

**AFPP – SIXIEME CONFERENCE INTERNATIONALE
SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS, France, 6-7-8 DECEMBRE 2000**

**EFFETS DE DIVERS TYPES DE PLUIE SUR LA DISPERSION DE SPORES
DE ROUILLE JAUNE (*PUCCINIA STRIIFORMIS*) ET DE ROUILLE BRUNE
(*PUCCINIA RECONDITA* F. SP. *TRITICI*) SUR BLE**

F. SUFFERT¹²³, I. SACHE², L. HUBER³

¹ INRA - UMR BiO3P - BP 29 - 35650 Le Rheu, France. ² INRA - UMR Epidémiologie
Végétale et Ecologie des Populations - BP 01 - 78850 Thiverval-Grignon, France.

³ INRA - Unité Environnement et Grandes Cultures - 78850 Thiverval-Grignon, France.

RESUME :

En 1999, nous avons suivi la progression au champ de deux épidémies de rouille brune et de rouille jaune, afin d'étudier l'influence du vent et de la pluie sur l'évolution de la concentration aérienne en spores des deux rouilles, estimée par piégeage, et leur dispersion. Le vent est à l'origine de la libération périodique des spores, tandis que la pluie a des effets perturbateurs plus complexes, voire antagonistes. L'installation d'un dispositif original composé de plantes pièges nous a permis d'établir que la majorité des épisodes pluvieux favorise la dispersion des spores mais nuit à la contamination des plantes par ces spores. Des pluies de forte intensité et de longue durée lessivent les spores déjà déposées sur les feuilles, diminuant fortement l'efficacité de l'infection.

Mots-clés : *Puccinia recondita*, *P. striiformis*, spore, dispersion, pluie, lessivage.

SUMMARY :

**EFFECT OF DIFFERENT RAINFALLS ON THE SPREAD OF YELLOW RUST
(*PUCCINIA STRIIFORMIS*) AND LEAF RUST (*PUCCINIA RECONDITA* F. SP.
TRITICI) EPIDEMICS IN FIELD**

Field experiments were designed to characterize the spatio-temporal spread of two epidemics of yellow and leaf rust of wheat and its relations with climatic factors. A volumetric spore trap was used to evaluate spore concentration in the air above the canopy. Dissemination units of both *P. recondita* and *P. striiformis* were dispersed primarily and regularly by wind with peaks around noon. On the opposite, rain had disturbing and more complex, antagonistic effects. Spore dispersal was assessed by putting trap-plants in the field. Trap-plants protected from rain were less contaminated by both rusts than trap-plants only exposed to wind effects. So, long or intermittent rainfalls could limit contamination.

Key-words : *Puccinia recondita*, *P. striiformis*, spore, dispersal, rain, washing-off, washing-out.

INTRODUCTION

Les rouilles des céréales sont un très bon exemple de maladies propagées par le vent. Leurs spores peuvent ainsi être disséminées sur des distances allant de quelques centimètres jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres. La pluie a toujours été considérée comme un facteur mineur dans l'épidémiologie des rouilles, voire peu favorable à leur progression. Les premières expériences menées en conditions contrôlées (GEAGEA et *al.*, 2000) ont établi que la pluie dispersait sur de courtes distances des spores produites par des lésions sporulantes, à sec (*rain-puff*) ou par incorporation dans des gouttes d'éclaboussure (*rain-splash*). A la suite de ces résultats, nous avons cherché à hiérarchiser les effets de différents types d'épisodes pluvieux sur la progression effective de deux épidémies en conditions naturelles, pour identifier les processus physiques élémentaires – certains antagonistes – contribuant au transfert de spores par l'eau liquide entre l'atmosphère et la végétation. Cet article fait le point sur les résultats obtenus lors de cette première année d'étude des relations entre la pluie et l'épidémiologie de la rouille brune (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) et de la rouille jaune (*P. striiformis*).

MATERIEL ET METHODES

Deux parcelles contiguës de 50 x 100 m chacune ont été installées à Grignon (Bassin Parisien) en 1999. Une parcelle a été semée avec la variété de blé Victo, très sensible à la rouille jaune mais résistante à la rouille brune, alors que la seconde a été semée avec la variété Soisson, très sensible à la rouille brune mais résistante à la rouille jaune. Les deux maladies, respectivement causées par *P. striiformis* et *P. recondita* f. sp. *tritici*, ont été inoculées dans les parcelles correspondantes en installant quelques pots contenant des plants de blé sporulant, préalablement inoculés en laboratoire. La progression des deux maladies a été suivie toutes les semaines en de nombreux points de notation, équidistants de 10 m et disposés en grille régulière dans chacune des parcelles. La concentration aérienne en spores a été estimée par période de 2 heures à l'aide de deux pièges à spores volumétriques (Burkard) installés chacun dans une des parcelles et ayant une autonomie d'une semaine. Les variables micrométéorologiques ont été enregistrées en continu dans l'une des parcelles à l'aide d'une station automatisée connectée à une centrale d'acquisition (Campbell). Les épisodes pluvieux ont été enregistrés à la fois avec un pluviomètre à augets et un spectropluviomètre permettant d'accéder à la distribution des vitesses de chute et des diamètres des gouttes de pluie. Pendant les épisodes pluvieux les plus intéressants, l'eau de pluie a été collectée dans une série de récipients en verre disposés de part et d'autre des deux parcelles tous les 20 mètres environ. Ils ont été exposés à la pluie par périodes de 10 minutes. La concentration en spores de chacune des fractions collectées a été évaluée par comptage au microscope dans des échantillons de gouttes de 50 µl. Au cours de 4 épisodes pluvieux de durée et d'intensité différente (allant d'une pluie très légère de moins de 4 min à un violent orage de 60 min), de jeunes

plants de blé sensibles ('Michigan Amber') ont été placés en différents endroits, à l'intérieur et à l'extérieur du champ, certains protégés des gouttes de pluies, d'autres y étant exposés. Les plantes pièges ont été installées lorsque la pluie débutait et retirés dès qu'elle cessait. Elles ont été mises à incuber sous serre et les notations de sévérité d'attaque ont été réalisées selon les techniques standards (DE VALLAVIEILLE-POPE et *al.*, 1995).

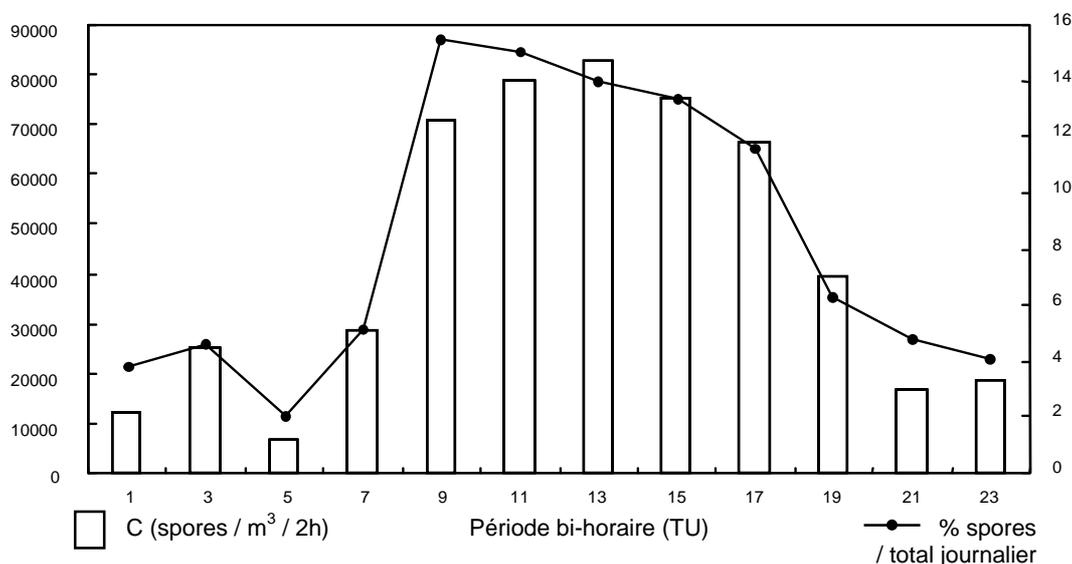
Afin de compléter ce dispositif, nous avons réalisé en conditions contrôlées plusieurs simulations de pluie de durée et d'intensité variable sur un couvert de plantes pièges, sur lequel venait d'être dispersée une dose de spores de rouille brune à l'aide d'une tour d'inoculation. Les intensités d'attaque ont pu être comparées en fonction des caractéristiques de chaque pluie.

RESULTATS

Les épidémies de rouille ont progressé dans le temps en suivant le modèle logistique classique, jusqu'à atteindre une sévérité de 100 % (destruction de toutes les feuilles) avant la fin de la saison de culture. La progression spatiale de la rouille jaune s'est faite de façon assez homogène du fait de l'arrivée massive d'inoculum exogène, ce qui a eu pour effet de masquer le développement en foyer autour du point d'inoculation artificielle, traditionnellement observé. La rouille brune a progressé régulièrement selon un front de maladie depuis le point d'inoculation, ce qui tend à prouver que la quantité d'inoculum exogène a été nulle ou négligeable.

Les comptages de spores des deux rouilles en suspension dans l'air ont mis en évidence une périodicité circadienne des pics de libération, qui ont lieu entre 11 h et 15 h TU en l'absence de perturbation climatique majeure (figure 1). Ces résultats sont en accord avec ceux d'études précédentes (RAPILLY et *al.*, 1970). La régularité de ces pics a profondément été affectée par les épisodes pluvieux, lesquels ont pu être classés comme « *perturbateurs* » ou « *amplificateurs* » selon les conséquences qu'ils ont eu sur l'évolution de la concentration aérienne en spores. Dans les deux cas, nous avons observé qu'une pluie entraînait de manière ponctuelle un accroissement de la concentration en spores égal en moyenne à un facteur 2 à 5 (figure 2). La production globale de spores n'a pas été altérée par les épisodes pluvieux *amplificateurs*, alors que les événements *perturbateurs* ont pour effet un épuisement des lésions et une suppression de la production de spores pour une durée égale ou supérieure à 6 heures. Ces derniers types de pluie sont généralement de longue durée ou intermittants, et/ou de plus forte intensité que les pluies ayant un effet *amplificateur*.

Figure 1 : Evolution journalière moyenne de la concentration aérienne en spores de *P. recondita* pendant l'épidémie de rouille brune entre le 30 mai et le 5 juillet 1999 – Mean daily evolution of aerial spores concentration of *P. recondita* during the leaf rust epidemy.

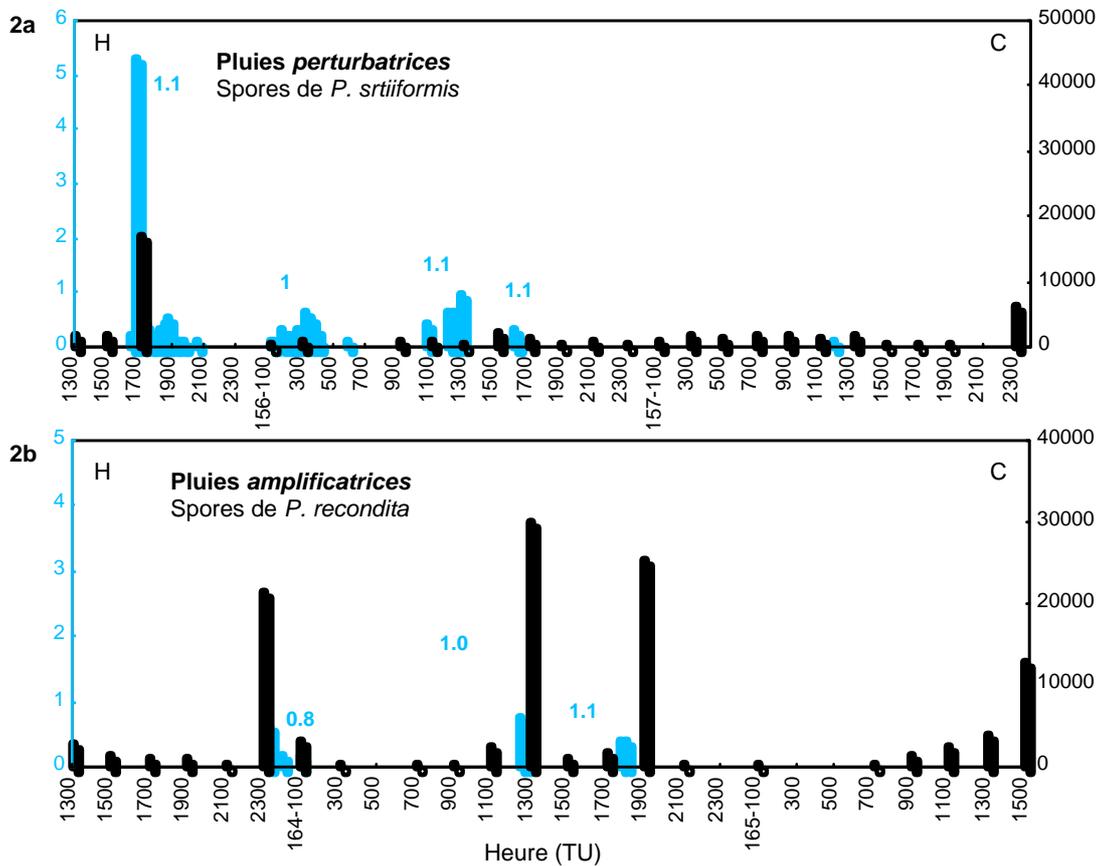


La concentration en spores de l'eau recueillie dans les collecteurs de fractions de pluies augmente linéairement avec la concentration aérienne en spores mesurée juste avant un épisode pluvieux. Ces observations confirment l'efficacité du lessivage des spores en suspension dans l'atmosphère (*washing-out*) par la pluie (ROWELL et ROMIG, 1966). En fractionnant un épisode pluvieux de longue durée en plusieurs périodes de 10 minutes, il est apparu que la concentration en spores diminuait linéairement avec le temps. Aucune spore n'a été recueillie au delà de 40 minutes de pluie continue, ce qui indique que l'atmosphère a été lavée de toute spore.

L'installation de plantes pièges exposées à des gouttes de pluie et de plantes pièges protégées, a donné lieu à de très grandes différences d'infection par la rouille dans le cas d'un violent orage (60 minutes) et d'une courte pluie (10 minutes). Pour ces deux événements, l'exposition à la pluie a entraîné une diminution importante de la sévérité d'attaque par rapport aux plantes pièges protégées (figure 3). Un effet de localisation des plants dans la parcelle (coté N ou S) a été mis en évidence ; nous l'avons attribué à l'influence de la direction du vent pendant les précipitations. Aucune différence significative n'a été notée entre plantes pièges protégées et exposées dans le cas de pluies de très faible intensité, d'une durée comprise entre 4 et 15 minutes.

En conditions contrôlées, les simulations ont montré que des spores déjà déposées sur les feuilles pouvaient être entraînées et lessivées par la pluie ; en l'absence d'autres facteurs de variation, la sévérité d'attaque par la rouille a diminué de manière exponentielle avec le durée de la pluie (figure 4).

Figure 2 : Evolution de la concentration en spores C (spores / m³ / 2h) [en noir] en fonction de la hauteur de pluie H (mm) [en gris] ; le diamètre moyen des gouttes (mm) lors de l'épisode pluvieux est précisé juste au dessus. 2a : 13 et 14 juin 1999. 2b : 5 et 6 juin 1999 – Evolution of the spore concentration C [black] ; rain drops diameter [grey] during a rain event.



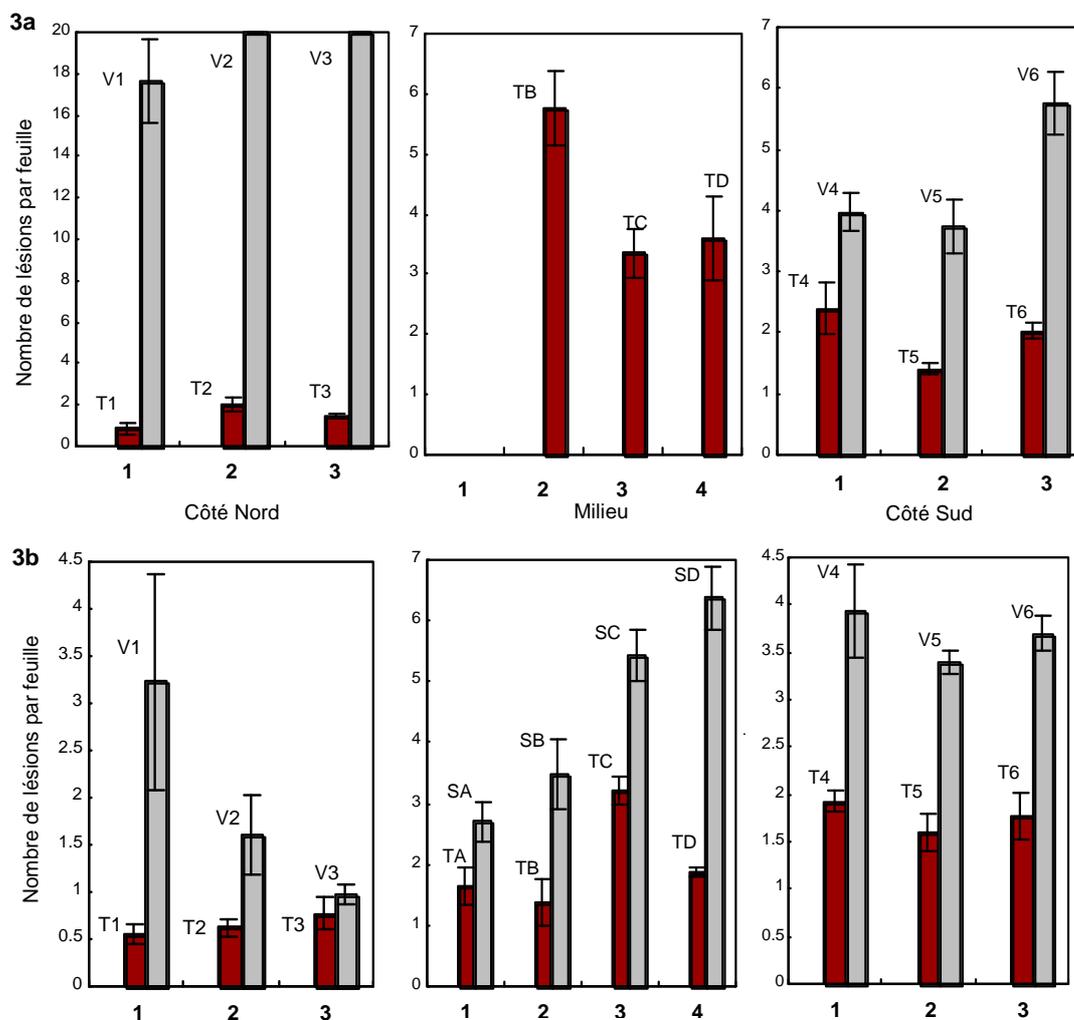
DISCUSSION

L'expérimentation au champ décrite précédemment a confirmé les résultats obtenus en conditions contrôlées à l'aide d'un générateur de gouttes ou un simulateur de pluie (GEAGEA et al., 2000). La dispersion des spores issues de lésions sporulantes s'intensifie au cours des épisodes pluvieux. Le déficit de spores dispersées durant les 6 heures qui suivent une violente ou longue pluie (qualifiée de *perturbatrice*) avait déjà été établi en conditions contrôlées (GEAGEA et al, 2000).

Les comptages de spores piégées par le Burkard indiquent que la dispersion par le vent est un processus quasi-constant au cours de la journée, et que les seuils de vent observés en conditions contrôlées n'ont pas de réelle signification biologique.

L'exposition de plantes pièges a pourtant montré que les effets de la pluie avaient finalement lieu au détriment du processus épidémique global lorsque l'épisode pluvieux était violent ou étendu dans le temps.

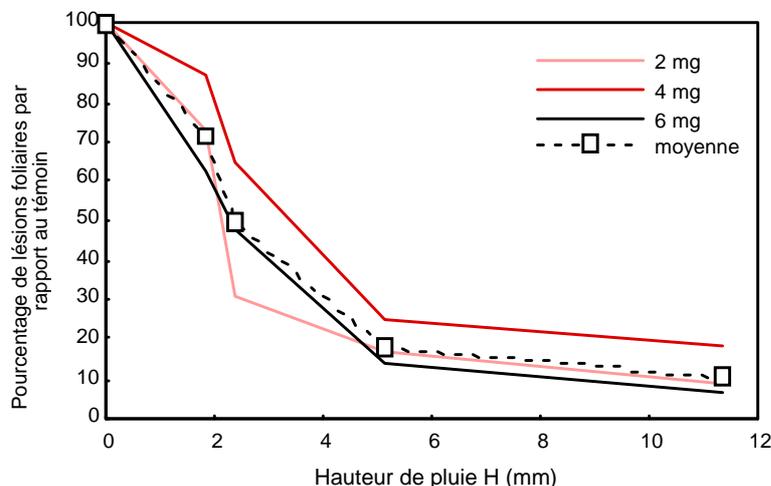
Figure 3 : Influence de deux épisodes pluvieux sur la contamination de plantes pièges et l'intensité d'attaque de la rouille jaune (3a) et la rouille brune (3b). Illustration du phénomène de lessivage (*washing-off*) et de dépôt des spores. 3a : violent orage (60 min) . 3b : pluie d'intensité moyenne (10 min). T = plantes exposées à la pluie . S ou V = plantes protégées. Localisation par rapport au couvert : N, S, milieu – Impact of two rain events on the trap plant contamination and the yellow rust severity (3a) and the leaf rust severity (3b). 3a : violent thunderstorm. 3b : shower. T = non-sheltered trap seedlings. S or V = sheltered trap seedlings.



Le mécanisme pouvant expliquer ce phénomène est l'interception suivie du lessivage par les gouttes de pluie des spores déjà déposées sur les feuilles (*washing-off*). Ce lessivage des spores semble annuler les effets positifs de la pluie sur leur dispersion et leur dépôt.

Les simulations de pluie réalisées en conditions contrôlées tendent à confirmer et à quantifier le phénomène. Ces expériences au champ ont été renouvelées au printemps 2000 et devraient permettre d'analyser davantage d'épisodes pluvieux. La hiérarchisation des effets de divers types de pluies sur la dynamique épidémique (figure 5) est envisagée à partir des données acquises lors de ces deux années d'expérimentation.

Figure 4 : Effet du lessivage de plantules de blé inoculées avec des spores de *P. recondita*, provoqué par une pluie artificielle de forte intensité, sur la sévérité de l'attaque. Influence de la hauteur de pluie H (mm) et de la dose d'inoculum (2, 4 et 6 mg de spores) - Effect of the washing-off of trap plant inoculated with spores of *P. recondita* by an artificial intense rain about the disease severity. Impact of height water H (mm) and the inoculum dose (2, 4 and 6 mg of spores).

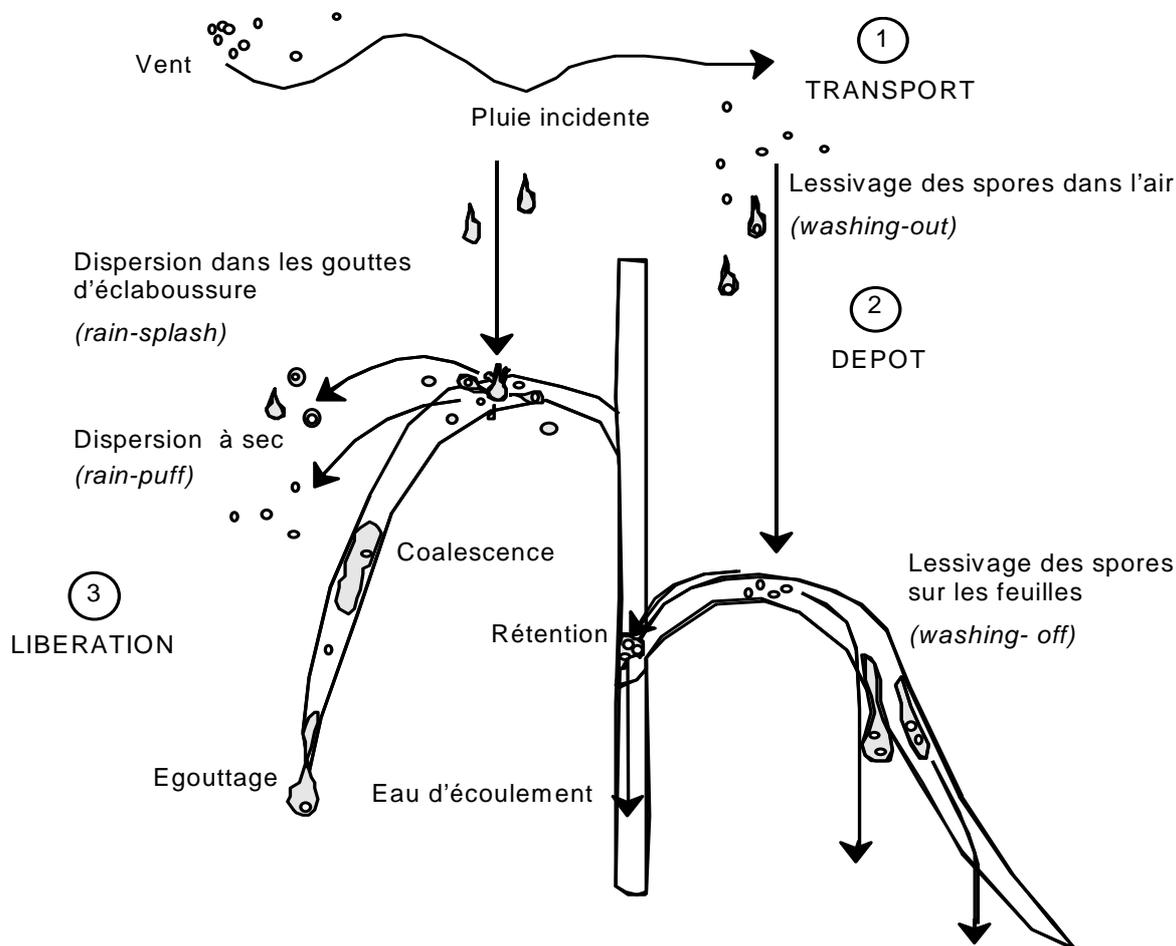


Les effets de la pluie devront être mieux pris en compte dans la conception de modèles de prévision ou de nuisibilité. L'application de modèles aux préconisations de traitements fongicides dépend de la véracité et de la précision dans la prévision des précipitations, tant dans leur durée que leur intensité. Nos résultats ont montré que ces deux caractéristiques permettraient de préciser l'influence d'une série de pluies sur la dynamique de la maladie.

PERSPECTIVES PRATIQUES

Améliorer la précision de modèles mécanistes prédictifs, en particulier en ce qui concerne la compréhension de périodes défavorables (épidémies stoppées brutalement, dispersion limitée), permettrait de travailler sur des méthodes de lutte curatives et optimiser les dates de traitements dans les cas où la maladie est détectée à un stade assez précoce afin de limiter son extension. Préconiser des dates de traitement en fonction des tout premiers pics de spores serait utile, mais peu réaliste en pratique. La prévision des risques épidémiques est largement tributaire de l'incertitude des prévisions météorologiques (intensité, localisation) et de ses courtes échéances, une semaine tout au plus, soit moitié moins qu'un seul cycle de contamination de rouille. Il semblerait néanmoins intéressant d'arriver à définir des périodes optimales de traitement pour « rattraper » un champ dont la contamination précoce commencerait à prendre de l'importance : 2 à 6 heures après une pluie d'intensité moyenne lorsque cela est techniquement possible. Le traitement permettrait d'atteindre les quelques spores fixées sur les feuilles n'ayant pas été mises en suspension et entraînées par la pluie. La durée nécessaire au traitement de la totalité d'une exploitation et les difficultés à pénétrer dans des parcelles humides reste cependant une limite majeure aux traitements curatifs.

Figure 5: Processus physiques élémentaires (transport, dépôt et libération) contribuant au transfert de spores de rouille par l'eau liquide entre l'atmosphère et la végétation – Physical processes (transport, deposition and removal) involved in water-mediated transfer of rust spores between atmosphere and canopy.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GEAGEA L., HUBER L., SACHE I., FLURA D., MCCARTNEY H.A. et FITT B.D.L., 2000. Influence of simulated rain on dispersal of rust spores from infected wheat seedlings. *Agric. For. Meteorol.*, 101. 53-66.
- RAPILLY F., FOURNET F. et SKAJENNIKOFF M., 1970. Etudes sur l'épidémiologie et la biologie de la rouille jaune du blé *Puccinia striiformis* Westend. *Ann. Phytopathol.*, 2. 5-31.
- ROWELL J.B. et ROMIG R.W., 1966. Detection of urediospores of wheat rusts in spring rains. *Phytopathology*, 56. 807-811.
- DE VALLAVIEILLE-POPE C., HUBER L., LECONTE M. et GOYEAU H., 1995. Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration and infection of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* and *P. striiformis* on wheat seedlings. *Phytopathology*, 85. 409-415.