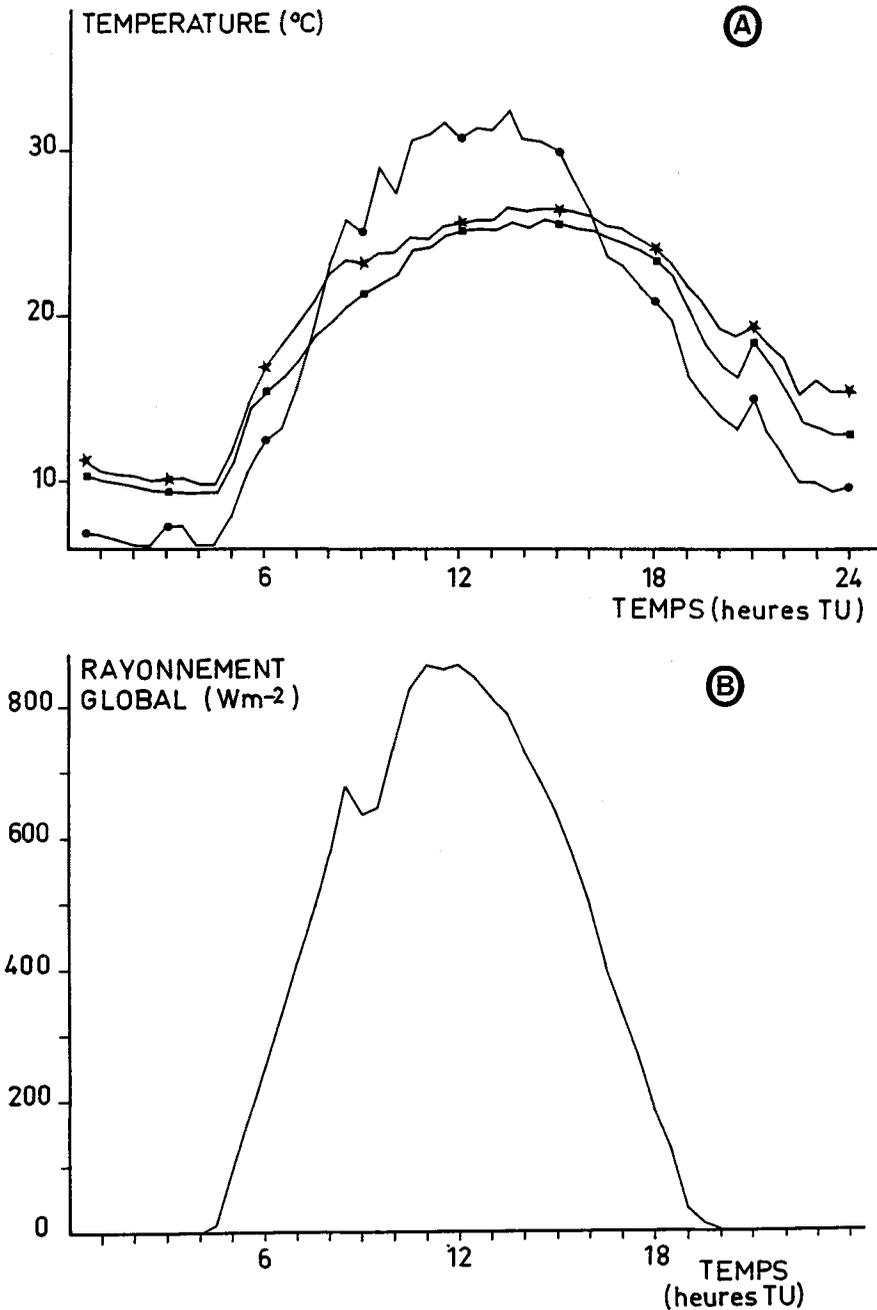


Fig. 2. Conditions de température et de rayonnement à la surface du couvert végétal au cours de la journée par temps clair.

2A : Températures de surface de feuilles, mesurées à l'aide de microthermocouples à pince, dans la parcelle soumise au rayonnement solaire (RYT⁺ = ●) et dans la microparcelle à l'ombre (RYT⁻ = ■) ; température à l'air mesurée à l'aide d'un thermocouple dans une reprise ventilée (T_a = ★).

2B : Evolution du rayonnement global pendant la même journée.

ANALYSE MICROBIOLOGIQUE DE LA PERSISTANCE DE L'INOCULUM

D'une manière générale, l'examen des droites de régression obtenues en considérant le logarithme du nombre de spores survivantes par unité de surface en fonction du temps (fig. 3) montre que l'évolution du taux de survie de l'inoculum est fonction de la nature du rayonnement (quantité d'énergie et gamme de longueurs d'onde) reçu à la surface du feuillage.

On constate notamment les faits suivants :

(1) dans les 3 séries expérimentales, la viabilité de l'inoculum est restée élevée au cours du temps lorsque le couvert végétal était protégé par un écran total vis-à-vis du rayonnement direct (RYT⁻) ou par un écran sélectif opaque aux UV A et B (UV⁻) ;

(2) dans toutes les expérimentations, l'inoculum soumis au rayonnement solaire (RYT⁺) a été très rapidement inactivé ;

(3) les inoculums non protégés des radiations ultraviolettes proches, de 320 à 400 nm (UV A⁺), ont aussi perdu leur activité assez rapidement ;

(4) dans la parcelle découverte (RYT⁺), la vitesse de dégradation de l'inoculum a été liée à la durée d'insolation et donc, à la quantité d'énergie radiative reçue (tabl. 2) comme le montrent les différences observées entre « Féverole 1 » et « Féverole 2 » ;

(5) lorsque l'ensoleillement est important pendant les premiers jours d'exposition (« Féverole 1 » et « Chou ») la perte de viabilité de l'inoculum protégé des radiations ultraviolettes B de 290 à 320 nm (UV A⁺) est moindre que celle de l'inoculum non protégé (RYT⁺).

Ces résultats montrent donc l'effet léthal du rayonnement solaire sur les conidiospores de *N. rileyi* *in situ* en soulignant le rôle des radiations ultraviolettes naturelles comprises entre 320 et 400 nm.

L'analyse des demi-vies des inoculums qui ont été étudiés (tabl. 3) précise les conclusions énoncées plus haut en soulignant l'instabilité des conidiospores de *N. rileyi* au rayonnement solaire. Ainsi, dans les expérimentations « Féverole 1 » et « Chou » les demi-vies de l'inoculum sont respectivement de 3,6 h et de 13,2 h dans les microparcelles (RYT⁺) alors que dans les microparcelles (RYT⁻) elles dépassent 40 h. Lors de ces 2 séries d'essais on constate aussi une différence importante de persistance de l'inoculum entre la variante comprenant l'UV A solaire (« Féverole 1 » UV⁺ = 11,6 h et « Chou » UV⁺ = 18,4 h) et la variante sans UV naturel (« Féverole 1 » UV⁻ = 48,2 h et « Chou » UV⁻ = 40,4 h). Compte-tenu d'une part, des faibles variations des températures moyennes journalières pendant la durée des expériences et d'autre part, de l'étroite liaison entre températures de feuilles et rayonnement reçu au cours de la journée (cf. fig. 2), les effets respectifs de la température et du rayonnement n'ont pu être dissociés.

L'équation de régression multiple établie à partir des données des 3 expérimentations est la suivante :

(1) $Y = 6,64 - 10^{-3} (0,133 R + 1,67 A + 2,61 B + 0,124 DH + 29,8 P)$
où R est la dose de rayonnement total reçu en J.cm⁻², A, la dose de rayonnement reçu dans la gamme des UV A en J.cm⁻², B, celle du rayonnement reçu dans la gamme des UV B en J.cm⁻², DH, le cumul des durées d'humectation du feuillage en mn et P, la somme des précipitations en mm.

L'équation (1) pour laquelle le coefficient de détermination est de R² = 0,69 (t = 53,98 significatif à 1 ‰), permet de prévoir l'effondrement en 7 j du potentiel de l'inoculum de *N. rileyi* soumis au rayonnement direct par temps ensoleillé, alors que par temps couvert le nombre de spores viables ne serait réduit que de 100 fois (fig. 4) toutes conditions égales par ailleurs.

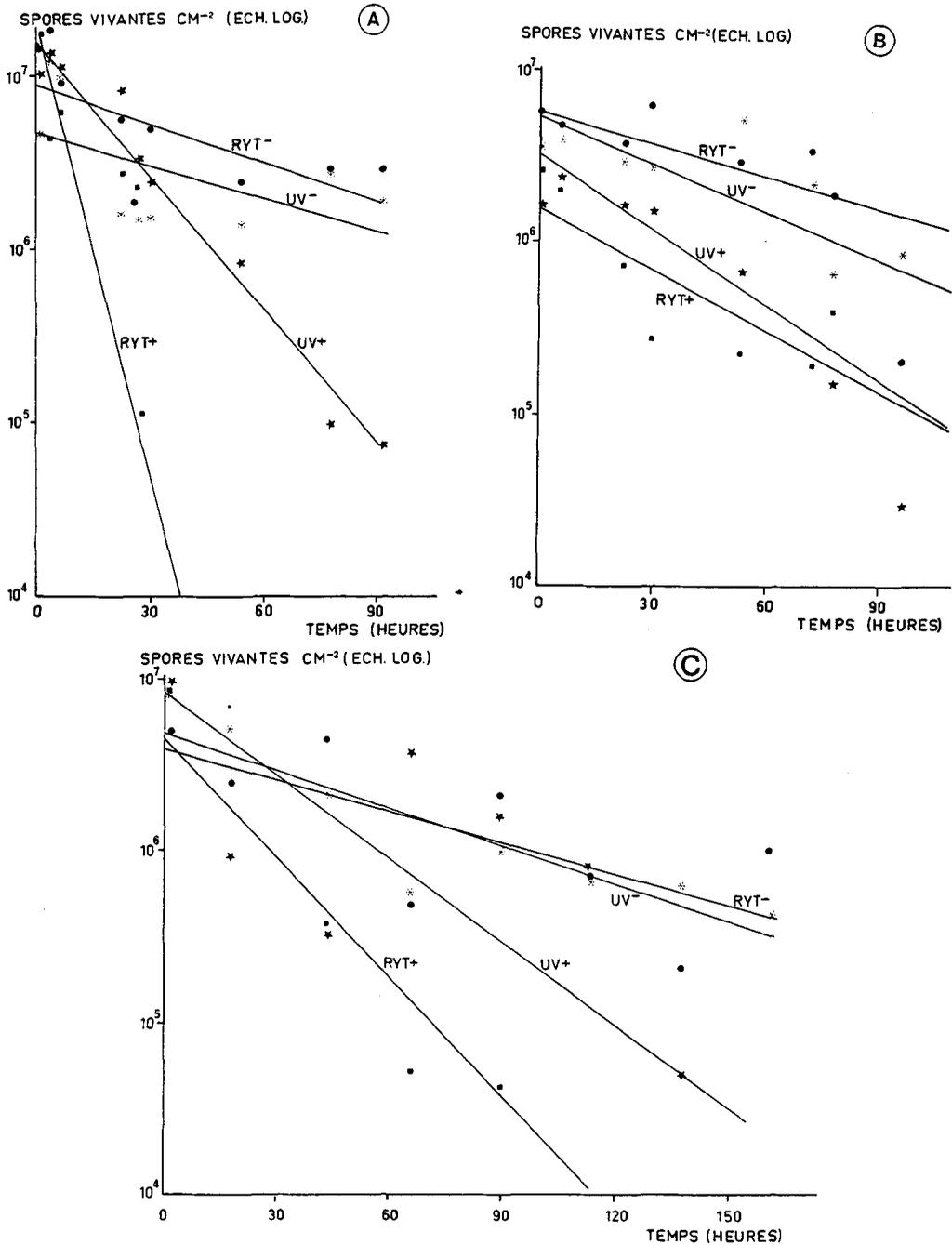


Fig. 3. Evolution du potentiel d'inoculum de *Nomuraea rileyi* (exprimé en nombre de conidiospores viables par cm² de feuille) en fonction du temps dans les microparcelles découvertes (RYT⁺) ou protégées : du rayonnement direct (RYT⁻), des radiations inférieures à 320 nm (UVA⁺) ou du rayonnement ultraviolet naturel (UV⁻). Expérimentations : « Féverole 1 » (A), « Féverole 2 » (B) et « Chou » (C). Données recueillies à partir des échantillons prélevés dans les parcelles (RYT⁻ = ●), (RYT⁺ = ■), (UV⁻ = *) et (UV⁺ = ★).

TABLEAU 3

Demi-vies (a) d'un inoculum de conidiospores de *Nomuraea rileyi* au champ, à la surface d'un couvert végétal, dans des microparcelles soumises au rayonnement solaire (RYT⁺) ou fractionné par la mise en place d'écrans sélectifs laissant passer les radiations à partir de 320 nm (UV_A⁺), de 400 nm (UV⁻) ou opaque au rayonnement direct (RYT⁻)

Expérimentations	Variantes expérimentales			
	RYT ⁺	UV _A ⁺	UV ⁻	RYT ⁻
« Féverole 1 »	3,6	11,6	48,2	40,8
« Féverole 2 »	24,8	20,8	32,8	48
« Chou »	13,2	18,4	40,4	49,9

(a) Demi-vie : temps en heures au bout duquel le nombre de spores vivantes est divisé par 2 ; calculé à partir de la droite de régression « log du nombre de spores vivantes cm⁻² — temps en heures ».

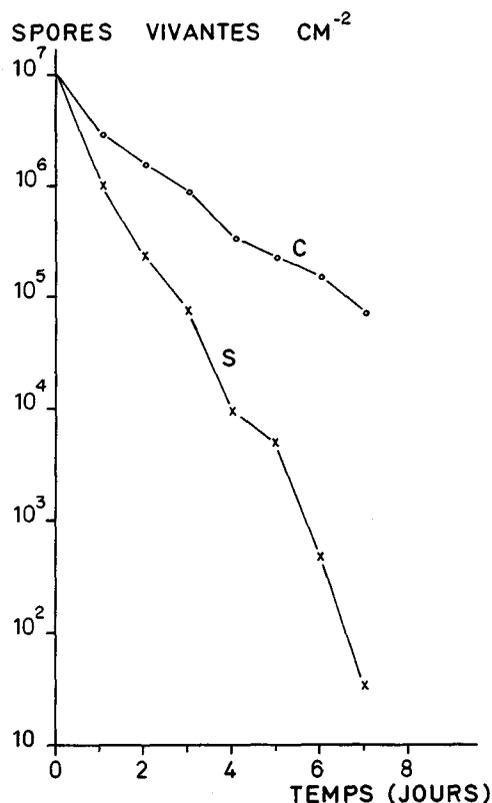


Fig. 4. Simulation de l'évolution du potentiel d'inoculum de *Nomuraea rileyi* soumis au rayonnement direct, par temps ensoleillé (S) et par temps couvert (C), à partir de l'équation (1) (voir texte).

ANALYSE PATHOLOGIQUE DE LA PERSISTANCE DE L'INOCULUM

La différence de potentiel infectieux entre l'inoculum protégé du rayonnement solaire direct et l'inoculum soumis au rayonnement direct est très rapidement significative (fig. 5). Globalement, la baisse de l'activité pathogène de l'inoculum suit la chute de viabilité des spores, mais la variabilité des réponses au sein des 4 lots de chenilles d'une même variante expérimentale ne permet pas de pousser plus loin cette analyse.

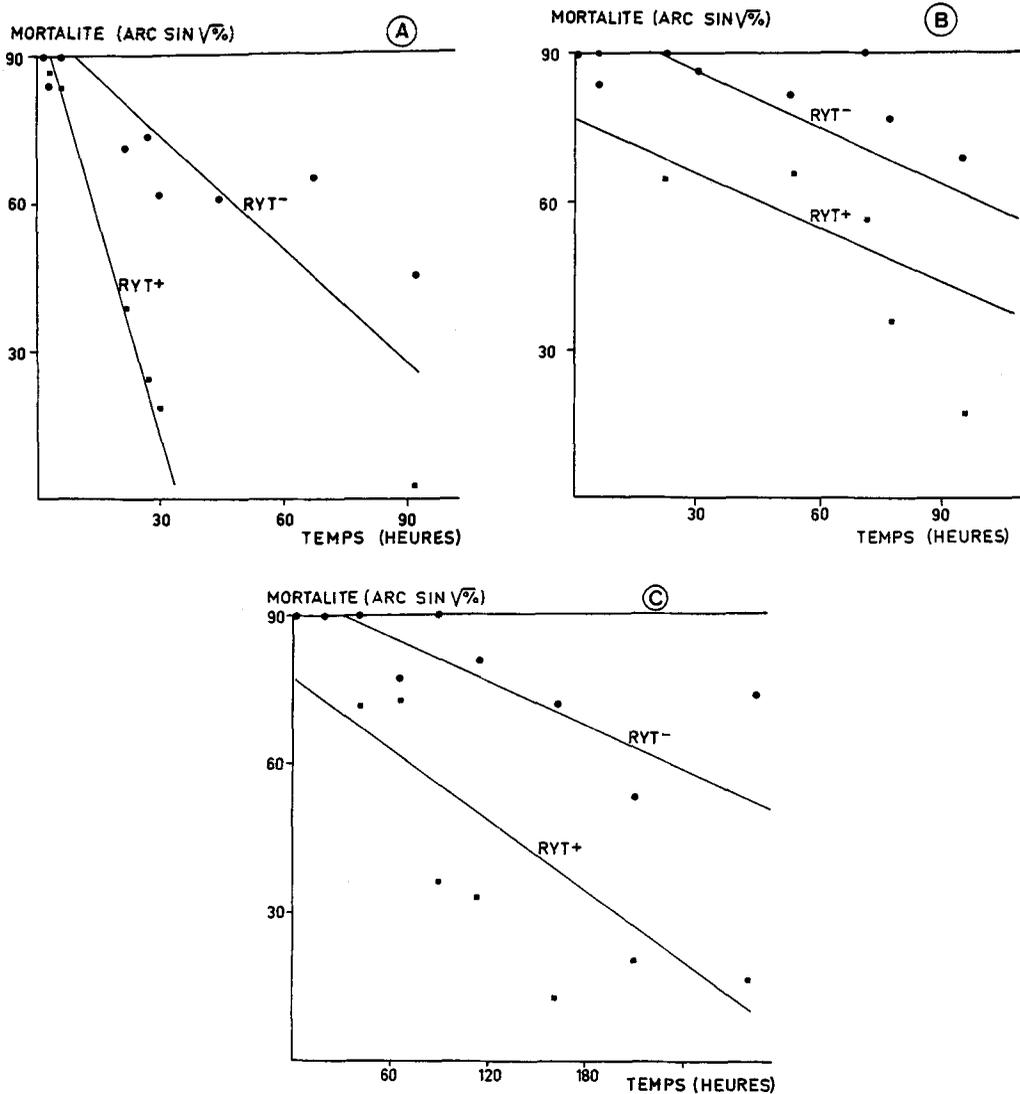


Fig. 5. Evolution du potentiel infectieux des conidiospores de *Nomuraea rileyi* éprouvé sur des larves de *Spo-doptera littoralis* (mortalité exprimée en arc sin $\sqrt{\%}$) en fonction du temps dans les microparcelles découverte (RYT+ = ■) ou protégée du rayonnement solaire direct (RYT- = ●). Expérimentations : « Féverole 1 » (A), « Féverole 2 » (B) et « Chou » (C).

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'estimation de la quantité de spores viables, par dénombrement des colonies sur milieu additionné d'antibiotique, a permis de suivre la concentration de l'inoculum jusqu'à la limite inférieure de 10^3 ou 10^2 spores cm^{-2} de feuillage. Au-dessous de cette limite, le germe est soumis à la compétition de divers champignons, plus ou moins inféodés à la phyllosphère, et dont la vitesse de colonisation du milieu d'isolement est plus rapide. C'est la raison pour laquelle les traitements ont été effectués avec une suspension particulièrement concentrée (3×10^8 conidiospores mL^{-1}) et dans des conditions de pulvérisation assurant un dépôt initial dense à la surface du couvert végétal (entre 2×10^6 et 2×10^7 spores cm^{-2}). Il y a étroite concordance entre la baisse de viabilité de l'inoculum et l'évolution de son potentiel infectieux dans les microparcelles (RYT⁺) et (RYT⁻). La chute de l'effet léthal de l'inoculum, alors que la concentration en spores viables est encore élevée (supérieure à 10^4 cm^{-2}), montre que le contrôle sur *S. littoralis* est moins sensible que le test sur *Trichoplusia ni* utilisé par **Ignoffo et al.** (1976) pour déterminer la persistance de *N. rileyi* sur soja. L'activité pathogène résiduelle est donc un critère dont la validité est limitée par la sensibilité de l'insecte-hôte (espèce, stade, état physiologique) (**Richards & Payne**, 1982), c'est pourquoi nous avons fondé notre analyse sur la survie de l'inoculum. L'utilisation des écrans sélectifs a permis d'établir *in situ* une démonstration rigoureuse de l'effet léthal des radiations UV A naturelles sur l'inoculum sporal de *N. rileyi*, puisque la durée de demi-vie est passée de 48,2 h (expérimentation « Féverole 1 ») et 40,4 h (« Chou ») pour les spores protégées (UV⁻) à respectivement 11,6 h et 18,4 h pour les spores non protégées (UV A⁺).

Les durées de demi-vie (2 à 3 j) des spores de *N. rileyi* rapportées par **Ignoffo et al.** (1976) ont été établies dans des conditions naturelles favorables aux épizooties, en effectuant des prélèvements à 3 niveaux du couvert végétal. La persistance du germe a été appréhendée d'un point de vue épidémiologique et agronomique, aucune distinction n'ayant été faite dans l'analyse entre ces 3 niveaux, notamment pour discriminer un éventuel effet du rayonnement solaire direct au sommet du couvert.

Néanmoins, parmi les facteurs environnementaux évoqués pour expliquer l'instabilité de l'inoculum sporal, les auteurs américains (**Ignoffo et al.**, 1976 ; **Gardner et al.**, 1977 ; **Ignoffo**, 1982) citent le rôle prépondérant des radiations solaires ultraviolettes. Dans le but de vérifier cette hypothèse, **Ignoffo et al.** (1977) ont éprouvé la demi-vie des spores de *N. rileyi* au laboratoire en les soumettant au flux d'une source délivrant des UV proches ($1,8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ dans une gamme de 290 à 400 nm avec un pic à 365 nm) ainsi que des UV lointains ($0,14 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$, 215 à 260 nm, maximum à 254 nm). Toutefois, la durée de demi-vie de 2,4 h établie dans ces conditions est difficilement extrapolable en raison de l'émission des UV C, dont les propriétés germicides sont élevées.

Concernant les autres hyphomycètes entomopathogènes, **Müller-Kögler** (1965) note que 2 h d'exposition au soleil suffisent à bloquer la germination des spores de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. et **Zimmermann** (1982) situe à 2 h 45 la demi-vie des conidies de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sor. irradiées sous une lampe émettant des UV A et des UV B mais pas d'UV C.

L'originalité de notre étude réside donc bien dans la démonstration de l'influence des UV A solaires sur la persistance de l'inoculum fongique à la surface du couvert végétal. Toutefois, l'effet des ultraviolets ne semble pas pouvoir expliquer totalement la réduction de la viabilité des spores par le rayonnement solaire. En effet, la comparaison des demi-vies observées sous l'écran laissant passer les radiations au-delà de 400 nm (UV⁻) avec celles obtenues sous la bache opaque au rayonnement direct (RYT⁻) montrent,

dans 2 cas au moins, une différence sensible en faveur de la variante à l'ombre (RYT⁻) (tabl. 3). Cette différence, qui reste à confirmer, peut avoir 2 origines, photique ou thermique, que seule une expérimentation en conditions contrôlées, permettra de préciser.

SUMMARY

Effect of sunlight on field persistence of conidia of the entomopathogenic hyphomycete, *Nomuraea rileyi*.

Field persistence of conidia of *Nomuraea rileyi* (F.) Samson was studied at the top of the vegetation in order to evaluate the influence of solar radiation. Field trials were conducted on pigeon bean (2 experiments) and on cabbage (1 experiment) in 4 m² plots. Four treatments were tested ; they consisted of (1) one plot covered with a screen cutting the direct sunlight (RYT⁻) (2) one plot covered with a glass screen transmitting solar radiation between 320 and 2 500 nm (UV A⁺), (3) one plot covered with a glass screen coated with a UV A and B blocking film cutting wavelengths above 400 nm (UV⁻), and (4) one uncovered plot exposed to the direct sunlight (290 to 2 500 nm) (RYT⁺), respectively. The estimate of *N. rileyi* survival was based mainly on viable conidia counts and, in the cases of both (RYT⁺) and (RYT⁻) configurations, the pathogenic activity was assayed on larvae of *Spodoptera littoralis* Bois. Logarithmically transformed viable spores counts were analyzed using a linear model and results were expressed in terms of viable conidia half-life. Microenvironmental parameters monitored in the field included sunlight, hours of sunshine, air temperature, leaf surface temperature, relative humidity, leaf wetness duration and precipitation.

The viable spore half-life appeared to be dependent on the sunlight intensity. Under sunny conditions the half-life decreased to 3,6 hr, on the other hand, when plots were covered with a screen blocking the direct sunlight (RYT⁻) it could be of 40 hr or more. The data of pathogenic activity (angular values) of the spores over time declined as did their viability.

The use of selective screens transmitting the UVA radiations (UVA⁺) or blocking the wavelengths above 400 nm (UV⁻) demonstrated clearly the lethal effect of solar UV A radiations on spores deposited on leaves exposed to the direct sunlight in field. For example, the half-life of conidia was reduced 4 times when exposed to UV A.

An equation was formulated which predicted that in very sunny conditions a high concentrated inoculum of *N. rileyi* viable conidia (3×10^6 spores/cm⁻²) could be reduced 10 000 fold over 7 days, whereas viability decreased only 100 times during a cloudy period.

KEY-WORDS : *Nomuraea rileyi* (F.) Samson, persistence, microclimatic conditions, solar radiation, UVA radiations, selective shields, plant cover.

Reçu : le 23 Février 1987 ; Accepté : le 16 Avril 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- Brooks, W. M. — F. 1982. Environmental persistence of Microsporidia. In : *Proc. IIIrd Int. Coll. Invertebr. Pathol.*, Brighton, 336-341.
- Burges, H. D. — 1981. Microbial Control of Pest and Plant Diseases, 1970-1980. — *Acad. Press.*, New York, 949 p.
- Fargues, J. & Rodriguez-Rueda, D. — 1980. Sensibilité des larves de *Spodoptera littoralis* [*Lep. : Noctuidae*] aux hyphomycètes entomopathogènes *Nomuraea rileyi* et *Paecilomyces fumosoroseus*. — *Entomophaga*, 25, 43-54.

- Gardner, W. A., Sutton, R. M. & Noblet, R. — 1977. Persistence of *Beauveria bassiana*, *Nomuraea rileyi* and *Nosema necatrix* on soybean foliage. — *Environ. Entomol.*, 5, 616-618.
- Ignoffo, C. M. — 1982. Environmental persistence of *Nomuraea rileyi*. In : *Proc. IIIrd Int. Coll. Invertebr. Pathol.*, Brighton, 331-335.
- Ignoffo, C. M. & Hostetter, D. L. — 1977. Environmental stability of Microbial Insecticides. Symp. Entomol. Soc. Am., Mineapolis, 1974. — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 10, 1-19.
- Ignoffo, C. M., Marston, H. L., Hostetter, D. L., Puttler, B. & Bell, J. V. — 1976. Natural and induced epizootics of *Nomuraea rileyi* in Soybean caterpillars. — *J. Invertebr. Pathol.*, 27, 191-198.
- Ignoffo, C. M., Hostetter, D. L., Sikorowski, P. P., Sutter, G. & Brooks, W. M. — 1977. Inactivation of representative species of entomopathogenic viruses, a bacterium, fungus, and protozoan by an ultraviolet light source. — *Environ. Entomol.*, 6, 411-415.
- Jaques, R. P. — 1977. Stability of entomopathogenic viruses. In « Environmental stability of Microbial Insecticides ». — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 10, 99-116.
- Maddox, J. V. — 1977. Stability of entomopathogenic protozoa. In “Environmental stability of Microbial Insecticides”. — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 10, 3-18.
- Maniania, N. K. & Fargues, J. — 1984. Spécificité des hyphomycètes entomopathogènes pour les larves de Lépidoptères *Noctuidae*. — *Entomophaga*, 29, 451-464.
- Müller-Kögler, E. — 1965. Pilzkrankheiten bei Insekten. — *Paul Parey*, Berlin, 444 p.
- Pinnock, D. R., Brand, R. J. & Milstead, J. E. — 1971. The field persistence of *Bacillus thuringiensis* spores. — *J. Invertebr. Pathol.*, 18, 405-411.
- Pinnock, D. E., Milstead, J. E., Kirby, M. E. & Nelson, B. T. — 1977. Stability of entomopathogenic bacteria. In “Environmental Stability of Microbial Insecticides”. — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 10, 77-97.
- Richards, M. G. & Payne, C. C. — 1982. Persistence of baculoviruses on leaf surfaces. In : *Proc. IIIrd Int. Coll. Invertebr. Pathol.*, Brighton, 296-301.
- Roberts, D. W. & Campbell, A. A. — 1977. Stability of entomopathogenic fungi. In : “Environmental Stability of Microbial Insecticides”. — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 10, 19-76.
- Rougier, M. & Goujet, R. — 1988. Système à pince pour la mesure des températures de feuilles en conditions naturelles. — *Agronomie* (sous presse).
- Zimmermann, G. — 1982. Effect of high temperatures and artificial sunlight on the viability of conidia of *Metarhizium anisopliae*. — *J. Invertebr. Pathol.*, 40, 36-40.