

Optimisation de la technique de pulvérisation des pommes de terre biologiques

Nouvelle technique plus efficace contre le mildiou

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 agriculture (FAL), CH-8046 Zurich-Reckenholz
 Jacob Rüegg, Station fédérale de recherches en arboriculture, viticulture et horticulture (FAW), CH-8820 Wädenswil

Les pommes de terre occupent une place très importante dans la culture biologique. Leur succès implique une technique de mise en place, des mesures d'entretien et une protection phytosanitaire adaptées au site et à la branche de production. Des mesures d'entretien mécaniques per-

mettent de mettre en place les buttes, de protéger les sols et de réguler les adventices. Par contre, la protection des pommes de terre contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) exige non seulement des mesures préventives, mais aussi une stratégie phytosanitaire bien adaptée et une

technique d'application optimale. La culture biologique des pommes de terre 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 couvrir d'un film de protection optimal les deux faces des feuilles et la tige, ainsi qu'à obtenir une bonne pénétration dans toute la culture.

Dans le cadre d'essais réalisés à la FAT de 1997 à 2000, en collaboration avec la FAL à Zurich-Reckenholz, la FAW à Wädenswil et en accord avec l'IRAB à Frick, différentes techniques de pulvérisation ont été développées et testées: des buses à jet plat avec et sans assistance pneumatique, des buses à injection d'air, ainsi qu'un système de pulvérisation sous-foliaire.



Fig. 1: Des pulvérisations ciblées, appliquées à temps depuis les voies de passage suffisent généralement à protéger les pommes de terre du mildiou. En bas: les meilleurs résultats ont été obtenus avec le dispositif de pulvérisation sous-foliaire (prototype).

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, degré de couverture des feuilles	3
Efficacité biologique, rendements	7
Conclusions	8
Bibliographie	8

Cinq pulvérisations ciblées ont permis d'empêcher une infestation trop importante du mildiou et ont limité la propagation de l'épidémie. Les méthodes alternatives de pulvérisation, notamment la pulvérisation sous-foliaire, ont permis d'obtenir des résultats nettement supérieurs à ceux de la méthode standard. Le dispositif de pulvérisation sous-foliaire, efficace même avec 60% du produit, n'est toutefois pas encore disponible dans le programme standard. Ce type de dispositif doit être commandé spécifiquement (fig. 1).

Problématique

Lorsque l'infestation est précoce et importante, le mildiou causé par le champignon *Phytophthora infestans* peut entraîner des pertes de rendements, de qualité et de stock énormes. Pour la culture biologique de pommes de terre en particulier, il est essentiel que les mesures préventives et les mesures de protection directes soient parfaitement harmonisées, car il n'existe pas de fongicides systémiques véritablement efficaces. 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 suffisant que si le produit est réparti régulièrement sur toute la culture. L'emploi du cuivre pose problème sur le plan écologique à cause de la concentration et de l'effet toxique de ce métal lourd sur les sols. C'est pourquoi il est prévu d'interdire les produits à base de cuivre dans l'UE à partir d'avril 2002. Les alternatives possibles consistent à planter des variétés résistantes telles que Matilda, Naturella et Appel et à étudier les fongicides biologiques. Les essais suisses et européens en cours ont toutefois montré que sur ce plan, la recherche de produits alternatifs peut prendre plusieurs années. Entre-temps, on opte pour des solutions transitoires pour la culture écologique et on tente d'améliorer les techniques d'application des produits actuellement disponibles. L'étude des différentes techniques de pulvérisation, économes en fongicides peut également ouvrir de nouvelles perspectives.

Déroulement de l'essai, technique des outils de pulvérisation

- Les quatre essais en plein champ ont eu lieu entre 1997 et 2000 à Tänikon: à 540 m d'altitude avec des précipitations annuelles de 1005 mm (1997), 1163 mm (1998), 1419 et 1128 mm (1999 et 2000).
- 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 en 2000 et sous forme 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, souffeuse 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 souffeuse à l'aide de la pompe de réglage et de la pression d'huile (fig. 2).
- Fischer Agrifix, largeur de travail de 12 m, cuve de 600 l, débit de la pompe de 105 l/min, réglage hydraulique de la rampe avec buses Teejet XR, TT et du dispositif de pulvérisation sous-foliaire,

composé de six éléments Fischer et Birchmeier (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 (2000: surface et croissance de fanes, volume), 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 particulièrement importantes dans les cultures biologiques de pommes de terre, car il est impossible de stopper une éventuelle infection primaire par le *phytophthora* en employant des produits à base de cuivre. Les jardins potagers, la culture sous films, les tas de déchets et l'enchevêtrement des tubercules malades sont considérés comme autant de 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, des fleuves et des étangs. Il faut privilégier la culture de variétés résistantes ou peu réceptives,



Fig. 2: L'assistance pneumatique améliore la pénétration du peuplement et réduit la dérive.

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

Déroulement des travaux		1997	1998	1999	2000	
Type de sol		Limon faiblement argileux	Limon faiblement argileux	Limon sableux	Limon sableux	
Précédent cultural		Prairie temporaire	Blé d'automne, moutarde	Blé d'automne	Blé d'automne, moutarde	
Date de plantation		9.4.	25.4.	27.4.	27.4.	
Distance entre les tubercules		27 cm	29 cm	24 cm	29 cm	
Technique d'entretien		Sarclage / buttage (3 x)	Sarclage / buttage (3 x)	Sarclage / buttage (2 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.	5.6./14.6./21.6./5.7./17.7.	
Fongicide		Cuprofix [50 % Cu]	Kocide DF [40 % 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	2 x 0,4 + 3 x 0,8 ¹⁾	
Essai	Variantes de pulvérisation (l/ha) ²⁾	Buses à jet plat		Orientation des buses ³⁾	Pression de pulvérisation (bar)	
1997	A. 400	Hardi 4110-16		} Buses standard	↘ 7°	6,9
	B. 200	Hardi 4110-14 + assistance pneumatique			↘ 7°	2,6
1998	A. 400	Hardi 4110-16		} Buses standard	↘ 7°	6,9
	B. 400	Hardi 4110-16 + assistance pneumatique			↘ 7°	6,9
	C. 400	Agrotop TD 025, lila, injection d'air		} Buses anti-dérive	↘ 7°	8,7
	D. 400	Agrotop TD 025, lila, buses doubles, injection d'air			↙↘ 30°	8,7
1999	A. à D.	comme en 1998		} Buses universelles	↖↘	
	E. 500	Teejet XR 110 02, système de pulvérisation sous-foliaire Fischer			↖↘	4,0
2000	A. 500	Teejet XR 110 04 VK, rouge		} Buses universelles	↘ 40°	5,1
	B. 500	Teejet TT 110 04 VP, rouge			↘ 40°	5,1
	C. 500	Teejet XR 110 02 VK, jaune, système de pulvérisation sous-foliaire Fischer			↖↘↘ 30°	4,0
	D. 500	Teejet XR 110 02 VP, jaune, système de pulvérisation sous-foliaire Birchmeier			↖↘↘ 30°	4,0
Destruction des fanes dans les parcelles: non traitées/traitées		29.7./5.8.	10.7./20.7.	19.7./30.7.	27.7./27.7.	
Relevés de rendements		28.8.	19.8.	19.8.	28.8.	
Stockage des pommes de terre jusqu'à		26.11.1997	11.3.1999	2.2.2000	13.2.2001	

Pulvérisateurs portés: Hardi Twin Stream 1997 à 1999 (A à D)
Fischer Agrifix 1999 (E) à 2000 A à OD

¹⁾ Pour les variantes C et D, également avec une quantité de cuivre (kg/ha) réduite de 40% 2 x 0,24 + 3 x 0,48

²⁾ Vitesse d'avancement 5 km/h.

³⁾ Direction des buses, c.-à-d. du jet de pulvérisation, en degrés par rapport à la verticale.



Fig. 3: Les buses à injection d'air, à jet plat, individuelles et doubles se caractérisent par des gouttes relativement grossières, peu sujettes à la dérive et par une importante plage de pression (Agrotop de U. Wyss, Bützberg).

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 à titre de protection contre les spores de champignons). Pour assurer une bonne croissance et un séchage rapide du peuplement, il est recommandé de planter les pommes de terre le plus tôt possible dans l'année, dès que la température du sol atteint 8 °C, 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 avertis des cas de mildiou, de manière à effectuer un premier traitement avec des fongicides avant le début de l'épidémie.

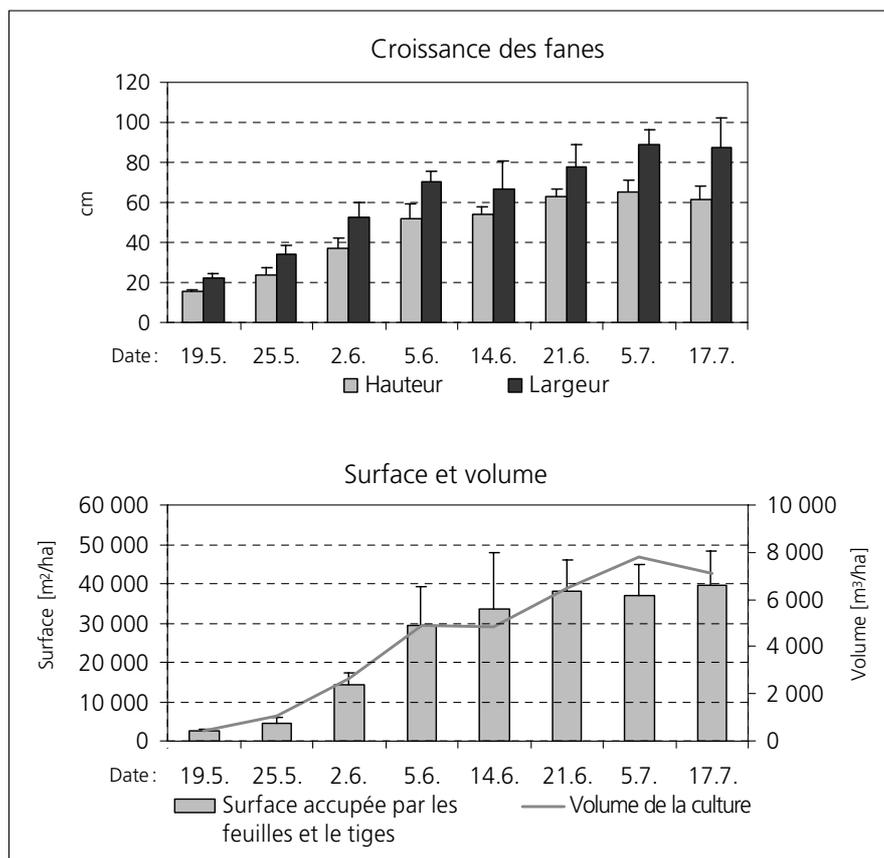


Fig. 4: Croissance des fanes du 19 mai au 17 juillet 2000, résultats de mesures de la surface et du volume occupés par les feuilles et les tiges. Dans les espaces suivants l = plage de répartition des résultats

par les feuilles et les tiges dans la pratique, des paramètres simples tels que la hauteur et le volume des plantes ou le stade de développement restent à être élaborés.

Le taux de couverture des feuilles constitue un paramètre de mesure important pour appréhender et évaluer la qualité des pulvérisations. Les valeurs obtenues en 1998 et en 2000 lors de deux pulvérisations sont indiquées figure 5. En 1998, en pulvérisant 400 l/ha, le taux de couverture de la face supérieure des feuilles était toujours suffisant: de 15 à 40% et ce, quelle que soit la variante de pulvérisation choisie. La face inférieure des feuilles, par contre, ne présentait qu'un taux de couverture de 0,1 à 3,6%. Les résultats obtenus en 2000 en pulvérisant 500 l/ha se sont avérés nettement meilleurs. Le degré de couverture était compris entre 23 et 60% pour la face supérieure des feuilles et entre 16 et 37% pour la face inférieure des feuilles. Les valeurs plus élevées s'expliquent essentiellement par l'amélioration de la technique de pulvérisation, notamment par la pulvérisation sous-foliaire. D'autres détails seront fournis par rapport à chaque technique de pulvérisation.

Comparaison des techniques de pulvérisation, degré de couverture des feuilles

En ce qui concerne les mesures directes, il est essentiel de choisir la date idéale pour les pulvérisations, d'obtenir un film de protection homogène sur les deux faces des feuilles et sur les tiges, ainsi qu'une bonne pénétration de tout le peuplement végétal. La durée de protection des fongicides de contact est comprise entre sept et dix jours. Ensuite, le film de protection doit être renouvelé avant l'infection fongique. 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, 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 (1997) 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 (3 x jusqu'à 24 °C) et humidité de l'air de 42 à 83 %, fanes sèches. Pour améliorer la pénétration et le dépôt des produits dans les cultures denses, on a généralement opté pour une quantité d'eau de 400 à 500 l/ha, une pression de 4 à environ 9 bar pour une vitesse d'avancement de 5 km/h et des buses inclinées de 7, 30 ou 40° par rapport à la verticale (tab. 1). En principe, les quantités d'eau et de produits par hectare ont été adaptées à la surface et au volume occupés par les fanes. Au fil de la croissance des fanes, la surface occupée par les feuilles et les tiges augmente et avec elle, la quantité de fongicides de contact nécessaires par hectare (fig. 4). En 2000 par exemple, la «surface totale» de l'ordre de 2500 m² le 19 mai est passée à 40 000 m²/ha le 17 juillet. Une pulvérisation adaptée au stade de croissance et de culture a pour but d'optimiser le dosage du produit nécessaire pour obtenir un impact biologique. Pour estimer la surface occupée

Assistance pneumatique. Les buses Hardi standard 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 ne s'est avérée utile que 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 dérive. 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 anti-dérive 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 orienté à 7°, vers l'avant ont permis de déposer les gouttes relativement grosses du produit de manière très correcte pour la variété Désirée. Toutefois, lorsque la hau-

teur des plants atteignait 70 cm, les buses individuelles ont obtenu des résultats inférieurs à ceux des buses doubles. 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 dérive. Les buses à

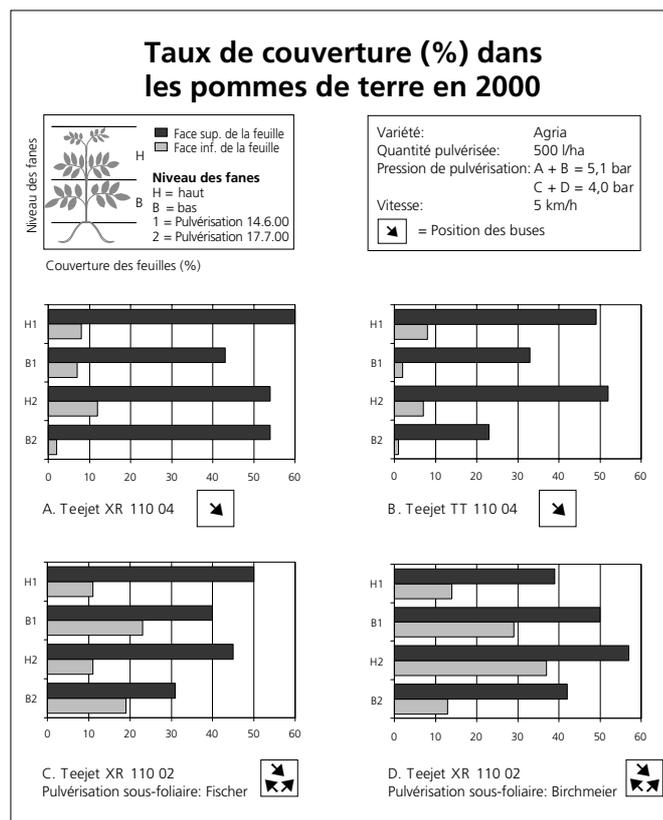
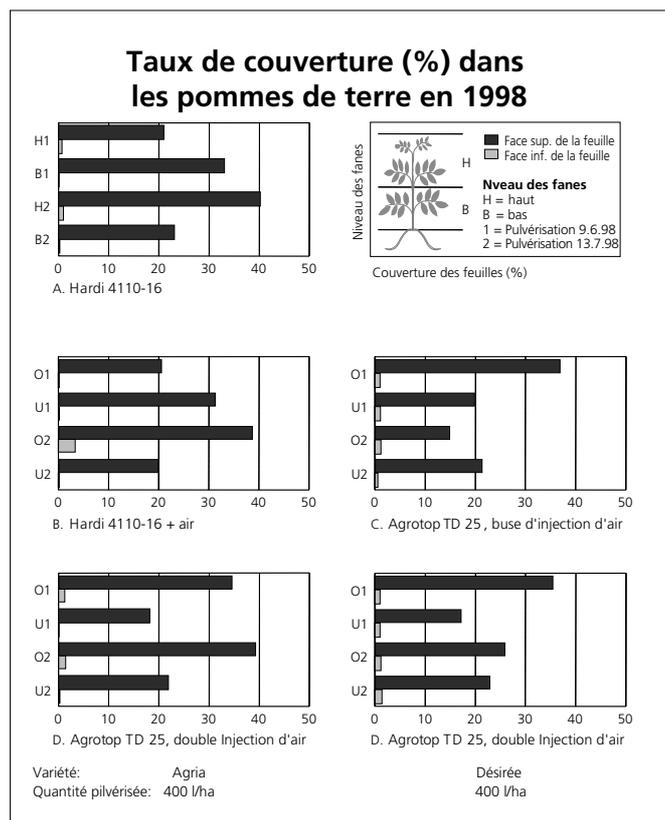


Fig. 5: Taux de couverture des feuilles à deux niveaux des plants, pour deux dates de pulvérisation et deux années différentes.
Hauteur des fanes: 1998 Agria 1 = 50 cm, 2 = 90 cm 2000: 1 = 55 cm
Désirée 1 = 40 cm, 2 = 70 cm 2 = 80 cm



Fig. 6: Les supports de buses, suspendus sur ressorts sont réglables horizontalement et verticalement sur la perche du pulvérisateur (Fischer, prototype 2). A droite: le dispositif de protection de la buse, en forme de cône, s'est avéré satisfaisant, mais doit encore être amélioré.



Fig. 7: Les supports de conduits en plastique relativement souples peuvent être réglés et fixés (Birchmeier, prototype 1). En bas: les buses doubles bien placées nécessitent une protection compacte et des supports plus stables.



injection d'air, notamment les buses doubles, nécessitent plus de place sur la perche du pulvérisateur que les buses ordinaires.

Les **buses universelles** Teejet XR avec un jet plat orienté à 40° vers l'avant ont déposé nettement plus de bouillie que les buses déflectrices TT, et ce en haut et en

bas des fanes, sur les deux faces des feuilles. Les buses déflectrices TT, qui sont des buses anti-dérive, produisent des gouttes relativement grossières qui se déposent plutôt sur la face supérieure des feuilles. Mais, les modèles TT-02, -03 et -04 peuvent tout à fait être utilisés pour les fongicides et contribuent largement à réduire le phénomène de dérive.

Le développement du dispositif Fischer de **pulvérisation sous-foliaire** s'est poursuivi et le système a été utilisé avec trois éléments de Birchmeier (prototype, fig. 6 et 7). Les plants ont ainsi pu être pulvérisés en biais par le haut et par le bas. Les trois premières utilisations n'ont posé pratiquement aucun problème. Après la fermeture des lignes, il s'est toutefois avéré difficile d'orienter les buses doubles à 30 cm au-dessus des sillons du

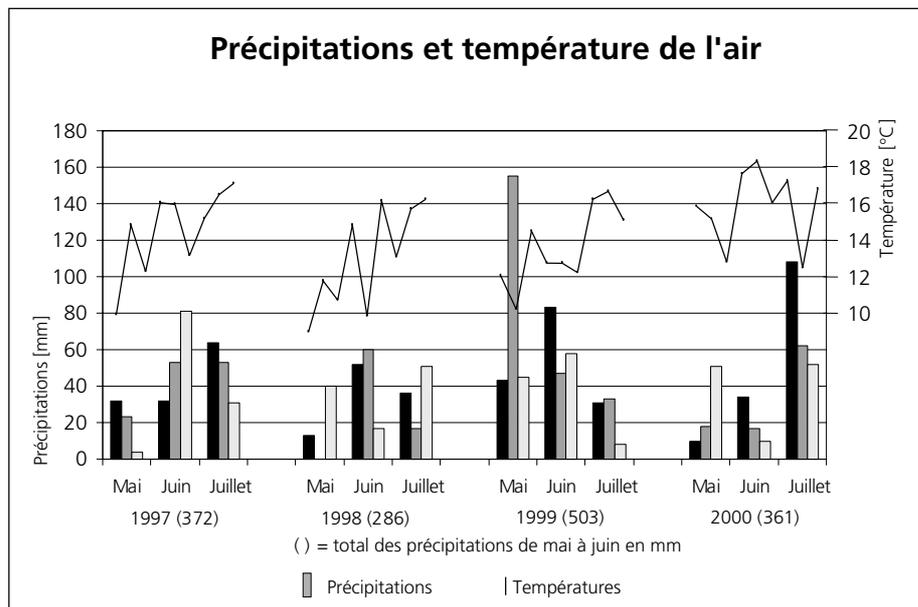


Fig. 8: Précipitations et température de l'air durant les décades des trois mois d'essai des quatre années considérées. Précipitations par décennie = somme des précipitations du 1er au 10, du 11 au 20 mai, etc. Température de l'air par décennie = moyenne des relevés journaliers à 01, 07, 13 et 19 heures du 1er au 10 mai, etc.

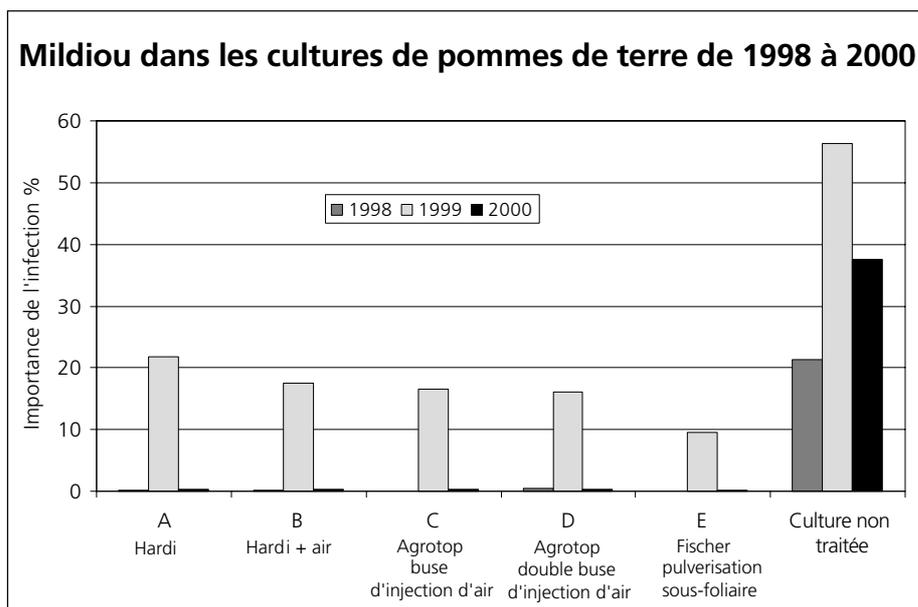


Fig. 9: Infection des feuilles par le *Phytophthora* dans la variété Agria, en trois ans, suivant la variante utilisée pour pulvériser le fongicide. Les variantes de pulvérisation et les quantités de cuivre pour l'an 2000 sont indiquées au tableau 2.

Tab. 2: Infection des feuilles par le Phytophthora dans la variété Agria suivant la variante de pulvérisation des fongicides de 1997 à 2000

Variantes de pulvérisation	Infection des feuilles							
	%	p=0,05*	%	p=0,05*	%	p=0,05*	%	p=0,05*
A. Hardi	1,7	b	0,2	b	21,8	b	0,3	b
B. Hardi + air	4,8	c	0,1	b	17,5	bc	0,3	b
C. Agrotop Injection d'air	æ	æ	æ	æ	16,5	bc	0,3	b
D. Agrotop Double buse Injection d'air	æ	æ	0,04	b	16,1	bc	0,3	b
E. Fischer Système de pulvérisation sous-foliaire	æ	æ	æ	æ	9,6	c	0,1	b
U. Culture non traitée	19,6	a	21,4	a	56,3	a	37,5	a
Estimation: traité / non traité	28.7./5.8. 97		8.7./17.7. 98		16.7./27.7. 99		26.7./26.7. 00	

% d'infection des feuilles de la variété Désirée en 1998 C = 0,02, D= 0,01 et U = 0,03

Variantes de pulvérisation en 2000: **A** = Buses Teejet, XR 04 et **B** = TT 04 (3,2)
C = Système Fischer de pulvérisation sous-foliaire XR 02 (1,9)
D = Système Birchmeier de pulvérisation sous-foliaire XR 02 (1,9)
E = Système Fischer de pulvérisation sous-foliaire XR 02 (3,2)
 () = quantité de cuivre: kg/ha

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

Tab. 3: Rendements de pomme de terre avec / sans pulvérisations de fongicides de 1997 à 2000

Elimination des fanes dans les parcelles «non traitées», avancées de 7 jours (1997), 10 jours (1998), et 11 jours (1999)

Parcelles d'essais	Pommes de terre de consommation (Ø 42-70 mm) dt/ha				Rendement total dt/ha			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
Pulvérisées	471	349	272	402	497	411	350	457
Non traitées	389	237	202	318	418	312	272	389
Baisse de rendement en dt/%*	82/17	112/32	70/26	84/21	79/16	99/24	78/22	68/15

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

fait des fanes placées en travers. Par ailleurs, les supports des buses étant trop légers, les buses ont souvent été relevées par les éléments de protection trop gros, ce qui a amoindri la qualité de pulvérisation (Birchmeier). Le haut des fanes présente le degré de couverture le plus élevé (fig. 5, 02 = 57/37 % contre U2 = 42/13 %). Dans l'ensemble, la technique de pulvérisation sous-foliaire est celle qui a donné les meilleurs résultats en ce qui concerne le dépôt du produit sur la face inférieure des fanes. Les buses orientées à 45° vers l'avant et l'arrière chez Birchmeier ont donné des résultats généralement meilleurs que les buses à angle droit de Fischer.

Efficacité biologique, rendements

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, a été pratiquement épargné par le mildiou jusqu'à début juillet 1997, 1999 et 2000 (fig. 8). 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, le 2.7.1999 et le 3.7.2000. En 1998, en revanche, l'infection fongique s'est déclarée naturellement. Les résultats des estimations sont réunis dans le tableau 2 et la figure 9.

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, dans les essais de la FAT 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» standard.

En l'an 2000, l'infestation s'est avérée relativement importante dans les parcelles-témoins (37,5%) et toutes les variantes de pulvérisation ont été relativement efficaces (0,1 resp. 0,3%). La pulvérisation sous-foliaire «E» a toutefois eu tendance à donner de meilleurs résultats. Il est également intéressant de constater que les pulvérisations sous-foliaires C et

D ont été tout aussi efficaces que la pulvérisation standard, malgré une quantité de cuivre réduite de 40% (tab. 3). La quantité de cuivre limitée à 4 kg/ha n'a été entièrement utilisée qu'en 1997. De 1998 à 2000, les pulvérisations ont même utilisées 20% de cuivre en moins par rapport à la quantité autorisée, ou même 52% en moins dans les cas des pulvérisations sous-foliaires.

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 s'est traduit par une perte de rendement de 17 à 32% pour les pommes de terre de consommation, soit une perte de rendement totale de 15 à 24%.

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

- une quantité de bouillie de 400 à 500 l/ha, adaptée au volume et à la surface de culture,
- des buses correctes à jet plat orienté à 30–45°, des buses universelles et anti-dérive,
- 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, des voies de passage,
- une pression de 4 à 10 bar, adaptée au type et à la taille de la buse employée.
- Les buses à injection d'air et les buses déflexibles 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 dérive.
- La pulvérisation avec assistance pneumatique améliore la pénétration des cultures et le dépôt du produit. Enfin, elle réduit la dérive 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 techniquement performant peut améliorer considérablement le dépôt du produit dans les cultures en lignes, avec une pression modérée et une faible dérive (environ 50% de produit économisé). Il est possible d'envisager d'atteler la perche de pulvérisation à l'avant du tracteur avec les éléments de pulvérisation sous-foliaire et de prévoir son alimentation en bouillie par le pulvérisateur placé à l'arrière. Dans l'optique d'utiliser le dispositif pour d'autres cultures (haricots nains, légumes de plein champ, etc.), ces éléments doivent être pouvoir être réglés et adaptés à des distances entre les lignes de 50 et 75 cm par exemple.

Perspectives

Les essais réalisés jusqu'à présent montrent, que les exigences portant sur la réduction de la dérive dans les cultures, sont largement satisfaites par la technique des buses anti-dérive et par les systèmes d'assistance pneumatique. On peut désormais s'attendre à ce que les futurs

développements techniques permettent d'améliorer le dépôt du produit sur les plantes. Une technique d'application optimale permet en effet d'économiser une quantité considérable de produit.

Bibliographie

Bassin S. und Forrer H.R., 2001. Suche nach Kupferalternativen gegen die Krautfäule der Kartoffel. *Agrarforschung* 3, 124–129.

Irla E., Anken T. et al., 2000. Technique de pulvérisation contre le mildiou dans les cultures de pommes de terre. *Rapport FAT 548*, 1–7.

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.