

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES TECHNIQUES DE MELANGE RETARDE DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES SUR LES PULVERISATEURS AGRICOLES

**B. HUYGHEBAERT, O. MOSTADE, C. DEBOUCHE², M.GALOUX¹
R. CAUSSIN³ & O. OESTGES**

Station de Génie rural - Centre de Recherches Agronomiques, Gembloux

¹ *Station de Phytopharmacie - Centre de Recherches Agronomiques, Gembloux*

² *UER d'Hydraulique et Topographie - Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux*

³ *Comité de Recherches pour l'Amélioration des Techniques de Traitements
Phytoprotecteurs (IRSIA), Gembloux*

Résumé

Le système de pulvérisation à mélange retardé (encore appelé injection directe) s'avère être prometteur. Il intègre largement les notions de rentabilité, de sécurité et de respect de l'environnement. Le principe consiste à introduire le produit phytosanitaire liquide directement dans les conduites du pulvérisateur, au lieu de préparer une bouillie dans la cuve principale. Le dosage se fait à l'aide de micropompes qui permettent d'injecter plusieurs produits simultanément. Le système permet d'éviter une grande partie des inconvénients de la pulvérisation classique, à savoir : difficulté d'homogénéiser un grand volume de bouillie, présence éventuelle de résidus de bouillie en fin de traitement, cuve et volume important de conduites souillées, obligation de réaliser des traitements généralisés. Afin de vérifier les performances du système et de déceler ses points critiques, une étude a été menée sur le système d'injection directe CCI-2000. Bien que cette première approche ait porté sur un système particulier, les problèmes qu'elle soulève peuvent être généralisés. Les caractéristiques physico-chimiques des produits et la pression d'injection peuvent modifier le débit des pompes doseuses. L'emplacement du point d'injection influence directement l'inertie du système (durée séparant la commande de l'injection de l'instant où la concentration nominale est atteinte à la buse de pulvérisation). Le temps de réponse du système de régulation du débit des produits influence les concentrations instantanées. Le temps de contact réduit entre l'eau et le produit semble influencer sa répartition au sein de la goutte et plus particulièrement pour des formulations contenant beaucoup d'adjuvants (par ex. : un concentré émulsionnable).

Bien que plusieurs problèmes restent en suspens, le concept de l'injection directe demeure très intéressant et constitue sans doute une des techniques d'avenir.

Introduction

La sécurité de l'utilisateur et des consommateurs, la sauvegarde de l'environnement et la compression des coûts de production sont les contraintes dictées au milieu agricole par la conjoncture actuelle. Dans le domaine de l'application des produits agrochimiques, le pulvérisateur à pression à jet projeté classique reste le système de pulvérisation le plus répandu. Néanmoins, l'utilisation de ce type d'appareil génère systématiquement plusieurs inconvénients. Ceux-ci augmentent non seulement le coût des traitements mais constituent également un risque pour l'utilisateur et l'environnement.

L'installation d'équipements complémentaires (cuve de rinçage, bac mélangeur, système rince-bidon,...) atténue, voire supprime ponctuellement les effets indésirables, mais n'empêche pas leur apparition. Les constructeurs se sont donc dirigés vers l'élaboration d'un système qui s'attaque directement à la source des problèmes et empêche ainsi leur apparition. Cette technique récente est connue sous les noms de système "à mélange retardé" ou "d'injection directe".

Principe de fonctionnement et avantages

Le principe de l'injection directe consiste à introduire le produit phytosanitaire liquide directement dans les conduites du pulvérisateur (fig. 1). Ce système utilise deux circuits distincts : un circuit d'eau claire alimenté depuis la cuve principale et un circuit de bouillie résultant de l'injection du produit. Son fonctionnement requiert des pompes doseuses qui prélèvent hors du bidon, d'origine ou autre, le produit sous forme liquide. La bouillie est homogénéisée avant d'être distribuée dans les tronçons de la rampe. Le calibrage des pompes doit être précis et leur débit proportionnel à la vitesse d'avancement.

Les systèmes, proposés actuellement sur le marché, sont adaptables à tout type de pulvérisateur pour peu qu'il soit équipé d'une régulation électronique. Bien que leur principe général soit identique, ils se différencient principalement par deux facteurs :

- le type de pompe doseuse : soit actionnée par le passage du liquide vecteur soit totalement autonome;
- le point d'injection dans le circuit hydraulique : situé avant ou après la pompe principale et avant ou après la vanne de régulation.

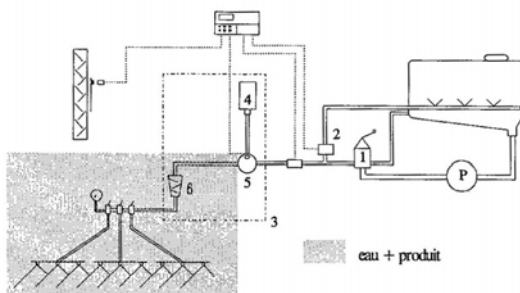


Fig. 1 : schéma du principe de l'injection directe

1. Vanne principale d'ouverture et de fermeture des tronçons de rampe - 2. Vanne motorisée de retour en cuve - 3. Unité intégrable de mélange retardé - 4. Réservoir(s) de produit concentré - 5. Pompes doseuses - 6. Mélangeur.

L'utilisation du système à mélange retardé présente plusieurs avantages :

- suppression des résidus de produit en fin de traitement : la cuve principale ne contient que de l'eau, le bidon d'origine ne contient que du produit;
- possibilités d'effectuer des traitements localisés et de doser 3 à 4 produits simultanément;
- pas de risques de dépôts dans les conduites ou dans la cuve lors d'interruptions prématurées du traitement en cas de panne ou d'intempéries;
- pas de pollution par les eaux de rinçage : pas de surcharge des sols, pas de contamination des nappes phréatiques;
- amélioration de la protection de l'utilisateur : plus de préparation manuelle de la bouillie, prélèvement direct dans les bidons d'origine, nettoyage réduit du pulvérisateur, rinçage des bidons au moyen d'un système intégré.

Description du système d'injection étudié

Le système d'injection étudié et sujet principal de la présente communication est le CCI-2000 développé par Midwest-Technologies (Springfield USA). Il est installé sur un pulvérisateur de la marque Delvano (Harelbeke, Belgique), équipé d'une rampe de 18 m (5 sections) et d'une cuve de 880 litres.

Le point d'injection se situe à l'aspiration de la pompe de pulvérisation (fig. 2). Les pompes doseuses (de une à trois) sont actionnées par des moteurs électriques à vitesse de rotation réglable et aspirent le produit hors de containers d'une capacité de 30 litres. Elles sont de type péristaltique et considérées comme étant volumétriques. A chaque rotation de la pompe correspond normalement un volume éjecté connu et constant quelles que soient les conditions d'utilisation. Le passage de la bouillie par la pompe principale permet son homogénéisation. Les circuits de bouillie et de produit injecté possèdent tous deux leur propre système de régulation (ordinateur, capteur de débit et capteur de vitesse). Il est à noter que le retour issu du système de régulation de bouillie n'est pas dirigé vers la cuve comme dans un pulvérisateur classique, mais vers l'aspiration de la pompe principale. Ce montage empêche la contamination de la cuve principale.

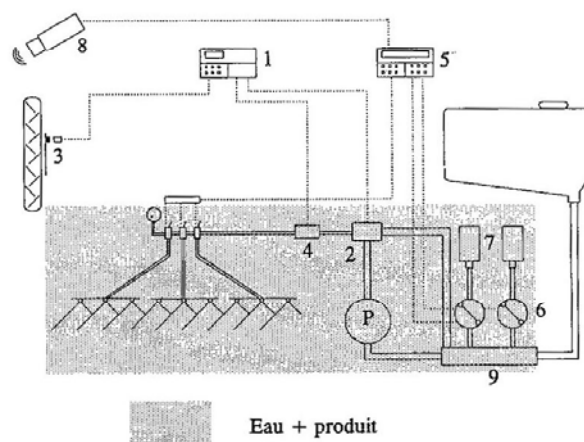


Fig. 2 : Schéma du système d'injection CCI-2000

1. ordinateur du système de régulation de bouillie - 2. vanne motorisée de régulation de bouillie - 3. capteur de vitesse à induction électromagnétique - 4. capteur de débit - 5. ordinateur du système de régulation de l'injection de produit - 6. pompes doseuses - 7. réservoirs de produit concentré - 8. capteur de vitesse radar - 9. collecteur.

Les essais effectués sur le CCI-2000 constituent les préliminaires d'une étude plus approfondie des techniques de mélange retardé. Les points étudiés jusqu'à présent sont :

- étude des pompes d'injection;
- étude de l'inertie du produit à arriver à la buse;
- étude des régulations du débit d'injection de produit et de bouillie pulvérisée;
- étude du spectre des gouttes formées et de la répartition du produit au sein de la goutte.

Etude des pompes d'injection

Les pompes doseuses des produits liquides sont de type péristaltique. Ces pompes sont quasi-volumétriques, néanmoins, en pratique, on les considère comme étant volumétriques. Grâce à une constante de calibration, la console de contrôle du circuit d'injection transforme le régime de rotation de la pompe (renseigné par un capteur à induction électromagnétique, fixé sur l'axe de rotation de la pompe) en débit. Cette constante, fixée par une procédure de calibration itérative, correspond au débit refoulé par la pompe pour une rotation de l'arbre moteur.

Deux paramètres peuvent influencer le fonctionnement des pompes doseuses : les caractéristiques physico-chimiques du produit injecté (densité et viscosité) et la pression de refoulement.

Etude de l'influence des caractéristiques physico-chimiques du produit sur le débit des pompes doseuses : l'étalonnage d'une pompe doseuse a été effectué avec deux produits représentatifs et de l'eau : un herbicide sélectif (concentré émulsionnable de phenmédipham : produit A) et un fongicide (suspension concentrée de mancozèbe : produit B). Les caractéristiques physico-chimiques des produits peuvent se résumer comme suit :

- densité : produit A < eau < produit B;
- viscosité : eau < produit A < produit B.

L'entièreté de la plage de débit de la pompe a été explorée. Les grandeurs mesurées sont le régime de rotation de la pompe doseuse et le débit de refoulement.

Etude de l'influence de la pression d'injection sur le débit des pompes doseuses : dans le montage étudié, le point d'injection se situe au niveau d'un collecteur. Celui-ci se trouve à la confluence de divers flux de liquide de nature et de pression différentes (fig 3), à savoir de l'eau claire provenant de la cuve principale (Q1), de la bouillie provenant du retour (Q2) et du (des) produit(s) injecté(s) (Q3). Sachant que le débit de ces flux varie continuellement au cours de la pulvérisation, il est difficile de connaître la pression régnant dans le collecteur. L'étude a consisté en une simulation de différentes conditions d'injection par une variation du débit des différents flux.

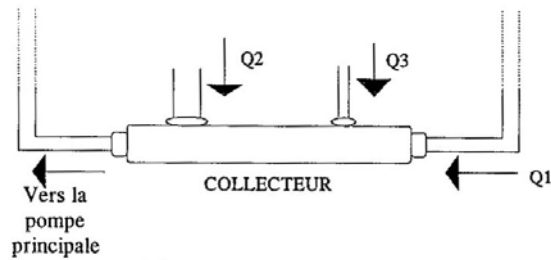


Fig. 3 : Schéma du collecteur

Grâce à une série de capteurs de pression et de débit, diverses grandeurs ont été mesurées : Q_1 , Q_2 , la pression de pulvérisation et la pression au niveau du collecteur. La mesure de Q_3 n'a pas été réalisée, étant donné que son influence sur les conditions d'injection est insignifiante.

Analyse des résultats et discussions : l'étalonnage de la pompe d'injection a été réalisé pour dix situations et conditions de pulvérisations différentes : 3 produits (eau, herbicide et fongicide) et 7 conditions de pulvérisation différentes (7 volumes/hectare de bouillie, croissant de 100 à 380 l/ha).

Une régression linéaire du débit d'injection réel (l/min) en fonction du régime de rotation de la pompe (tr/min) a été réalisée pour chacune des situations. Les divers coefficients de régression ont subi un test d'égalité. L'analyse de la variance qui en découle nous mène aux conclusions suivantes :

- les pompes doseuses débitent systématiquement plus que la consigne donnée. Ce phénomène serait dû au caractère quasi-volumétrique des pompes péristaltiques. La constante de calibration ne serait valide que pour une plage de débit limitée qui correspond à son étalonnage;
- selon le produit injecté la courbe d'étalonnage de la pompe varie;
- quel que soit le volume/hectare de la bouillie et/ou la pression de travail, la pression au point d'injection reste sensiblement égale à la pression atmosphérique. De ce fait, elle n'influence en rien le débit des micro-pompes;
- pour un produit donné, le débit de la pompe d'injection restera statistiquement invariable quelles que soient les conditions de pulvérisation, à savoir la vitesse de pulvérisation, le volume/hectare de bouillie, la largeur de travail et le calibre de buse utilisé.

Etude de l'inertie du produit à arriver à la buse

Le temps d'inertie est défini comme étant la durée séparant la commande de l'injection de l'instant où la concentration nominale est atteinte au niveau de la buse de pulvérisation. Ce temps est logiquement fonction de la distance que doit parcourir le produit (distance entre le point d'injection et la buse de pulvérisation) et de la vitesse du liquide dans les conduites. Le temps d'inertie a été mesuré pour différentes conditions de travail.

Un traceur chimique (fluorescéine) a été injecté pour les deux conditions décrites au tableau 1.

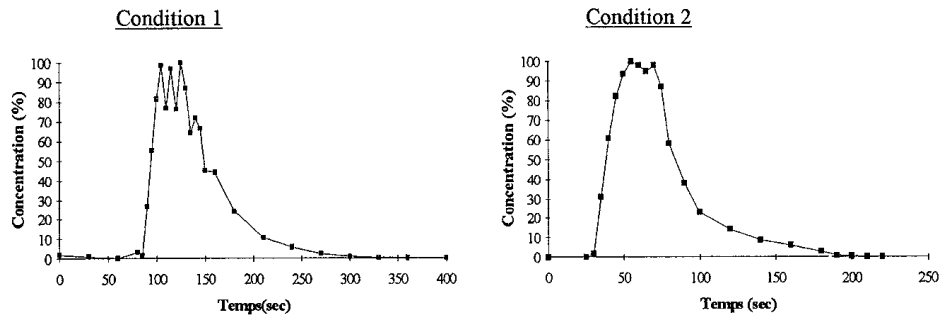
Tableau 1 : Paramètres des conditions de pulvérisation.

	calibre de buse (Albuz : APG 110)	volume de bouillie pulvérisée (l/ha)	vitesse de pulvérisation (km/h)	pression de pulvérisation (bars)
condition 1	Jaune	100	6,5	2,4
condition 2	vert	300	6,5	2,7

Après la commande de l'injection, une prise d'échantillons de bouillie pulvérisée a été effectuée à intervalles de temps réguliers. L'échantillonnage a été réalisé à l'extrémité de la rampe. Une analyse spectrophotométrique des échantillons a permis d'illustrer l'évolution de la concentration au cours du temps (graphique 1 et 2).

L'analyse des graphiques montre que le temps d'inertie est relativement important (minimum 60 sec) quelles que soient les situations. La concentration augmente graduellement avant d'atteindre sa valeur nominale (100 %). De même, elle diminue lentement une fois l'injection de produit interrompue. Ainsi la concentration de la bouillie pulvérisée varie graduellement avant d'atteindre sa valeur nominale, à savoir 100 % ou 0 % de la concentration la plus élevée suivant que l'on se situe en début d'injection ou en phase de rinçage. Ces phénomènes correspondent à des régimes non établis au cours desquels un volume important de liquide (volume contenu dans les conduites de refoulement de la pompe principale et du retour de la vanne de régulation) se porte petit à petit à la concentration nominale.

Les traitements localisés avec ce type de matériels sont impossibles, étant donné que les parcelles traitées seront décalées par rapport aux zones infestées.



Graphique 1 et 2 : Evolution de la concentration au cours du temps.

Etude des régulations de débit d'injection et de débit de bouillie pulvérisée

Les volumes de produit injecté et de bouillie pulvérisée sont dosés par deux régulations distinctes. Elles sont toutes deux asservies à la vitesse d'avancement (débit proportionnel à l'avancement électronique D.P.A.c), mais par l'intermédiaire de deux capteurs différents (un capteur à induction électromagnétique et un capteur radar). Si les régulations ont des temps de réponse différents, des zones de sur- et sous-concentration apparaîtront.

Une série de capteurs de débit et de vitesse reliés à un système d'acquisition, nous ont permis de mesurer instantanément les grandeurs suivantes : vitesse réelle d'avancement, débit de produit injecté et débit de bouillie pulvérisée.

Ces mesures ont été réalisées pour diverses conditions de travail obtenues par la variation des paramètres de vitesse, de largeur de travail, de volume/hectare de bouillie et de produit. Les graphiques 3 et 4 représentent l'évolution de la vitesse et des écarts de concentration (par rapport à la consigne) en fonction du temps, pour deux situations extrêmes (tableau 2)

Tableau 2 : Paramètres des deux situations de pulvérisation.

	volume de bouillie pulvérisée (l/ha)	volume de produit injecté (l/ha)	vitesse d'avancement (km/h)
situation 1	150	1,5	7 (constant)
situation 2	250	2,5	9 (variable)

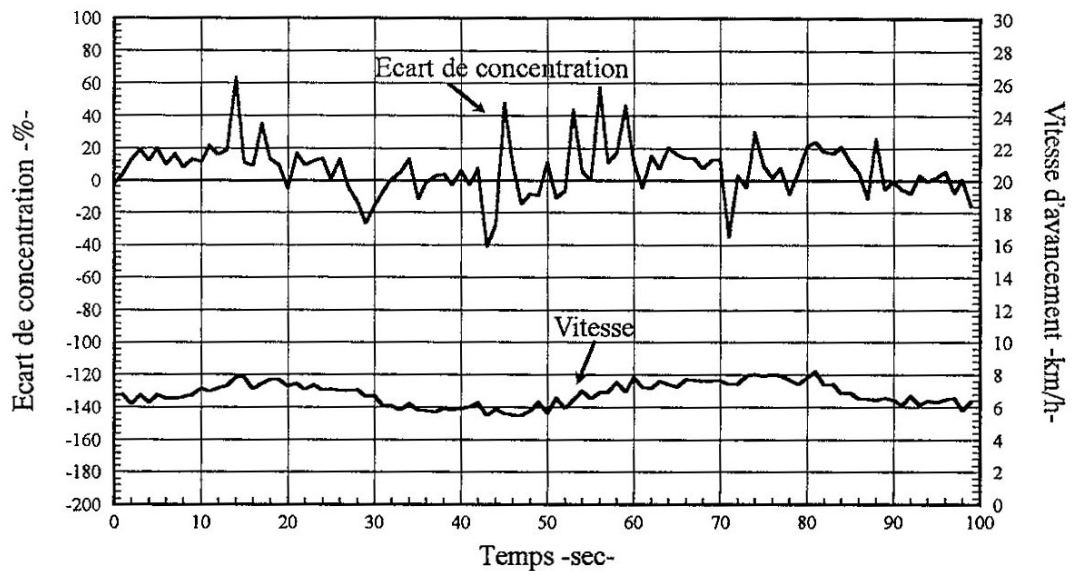
L'analyse des graphiques permet de déterminer trois sources de variation de la concentration.

D'abord la concentration de la bouillie est en moyenne supérieure à la consigne. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la micro-pompe dose systématiquement de trop.

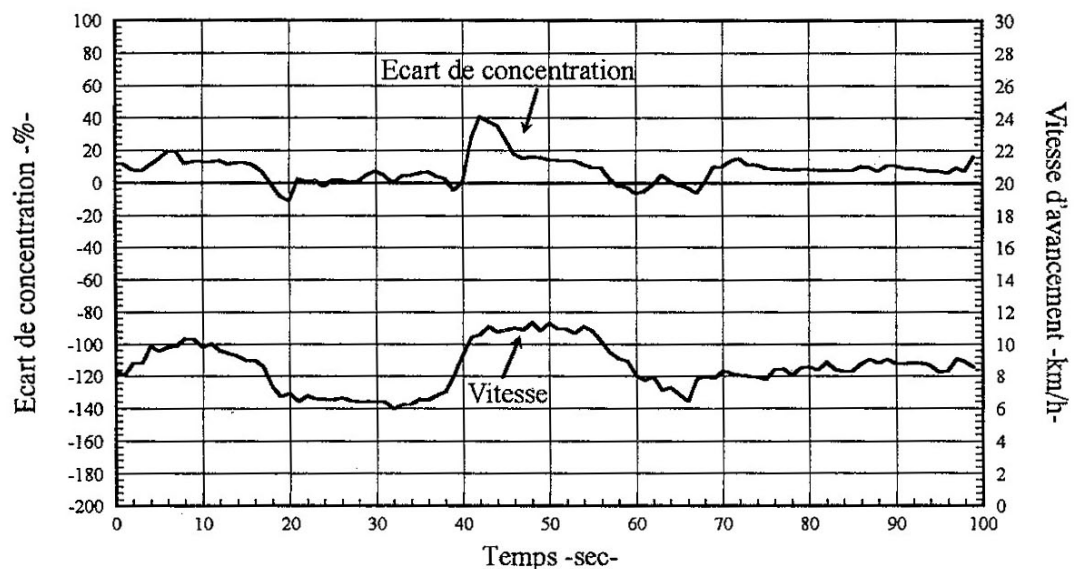
Ensuite la concentration fluctue autour de sa moyenne, engendrant ainsi des écarts de concentration positifs et négatifs. Ce phénomène est d'autant plus marqué que les volumes de bouillie et de produit par unité de surface ainsi que la vitesse d'avancement sont petits (situation 1). Dans ces conditions, le régime de rotation de la pompe doseuse est lent et le caractère pulsatoire de son débit s'accroît. Ce phénomène s'estompera lorsque le régime de la pompe doseuse augmentera (situation 2).

Enfin, la concentration fluctue lentement en suivant les variations de vitesse. Ces écarts seraient dus aux temps de réaction différents qu'ont les deux régulations par rapport à la vitesse d'avancement. La régulation du débit d'injection a un temps de réponse plus rapide que la régulation de bouillie.

Il faut remarquer que la concentration observée est celle présente au niveau du collecteur. L'incidence qu'ont les variations de cette concentration sur la bouillie pulvérisée à la rampe, est difficile à déterminer. En effet, l'apport d'eau claire et de produit constituent souvent un volume faible comparé au retour de bouillie provenant de la vanne de régulation. De plus, le passage forcé par la pompe principale a pour effet d'homogénéiser le mélange produit-eau-bouillie.



Graphique 3 : Evolution de la vitesse et des écarts de concentration en fonction du temps, situation 1.



Graphique 4 : Evolution de la vitesse et des écarts de concentration en fonction du temps, situation 2.

Etude du spectre des gouttes formé et de la répartition du produit au sein de la goutte

Les paramètres du jet (distribution de la taille et du nombre des gouttes) et la répartition du produit au sein de la goutte sont notamment fonction des caractéristiques physico-chimiques de la bouillie. Celle-ci est l'amalgame d'un véhiculant (eau), de matières actives et d'adjuvants (tensio-actifs, mouillants,...). Ces derniers ont besoin d'un certain temps de contact avec le véhiculant pour s'exprimer parfaitement. L'utilisation du système d'injection directe réduit fortement ce temps de contact. Les caractéristiques du jet formé pourrait dès lors être différentes suivant le système de pulvérisation employé.

L'étude consiste en une série de pulvérisation sur plaquettes de verre et papier hydrosensible. Les caractéristiques de chaque pulvérisation correspondent à une combinaison des 3 critères suivants : système de pulvérisation (injection directe ou classique), produit (eau, produit A ou produit B) et la pression (2 - 3,5 - 5 bars).

Une analyse de la variance à trois critères de classification (système, produit et pression) a été effectuée pour les paramètres suivants : le taux de recouvrement (%), le diamètre de contact moyen, le diamètre de contact médian et le DMS de contact (diamètre divisant la population de gouttes en deux groupes d'égale surface de recouvrement).

Il ressort de cette étude que les caractéristiques physiques du jet (taille des gouttes, taux de recouvrement...), sont indépendantes du système de pulvérisation. Celles-ci sont plutôt régies par d'autres paramètres tels que la pression ou le calibre des buses.

Une analyse systématique des dépôts de produit formés sur les plaquettes de verre a montré que pour certaines conditions, ils variaient suivant le système de pulvérisation. Le dépôt caractéristique du produit A, en pulvérisation à mélange retardé, est constitué de gros cristaux situés en périphérie de la goutte et de plus fins mais peu nombreux au sein de celle-ci. Par contre en pulvérisation classique, les cristaux sont plus nombreux, plus fins et mieux répartis au sein de la goutte. Ce phénomène est d'autant plus critique que le produit A est une émulsion concentrée (EC) de phenmédiapham qui a la propriété de cristalliser et que celle-ci conditionne l'efficacité biologique. Le phenmédiapham en émulsion crée des liaisons chimiques avec son véhiculant. Comme toute réaction chimique, ces liaisons ont besoin d'un certain temps pour bien s'établir.

Les dépôts du produit B restent identiques quel que soit le système de pulvérisation utilisé. Le produit B est une suspension concentrée (SC) de mancozèbe. Sa répartition dans la bouillie et à fortiori dans la goutte est simplement dépendante d'un bon mélange mécanique.

Conclusions

Au vue des avantages qu'il présente, le principe de l'injection directe en pulvérisation à pression à jet projeté est très séduisant et prometteur. Néanmoins, il reste encore bon nombre de problèmes à résoudre. Bien que l'étude présentée dans cette communication ait porté sur un système particulier, elle met en évidence les carences et les limites du système à mélange retardé.

Les caractéristiques physico-chimiques des produits et la pression d'injection peuvent modifier le débit des pompes doseuses. Il faudra donc veiller à utiliser des pompes parfaitement volumétriques.

L'emplacement du point d'injection est critique car il influence directement l'inertie du système (temps que met le produit pour arriver à la buse, après la commande d'injection).

L'appareillage électronique de régulation des pompes doit être fiable et précis. S'ils sont indépendants, il faut qu'ils réagissent simultanément, afin de réduire au maximum les variations de concentration.

Le temps de contact réduit entre l'eau et le produit semble influencer sa répartition au sein de la goutte. Ce phénomène se présenterait plus particulièrement pour des formulations contenant beaucoup d'adjuvants ou en équilibre délicat dans la bouillie (par exemple un concentré émulsionnable). Ils serait souhaitable de réaliser des essais en champ avec divers types de produits afin de déterminer l'impact réel de ce phénomène sur leur efficacité biologique.

Summary

The direct injection system shows much promise : it broadly integrates notions like rentability, security and environment protection. The basic concept of this injection system consists of introducing directly the chemical products into the water stream in the sprayer pipes. One to four pumps determine the quantity of the different pesticides to be injected. This system allows to avoid a great part of conventional sprayers drawbacks, such as : a rather difficult homogenization of great volumes of solutions, presence of residues in the main sprayer tank, important contaminated volumes of pipes, the obligation to process generalized treatments. In order to confirm the performances of this system and to detect its possible problems, a study on the chemical injection system CCI-2000 (Mid-West technology) is carried out. Although the trials concern a determined system, conclusions and remarks can be generalized. The injection pumps flow depends on the physico-chemical characteristics of the chemical products and on the pressure at the injection point. The localization of the injection point directly influences the inertia of the system. The response time of the chemicals flow rate regulation system conditions the instantaneous concentration. A reduced period of mix between water and chemical products acts upon their repartition into the drop; this problem specially occurs with same emulsifiable concentrates (E.C.). Finally, there is presently no response to several problems, but the concept remains attractive and constitutes a technology for the future.

Bibliographie

- BARTHELEMY, P., BOISGONTIER, D., JOUY, L., LAJOUX, P., *Choisir les outils de pulvérisation*, Paris, I.T.C.F., 1990.
- CENTRE NATIONAL D'ETUDES ET D'EXPERIMENTATION DE MACHINISME AGRICOLE, *Etudes du CNEEMA, notes expérimentales sur le contrôle de la finesse de pulvérisation des buses à pression de liquide*, Antony, 1976.
- DAGNELIE, P., *Théorie et méthodes statistiques* - vol. 1., Les presses agronomiques de Gembloux, 378 p, 1973.
- DAGNELIE, P., *Théorie et méthodes statistiques* - vol. 2., Les presses agronomiques de Gembloux, 462 p, 1975.

- DEBOUCHE, Ch., *Hydraulique et machines hydraulique - 1ère partie*. Notes de cours, Faculté des Sciences Agronomiques de la Communauté Française de Belgique, Gembloux, 203 p, 1988.
- ENDRESS & HAUSER, *Picomag DMI 6530 Flow Measurement Operating Installation Manual Endress & Hauser*, Measurement and Automation, 20 p, 1987.
- EVARD, *Le pulvérisateur*, Service Agronomique, Ets Evard, Beaurainville, 215 p, 1984.
- GALOUX, M., de RYCKEL, B., BERNES, A., VAN DAMME, J.-C., *Le phénomène de cristallisation du phenmédiopham en émulsion*, Station de Phytopharmacie de l'Etat, Gembloux, Parasitica, 1986, XXXXII, 3, pp. 71-91.
- GALOUX, M., *Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et l'efficacité biologique de différents concentrés émulsionnables à base de phenmédiopham*, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 160 p, 27 tabl, 13 fig, 1992.
- MOSTADE, O., *Mise au point d'un protocole et d'un dispositif de contrôle des pulvérisateurs en champ*, Mémoire inédit, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat à Gembloux, 1989.
- MOSTADE, O., OESTGES, O., *Choix, réglage et entretien du pulvérisateur*, Station de Génie rural, Centre de Recherches Agronomiques, Gembloux, 56 p, 1991.
- OESTGES, O., *L'électronique dans ses applications aux matériels agricoles*, Station de Génie rural, Centre de Recherches Agronomiques, Gembloux, 48 p, 1990.
- PEISL, S., ESTLER, M., *Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. Ein Systemvergleich*, Landtechnik, 1992, XXXXVII, 3, pp. 116-117.
- TOMPKINS, F.D., HOWARD, K.D., MOTE, C.R., FREELAND, R.S., *Boom Flow Characteristics with Direct Chemical Injection*, American Society of Agricultural Engineers, 1990, XXXIII, 3, pp. 737-743.