

Technique de pulvérisation contre le mildiou dans les cultures de pommes de terre

Assistance pneumatique et buses à injection d'air: des systèmes avantageux pour la PI et les cultures Bio

Edward Irla et Thomas Anken, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon
Heinz Krebs, Station fédérale de recherches en agroécologie et en agriculture (FAL), CH-8046 Zurich-Reckenholz

Le succès de la culture de pommes de terre implique une technique de mise en place, des mesures d'entretien et une protection des plantes professionnelles et adaptées à la branche de production. La protection des pommes de terre contre le mildiou exige non seulement des mesures préventives, mais aussi une stratégie phytosanitaire bien adaptée et une technique de pulvérisation optimale. Dans la production intégrée, l'agriculteur a le choix entre des fongicides de contact, des fongicides systémiques et enfin, des fongicides systémiques partiels, tous aussi efficaces les uns que les autres. La culture biologique des pommes de terre, elle, est tributaire de la répartition et du dépôt réguliers des fongicides de contact à base de cuivre, dont l'action est préventive. L'objectif consiste à atteindre un film de protection optimal sur les deux faces des feuilles et sur la tige, ainsi qu'une bonne pénétration dans la culture. On recherche un mode

d'application souple qui tienne compte de la sensibilité des différentes variétés à la maladie, de la croissance du feuillage, de la pression d'infection, des conditions météorologiques et de la praticabilité des parcelles.

Dans le cadre des essais réalisés entre 1997 et 1999, en collaboration avec la FAL de Zurich-Reckenholz et en accord avec l'Institut de recherche de l'agriculture biologique à Frick (IRAB), on a étudié différentes buses à jet plat avec et sans assistance pneumatique, des buses individuelles ou doubles à injection d'air, ainsi qu'un système de pulvérisation sous-foliaire. Ces différents dispositifs ont été testés dans l'optique de la culture biologique de pommes de terre.

Cinq ou six pulvérisations ciblées ont permis de limiter l'épidémie de mildiou. Lorsque la pression d'infection était élevée, comme ce fut le cas en 1999, les méthodes alternatives de pulvérisation, notamment la pulvérisation

sous-foliaire, ont permis d'obtenir des résultats nettement meilleurs que la méthode standard (fig. 1). Cette dernière nécessite toutefois des améliorations.

Sommaire	Page
Problématique	2
Déroulement de l'essai, technique des outils de pulvérisation	2
Mesures liées à la technique de culture	2
Comparaison des techniques de pulvérisation	3
Efficacité biologique, rendement	4
Conclusions	5
Bibliographie	6



Fig. 1: Dans un peuplement dense, il a été possible d'empêcher le mildiou en pulvérisant 400 l de bouillie par hectare à une pression de 7 bar et une vitesse d'avancement de 5 km/h. A droite: les voies de passages permettent d'intervenir à temps et d'équiper les machines de pneus plus larges.

Problématique

Le mildiou, causé par le champignon appelé *Phytophthora infestans*, est la maladie la plus dangereuse de la pomme de terre. Lorsque l'infection est précoce et importante, elle peut entraîner des pertes de rendements, de qualité et de stock énormes. Il est donc essentiel pour la culture biologique de pommes de terre que les mesures préventives et les mesures de protection directes soient parfaitement harmonisées. En effet, l'utilisation de fongicides à base de cuivre, limitée à 4 kg de cuivre par hectare et par an, ne peut avoir un effet préventif efficace que si le produit est réparti régulièrement sur toute la culture. Les produits à base de cuivre sont cependant sujets à critiques à cause de leur concentration et de leur effet toxique sur les sols. Il est question de les interdire dans les cultures biologiques dans l'UE à partir de l'année 2002. Les alternatives possibles consistent à planter des variétés résistantes telles que Naturella et Appell, à étudier les fongicides biologiques et à améliorer les techniques d'application. Pour répondre aux demandes des producteurs biologiques, nous avons donc testé différentes techniques de pulvérisation.

Déroulement de l'essai, technique des outils de pulvérisation

- Les trois essais en plein champ ont eu lieu entre 1997 et 1999 à Tännikon: à 540 m d'altitude avec des précipitations annuelles de 1005 mm (1997), 1163 et 1419 mm (1998 et 1999).
- Variétés de pommes de terre Agria, Désirée également en 1998 (comparaison des buses à injection d'air), distance entre les lignes 75 cm. Les essais ont été effectués sous forme de «blocs» en 1997 et d'un «carré latin» en 1998 et 1999. Ils ont été répétés quatre fois sur des parcelles de 95 à 120 m² (largeur des parcelles = 4,5 m). L'essai comportait également 22 m² de parcelles témoins non pulvérisées.
- **Pulvérisateurs utilisés sur les parcelles:** Hardi Twin Stream, largeur de travail de 12 m, cuve de 800 l, débit de la pompe de 114 l/min, souffluse axiale entraînée par l'hydraulique du tracteur avec tuyau gonflable le long de la rampe. Réglage électrohydraulique de l'angle de l'ensemble buses / sortie d'air (zone de réglage de 18° vers l'avant ou vers l'arrière). La vitesse de l'air est réglable en continu via le régime de la souffluse à l'aide de la pompe de réglage et de la pression d'huile (fig. 2). Fischer Agrifix, cuve de 600 l, débit de la pompe de 105 l/min, réglage hydraulique de la hauteur du dispositif de pulvérisation sous-foliaire, composé de cinq éléments (prototype).
- Buses à injection d'air Agrotop avec plaquettes de dosage 025. Buse individuelle avec bec «Albus bleu», buse double à jet plat = deux becs décalés de 60° «Albus vert» (fig. 3). Pour d'autres informations, voir tableau 1.
- Relevés: données concernant la technique de travail, conditions d'utilisation, dépôt des produits/taux de couverture des deux côtés des feuilles et sur deux niveaux de fanes au moyen d'une substance de marquage fluorescente et de l'analyse d'image par ordinateur. Estimation de l'infection de mildiou, relevés des rendements, stockage, tri et identification des tubercules malades.

Mesures liées à la technique de culture

Les mesures préventives sont très importantes dans les cultures biologiques de pommes de terre, car il est impossible de stopper une éventuelle infection primaire

en employant des produits à base de cuivre. La culture sous films, les jardins potagers, les tas de déchets et l'enchevêtrement des tubercules malades sont considérés comme des sources d'infection. Lors du choix du site, il est recommandé d'opter pour des zones ouvertes au vent le plus loin possible des lacs et des étangs. La culture de variétés résistantes ou peu récep-

tives, l'utilisation de plants sains prégermés, l'apport modéré d'engrais, ainsi que la préparation correcte du lit de semences, la technique d'entretien et de plantation (grosses buttes) jouent un rôle positif. Pour assurer une bonne croissance et un séchage rapide du peuplement, il est recommandé de planter les pommes de terre tôt, dès que la température du sol atteint 8 °C,



Fig. 2: L'assistance pneumatique fournie par une souffluse axiale améliore la pénétration dans la culture et réduit la dispersion.



Fig. 3: Les progrès techniques en matière de buses contribuent à améliorer la technique de pulvérisation et la protection de l'environnement. De g. à dr.: buses à jet plat (Hardi), buses à injection d'air, buses individuelles et buses doubles (Agrotop de U. Wyss, Bützberg).

en respectant une distance de 75 cm entre les lignes.

Enfin, il est nécessaire d'effectuer des contrôles réguliers des cultures et de détruire les plantations atteintes. Les services cantonaux de protection des plantes et les exploitations voisines doivent être aussitôt averti des cas de mildiou, de manière à effectuer un premier traitement avec des fongicides avant le début de l'épidémie.

Comparaison des techniques de pulvérisation

En ce qui concerne les mesures directes, il est essentiel de choisir une date correcte pour les pulvérisations, d'obtenir un film de protection optimal sur les deux faces des feuilles et sur les tiges, ainsi qu'une bonne pénétration dans la culture. La durée de protection des fongicides de contact est comprise entre sept à dix jours. Ensuite, le film de protection doit être renouvelé avant l'infection fongique. On recherche un mode d'application souple qui tient compte de la sensibilité des différentes variétés à la maladie, de la croissance du feuillage, de la pression d'infection, de la quantité des précipitations, des prévisions météorologiques, de la praticabilité des parcelles et de la quantité de cuivre limitée à 4 kg/ha. Le premier traitement ne doit être effectué qu'après constatation d'un premier foyer infectieux dans la région.

Les cinq ou six pulvérisations par période végétative ont été en général effectuées dans des conditions météorologiques favorables: vitesse du vent 0 à 2 m/s, température de l'air de 17 à 22 °C (2 x jusqu'à 24 °C) et humidité de l'air de 42 à 83%,

Tab. 1: Données relatives à la technique d'essai pour la lutte contre le mildiou dans les pommes de terre biologiques

Déroulement des travaux		1997	1998	1999
Type de sol		Limon faiblement argileux	Limon faiblement argileux	Limon sableux
Précédent cultural		Prairie temporaire	Blé d'automne, moutarde	Blé d'automne
Date de plantation		9.4	25.4	27.4
Distance entre les tubercules		27 cm	29 cm	24 cm
Technique d'entretien		Sarclage / buttage (3 x)	Sarclage / buttage (3 x)	Sarclage / buttage (2 x)
Pulvérisation le		30.5./10.6./20.6./1.7./14.7./28.7.	9.6./18.6./29.6./6.7./13.7.	9.6./23.6./1.7./12.7./22.7.
Fongicide		Cuprofix [50 % Cu]	Kocide DF [40 % Cu]	Kocide DF [40 % Cu]
Quantité de cuivre (kg/ha)		2 x 0,4 + 4 x 0,8	2 x 0,4 + 3 x 0,8	2 x 0,4 + 3 x 0,8
Essai	Variantes de pulvérisation (l/ha) ¹⁾	Buses à jet plat	Orientations des buses ²⁾	Pression de pulvérisation (bar)
1997	A. 400	Hardi 4110-16	□ □	6,9
	B. 200	Hardi 4110-14 + assistance pneumatique	□ □	2,6
1998	A. 400	Hardi 4110-16	□ □	6,9
	B. 400	Hardi 4110-16 + assistance pneumatique	□ □	6,9
	C. 400	Agrotop TD 025, lila, injection d'air	□ □ □	8,7
	D. 400	Agrotop TD 025, lila, buses doubles, injection d'air	□ □ □	8,7
1999	A bis D.	comme en 1998	□ □ □ □	4,0
	E. 430	Teejet XR 110 02, système de pulvérisation sous-foliaire		
Destruction des fanes dans les parcelles: non traitées/ traitées		29.7./5.8.	10.7./20.7.	19.7./30.7.
Relevés de rendements		28.8.	19.8.	19.8.
Stockage de pommes de terre jusqu'à		26.11.1997	11.3.1999	2.2.2000

Pulvérisateurs portés: Hardi Twin Stream (A à D)
Fischer Agrifix (E)

¹⁾ Vitesse d'avancement 5 km/h

²⁾ Direction des buses, c.-à-d. du jet de pulvérisation

fanés sèches. Pour améliorer la pénétration et le dépôt des produits dans les cultures denses, on a généralement appliqué une quantité d'eau de 400 à 430 l/ha, une pression de 7 ou 9 bar pour une vitesse d'avancement de 5 km/h (tab. 1). En outre, les buses Hardi et Agrotop (A, B, C) étaient inclinées vers l'avant, de 7 degrés par rapport à la verticale.

Taux de couverture des feuilles. Le taux de couverture obtenu en 1998 lors de la première et de la dernière pulvérisation est indiqué figure 4. La hauteur des fanes était comprise entre 50 et 90 cm pour la variété Agria, entre 40 et 70 cm pour la variété Désirée. Quelle que soit la variante de pulvérisation choisie, le taux de couverture de la face supérieure des feuilles était toujours suffisant: de 15 à 40%. La face inférieure des feuilles, par contre, ne présentait qu'un taux de couverture de 0,1 à 3,6%.

Assistance pneumatique. Les buses Hardi placées entre 35 et 40 cm au-dessus des plants de pommes de terre ont permis d'obtenir un taux de couverture quasiment similaire, avec ou sans assistance pneumatique. Cette dernière s'est avérée utile

lorsque les plants mesuraient 90 cm de haut, car elle a permis de mieux arroser la face inférieure des feuilles et de réduire considérablement la dispersion. Sous l'effet du jet d'air dirigé vers l'avant, les plants les plus hauts bougent apparemment plus que les petits. La vitesse de sortie de l'air, comprise entre 20 et 28 m/s, est réduite à 8–10 m/s par la résistance de l'air lorsque la distance de pulvérisation est de 30 cm (régime de la souffeuse 2620 t/min).

Buses à injection d'air. Les buses doubles à jet plat Agrotop avec un jet réglable à 30° vers l'avant et vers l'arrière ont permis d'atteindre un taux de couverture plus important dans la partie supérieure des fanes. Avec des buses placées à 50–60 cm des plants et une pression d'environ 9 bar, la pénétration et le dépôt sur la face supérieure des feuilles au bas des fanes étaient satisfaisants. Par contre, la face inférieure des feuilles présentait uniquement des taux de 0,2 à 1,7%. Les buses individuelles à injection d'air avec un seul jet plat à 7°, orienté vers l'avant ont permis de déposer les bulles relativement grosses du produit de manière très correcte pour la variété Désirée. Toutefois, lorsque la hauteur des

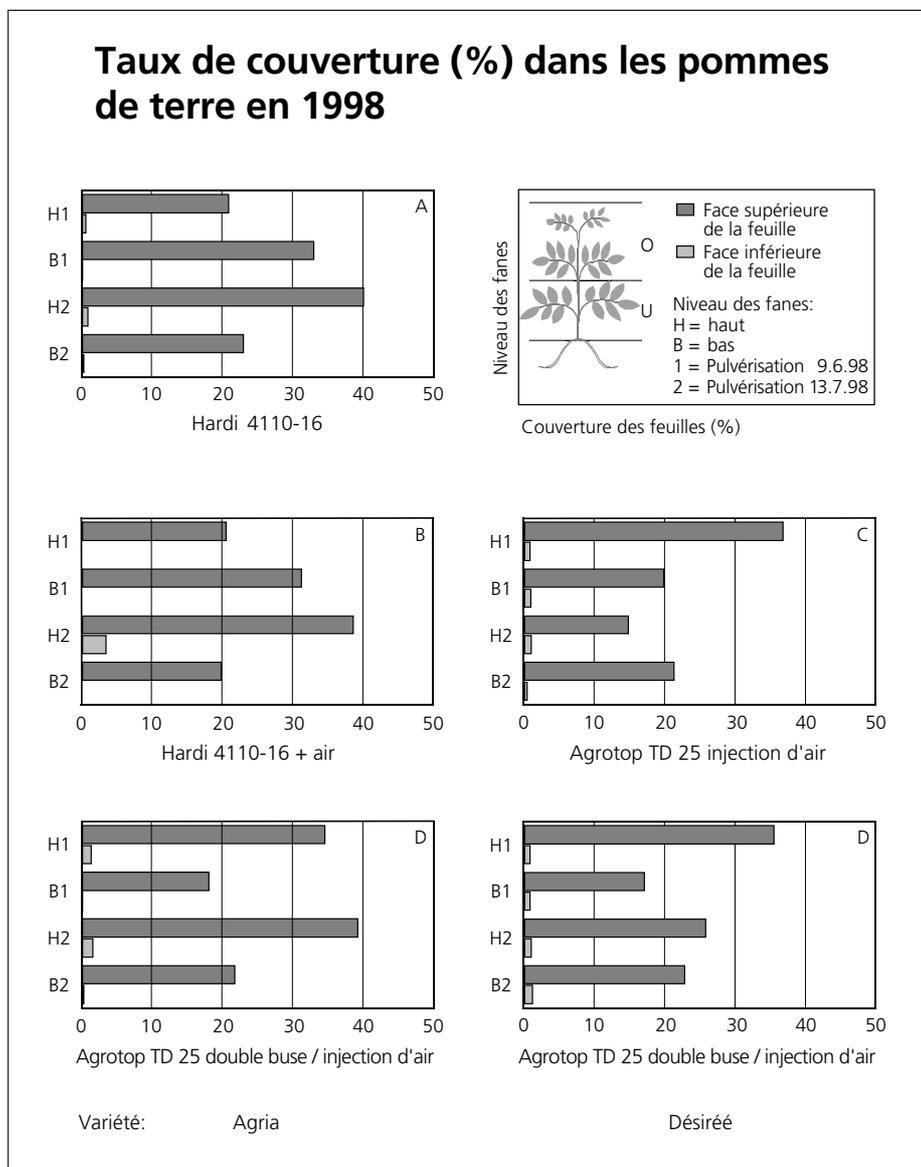


Fig. 4: Taux de couverture des feuilles à deux niveaux des plants, pour deux dates de pulvérisation.



Fig. 5: Les buses à injection d'air produisent des bulles remplies d'air, qui sous l'effet d'accélération dû à la pression (9 bar) pénètrent en profondeur dans la végétation. Gauche/Droite: Buses à jet plat à injection d'air, individuelles/doubles.

plants atteignait 70 cm, mais uniquement dans ce cas, les buses individuelles ont obtenus des résultats inférieurs à ceux des buses doubles.

D'après les expériences actuelles, les buses à injection d'air peuvent être utilisées à plusieurs escients dans les grandes cultures, avec des pressions comprises entre 4 et 12 bar. Avec un diamètre de gouttes relativement élevé, de 0,3 à 0,5 mm, elles contribuent largement à réduire la dispersion (fig. 5). Les buses à injection d'air, notamment les buses doubles, nécessitent plus de place sur la tige du pulvérisateur que les buses ordinaires.

Après des difficultés initiales, les essais de **pulvérisation sous-foliaire** se sont déroulés avec succès. Les plants ont ainsi pu être pulvérisés par le haut et par le bas (fig. 6). Le prototype est en voie d'amélioration sur le plan technique et sera mis à l'essai cette année.

Efficacité biologique, rendement

L'évaluation de l'efficacité biologique est le critère décisif pour apprécier un procédé. Bien que les conditions météorologiques aient été favorables à une infection par le Phytophthora et à sa propagation, le peuplement de pommes de terre Agria, variété moyennement sensible, est resté pratiquement sans infection jusqu'au début juillet 1997 et 1999 (fig. 7). Pour pouvoir estimer l'efficacité des différentes techniques d'application dans le cas d'une pression d'infection élevée, les parcelles témoins ont été inoculées artificiellement le 11.7.1997 et le 2.7.1999. En 1998, en revanche, l'infection fongique s'est déclarée





Fig. 6: Le système de pulvérisation sous-foliaire a permis de traiter uniformément les feuilles et les tiges à partir de deux buses placées en bas et en haut (prototype).

Tab. 2: Infection des feuilles par le *Phytophthora* dans la variété *Agria* suivant la variante de pulvérisation des fongicides de 1997 à 1999

Variantes de pulvérisation	Infection des feuilles					
	%	p=0,05*	%	p=0,05*	%	p=0,05*
A. Hardi	1,7	B	0,2	B	21,8	B
B. Hardi + air	4,8	C	0,1	B	17,5	BC
C. Agrotop Injection d'air	—	—	—	—	16,5	BC
D. Agrotop Double buse Injection d'air	—	—	0,04	B	16,1	BC
E. Fischer Système de pulvérisation sous-foliaire	—	—	—	—	9,6	C
U. Culture non traitée	19,6	A	21,4	A	56,3	A
Evaluation: traité / non traité	28.7./5.8.97		8.7./17.7.98		16.7./27.7.99	

% d'infection des feuilles de la variété Désirée C = 0,02, D = 0,01 et U = 0,03

*) Différences significatives entre les variantes désignées par des lettres différentes avec une probabilité d'erreur de 5%.

naturellement. Les résultats des évaluations sont réunis dans le tableau 2 et la figure 8.

Au cours de l'**essai 1997**, la variante de pulvérisation A (A. 400 l/ha) avec une infection à 1,7% a obtenu de meilleurs résultats que la variante avec 200 l/ha et assistance pneumatique (= 4,8%). Cette dernière s'est avérée insuffisante pour les fongicides de contact, comme dans les essais étrangers. En **1998**, les essais ont permis d'obtenir de très bon résultats quelle que soit la variante considérée, avec cinq pulvérisations et une pression d'infection similaire. En **1999**, les précipitations ont été extrêmement importantes en mai et en juin et les parcelles témoins ont été largement contaminées par la maladie. De ce fait, le danger de l'épidémie de *Phytophthora* était manifeste. Bien que les fanes malades aient été détruites dans les parcelles témoins le 19 juillet, les cinq pulvérisations n'ont pas pu empêcher la maladie de se propager. Lorsque la pression d'infection était élevée, l'efficacité des variantes de pulvérisation alternatives, notamment de la variante «E» sous-foliaire, était significativement supérieure à celle de la variante «A» avec une pression d'environ 7 bar.

Rendements. Les rendements relevés trois à quatre semaines après la destruction des fanes sont présentés au tableau 3. Ils montrent l'impact négatif de l'épidémie de *Phytophthora* et donc de la destruction précoce des fanes. Lorsque l'opération de destruction des fanes était avancée de sept à onze jours, cela se traduisait par une perte de rendement de 17 à 32% pour les pommes de terre de consommation, soit une perte de rendement totale de 16 à 24%.

Stockage. Afin d'évaluer les tubercules atteints par le mildiou, les échantillons prélevés sur la récolte de pommes de terre ont

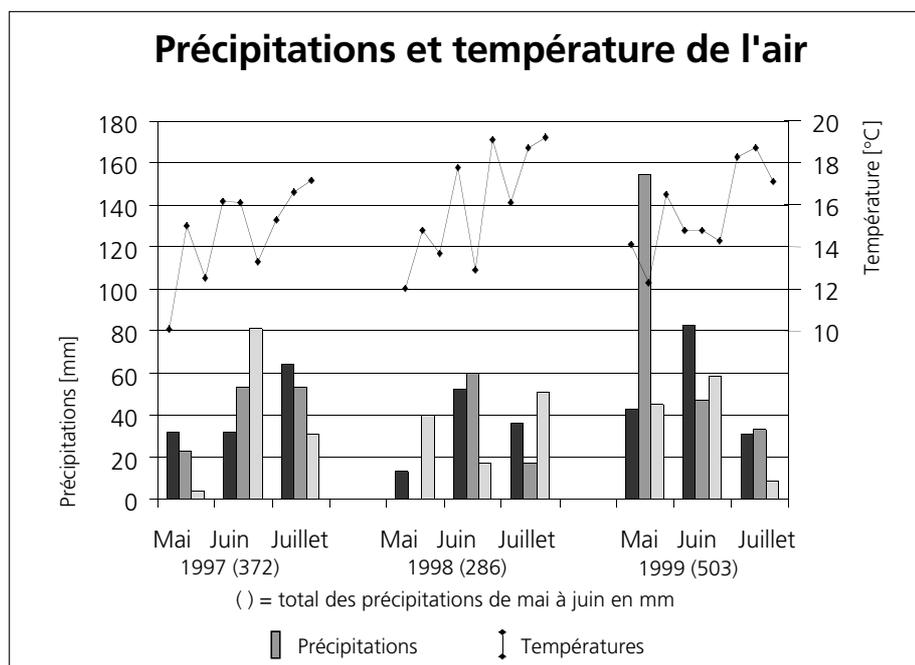


Fig. 7: Précipitations et température de l'air durant les décades des trois mois d'essai des années considérées. Précipitations par décade = somme des précipitations du 1er au 10, du 11 au 20 mai, etc. Température de l'air par décade = moyenne des relevés journaliers à 01, 07, 13 et 19 heures du 1er au 10 mai, etc.

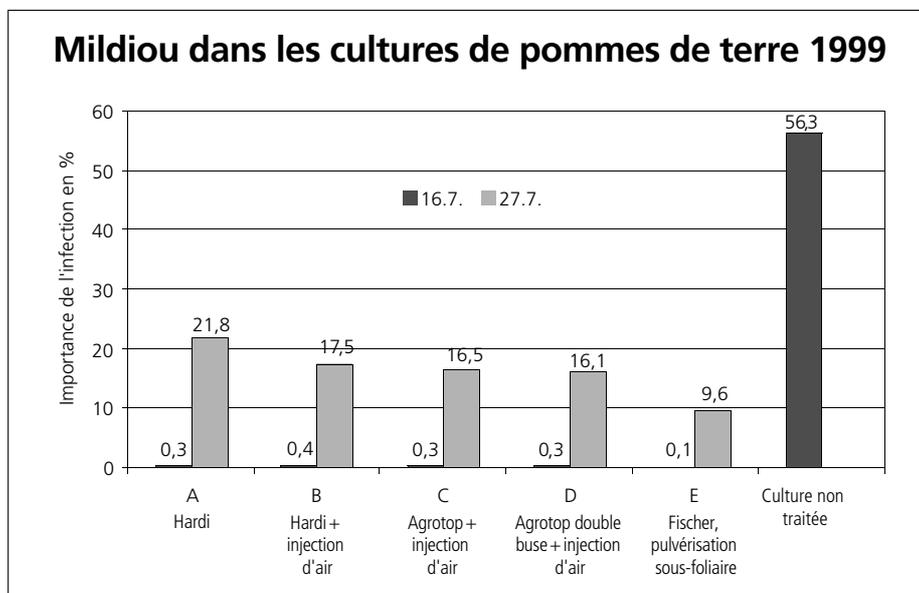


Fig. 8: Infection des feuilles par le *Phytophthora* dans la variété *Agria*, deux dates d'évaluation suivant la variante utilisée pour pulvériser le fongicide.

Tab. 3: Rendements de pommes de terre avec/sans pulvérisations de fongicides Elimination des fanes dans les parcelles «non traitées», avancée de 7 jours (1997), 10 jours (1998), et 11 jours (1999)

Parcelles d'essais	Pommes de terre de consommation dt/ha			Rendement total dt/ha		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Pulvérisées	471	349	272	497	411	350
Non traitées	389	237	202	418	312	272
Baisse de rendement en dt/%*	82/17	112/32	70/26	79/16	99/24	78/22

*) Différences significatives avec une probabilité d'erreur de 5%.

été stockés trois à sept mois (tab. 1). Après un stockage de deux semaines à une température comprise entre 15 et 18 °C pour boucher les lésions et un stockage à une température de 8 à 12 °C pour favoriser la moisissure, on n'a constaté pratiquement aucun tubercule atteint, que les parcelles aient été traitées ou non. Les grandes buttes avec une couche de 5 cm et plus pour couvrir les tubercules constituent apparemment une protection suffisante contre une infection par les spores. Lorsque la destruction des fanes se fait mécaniquement, il est nécessaire d'employer des défanieuses avec dépôt des fanes dans le sillon.

Conclusions

L'essai montre que pour lutter efficacement contre le mildiou, il est indispensable d'harmoniser les mesures préventives et les mesures directes. Les exigences considérables liées à la mise en place, à l'entretien et à la technique de pulvérisation des cultures de pommes de terre biologiques peuvent être satisfaites si la stratégie employée est adaptée aux conditions du site. Effectuées à temps, cinq à six pulvérisations de fongicides de contact à base de cuivre ont pu protéger assez efficacement les variétés moyennement sensibles que sont *Agria* et *Désirée*.

Pour que la technique de pulvérisation soit efficace et la répartition du produit satisfaisante dans les cultures denses de pommes de terre, il faut:

- une quantité de bouillie de 400 à 500 l/ha,
- des buses correctes à jet plat orienté à 30 – 45 °,
- une distance de 30 à 40 cm entre les buses et les plants avec un angle de pulvérisation de 110°,
- une vitesse d'avancement de 4 à 5 km/h,
- une pression de 7 à 10 bar, adaptée au type et à la taille de la buse employée.

- Les buses à injection d'air se caractérisent par de vastes possibilités d'utilisation et une large gamme de pressions, un diamètre relativement important des gouttes et une réduction conséquente de la dispersion.
- La pulvérisation avec assistance pneumatique améliore la pénétration dans la culture et le dépôt du produit. Enfin, elle réduit la dispersion sous l'effet du vent. Dans les autres grandes cultures, il est possible d'atteindre une efficacité élevée et un important rendement à la surface avec des quantités d'eau plus réduites par hectare et des vitesses d'avancement supérieures.
- Un système de pulvérisation sous-foliaire performant peut améliorer considérablement le dépôt du produit dans les cultures en lignes, avec une pression modérée et une faible dispersion.

Bibliographie

Meinck S. und Kolbe H., 1999. Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelbau. Kartoffelbau 5, 172–175.

Ripke F.O., 1997. Düsenteknik: Belagsmessungen bei Pflanzenschutzmassnahmen. Kartoffelbau 5, 168–172.

Ruckstuhl M. und Krebs H., 1997. Wenn die Kraut- und Knollenfäule droht. Die Grüne 12, 22–25.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (CH-8356 Tänikon). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90,
E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

BE	Furer Willy, Ecole d'Agriculture, 2732 Loveresse	Tél. 032 481 42 71
FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AGCETA, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 341 35 40
JU	Knobel Beat, Institut agricole, 2852 Courtemelon	Tel. 032 420 74 39
NE	Bendel Etienne, SNVA, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Patrick Munier, Ecole d'Agriculture, Marcelin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Les «Rapports FAT» paraissent environ 20 fois par an. Abonnement annuel: Fr. 50.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: FAT, CH-8356 Tänikon. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).– ISSN 1018-502X.