

Effets du niveau de contamination et de la température sur quelques étapes du cycle de *Puccinia arachidis* Speg.

Serge SAVARY

ORSTOM, Laboratoire de Phytopathologie, Centre d'Adiopodoumé, B.P. V-51, Abidjan (Côte-d'Ivoire)

RÉSUMÉ

Des infections avec *Puccinia arachidis* Speg. sont effectuées sur des folioles détachées d'arachide afin d'étudier l'effet des doses d'inoculum apportées et des variations de la température sur le déroulement du cycle de la rouille.

La période de latence est accrue lorsque la densité de lésions est élevée, ce qui semble singulariser le couple *P. arachidis* - arachide par rapport à d'autres couples hôte-parasite.

En dehors d'une zone de température voisine de 27 °C, les périodes d'incubation et de latence augmentent, la sporulation décroît en intensité et est de plus courte durée. L'efficacité de l'inoculum semble cependant constante entre 18 et 27 °C.

Ces résultats, comparés aux données déjà acquises pour plusieurs couples hôte-rouille, permettent d'envisager d'importants effets du régime des températures sur les épiphyties de rouille de l'arachide.

L'intérêt, dans ce type d'étude, de l'emploi de folioles détachées ou de plantes cultivées en pots est enfin discuté, à partir des résultats d'une série d'infections sur ces deux matériels.

Mots clés additionnels : Rouille de l'arachide, Côte-d'Ivoire, dose d'inoculum, taux de germination des spores, efficacité de l'inoculum, période d'incubation, période de latence, intensité de sporulation, période infectieuse.

SUMMARY

Effects of infection level and temperature on development stages of Puccinia arachidis.

Detached groundnut leaflets were inoculated with *Puccinia arachidis* Speg. to study the effects of inoculum level and temperature on the monocyclic process of groundnut rust. The latency period increased when the infection-site density was high, which appears to be an original feature of the groundnut — *P. arachidis* system, in comparison with other host-rust systems. Temperature seriously affected the variables studied. Temperatures away from 27 °C caused, amongst other results, a lengthening of the latency and incubation periods, a decrease of the sporulation intensity, and a shortening of the infectious period. These observations were compared with results from several other plant-rust systems. They suggest that temperature variations could have important epidemiological consequences. Detached leaflets and potted plants were compared as test material in a special trial.

Additional key words : Groundnut rust, inoculum level, monocyclic process, spore germination ratio, inoculum efficiency, incubation period, latency period, sporulation intensity, infectious period, Ivory Coast.

I. INTRODUCTION

Certaines étapes du cycle des rouilles, en particulier celles qui affectent les graminées, ont été caractérisées par des variables, telles que la période de latence, l'intensité de la sporulation, la période infectieuse (VAN DER PLANK, 1963, ZADOKS, 1971). La gamme des valeurs que peuvent prendre ces variables dépend du couple hôte-parasite considéré. Ces variables sont également liées aux variétés de l'hôte auxquelles on s'adresse ; elles constituent des composantes de sa résistance à la maladie (ZADOKS, 1972, PARLEVLIET,

1975, 1979). Ces concepts peuvent être appliqués au cas de la rouille de l'arachide (SUBRAHMANYAM *et al.*, 1983b). Par ailleurs, les interactions entre le milieu et le système plante-parasite peuvent être résumées et modélisées à partir de l'évolution des valeurs prises par ces variables au cours du temps, pour simuler le déroulement des épidémies (ZADOKS, 1971).

Les différentes étapes du cycle urédien de *Puccinia arachidis* Speg. ont été décrites par Mc VEY (1965), au moyen d'infections sur plantes cultivées en pot, puis par COOK (1980a) grâce à des infections réalisées sur des feuilles détachées. Cette dernière technique a éga-



lement été utilisée par SUBRAHMANYAM *et al.*, afin de comparer les réactions de différents génotypes de plantes cultivées (1980) ou sauvages (1983a) vis-à-vis de ce parasite.

La présente étude a pour but d'évaluer quantitativement l'effet des niveaux d'inoculum que l'on peut apporter et des variations de température sur le déroulement de quelques étapes du cycle de *P. arachidis*, responsable de la rouille de l'arachide. Elle a été réalisée grâce à des infections artificielles effectuées sur folioles détachées ou sur plantes en pots.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude comprend 3 expériences au cours desquelles sont recherchées les modifications pouvant apparaître dans le cycle du parasite en liaison avec des doses d'inoculum différentes, des températures différentes et enfin une contamination effectuée, soit sur des plantes cultivées en pot, soit sur des folioles détachées.

A l'exception de la dernière expérience, où une autre technique est également mise en œuvre sur des plantes cultivées en pots, c'est la méthode d'infection à sec (méthode 1) de folioles détachées (SAVARY, 1985) qui est partout utilisée ici. De même, on a employé la même variété d'arachide et les mêmes rangs foliaires.

A. Etude de l'effet des doses d'inoculum utilisées

Des infections sont réalisées avec 5 niveaux d'inoculum : N, N/5, N/10, N/50 et N/100. La dose N correspond à un dépôt de 270 spores par cm². Chaque dose est appliquée à 8 folioles détachées, à une température de 27,5 ± 1 °C.

Outre l'efficacité de l'inoculum, observation présentée par ailleurs (SAVARY, 1985), l'évolution des lésions est étudiée afin de connaître le nombre (par cm²) et la proportion maxima de lésions ouvertes en fonction de ces doses.

B. Etude des effets des variations de température

Des températures de : 18 ; 22 ; 24,5 ; 25,5 ; 27 ; 28,5 et 30 ± 1 °C sont appliquées au cours de 3 séries d'infections dans lesquelles la température de 27 ± 1 °C est utilisée comme traitement témoin. Chaque traitement comprend 24 à 32 folioles infectées avec la dose N/20 (13,5 spores déposées par cm²).

1. Germination des spores

Les lames de verre recouvertes de vaseline, employées pour contrôler la dose d'inoculum appliquée, sont utilisées pour évaluer la germination des spores. Après 20 h aux différentes températures, le pourcentage de spores germées est estimé par l'examen au microscope d'un minimum de 200 spores par traitement.

2. Evolution des lésions

L'évolution des lésions est suivie sur la face inférieure des feuilles infectées, en notant les 3 stades proposés par Mc VEY (1965) :

Stade 1 : tache chlorotique ponctuelle, blanchâtre.

Stade 2 : lésion à contour plus net, de couleur jaune : développement d'un urédosore.

Stade 3 : urédosore bien formé et ouvert.

Les pourcentages représentés par chaque type de lésion sont estimés quotidiennement par des comptages effectués sur l'ensemble des lésions obtenues.

L'efficacité de l'inoculum (E.I.), au sens défini par SCHEIN (1964) est calculée en effectuant le rapport du nombre moyen de lésions observées au nombre moyen de spores déposées par unité de surface, pour chaque température.

La période d'incubation (P.Ic.) des lésions est le délai qui sépare la contamination de l'apparition des premiers symptômes sur la face inférieure des feuilles. Elle est estimée par la date d'observation des premières taches chlorotiques.

La période de latence (P.L.) est le délai qui sépare la contamination de la production des premières spores. Elle est estimée par la date moyenne d'ouverture des pustules, calculée sur l'ensemble (environ 600) des lésions obtenues à chaque température, à l'aide des relevés quotidiens successifs.

La précision des estimations est de l'ordre d'1/10 de jour pour la période de latence et d'un jour pour la période d'incubation. L'apparition des lésions, en effet, est très discrète et très progressive, ce qui ne permet pas une grande précision dans la détermination de cette dernière variable.

3. Sporulation

L'évolution de la production de spores est estimée au cours du temps pour 4 des températures testées : 18, 22, 27 et 28,5 °C. L'estimation du nombre d'urédospores produites par une pustule s'effectue en récoltant les spores qui y sont présentes par grattage à l'aide d'une aiguille, puis en les mettant en suspension dans 200 µl de Triton X-100 à 0,1 p. 100 dans l'eau (V/V). Trois comptages sont alors effectués dans une cellule de Nageotte. Ceci est répété sur 20 pustules réparties sur 3 folioles pour effectuer une estimation de la quantité de spores produites à une date donnée. La période infectieuse (P.I.) est ensuite estimée en déterminant, pour chacune des températures envisagées, le dernier accroissement significatif (à 95 p. 100 par un test de Student) du nombre de spores produites.

C. Infection sur des plantes cultivées en pots

Des infections sont effectuées sur des plantes cultivées en pots, 4 semaines après semis (Stade début floraison). Pour les réaliser, on pulvérise sur chaque plante 5 ml d'une suspension de spores prélevées sur des lésions âgées de 12 j, contenant environ 10 spores/µl. Cette suspension est préparée avec une solution de Triton X-100 à 0,005 p. 100 (V/V) dans l'eau. Après la contamination, les plantes sont soumises à une température de 27 ± 1 °C et recouvertes d'un sac de plastique transparent pendant une période de 20 h, afin d'assurer une humidité proche de la saturation ; elles sont ensuite exposées à une humidité relative comprise entre 70 et 90 p. 100.

Ces infections sont réalisées sur 3 plantes et accom-

pagnées, simultanément, de contaminations sur folioles détachées effectuées selon la méthode 1 (SAVARY, 1985) avec la dose N/20. Plantes et folioles sont exposées à des conditions d'éclairement identiques à celles indiquées ci-dessus.

L'évolution des lésions obtenues est suivie de manière à estimer les périodes d'incubation et de latence.

III. RÉSULTATS

A. Effet des doses d'inoculum sur le déroulement du cycle de *P. arachidis*

En rassemblant les observations quotidiennes réalisées après les infections, il est possible de représenter la cinétique d'apparition des lésions (fig. 1). Dans le cas de densités élevées de lésions par unité de surface (dose N), la courbe obtenue présente une pente initiale très forte pour atteindre assez rapidement un plateau. Au contraire, lorsque la densité obtenue est moins élevée (doses N/5 à N/100), la pente initiale est plus faible et l'allure de la courbe obtenue ressemble à une sigmoïde. Il en découle une tendance à la diminution de la période moyenne d'incubation lorsque le nombre de lésions par unité de surface augmente.

De même, on peut estimer les variations de la durée de la période de latence. Celle-ci augmente avec les doses d'inoculum (fig. 1).

B. Effet de la température

1. Doses d'inoculum — Pourcentages de germination (tabl. 1)

La dose d'inoculum qui est apportée présente une bonne homogénéité sur l'ensemble des essais (Fobs = 0,29). Les variations en fonction de la tem-

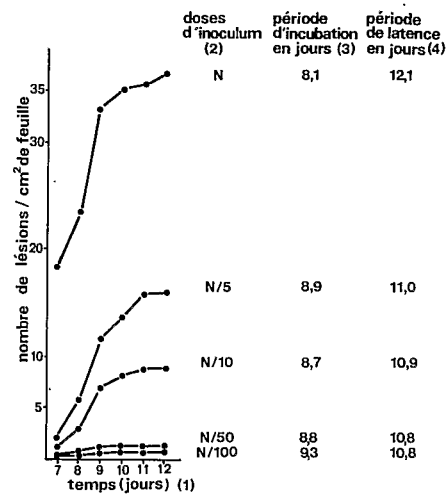


Figure 1

Effet des doses d'inoculum sur la densité et l'évolution des lésions obtenues.

Effect of inoculum levels on lesion density and development.

(¹) Abscisse : temps en jours à partir de la contamination.
Abscissa : time elapsed in days from inoculation.

(²) N correspond à 270 spores/cm².
N corresponds to 270 spores/cm².

(³) Période moyenne d'incubation, en jours.
Mean incubation period, days.

(⁴) Période moyenne de latence, en jours.
Mean latency period, days.

pérature du pourcentage de spores germées à 20 h après contamination sont importantes, avec des valeurs maximales à 27 °C, température à laquelle des différences sensibles sont cependant notées en fonction des essais. Ce pourcentage chute rapidement au-dessus de 28,5 °C.

TABEAU 1

Doses d'inoculum apportées, taux de germination des spores et efficacité de l'inoculum en fonction des températures.
Inoculum level, spore germination and inoculum efficiency at different temperatures.

Température (°C)	18 (I) (¹)	22 (I)	24,5 (II)	25,5 (II)	27 (I, II, III)	28,5 (III)	30 (III)
Spores déposées/cm ² (²)	13,1 ± 3,3	14,1 ± 3,1	13,0 ± 1,7	13,8 ± 2,3	13,5 ± 2,1 13,6 ± 2,0 13,7 ± 2,3	13,1 ± 1,7	14,4 ± 1,9
Spores germées (p. 100) (³)	11,6	40,0	57,0	62,7	71,0 81,3 83,2	67	14
Efficacité de l'inoculum (⁴)	0,286	0,278	0,337	0,274	0,274 0,266 0,269	0,109	0

(¹) Les chiffres romains indiquent le numéro de l'essai au cours duquel la température est appliquée : essai I : 18,22 et 27 °C ; essai II : 24,5, 25,5, 27 °C ; essai III : 27, 28,5 et 30 °C.

Roman numbers indicate in which trial the corresponding temperature was tested : trial I : 18, 22 & 27 °C ; trial II : 24,5, 25,5 & 27 °C ; trial III : 27, 28,5 & 30 °C.

(²) Moyennes de 12 comptages. Les valeurs sont suivies de leur intervalle de confiance à 95 p. 100.
Means of 12 counts. Data are followed by their confidence interval (95 % level).

(³) Pourcentages de spores germées après 20 h (200 spores). L'inoculum, dans tous les essais, provient de lésions âgées de 12 jours.
% spores germinated after 20 h (200 spores). In each trial, inoculation was performed with spores harvested on 12-days old lesions.

(⁴) Efficacité de l'inoculum, en nombre de lésions par spore déposée (E.I.).
Inoculum efficiency as number of lesions per deposited spore.

2. Nombre de lésions par unité de surface foliaire

Efficacité de l'inoculum (E.I.).

Au cours des essais, des lésions sont obtenues à toutes les températures, sauf à 30 °C. Après 40 j d'incubation à cette température, aucun symptôme n'est observé. L'examen microscopique d'une série de coupes effectuées sur ce matériel ne permet pas de mettre en évidence d'infections latentes. Pour les températures comprises entre 18 et 27 °C, le nombre de lésions obtenues par unité de surface foliaire apparaît stable

(environ 3,9/cm²). A 28,5 °C, ce nombre est très sensiblement plus faible (1,43) ; l'analyse de la variance des résultats obtenus pour toutes les températures, sauf 30 °C, fournit une valeur de Fobs de 38,3. Puisque le nombre de spores déposées est équivalent pour toutes les températures, l'efficacité de l'inoculum (tabl. 1) est donc stable entre 18 et 27 °C (0,27 à 0,34), nettement plus faible à 28,5 °C (0,11) et nulle à 30 °C.

3. Evolution des lésions (fig. 2)

A 27 °C, les premières lésions chlorotiques sont observées le 7^e jour à la face inférieure des feuilles. L'évolution des lésions est ensuite très rapide, (fig. 2, A), puisqu'il faut 6 j pour passer de 100 p. 100 de lésions au stade 1 (Mc VEY, 1965) à 100 p. 100 de lésions au stade 3.

Au-delà et en deçà de la température de référence de 27 °C, l'apparition des lésions est retardée d'autant plus que l'on s'en écarte. Simultanément, l'évolution des lésions est plus lente à 28,5 °C, elle est complète en 7 j, et à 25,5, 24,5, 22 et 18 °C, respectivement, en 9, 9, 11 et 23 j, à partir de la date de leur apparition (fig. 2, A). Ce ralentissement est notamment marqué par une transition de plus en plus lente entre les stades 2 et 3.

Il s'ensuit un accroissement de la période de latence (P.L.) calculée, à mesure que l'on s'écarte de 27 °C, où elle est minimale (10,5 j) (fig. 2, B). Ces variations sont équivalentes en ampleur à celles du temps d'incubation (P. Ic.).

En remarque, il convient de signaler qu'une évolution plus lente des lésions est constatée lorsque les infections sont réalisées sur la face supérieure des folioles. Ainsi, le temps d'incubation moyen, calculé pour l'ensemble des lésions, est 8,4 j avec une contamination sur la face supérieure, contre 7,3 j, sur la face inférieure.

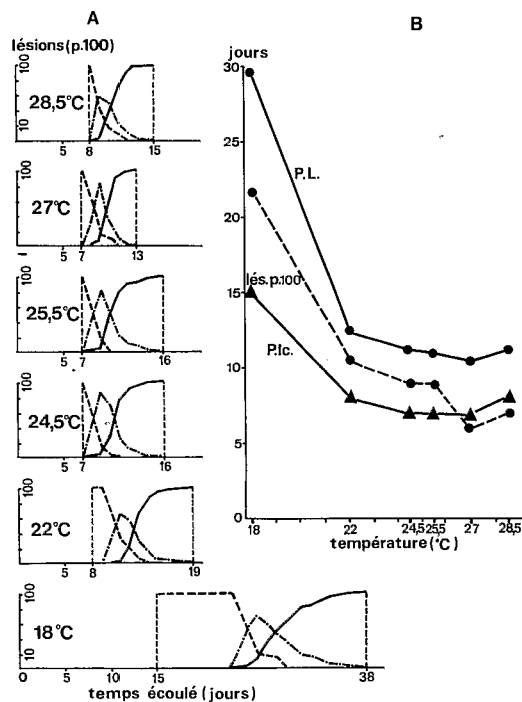


Figure 2

Evolution des lésions en fonction de la température.

Effect of temperature on lesion development.

A. Développement des lésions (en proportions de stades 1, 2 et 3) en fonction du temps et des températures.

Changes in the proportion of lesions in 3 development classes, with time and temperature.

Abscisses : temps écoulé depuis la contamination (en jours).

Abscissa : time elapsed from inoculation (days).

Ordonnées : pourcentages de chaque stade.

Ordinates : percent of each stage.

----- : stade 1 (1st stage).

..... : stade 2 (2nd stage).

————— : stade 3 (3rd stage).

B. Variations des périodes d'incubation, de latence, et durée de développement des lésions avec la température.

Duration of incubation, latency, and lesion development, at six temperatures.

Abscisse : temps écoulé depuis la contamination (en jours).

Abscissa : time elapsed, in days, from inoculation.

Ordonnées : températures (°C).

Ordinates : temperature (°C).

▲————▲ : période d'incubation (date d'apparition des premiers symptômes).

: incubation period (date of observation of the first symptoms).

●————● : période de latence.

: latency period.

●-----● : durée du développement des lésions (de 100 p. 100 de lésions au stade 1 à 100 p. 100 de lésions au stade 3).

: lesion development (from 100 % of lesions at the 1st stage to 100 % at the 3rd).

4. Cinétique et intensité de la sporulation en fonction de la température (fig. 3)

Les premières lésions ouvertes sont observées les 25^e, 11^e, 8^e et 9^e j, respectivement, à 18, 22, 27 et 28,5 °C.

A 27 °C, le maximum de la production quotidienne de spores (pente maximale de la courbe de la fig. 3) est atteint entre le 22^e et le 25^e j après contamination. L'évolution de la sporulation semble présenter 2 étapes de forte production séparées par une période de ralentissement. Cette évolution biphasée qui apparaît également, quoique de manière moins nette, aux autres températures, correspond peut-être à une étape d'extension rapide des pustules en surface, quelques jours après leur ouverture, entraînant un accroissement de leur production.

L'effet de la température sur l'intensité de la sporulation paraît considérable. La sporulation totale moyenne au 30^e j varie très significativement d'une température à une autre, malgré l'incertitude relative importante associée à ces estimations.

La durée de la période infectieuse (P.I.) en fonction des 4 températures testées apparaît maximale à 27 °C (26,5 j). Aux températures inférieures à 27 °C, elle semble diminuer assez lentement (21,6 j à 22 °C),

alors qu'elle chute très rapidement au-delà (12,9 j à 28 °C).

C. Inoculations effectuées sur des plantes cultivées en pots à 27 °C

Les symptômes sur les plantes cultivées en pots sont identiques à ceux observés sur feuilles détachées. Le tableau 2 permet de comparer l'évolution des populations de lésions dans ces 2 conditions expérimentales. On constate un décalage dans le développement des lésions qui se traduit par une différence de l'ordre d'un jour dans le temps de latence moyen.

TABLEAU 2

Evolution des lésions à 27 °C obtenues sur plantes en pots ou sur folioles détachées.
Lesion development at 27 °C on potted plants (left) and detached leaflets (right).

Dates (3)	Plantes en pots (1)			Folioles détachées (2)		
	1	Stades (%) 2	3 (4)	1	Stades (%) 2	3 (5)
7	—	—	—	100	0	0
8	100	0	0	69,5	30,5	0
9	58,4	41,6	0	15,5	84,4	7,2
10	20	61,5	18,5	10,7	32,5	56,8
11	0	37,6	62,5	0	10,3	89,7
12	0	14,1	85,9	0	1,5	98,5
13	0	4,6	95,4	0	0	100
14	0	3,1	96,9			
15	0	0	100			
Période de latence (jours)	11,38			10,48		

(1) Contamination sur la face supérieure des feuilles, principalement (voir texte).

Inoculation performed mainly on the adaxial leaf surface (see text).

(2) Contamination sur la face inférieure des folioles (voir texte).
Inoculation on the abaxial leaflet surface (see text).

(3) En jours après la contamination.
In days after inoculation.

(4) Selon l'échelle de Mc VEY (1965), sur 390 lésions.
According to Mc VEY'S (1965) scale, from 390 lesions.

(5) Sur 600 lésions.
From 600 lesions.

IV. DISCUSSION

A. Effet des doses d'inoculum

Les temps moyens d'incubation et de latence enregistrés après infection à sec (Méthode 1, SAVARY, 1985) sont respectivement d'environ 8 et 11 j (fig. 1). Ces valeurs sont en accord avec celles obtenues, au moyen de suspensions de spores, par Mc VEY (1965) en infectant des plantes cultivées en serre, ou celles fournies par COOK (1980b) à partir de feuilles infectées après mise en survie.

L'évolution différente, en fonction des doses d'inoculum, des courbes qui décrivent la cinétique d'apparition des lésions par unité de surface (fig. 1), ne sem-

ble pas liée à un trop faible nombre de sites potentiels d'infection lorsque la dose d'inoculum est élevée (N). En effet, le nombre de stomates disponibles, par spore déposée, est de l'ordre de 50 pour la dose N. Par contre, cette différence pourrait s'expliquer par une compétition trophique entre sites, après leur infection. Cette hypothèse permet également de rendre compte de l'accroissement de la période de latence lorsque le nombre de lésions par unité de surface devient plus grand.

Ce résultat paraît original en regard des résultats obtenus pour d'autres rouilles. En particulier, pour *Uromyces phaseoli* (Pers.) Wint. (YARWOOD, 1961), *Puccinia hordei* Otth. (TENG & CLOSE, 1978), et *Puccinia recondita* f. sp. *tritricina* Erikss & Henn. (MEHTA & ZADOKS, 1970), des résultats inverses ont été obtenus, le temps de latence diminuant lorsque la dose d'inoculum augmente. Cependant, MEHTA & ZADOKS, puis TENG & CLOSE, ont introduit l'hypothèse d'une compétition entre sites infectés dans leurs interprétations des phénomènes de sporulation, soit ultérieurement dans le déroulement du cycle parasitaire, par rapport à l'interprétation qui est faite ici.

A cet égard, le couple *P. arachidis* — arachide pourrait ne se distinguer que par un trophisme plus intense du parasite, correspondant, pour chaque lésion, à une zone d'influence qui, sur la feuille, serait plus rapidement étendue.

B. Effet de la température

1. Doses d'inoculum effectivement apportées au cours des essais, germination des spores et efficacité de l'inoculum

L'obtention, au cours de ces essais, d'une bonne homogénéité des doses apportées (tabl. 1) permet d'exclure ce facteur comme cause de variation.

La température optimale de germination des spores est voisine de 27 °C (tabl. 1). Le taux de germination diminue rapidement au-dessus de cette température ainsi que l'efficacité de l'inoculum.

En deçà d'un optimum thermique voisin de 27 °C, les différentes étapes du processus infectieux, du dépôt de la spore à l'apparition de la lésion, paraissent donc plus lentement franchies, mais avec un taux constant de succès pour le parasite. Au contraire, au-delà de cet optimum, le taux de survie diminue ; la réduction du taux de germination des spores observée à 28,5 ou 30 °C n'en est sans doute qu'un élément.

L'obtention d'une efficacité d'inoculum constante, pour un intervalle de température donné, correspond au principe « une propagule-une lésion » discuté par ZADOKS & SCHEIN (1979). Un résultat analogue a été obtenu par TENG & CLOSE (1978) pour *Puccinia hordei*.

2. Temps d'incubation et de latence

Les temps d'incubation et de latence (fig. 2) varient dans le même sens sous l'action de la température, ce qui est logique (RAPILLY, 1979).

La réduction du temps de latence observée entre 18 et 27 °C (fig. 2) correspond à un résultat courant pour les rouilles (ZADOKS, 1961 : *P. striiformis* ; SIMKIN & WHEELER, 1974 : *P. hordei* ; TOMERLIN *et al.*,

1982 : *P. recondita*). Un test de Student, effectué pour comparer les valeurs obtenues pour 27 et 28,5 °C indique que cet écart (0,6 j) est très significatif ($t = 4,13$). De même que, dans le cas de la rouille jaune du blé (TOLLENAAR & HOUSTON, 1967) ou dans celui de la rouille de l'orge (TENG & CLOSE, 1978), l'interprétation de ces résultats fait apparaître un optimum thermique, qui est ici voisin de 27 °C.

3. Sporulation

L'évolution de la production de spores à 27 °C semble connaître deux étapes d'accroissement, séparées par une phase de ralentissement, ce qui constituerait une originalité du couple *P. arachidis* — arachide vis-à-vis d'autres systèmes étudiés.

L'intensité de la sporulation est fortement affectée par la température, avec une nette atténuation au-delà de 27 et en deçà de 22 °C (fig. 3).

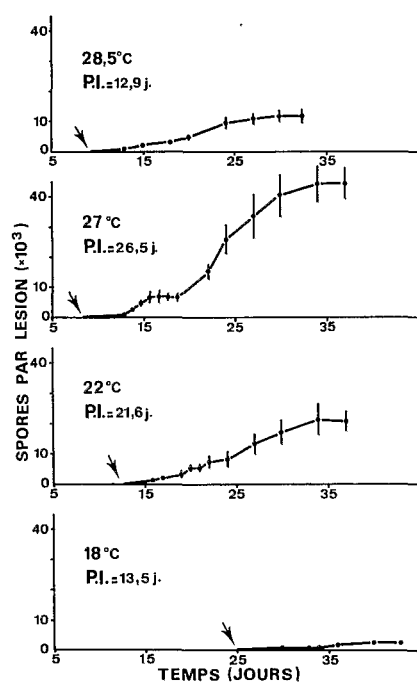


Figure 3

Cinétique et intensité de la sporulation, et durée de la période infectieuse (P.I., en j), en fonction de la température.

Sporulation kinetics and intensity, and duration of infectious period at four temperatures.

Ordonnées : nombre moyen, cumulé, de spores produites par lésion (en milliers).

Ordinate : mean cumulative number of spores produced per pustule (thousands).

Abscisses : temps à partir de la contamination (jours).

Abscissa : time elapsed from inoculation (days).

↙ : date d'apparition de la 1^{re} pustule ouverte.

↘ : observation date of the 1st opened pustule.

Les barres verticales indiquent la valeur de l'erreur standard pour chaque point (60 comptages).

Vertical lines indicate the value of the standard error calculated for each mean (60 counts).

Ceci est en accord avec des observations effectuées sur d'autres rouilles : *P. recondita* (TOMERLIN *et al.*, 1983 ; EYAL & PETERSON, 1967) *P. hordei* (SIMKIN & WHEELER, 1974 ; TENG & CLOSE, 1978), par exemple.

Cependant, outre la température, plusieurs facteurs, en particulier l'intensité lumineuse et l'humidité relative, sont susceptibles d'avoir des effets sur l'intensité de la sporulation des rouilles (EYAL & PETERSON, 1967 : *P. recondita* ; RAPILLY, 1979 : *P. striiformis*). Ces différents facteurs interfèrent entre eux et influent sur le statut des relations trophiques entre la plante et son parasite, dont la sporulation est une conséquence (ROTEM *et al.*, 1978). A cet égard, les résultats présentés ici nécessitent donc un contrôle à partir d'observations effectuées sur plantes cultivées en pots ou en serre.

4. Période infectieuse

Les estimations (fig. 3) de la durée de la période infectieuse en fonction de la température comportent une incertitude qui, sans doute, excède 1 jour. Cette imprécision, déjà évoquée par MEHTA & ZADOKS (1970) est, au moins en partie, inhérente à la forme asymptotique des courbes obtenues pour l'intensité de la sporulation (fig. 3).

Néanmoins, les résultats paraissent indiquer (fig. 3) une forte diminution de la durée de la période infectieuse à basse température, ainsi qu'au-dessus de 27 °C.

Il convient de noter que TENG & CLOSE (1978) montrent que la période infectieuse de *P. hordei*, qui est constante entre 10 et 20 °C, diminue lorsque la température s'élève à 25 °C. Par ailleurs, MEHTA & ZADOKS (1970), indiquent, pour *P. recondita*, une réduction de la période de sporulation lorsque l'on passe de 11-15 °C à 16-19 °C. Ces données font apparaître, comme pour *P. arachidis*, un seuil de température au-delà duquel la période infectieuse tend à se raccourcir.

C. Comparaison des évolutions des lésions sur plantes cultivées en pots et feuilles détachées à 27 °C

L'étude des parasites foliaires, tant biotrophes que nécrotrophes, de l'arachide, fait déjà largement appel à l'emploi de feuilles détachées : COOK (1980a), COOK (1980b), SUBRAHMANYAM *et al.*, (1980), SUBRAHMANYAM *et al.*, (1983a), SUBRAHMANYAM *et al.*, (1983b) en ce qui concerne *P. arachidis*, GOBINA *et al.*, (1983), pour *Cercospora arachidicola*. L'arachide se prête bien, en effet, à ce type d'expériences, ses feuilles, détachées et maintenues dans une humidité saturante, pouvant être conservées durant plusieurs semaines.

La pulvérisation d'une suspension de spores sur des plantes en pots entraîne un dépôt de spores essentiellement sur la face supérieure des feuilles. Mc VEY (1965) indique qu'un décalage de 24 h existe entre l'évolution des lésions obtenues par dépôt de spores soit sur la face inférieure soit sur la face supérieure des feuilles. Cette observation est confirmée ici au cours d'un essai préliminaire. Ce même écart, observé (tabl. 2) entre les lésions obtenues sur plantes entières et sur feuilles détachées, peut donc s'expliquer ainsi.

Par contre, YARWOOD (1961) a obtenu des résultats inversés, chez *Uromyces phaseoli* : la période de latence est plus courte lorsque le dépôt de spores est effectué sur la face supérieure des feuilles. Chez

U. phaseoli, les pustules apparaissent surtout à la face supérieure des feuilles alors qu'elles se forment à la face inférieure pour *P. arachidis*.

Cette interprétation des résultats (tabl. 2) nous permet d'écarter, au moins dans une première analyse, la possibilité d'une erreur systématique liée à l'emploi de feuilles détachées.

V. CONCLUSION

L'effet des doses d'inoculum sur le déroulement du cycle de *P. arachidis* se situe au moins à deux niveaux : efficacité de l'inoculum (SAVARY, 1985) et durée du cycle proprement dit (période de latence). La possibilité d'une compétition trophique entre sites après l'infection pourrait contribuer à expliquer les évolutions différentes de ces variables avec les doses. Selon cette interprétation, déjà envisagée par d'autres auteurs pour des interactions hôte-parasite analogues (MEHTA & ZADOKS, 1970, TENG & CLOSE, 1978), il serait logique, dans des expériences ultérieures, d'obtenir une réduction de la sporulation lorsque la dose d'inoculum augmente.

Il existe un effet marqué de la température sur les périodes d'incubation et de latence, l'intensité de la sporulation et la durée de la période infectieuse chez *P. arachidis*. A basse température (18 °C), le temps de latence est considérablement allongé (29,5 au lieu de 10,5 j), l'intensité de la sporulation est fortement

diminuée (460 spores/lésion au lieu de 40 500 à 27 °C) et la période infectieuse tend à se raccourcir (13,5 j au lieu de 26,5). Ces variables semblent présenter un optimum thermique voisin de 27 °C, puisque des variations dans les mêmes sens apparaissent également au-delà de cette température. Par contre, aucune variation n'est observée quant à l'efficacité de l'inoculum entre 18 et 27 °C. Au-dessus de 27 °C, cette variable connaît une brutale diminution (elle s'annule à 30 °C), les conditions de température et d'humidité devenant défavorables à la germination des spores et à l'initiation du processus infectieux.

A de nombreux égards, ces résultats présentent des analogies avec ceux obtenus pour d'autres rouilles. Selon SUBRAHMANYAM *et al.* (1980 et 1983a), il existe une concordance entre les observations provenant d'infections de folioles d'arachide détachées et de plantes cultivées en pots ou en plein champ. Il nous semble néanmoins nécessaire, pour les raisons développées notamment par ROTEM *et al.* (1978), de compléter ces données par des essais sur plantes entières, en particulier celles qui concernent la sporulation.

Les résultats que nous venons de présenter nous conduisent à penser que le régime des températures a une incidence considérable sur le déclenchement et le déroulement des épiphyties de rouille de l'arachide.

Reçu le 13 février 1984.

Accepté le 18 janvier 1985.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cook M., 1980a. Host-parasite relations in uredial infection of peanut by *Puccinia arachidis*. *Phytopathology*, **70**, 822-826.
- Cook M., 1980b. Peanut leaf wettability and susceptibility to infections by *Puccinia arachidis*. *Phytopathology*, **70**, 826-830.
- Eyal Z., Peterson J. L., 1967. Uredospore production of five races of *Puccinia recondita* Rob. & Desm. as affected by light and temperature. *Can. J. Bot.*, **45**, 537-540.
- Gobina S. M., Melouk M. A., Banks D. J., 1983. Sporulation of *Cercospora arachidicola* as a criterion for screening peanut genotypes for resistance. *Phytopathology*, **73**, 556-568.
- Mc Vey D. V., 1965. Inoculation and development of rust on peanut grown in the greenhouse. *Plant Dis. Rep.*, **49**, 191-192.
- Mehta Y. R., Zadoks J. C., 1970. Uredospore production and sporulation period of *Puccinia recondita* f. sp. *tritricina* on primary leaves of wheat. *Neth. J. Plant Pathol.*, **76**, 267-276.
- Parlevliet J. E., 1975. Partial resistance of barley to leaf rust : *Puccinia hordei*. I. Effect of cultivar and development stage on latent period. *Euphytica*, **24**, 21-27.
- Parlevliet J. E., 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annu. Rev. Phytopathol.*, **17**, 203-222.
- Rapilly F., 1979. Yellow rust epidemiology. *Annu. Rev. Phytopathol.*, **17**, 59-73.
- Rotem J., Cohen Y., Bashi E., 1978. Host and environmental influences on sporulation *in vivo*. *Annu. Rev. Phytopathol.*, **16**, 83-101.
- Savary S., 1985. Comparaison de différentes techniques d'infection de *Puccinia arachidis* Speg. sur arachide. *Agronomie*, (soumis à publication).
- Simkin M. B., Wheeler B. E. J., 1974. The development of *Puccinia hordei* on barley cv. Zephyr. *Ann. Appl. Biol.*, **78**, 225-235.
- Subrahmanyam P., Gibbons R. W., Nigam S. N., Rao V. R., 1980. Screening methods and further sources of resistance to peanut rust. *Peanut Sci.*, **7** (1), 10-12.
- Subrahmanyam P., Moss J. P., Rao V. R., 1983a. Resistance to peanut rust in wild *Arachis* species. *Plant Dis.*, **67**, 209-212.
- Subrahmanyam P., Mc Donald D., Gibbons R. W., Subbarao P. V., 1983b. Components of resistance to *Puccinia arachidis* in peanuts. *Phytopathology*, **73**, 253-256.
- Teng P. S., Close R. C., 1978. Effect of temperature and uredinium density on urediniospore production, latent period and infectious period of *Puccinia hordei* Otth. *N.Z.J. Agric. Res.*, **21**, 287-296.
- Tolenaar H., Houston B. R., 1967. A study of the epidemiology of stripe rust (*Puccinia striiformis*) in California. *Can. J. Bot.*, **45**, 291-307.
- Tomerlin J. R., Eversmeyer M. G., Kramer C. L., Browder L. E., 1983. Temperature and host effects on latent period and infectious period and on urediniospore production of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology*, **73**, 414-419.
- Van der Plank, J. E., 1963. *Plant Diseases. Epidemics and Control*. Academic Press, New York, 349 p.
- Yarwood C. E., 1961. Uredospore production by *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology*, **73**, 414-419.
- Zadoks J. C., 1961. Yellow rust on wheat, studies in epidemiology and physiologic specialization. *Tidsschr. Plzikt.*, **67**, 69-256.
- Zadoks J. C., 1971. Systems analysis and the dynamic of epidemics. *Phytopathology*, **61**, 600-610.
- Zadoks J. C., 1972. Modern concepts of disease resistance in cereals. *Proc. sixth Congr. Eucarpia*, 89-98.
- Zadoks J. C., Schein R. D., 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford Univ. Press, New York, Oxford, 427 p.