

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'USURE
DES BUSES DE PULVERISATION**

G. PIRARD, P. LEUNDA, C. DEBOUCHE & R. CAUSSIN^o

Unité d'Hydraulique et Topographie
Faculté des Sciences Agronomiques
^o Comité de Recherches pour l'Amélioration des
Techniques de Traitements Phytosanitaires (IRSIA)
Gembloux, Belgique

Résumé

La réduction des volumes épanchés à l'hectare requiert une plus grande maîtrise des paramètres de la pulvérisation. De ce point de vue, le comportement des buses de pulvérisation vis-à-vis de l'usure est un facteur décisif de précision. En effet, par suite de la modification des caractéristiques géométriques des orifices terminaux, l'usure des buses de pulvérisation a une action directe sur le débit et des effets négatifs sur la répartition spatiale du liquide.

Des buses à fente de divers matériaux, calibres et angles de jet ont été soumises à l'action abrasive de deux bouillies différentes. Les propriétés abrasives de l'une sont exagérées par rapport aux bouillies couramment utilisées; celles de la seconde sont par contre plus habituelles. Les résultats des tests effectués diffèrent selon que la bouillie est très abrasive (tests accélérés) ou non.

Les mesures de débit et de répartition transversale réalisées dans des conditions courantes d'utilisation ont permis de déterminer l'influence du calibre et de l'angle de jet et d'apprécier le comportement des différents matériaux. Ainsi les propriétés des buses en céramique présentent dans le temps une constance remarquable; les buses en plastique voient leur débit diminuer dans un premier temps, et ensuite augmenter lentement; l'acier, et plus encore le laiton, s'usent plus rapidement mais de manière très régulière. Une relation du type linéaire liant l'usure au temps a été établie pour chaque type de buse : elle permet d'évaluer de manière satisfaisante, abstraction faite des premiers moments d'usure, la rapidité avec laquelle le débit des buses augmente. L'étude des répartitions transversales a montré que l'usure des buses provoque des modifications importantes de ces répartitions, caractérisées par l'écart-type des volumes recueillis; une relation linéaire lie ce paramètre au calibre et au temps d'usure.

Fan spray nozzles of various compositions, calibers and jet angles were submitted to the abrasive action of two different mixtures. The abrasive properties of one were exaggerated compared to normal mixtures; those of the second were more usual. The measures done in usual spraying conditions have enabled us to compare the behaviour of different materials and to determine the influence of caliber and jet angle on the flow and the transversal spray pattern. A linear relation linking wear and time has been established for each type of nozzle : it enables us to estimate in a satisfactory manner the speed with which the nozzle's flow increases, abstraction made of the first moments of wear. The study of the transversal spray pattern has shown that the wear of nozzles provokes important modifications of these patterns, characterised by the standard deviation of the gathered volumes; a linear relation links this parameter with caliber and time of wear.

1 Introduction

La buse est l'organe de pulvérisation où se produit l'accélération de la veine liquide et sa fragmentation en particules d'énergie cinétique suffisante pour atteindre la cible.

Malgré son faible coût, son importance dans le processus de pulvérisation est déterminante. En effet, l'efficacité optimum du traitement ne peut être obtenue que si les buses de pulvérisation placées sur la rampe réunissent certaines conditions : leur débit doit être identique; leurs caractéristiques de distribution doivent être adaptées au type de traitement et à la structure du végétal; leur résistance à l'usure doit être suffisante pour assurer la stabilité des performances dans le temps.

L'usure des buses de pulvérisation, par suite de la modification des caractéristiques géométriques des orifices terminaux, a une action directe sur le débit et des effets négatifs sur la répartition spatiale du liquide. Ces conséquences de l'usure seront étudiées avec l'ambition de trouver des paramètres pour caractériser l'état des buses et leur comportement dans le temps, en fonction de différents facteurs : matériau de fabrication, angle du jet, calibre des buses et type de bouillie.

2 Protocole expérimental

2.1 Les dispositifs expérimentaux

Le dispositif destiné à provoquer l'usure consiste en un pulvérisateur d'une capacité de 120 litres dont la pompe alimente, en circuit fermé, la rampe qui porte les buses à tester:

Cette rampe (fig. 1 ci-dessous) présente une double symétrie par rapport au conduit d'alimentation, qui est aussi perpendiculaire au plan contenant les têtes de jet. Les buses peuvent donc occuper les quatre positions différentes 1, 2, 3 et 4. Afin de s'assurer que ces quatre positions sont sans effet sur l'écoulement, et donc sur l'usure, un test d'usure a été réalisé sur 16 buses en laiton identiques. Les résultats ont été interprétés par l'analyse de la variance, qui indique que toutes les positions sont équivalentes du point de vue de l'écoulement.



Figure 1 Positions des buses sur la rampe d'usure

Les mesures de la répartition transversale seront effectuées sur un répartiteur normalisé. Ce répartiteur est un plan incliné limité en aval par une rangée de 53 éprouvettes formant l'axe des abscisses. L'éprouvette centrale portera l'abscisse 0. Le plan est divisé perpendiculairement à cet axe en 53 gouttières de 5 cm de largeur, les éprouvettes recueillant les volumes qui s'écoulent le long des gouttières.

2.2 Le choix du matériel

Les buses à fente : Réputées tant pour leurs propriétés de répartition que pour la composition de leur spectre des gouttes, les buses à fente sont actuellement les plus utilisées dans le domaine de la pulvérisation agricole. Seront testées des buses constituées de quatre matériaux différents (acier inoxydable, laiton, plastique et alumine frittée), de trois calibres parmi les plus utilisés, et ceci pour deux angles de jet (80 et 110°).

Les bouillies : On utilisera des suspensions à 2% de corindon pour réaliser les tests d'usure accélérés et des suspensions à 2% d'oxychlorure de cuivre, dont le caractère abrasif est moins marqué, pour juger de la validité des tests accélérés. L'oxychlorure de cuivre est un fongicide régulièrement employé en agriculture.

Vu que les buses sont usées avec une bouillie recyclée, celle-ci doit être remplacée avant qu'elle ne perde de son pouvoir abrasif. La pression est maintenue constante à 2,5 bars pendant l'usure.

2.3 Mesures et traitement des données

Les débits sont mesurés par empottement et au moyen d'un débit-mètre électronique à la pression de 2,5 bars. Au cours de l'usure, ils sont exprimés en termes de variation de débit par rapport au débit initial (en pour-cent). Les répartitions transversales effectuées à la même pression sont mesurées au répartiteur. L'écart-type des volumes recueillis permettra de caractériser la répartition et son évolution en cours d'usure.

2.4 Simulation des répartitions sous rampe

Lorsque des buses à fente sont associées sur une rampe, il se produit un recouvrement des répartitions transversales des jets voisins qui conduit à une amélioration de la répartition résultante. Son homogénéité dépend des répartitions individuelles et de l'écartement des buses. Le plus souvent, chaque répartition individuelle est différente, du fait de l'usure des buses et de leurs différentes provenances. A l'inverse, la simulation de la répartition sous rampe présuppose que toutes les buses possèdent une répartition identique. Dans ce cas, on voit apparaître une périodicité dans les séquences de recouvrement. La simulation se fait en sommant, pour l'abscisse correspondant à chaque éprouvette, les volumes des différentes répartitions voisines qui influencent cette éprouvette. Les résultats doivent montrer la répétition périodique d'une même séquence, ce qui permet de limiter la simulation à un petit nombre de buses (4 en l'occurrence).

Afin de caractériser l'homogénéité de cette répartition sous rampe, on calcule le coefficient de variation des volumes recueillis dans les éprouvettes entre les deux buses centrales.

D'autre part, afin de faciliter la comparaison des courbes de répartition, les volumes seront exprimés par rapport à leur moyenne, en pour-cent.

3 Essais en usure accélérée

3.1 Essai préliminaire

1°) Introduction

Cet essai est destiné à étudier la manière dont se comportent les différents matériaux de façon à mieux planifier les essais ultérieurs. Il est réalisé avec des buses de calibre moyen (débit de l'ordre de 1 l/min. à 2,5 bars), d'angle de jet 110° et appartenant à quatre marques différentes. Des buses en laiton sont introduites à titre comparatif.

2°) Etude des débits

Les variations de débit mesurées lors de l'essai sont représentées à la figure 2 ci-dessous. Leur examen montre l'augmentation générale du débit et le comportement significativement différent des divers matériaux utilisés. Cette dernière observation est d'ailleurs largement confirmée par l'analyse de la variance de ces variations de débit. Il faut déjà noter le comportement très stable des buses en alumine frittée.

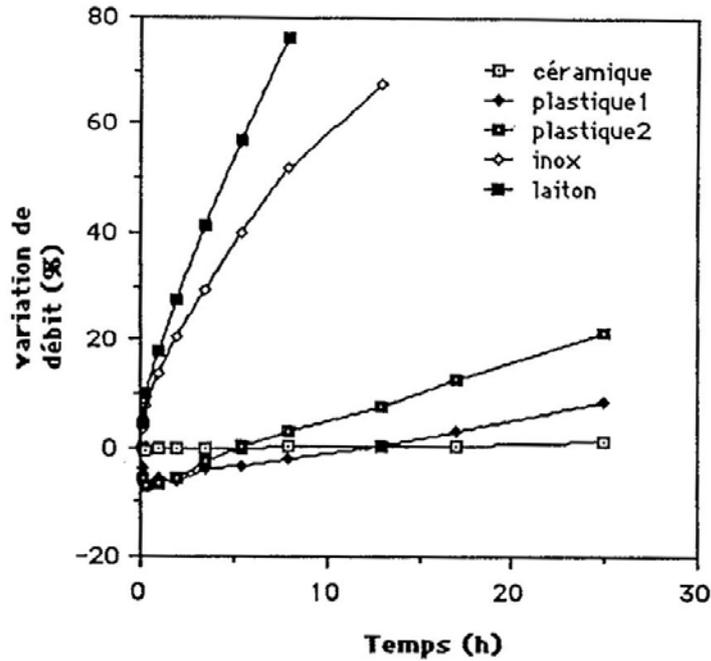


Figure 2 Evolution de la variation moyenne de débit en usure accélérée à 2,5 bars de pression

Nous avons dit que l'augmentation du débit est due à la modification des dimensions des orifices des buses à cause de l'abrasion par les particules en suspension. Ceci est confirmé par la mesure des axes de l'orifice elliptique au moyen d'un microscope à plateau micrométrique.

Cet examen a aussi permis d'expliquer la diminution du débit des buses en plastique lors des premiers moments d'usure : durant les 20 premières minutes, une couronne de bavures apparaît autour de l'orifice et en diminue la section et donc le débit.

L'observation des courbes d'usure de la figure 2 permet de constater que, mis à part la partie des courbes correspondant au début de l'usure, la relation entre la variation de débit et le temps est presque linéaire. Il semble d'ailleurs que pendant les 20 premières minutes d'usure, d'autres facteurs que la nature du matériau influencent la variation de débit.

En ne tenant compte que des observations réalisées après au moins 20 minutes d'usure, la relation entre l'augmentation de débit et le temps a été formulée par une équation de régression. Pour les buses en plastique de la marque 1, cette relation s'exprime par :

$$dQ = -6.364 + 0.592 T, \quad \text{avec } R^2 = 0.992,$$

où dQ est la variation de débit en %, T est le temps d'usure en heures, R^2 est le coefficient de détermination.

Les tests des coefficients concluent à un haut degré de signification des deux coefficients.

Dans cette équation, calculée pour chaque type de matériau, le coefficient de régression exprime en fait la rapidité avec laquelle le débit augmente. Nous l'appellerons taux d'usure (en %/h.).

Si, pour comparer les divers matériaux, on donne aux buses en alumine frittée un taux d'usure de 1, ceux des buses en plastique des deux marques, en acier inox et en laiton valent respectivement 10.7, 21.0, 77.1 et 132.2! Ces différences feront l'objet d'un commentaire ultérieur.

3°) Etude des répartitions

Mis à part les buses en alumine frittée, qui se comportent de manière extrêmement stable au cours de l'usure, on constate généralement une dégradation des répartitions qui s'explique différemment selon la nature du matériau : pour

les buses métalliques, la forme originelle elliptique de l'orifice tend à devenir un cercle (voir figure 3 ci-dessous), et cela se traduit par une augmentation du volume dispersé dans la partie centrale de la répartition; sur certaines buses en plastique, on constate la formation de profondes échancrures sur l'orifice, ainsi qu'une usure très irrégulière des bords. Cela provoque des accidents dans la répartition, comme le montre la figure 4.

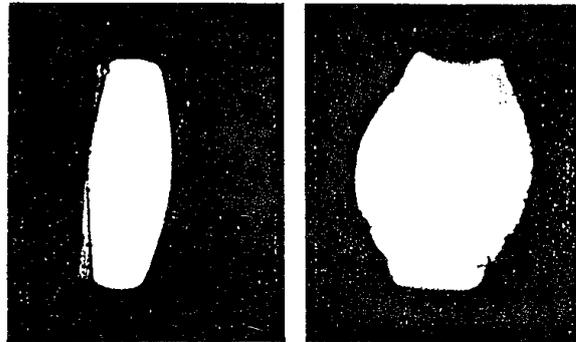


Figure 3 Photographies de l'orifice d'une buse en acier avant et après usure

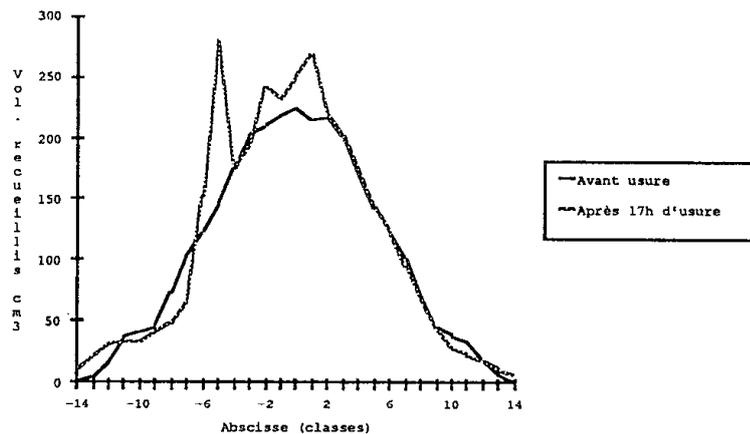


Figure 4 Répartitions avant et après usure, buse en plastique

3.2 Essai systématique

1°) Introduction

Cet essai est destiné à étudier la manière dont s'usent les buses en fonction de trois facteurs :

- le matériau (alumine frittée, plastiques, acier inox, laiton),
- l'angle de jet (80 et 110°),
- le calibre (débits faible : 0.6 l/min, moyen : 1 l/min, fort : 2 l/min).

2°) Etude des débits

Etant dans l'impossibilité de présenter ici tous les résultats, voici à titre d'exemple ceux relatifs aux buses métalliques, repris à la figure 5 ci-dessous, ainsi que l'analyse de la variance des résultats (tableau 1).

Dans ce dernier tableau, D.l. signifie le nombre de degrés de liberté des variables F, S.C.E. signifie la somme des carrés des écarts, et p est la probabilité d'observer une telle valeur de F si le facteur considéré n'a pas d'influence.

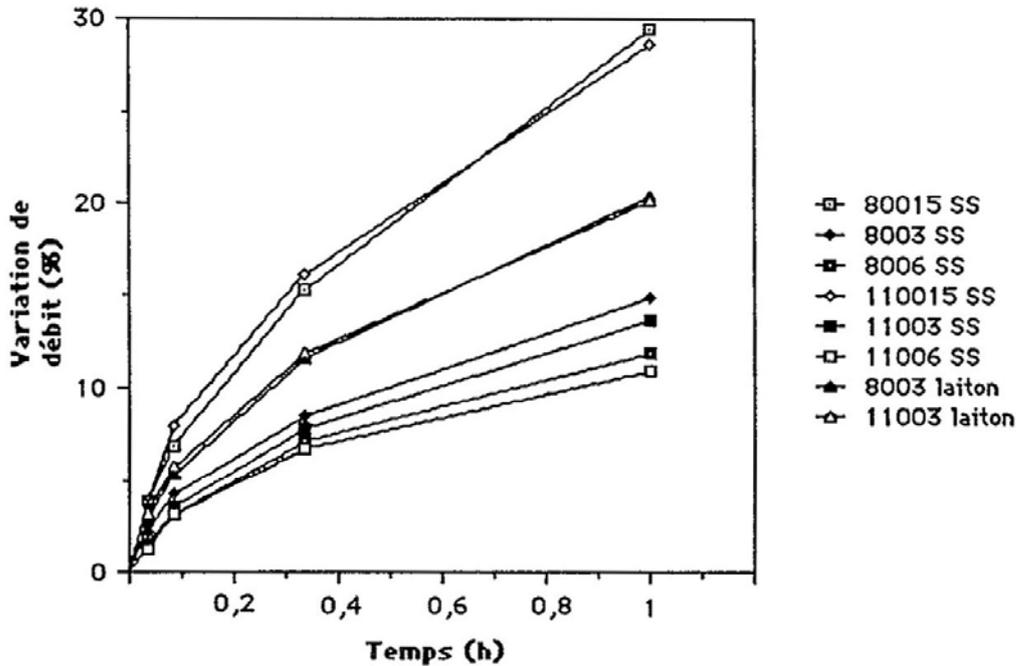


Figure 5 Usure des buses en inox (SS) et en laiton de deux angles de jet

Tableau 1 Analyse de la variance pour les buses en acier inox

Sources de variation	D.l.	S.C.E.	F obs	p
temps	4	4961	1988***	0,0000
angle	1	1,014	1,63	0,2057
calibre	2	1011	810***	0,0000
temps-angle	4	5,91	2,37	0,0588
temps-calibre	8	880	176***	0,0000
angle-calibre	2	2,9	2,33	0,1038
temps-angle-calibre	7	1,9	0,44	0,8740

Il est difficile de tirer des conclusions quant aux buses en alumine frittée, vu leur résistance à l'usure et la précision de la mesure du débit (1 %).

Un examen rapide des autres résultats permet de faire les mêmes observations que précédemment : augmentation du débit des buses à l'exception de celles en plastique dans un premier temps, comportement très différent des matériaux, formation d'échancrures dans l'orifice de certaines buses en plastique.

Une observation plus détaillée montre toutefois que :

- les buses d'angle de jet 80° s'usent moins que les buses d'angle de jet 110°. Cela peut être dû au fait que ces dernières présentent à l'origine un orifice moins circulaire, et donc plus susceptible de s'arrondir. L'influence du facteur angle de jet est cependant beaucoup plus faible que celle du calibre (l'analyse de la variance révèle qu'elle est non-significative pour les buses en acier inoxydable);
- les buses de faible calibre s'usent plus que celles de gros calibre.

3°) Etude des répartitions

L'effet de l'usure sur les répartitions sous rampe simulées sera illustré par la comparaison des comportements des buses en alumine frittée et en acier inoxydable. Ainsi, la figure 6 montre les différences observées pour des buses de petit calibre, de 80° (colonne de gauche) et 110° (droite), avant usure (première ligne) et après usure, d'une part en maintenant la pression constante

(deuxième ligne), et d'autre part en maintenant le débit constant (troisième ligne). L'axe horizontal représente les abscisses (en cm); l'axe vertical représente les volumes recueillis, 100 % correspondant au volume désiré.

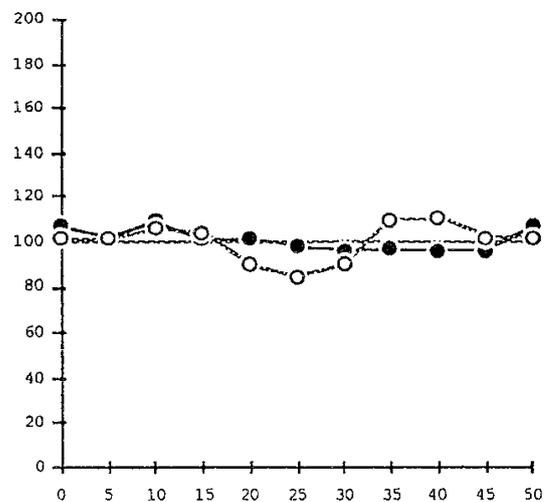
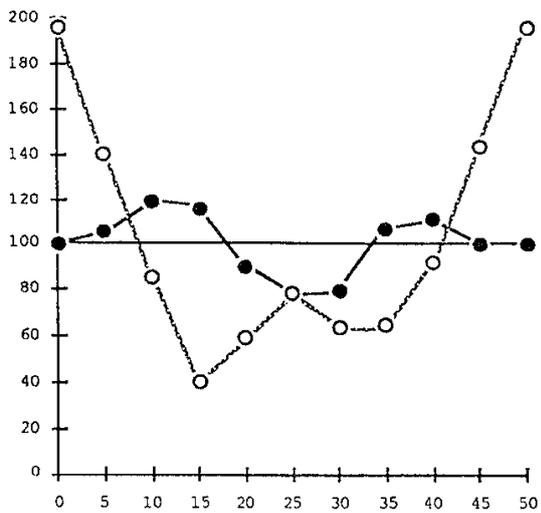
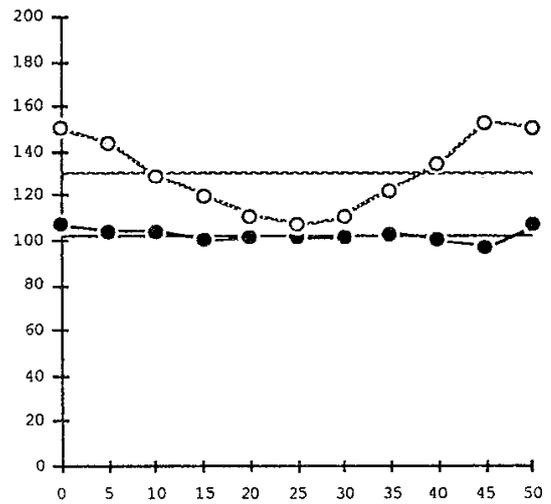
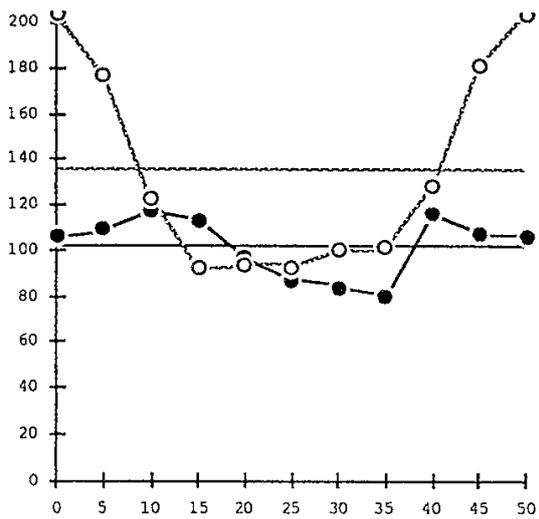
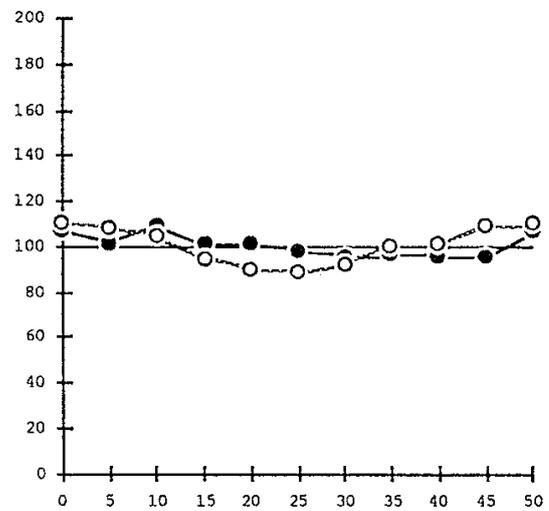
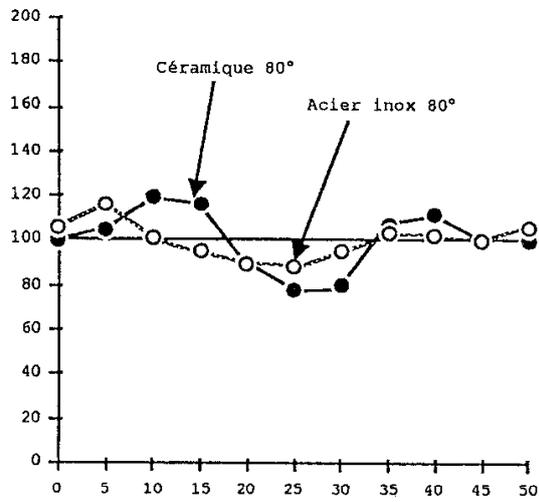


Figure 6 Comparaison des répartitions sous rampe simulées des buses en alumine frittée et en acier inox

De cet exemple, on peut tirer quelques observations quant à l'effet des divers facteurs :

- matériau : les buses en alumine frittée ne présentent certainement pas une bonne répartition au départ, mais elles ont un comportement extrêmement stable au cours de l'usure, au contraire des buses en acier;
- pression constante : pour les buses en acier, non seulement il y a gaspillage du produit pulvérisé puisque les volumes épanchés s'élèvent à 130 %, mais, de plus, on constate la perte de toute homogénéité (à certains endroits, la cible recevra deux fois la dose prévue) et donc un risque de phytotoxicité;
- débit constant : pour les buses en acier toujours, la dose moyenne sera correcte mais la répartition reste très peu homogène.
- angle de jet : il apparaît clairement que les buses d'angle de jet 110° présentent dès le départ, mais surtout au cours de l'usure, une meilleure homogénéité de la répartition sous rampe simulée.

Une relation apparaît entre l'écart-type des répartitions et, d'une part le calibre de la buse, et d'autre part le temps d'usure. L'équation de régression s'exprime sous la forme suivante (les coefficients de régression apparaissent dans le tableau 2, ainsi que les résultats des tests de signification) :

$$ECT = a + b.C + c.T,$$

où ECT est l'écart-type (en ml), C est le calibre sous forme du débit à la pression standard de 2,5 bars (en l/min), T est le temps d'usure (en heures) et a, b et c sont les coefficients de régression. Dans le tableau 2, p signifie la probabilité d'observer une telle valeur du coefficient de régression si le facteur considéré n'intervenait pas et R² est le coefficient de détermination.

Tableau 2 Résultats des régressions et des tests de signification

Marque	a	p	b	p	c	p	R ²
T 80°	-6,68	0,14	106	0,00	43,7	0,00	0,987
T 110°	1,05	0,60	56,4	0,00	13,0	0,00	0,991
H 110°	17,0	0,00	56,2	0,00	0,80	0,00	0,973
A 80°	11,0	0,01	89,0	0,00	0,12	0,25	0,997
A 110°	5,20	0,01	89,0	0,00	0,12	0,14	0,994

On constate donc que tous les coefficients liant le calibre à l'écart-type sont significatifs. Pour les buses en céramique (A), il n'est pas étonnant que les coefficients relatifs au facteur temps soient non-significatifs vu leur résistance à l'usure.

4. Essai en usure douce

4.1 Introduction

Plus qu'à étudier la manière dont se comportent les différents matériaux face à une bouillie d'utilisation courante, cet essai est destiné à évaluer le crédit que l'on peut accorder aux résultats obtenus lors de l'usure accélérée, c'est-à-dire, à l'aide d'une bouillie dont le pouvoir abrasif est exagéré.

Il est notamment intéressant de voir si le matériau plastique "bouge" autant (bavures, échancrures) qu'avec le corindon ou si l'acier inoxydable s'use toujours aussi rapidement par rapport aux autres matériaux.

Puisqu'il s'agit essentiellement d'un test comparatif, cet essai a été réalisé dans les mêmes conditions et analysé selon les mêmes méthodes que précédemment avec le même type de buses que lors de l'essai préliminaire.

4.2 Résultats

Les résultats sont présentés au tableau 3 et à la figure 7 ci-dessous. Ils ne concernent que l'étude des débits, l'usure n'étant pas assez prononcée pour étudier les répartitions. La figure 7 est à comparer avec la figure 2 du paragraphe 3.1.

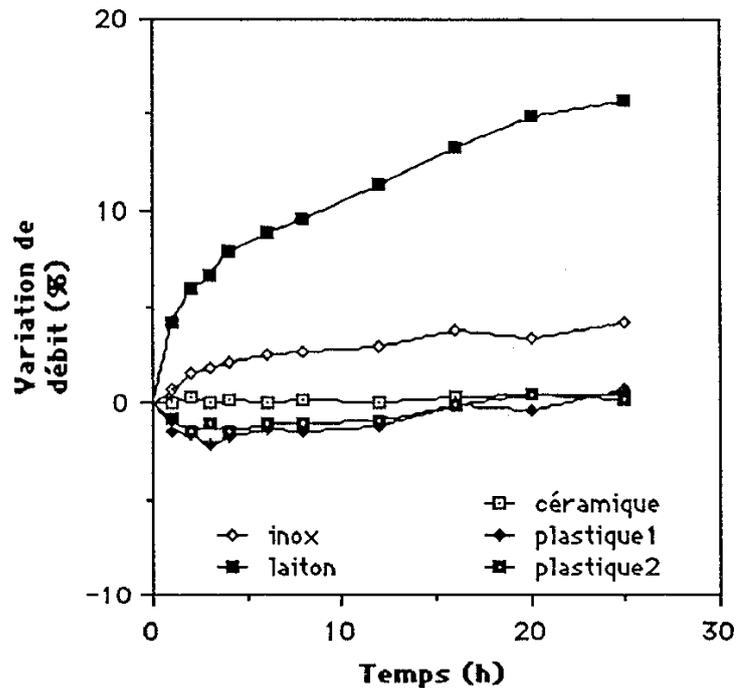


Figure 7 Evolution de la variation moyenne du débit des buses

La comparaison des figures 2 et 7 permet de constater des phénomènes déjà observés lors du premier essai, à savoir :

- l'augmentation du débit des buses à l'exception, dans un premier temps, de celles en plastique,
- le comportement différent des matériaux, bien que cela semble moins marqué qu'avec l'usure au corindon,
- le comportement très stable des buses en céramique.

La plus grande différence entre les deux types de bouillie apparaît à l'examen du tableau 3. Celui-ci reprend les taux d'usure relatifs aux buses 110° et de calibre moyen des différents matériaux, calculés à partir des équations de régression de la variation de débit en fonction du temps et exprimés par rapport à ceux des buses en alumine frittée.

Tableau 3 Taux d'usure par rapport aux buses en céramique

Matériau	Corindon	Oxychlorure de Cu
céramique	1	1
plastique1	10,7	8,5
plastique2	21,0	7,1
acier inox	77,1	6,3
laiton	132,2	28,7

Ce qui ressort évidemment de ces valeurs, c'est le taux d'usure très faible plus faible encore que celui des buses en plastique, des buses en acier inoxydable, alors que lors de l'usure au corindon, ce taux d'usure était très élevé.

Il faut rappeler que les coefficients de régression de l'usure en fonction du temps sont calculés à partir des observations réalisées après que le taux d'usure se soit stabilisé (dans cet essai, il s'agissait des mesures réalisées après 4 heures). Il semble que les premiers moments influencent fortement les variations de débit. Pour les buses métalliques, il doit s'agir de l'élimination rapide des bavures formées lors de l'usinage. Concernant les buses en plastique, s'il se forme toujours une couronne de bavures durant les premiers moments d'usure, les échancrures dans les orifices ont, par contre, tout à fait disparu.

5 Conclusions

Les essais réalisés en laboratoire à l'aide d'une bouillie fortement abrasive à action accélérée ont conduit aux conclusions suivantes :

- les buses en alumine frittée offrent la meilleure résistance à l'usure par abrasion;
- les buses en acier inoxydable sont nettement plus sensibles à l'usure que celles en matière plastique ;
- les buses de faible calibre se détériorent plus rapidement que celles de plus gros calibre;
- l'angle de jet (80 ou 110°) n'a pas d'effet significatif quant à la variation de débit;
- les effets de l'usure se marquent davantage au début de la mise en fonctionnement; par la suite, ils ont tendance à s'atténuer;
- pour certains types de matériaux (plastiques), des phénomènes particuliers (étranglement de l'orifice) apparaissent lors des premiers moments d'usure;
- une relation linéaire a été établie pour chaque type de buses : elle permet d'évaluer de manière très satisfaisante, abstraction faite des premiers instants d'usure, la rapidité avec laquelle le débit des buses augmente en cours d'usure;
- l'étude des répartitions transversales au répartiteur à rigoles a montré que l'usure des buses provoque des modifications importantes dans le profil des distributions dont nous avons choisi comme paramètre caractéristique l'écart-type des volumes recueillis. Une équation linéaire liant ce paramètre au calibre et au temps d'usure a été établie.

Les essais supplémentaires réalisés à l'aide d'une bouillie classique à action abrasive plus douce ont donné lieu à des résultats quelque peu différents de ceux obtenus lors des tests accélérés. Ils ont notamment mis en évidence un meilleur comportement des buses en acier inoxydable. Dès lors, il nous paraît souhaitable que cette étude soit poursuivie en faisant l'inventaire du pouvoir abrasif des principales bouillies utilisées en agriculture et d'en déduire la valeur du caractère représentatif des tests accélérés généralement préconisés dans les normes internationales.

Bibliographie

- Caussin, R. Les pulvérisateurs pour grandes cultures, Perspectives agricoles, ITCF, N° 30, 10-32, 1979
- Caussin, R. Les techniques de traitements phytosanitaires et de fertilisation par voie fluide : bilan des nouveautés et perspectives dans la recherche et l'économie, Institut international de recherches betteravières, 48è congrès d'hiver, Bruxelles, Palais des Congrès, 59-75, 1985
- Caussin, R. Etude des facteurs de variabilité dans le temps des têtes de jet de pulvérisation-l'usure, Rapport des travaux du centre de recherche de phytopharmacie, Gembloux, 1966
- Dagnelie, P. Théorie et méthodes statistiques-vol.1 et 2, Les presses agronomiques de Gembloux, 1975
- Leunda, P. Contribution à la modélisation du fonctionnement des organes d'épandage d'un pulvérisateur, TFE, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 1987
- Leunda, P., Debouche, C. et Caussin, R. Modélisation de la répartition transversale du volume dispersé par une rampe de pulvérisateur, XXXX Symposium Int. de Phytopharmacie et Phytiairie, Gent, mai 1988
- Reed, T., Ferrazza, J. and Spraying Systems Company, Wear life of agricultural nozzles, MGM Grand, Las Vegas NV, december 10-13, 1984
- Roderbourg, J. et Caussin, R., Test d'usure des têtes de jet par radioactivation, Mededelingen Rijksfaculteit Landbouw Wetenschappen, XXXI, n°3, Gent, 1966