

DRIEMAANDELIJKS TIJDSCHRIFT
ISSN 0368-9697

mededelingen ^{van} _{de} faculteit
landbouwwetenschappen
rijksuniversiteit gent



MFLRA3 53(3b) 1241 - 1590 (1988)

XXXX

INTERNATIONAAL SYMPOSIUM OVER FYTOFARMACIE EN FYTIATRIE
SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHYTOPHARMACIE ET DE PHYTIATRIE
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CROP PROTECTION
INTERNATIONALES SYMPOSIUM ÜBER PFLANZENSCHUTZ

DEEL IV

FACULTEIT LANDBOUWWETENSCHAPPEN
COUPURE 653, B-9000 GENT (BELGIE)

MODELISATION DE LA REPARTITION DU VOLUME DISPERSE PAR UNE RAMPE DE PULVERISATEUR

P. LEUNDA^o, C. DEBOUCHE^o & R. CAUSSIN^{oo}

^o Unité d'Hydraulique et Topographie
Faculté des Sciences Agronomiques
Passage des Déportés, 5800 Gembloux

^{oo} Comité de Recherches pour l'Amélioration des
Techniques de Traitements Phytosanitaires (IRSIA)
Gembloux, Belgique

Résumé

La réduction des volumes de bouillie épanchés à l'hectare, tendance dominante dans l'évolution actuelle de la pulvérisation agricole, requiert une précision accrue du contrôle de l'homogénéité de la répartition au sol. Cette homogénéité admet deux composantes, longitudinale et transversale, dont la première est assurée par le développement récent des appareils électroniques d'asservissement du débit à la vitesse d'avancement. La composante transversale est liée à la répartition de chaque buse isolée et dépend de paramètres comme l'écartement des buses, la hauteur et la pression de pulvérisation, dont les valeurs sont fixées par les utilisateurs.

Une voie d'approche pour optimiser les valeurs à donner à ces paramètres consiste à établir un modèle de la répartition propre à une buse isolée, modèle où interviennent le calibre de la buse, la pression et la hauteur de pulvérisation. Ce modèle individuel peut alors être utilisé pour prévoir et optimiser la répartition transversale obtenue sous une rampe en faisant varier les paramètres de la pulvérisation et l'écartement des buses sur la rampe.

1. Introduction

1.1. Généralités

Depuis quelques années, les agriculteurs préoccupés par leur rentabilité ont cherché à réduire la quantité d'eau épanchée pour leurs traitements phytopharmaceutiques, de manière à gagner du temps, économiser de l'énergie et améliorer la motricité du pulvérisateur. Mais à des volumes par hectare moindres, la technicité de l'opérateur et la précision de l'outil prennent une importance croissante, car cette réduction des volumes pulvérisés doit nécessairement s'accompagner d'un contrôle rigoureux du spectre des gouttes et de l'homogénéité de la répartition du volume au sol.

Cette répartition au sol du volume épanché a deux composantes, transversale et longitudinale. La composante longitudinale est conditionnée par le parallélisme de la rampe par rapport au sol ainsi que par la régularité de la répartition du débit par rapport à la surface traitée. La composante transversale est liée à la répartition individuelle de chaque buse qui compose la rampe, ainsi qu'à l'écartement auquel sont montées les buses. La répartition individuelle des buses dépend, elle, de leur facture et des hauteur et pression de pulvérisation.

1.2. 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. Ce sont des "buses de pulvérisation hydraulique ayant un orifice en forme de fente et produisant un jet plat" (définition ISO).

Les jets des buses à fente présentent des angles au sommet variables selon les modèles de 30 à 110°, les angles les plus employés étant de 80 et 110°. Ces buses sont

montées à des espacements tels qu'il se produit un double, triple, voire même quadruple recouvrement, ce qui améliore l'uniformité de la répartition au sol sur toute la largeur de la rampe.

Pour former un jet plat en éventail, les buses à fente emploient souvent un écoulement conique convergent de liquide, émergeant dans l'atmosphère à travers un orifice de forme plus ou moins elliptique. La manière exacte dont l'orifice est façonné pour fournir l'angle désiré est propre au fabricant. Approximativement, l'orifice est généré par l'intersection d'un prisme triangulaire avec un cône, la limite de l'orifice résultant étant décrite par deux arcs elliptiques inclinés (LILJEDAHN, 1971).

Il faut remarquer que, si des études existent sur certaines propriétés des buses à fente, telles leur spectre des gouttes, il n'y a toujours pas d'analyse de l'écoulement du fluide dans et au travers de ces buses (NATION, 1985).

1.3. les objectifs poursuivis

1°) Modéliser la répartition transversale du volume épandu par une buse à fente par une ou des expressions mathématiques où interviendraient les différents paramètres de l'aspersion (pression, hauteur de la buse par rapport au sol) et éventuellement les paramètres de la buse (géométrie, débit nominal,...). Ce modèle serait réalisé à partir de données expérimentales obtenues par des essais de répartition d'une gamme de buses courantes.

2°) Utiliser les résultats de la modélisation de la répartition d'une buse isolée pour prévoir la répartition sous rampe et en établir un modèle mathématique. Ce modèle doit permettre d'optimiser la répartition sous rampe, pour différents écartements des buses, en faisant varier les paramètres hauteur de rampe et pression de pulvérisation.

1.4. Le dispositif expérimental

Seront testées des buses 80° et 110° de trois marques courantes, et pour chacune des 6 variantes, trois calibres parmi les plus utilisés. Ces buses sont constituées de différents matériaux: alumine frittée, acier inoxydable, plastique. Elles seront toutes essayées à trois hauteurs (40, 60 et 80 cm), et à plusieurs pressions différentes, les pressions testées variant selon la gamme de pressions dans laquelle la buse est utilisable.

Le montage expérimental se compose d'un répartiteur, surmonté d'une rampe en position horizontale. La rampe porte une buse à laquelle parvient de l'eau sous pression.

Le répartiteur est un plan incliné limité en aval par une rangée de 53 éprouvettes graduées 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.

1.5. Le modèle théorique

Si on considère l'abscisse du point de chute de chaque unité de volume comme la valeur observée d'une variable aléatoire, on assimile les volumes recueillis dans les éprouvettes aux fréquences observées, groupées en classes, de cette variable aléatoire. On peut alors interpréter la répartition transversale des volumes épandus comme une distribution de probabilité observée.

2. Modélisation de la répartition d'une buse à fente

2.1. Préliminaires

De manière cohérente avec le modèle théorique choisi, le processus de modélisation utilisé sera donc l'ajustement d'une distribution théorique de probabilité sur les répartitions observées, distribution dont les paramètres seront estimés au mieux pour qu'elle corresponde à la répartition observée.

Dans un second temps, les paramètres estimés de la distribution théorique seront exprimés en fonction des facteurs qui conditionnent l'aspersion: pression, hauteur et calibre de la buse.

Cependant, d'autres facteurs, incontrôlés ceux-là, peuvent également influencer la répartition: la géométrie du montage expérimental, la variabilité des buses, enfin

l'ensemble de facteurs aléatoires qui se manifestent par des différences d'une répétition à l'autre d'un même essai de répartition. L'influence de ces trois types de facteurs a été étudiée par des méthodes de l'analyse statistique, qui permettent de conclure que leur influence n'est pas significative. Ainsi, une seule répétition de l'essai de répartition suffit-elle pour donner une représentation acceptable de la distribution de la population-parent, et ce d'autant plus que les volumes recueillis dans les éprouvettes seront plus importants.

2.2. L'ajustement à la distribution normale tronquée

Les répartitions observées sont des courbes approximativement en forme de cloche, unimodales, symétriques et à marges finies, toutes caractéristiques que possède la distribution normale tronquée.

Une variable aléatoire X possède une distribution normale doublement tronquée lorsque sa fonction de densité de probabilité est (JOHNSON et KOTZ, 81-87) :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \left(-\frac{(x-\xi)^2}{2\sigma^2} \right) \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_A^B \exp \left(-\frac{(t-\xi)^2}{2\sigma^2} \right) dt \right]^{-1}$$

$$= \sigma^{-1} Z \left(\frac{x-\xi}{\sigma} \right) \left[\Phi \left(\frac{B-\xi}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{A-\xi}{\sigma} \right) \right]^{-1}$$

pour $A \leq X \leq B$,

où σ^2 est la variance de la distribution normale ,
 $Z(x)$ est la densité de probabilité de la distribution normale réduite relative à la valeur x ,
 $\Phi(x)$ est la valeur de la fonction de répartition de la même distribution pour la valeur x .

Les points de troncature inférieur et supérieur sont respectivement A et B .

Les degrés de troncature sont $\Phi \left(\frac{A-\xi}{\sigma} \right)$ et $\Phi \left(1 - \Phi \left(\frac{B-\xi}{\sigma} \right) \right)$

On notera que si $\frac{A-\xi}{\sigma} = -\left(\frac{B-\xi}{\sigma} \right) = -\delta$, alors:

$$E(X) = \xi$$

$$\text{var}(X) = \left[1 - \frac{2\delta Z(\delta)}{2\phi(\delta) - 1} \right] \sigma^2.$$

La distribution normale doublement tronquée est entièrement définie par 4 paramètres: les deux points de troncature A et B , la moyenne ξ et la variance σ^2 .

Si on suppose que la répartition transversale des débits épandus par une tête de jet placée à la verticale du point central de la classe (éprouvette) centrale, ou classe 0, est symétrique, alors on aura effectivement:

$$A = -B$$

$$\xi = 0,$$

et, vu les faibles degrés de troncature et l'importance de l'effectif, on estimera la variance de la distribution ajustée par la variance de l'échantillon.

A titre d'exemple, la figure 1 montre une répartition observée et sa distribution ajustée. Dorénavant, compte tenu du volume des résultats, seuls seront présentés quelques exemples illustratifs de la démarche.

Un tableau reprenant les paramètres de l'ajustement pour l'ensemble des essais des buses XRTEEJET 110° sera présenté plus loin.

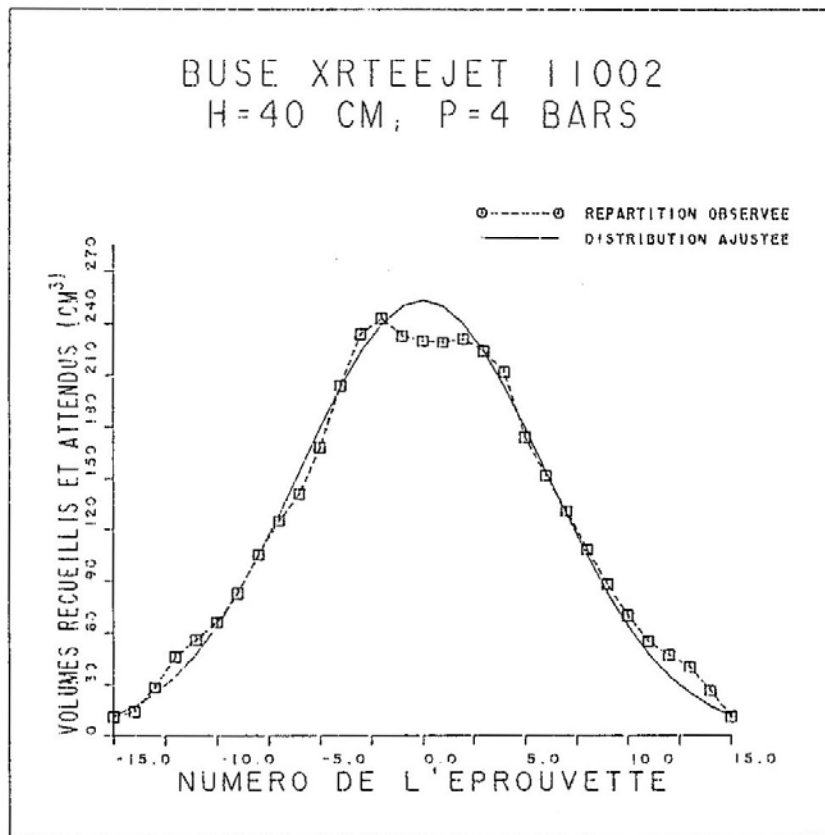


Figure 1: L'ajustement à la distribution normale tronquée.

2.3. Critique de l'ajustement

1°) Observations

Deux accidents se rencontrent simultanément ou non dans la plupart des répartitions observées: la présence de deux épaulements latéraux plus ou moins symétriques par rapport à la classe centrale et une troncature du sommet de la répartition. La part du volume total représentée par ces accidents est faible (de 0 à 5%) et variable selon la buse et les conditions de pulvérisation. L'importance de ces accidents diminue avec la pression; une hauteur croissante augmente la troncature du sommet et diminue l'importance des épaulements.

D'une manière générale, la forme de la répartition est assez bien rendue par l'ajustement, mais le degré de ressemblance devra être quantifié de manière plus rigoureuse, par le test chi carré d'ajustement (DAGNELIE, 1969).

2°) Résultats

Le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques des buses XRTEEJET 110° (calibre et débits), les valeurs des paramètres de l'aspersion (hauteur et pression), les valeurs des paramètres déterminant la distribution théorique (nombre de classes et écart-type). La moyenne étant supposée nulle, le nombre de classes contenant un volume significatif, désigné par NOCLAS, détermine directement la valeur des points de troncature.

L'écart-type est exprimé en nombre de classes de 5 cm (ou d'éprouvettes).

La dernière colonne du tableau reprend les valeurs calculées pour le rapport:

$$\chi_{\text{obs}}^2 / \chi_{1-\alpha}^2$$

désigné par CHIRAP et calculé avec α égal à 0.05. Ce rapport issu du test chi carré doit être inférieur à un pour pouvoir admettre la validité de l'ajustement.

Tableau 1: Paramètres de l'ajustement des buses XRTEEJET 110°.

calibre	hauteur (cm)	pression (bars)	noclas	écart-type	débit (l/m.)	chirap
02	40	1	21	4.30	0.42	3.53
		2	29	5.58	0.63	1.75
		3	31	5.80	0.78	1.70
		4	31	6.01	0.90	0.83
	60	1	31	6.11	0.42	4.20
		2	39	7.23	0.63	1.53
		3	41	7.69	0.78	1.52
		4	43	7.92	0.90	1.63
	80	1	39	7.54	0.42	3.40
		2	47	8.70	0.63	1.53
		3	49	9.15	0.78	2.23
		4	49	9.38	0.90	3.79
04	40	1	23	4.52	0.87	4.35
		2	29	5.57	1.27	2.15
		3	31	5.87	1.55	1.63
		4	31	6.05	1.79	1.24
	60	1	33	6.64	0.87	4.50
		2	39	7.79	1.27	2.13
		3	41	8.15	1.55	1.70
		4	43	8.33	1.79	1.35
	80	1	41	8.34	0.87	3.82
		2	51	9.56	1.27	2.17
		3	51	9.96	1.55	2.15
		4	51	10.12	1.79	2.62
06	40	1	23	4.42	1.35	3.90
		2	29	5.45	1.91	3.63
		3	31	5.76	2.36	3.67
		4	33	5.92	2.72	4.54
	60	1	33	6.51	1.35	3.98
		2	41	7.58	1.91	3.57
		3	43	7.98	2.36	3.68
		4	45	8.16	2.72	3.51
	80	1	43	8.34	1.35	3.63
		2	51	9.54	1.91	2.74
		3	51	9.89	2.36	3.05
		4	51	9.93	2.72	2.98

3°) Conclusions

Sur les 136 essais de répartition effectués avec les trois marques de buses, seuls six ont donné un rapport des chi carré inférieur à 1, et 46 un rapport inférieur à 2. Il faut en conclure que l'ajustement est inacceptable au sens statistique. En effet, les différences entre les distributions observée et ajustée, exprimées par le rapport des chi carré, sont trop importantes pour être dues au hasard. Toutefois, cette conclusion est à nuancer en fonction des marques, des calibres et des conditions de pulvérisation.

D'autre part, d'un point de vue plus pragmatique, la ressemblance entre répartition observée et distribution ajustée peut être très bonne; les différences dues aux accidents

observés sont relativement faibles. Au vu des résultats graphiques, il paraît difficile de trouver une forme de distribution théorique qui s'ajuste mieux, par une prise en compte des épaulements observés.

2.4. Relations entre les paramètres de l'ajustement et ceux de la pulvérisation

1°) Introduction

D'après les hypothèses suivantes:

$$\begin{aligned}\xi &= 0 \\ A &= -B,\end{aligned}$$

deux paramètres de la distribution ajustée restent à estimer: l'écart-type et le nombre de classes comprises entre les deux points de troncature.

La méthode utilisée pour mettre en évidence les relations entre ces paramètres et les conditions de la pulvérisation est la recherche d'une équation de régression multiple.

2°) Régression de l'écart-type en fonction de la hauteur et de la pression

Une observation rapide du tableau 1 montre que l'écart-type de la répartition observée est une fonction croissante de la pression d'utilisation et de la hauteur de l'orifice. Il apparaît que l'équation de régression recherchée exprime l'écart-type en fonction des logarithmes népériens de la hauteur et de la pression. Pour l'ensemble des essais, le calcul du coefficient de corrélation et la réalisation des tests de signification ont montré que les relations obtenues sont très étroites et significatives, comme l'indique l'exemple ci-dessous, relatif aux buses XRTEEJET 110°, où la régression a porté sur 12 points (voir tableau 1).

-l'équation de régression :

$$\sigma = -13.0 + 1.30 \ln (P) + 4.70 \ln (H) \quad \text{et} \quad r = 0.996,$$

où σ est l'écart-type, en nombre de classes de 5 cm,
P la pression en bars
H la hauteur en cm,
r est le coefficient de corrélation.

L'écart-type résiduel est: $s_{z,xy} = 0.1598$

-le test de signification : avec $t_{0,975} = 2.262$

	coefficient	t_{obs}
constante	-12.9836	19.58
$\ln (P)$	1.3027	14.70
$\ln (H)$	4.7018	28.98

La comparaison des régressions pour toutes les buses montre une évolution assez régulière des coefficients de régression partielle avec le calibre de la buse au sein de chaque marque. Cette constatation, jointe au souci de ranger le calibre des buses parmi les variables explicatives de l'écart-type, conduit à chercher une équation de régression où apparaîtrait le calibre de la buse, sous la forme du débit à pression standard, par exemple deux bars.

3°) Régression de l'écart-type en fonction de la hauteur, de la pression et du débit

La relation entre l'écart-type et le débit peut prendre deux formes différentes, linéaire et logarithmique, la validité de l'une ou de l'autre variant en fonction de la marque

considérée. De toute manière, les coefficients de corrélation relatifs aux deux types de régression sont de l'ordre de 97 à 99%.

Seuls les résultats de la régression logarithmique sont présentés ci-dessous, chaque régression étant relative à un type donné de buse, caractérisé par sa marque et son angle au sommet. L'écart-type σ et la hauteur H sont en cm, la pression P en bars, R représente le coefficient de corrélation, en pour-cent; Q₂ est le débit à deux bars, en litres par minute; T-rap désigne le rapport $t_{obs} / t_{1-\alpha/2}$ du test de signification. Ce rapport est supérieur à un lorsque les coefficients de régression partielle sont significativement différents de zéro.

$$\sigma = A + B \ln(P) + C \ln(H) + D \ln(Q_2)$$

buse	R	A	T- <u>rap</u>	B	T- <u>rap</u>	C	T- <u>rap</u>	D	T- <u>rap</u>
XR110	99.0	-77.96	12.27	6.15	7.50	27.07	18.00	1.72	1.84
XR80	99.3	-61.55	13.98	1.73	1.66	20.92	19.99	-1.16	2.22
AL110	99.0	-73.24	10.32	3.74	2.66	24.76	14.38	6.13	6.93
AL80	98.3	-47.45	8.63	2.66	2.03	16.32	12.47	0.26	0.38
LU110	97.4	-61.23	4.88	5.37	2.11	22.02	7.09	4.09	1.87
LU80	98.6	-56.46	6.72	4.83	2.86	18.58	9.01	6.22	4.22

La recherche d'une relation entre l'écart-type et le débit à la pression d'utilisation a donné des résultats comparables: la corrélation y est aussi importante et les tests effectués concluent que les coefficients de régression partielle sont très significatifs. Cette observation n'est pas étonnante, vu la relation qui unit pression et débit.

4°) Régression de la largeur de travail en fonction de l'écart-type

L'écart-type étant lié à la dispersion de la répartition, il paraît probable qu'une relation l'unisse à la largeur de travail, c'est-à-dire le nombre d'éprouvettes contenant un volume significatif, nombre auquel on ajoute un s'il est pair, de manière à avoir une largeur identique de part et d'autre de l'éprouvette centrale et être cohérent avec l'hypothèse de symétrie. La caractéristique du dispositif expérimental consistant à regrouper les volumes en classes de largeur égale à 5 cm va augmenter l'imprécision de la relation.

Dans ce cas également deux équations de régression conviennent: l'une de type linéaire et l'autre de type logarithmique, toutes deux possédant un coefficient de corrélation important et un coefficient de régression significatif.

A titre d'exemple, la régression logarithmique est présentée ci-dessous pour les buses ALBUZ 110°. NC signifie le nombre de classes constituant la largeur de travail, les autres notations sont les mêmes que précédemment.

$$\text{équation de régression: } NC = -25.3 + 31.9 \ln(\sigma)$$

$$R = 97.4\% \text{ et } s_{x,y} = 2.075$$

	coefficient	t _{obs}
constante	-25.278	9.42
ln(σ)	31.903	21.37

2.5. Conclusions

L'ajustement à la distribution normale tronquée de la répartition transversale des volumes épanchés par une tête de jet est d'une qualité généralement inacceptable d'un point de vue statistique. D'un point de vue pratique, la ressemblance de la distribution

ajustée et de la répartition observée est satisfaisante, d'autant plus qu'il paraît difficile de trouver une autre distribution théorique qui s'ajuste mieux. Cette ressemblance varie selon la marque de buses, et selon le type (angle au sommet) au sein d'une même marque.

Les paramètres de l'ajustement (points de troncature et écart-type) présentent une très nette corrélation avec les paramètres de la pulvérisation. Ainsi, deux équations par type de buse permettent de retrouver les paramètres caractérisant complètement la distribution théorique à partir de la connaissance de la hauteur et de la pression d'utilisation, ainsi que du débit nominal de la buse.

3. Modélisation de la répartition sous rampe

3.1 Introduction

Lorsque des buses à jet en éventail sont associées sur une rampe, il se produit un recouvrement transversal des répartitions des jets voisins, qui conduit à une amélioration de la répartition résultante. Selon les valeurs des paramètres de la pulvérisation, qui conditionnent la largeur de travail d'une buse isolée, et selon l'écartement des buses sur la rampe, le recouvrement peut être double ou triple, voire même quadruple. Lorsque l'écartement des buses est constant et que les jets sont tous semblables, on voit apparaître une périodicité dans les séquences de recouvrement, ainsi que le montre la figure 2 ci-dessous.

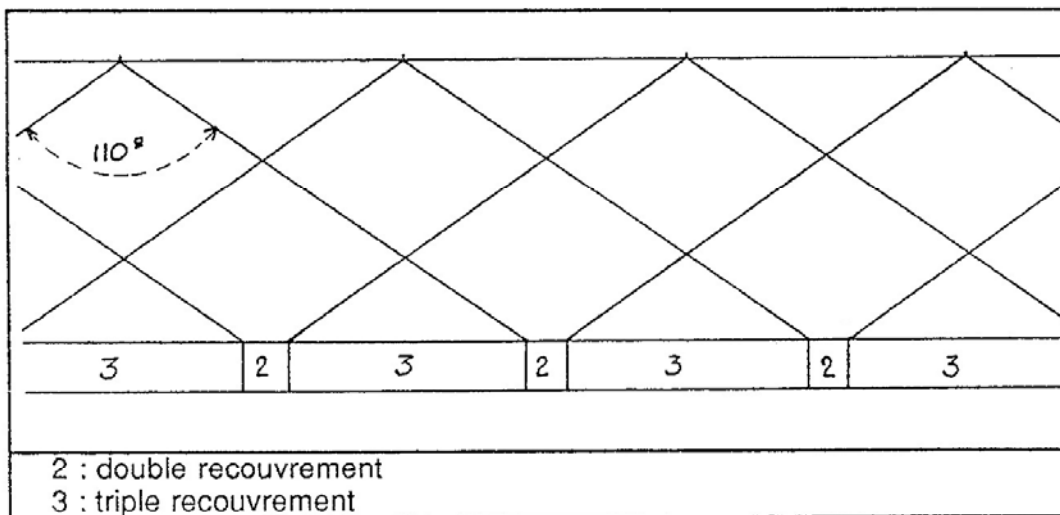


Figure 2 : Recouvrement transversal.

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 à partir de la répartition individuelle présuppose que toutes les buses possèdent une répartition identique. Cette supposition est cohérente avec les conclusions de l'étude des facteurs non-contrôlés (voir 2.1.), mais ne peut s'appliquer qu'à des buses neuves de même série de fabrication, montées correctement.

D'autre part, dans la suite du texte, on appellera répartition sous rampe observée celle obtenue par simulation à partir des répartitions individuelles observées, et répartition théorique celle obtenue par les répartitions individuelles ajustées.

3.2. La simulation de la répartition sous rampe

La longueur usuelle des rampes est de 12 à 20 mètres, et une valeur habituelle de l'écartement des buses est de 50 cm. Mais comme les résultats de la simulation doivent montrer la répétition périodique d'une même séquence, une simulation portant sur un plus petit nombre de buses suffira à décrire la répartition sous une rampe plus longue.

La répartition simulée sera produite par sommation des répartitions individuelles observées et ajustées de 7 buses écartées de 50 cm, et ce pour un passage du pulvérisateur partiellement recouvert par les passages latéraux (précédent et suivant.) La figure 3 montre la répartition simulée obtenue.

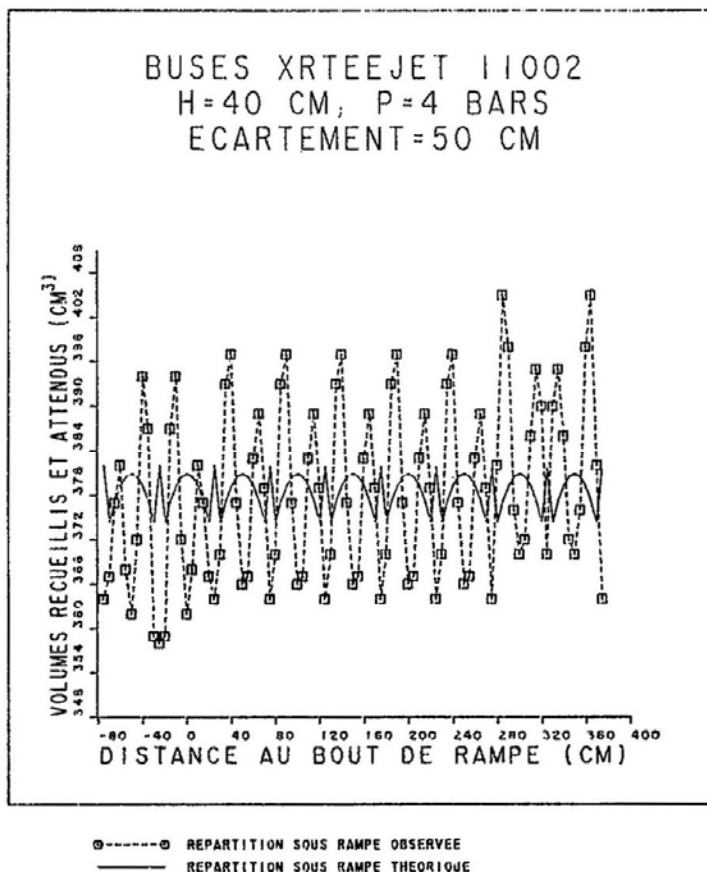


Figure 3 : simulation de la répartition sous rampe.

On constate que le recouvrement des répartitions individuelles voisines identiques, décalées d'une distance constante, engendre une résultante dont les motifs se reproduisent périodiquement., cette périodicité se manifestant aussi bien sur la répartition sous rampe observée que sur la répartition ajustée.

Mais là s'arrête la ressemblance des deux répartitions simulées: la marge de variation de la répartition observée est nettement plus importante, et ses pics (ou ses minima) ne correspondent pas à ceux de la répartition théorique. De plus, on constate que la qualité de l'ajustement n'influe pas qualitativement sur ces dissemblances. Il faut donc en conclure que le processus de sommation des répartitions individuelles amplifie leurs irrégularités par rapport à la distribution ajustée. La répartition théorique résultante est généralement plus homogène que la répartition observée.

3.3. L'optimisation de la répartition sous rampe

1°) Les paramètres de la répartition sous rampe

Trois paramètres décriront le résultat de la simulation de la répartition résultante: les deux premiers quantifieront l'homogénéité des répartitions théorique et observée; le troisième indiquera le degré de ressemblance de ces deux répartitions:

- CVO et CVT: les coefficients de variation relatifs aux répartitions observée et théorique seront désignés respectivement par CVO et CVT. Ils se calculent par la relation:

$$CV = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

où \bar{x} est la moyenne de la répartition considérée,

x_i est le volume relatif à la classe i ,

n est le nombre total de classes concernées par la répartition.

- s_{xy} : ainsi sera appelé dans la suite l'écart-type résiduel relatif aux répartitions théorique et observée. Il se calcule par:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

où x_i est le volume de la répartition sous rampe observée relatif à la classe i ,

y_i est le volume de la répartition théorique relatif à la classe i ,

n est le nombre total de classes touchées par ces répartitions.

L'écart-type résiduel s'exprime donc en cm^3 .

Les deux premiers paramètres ont été calculés pour une buse et des conditions de pulvérisation données, en faisant varier l'écartement des buses sur la rampe.

Les trois paramètres ont été calculés pour des écartements variables de 20 à 75 cm, pour l'ensemble des conditions d'utilisation.

2°) Résultats

La figure 4 ci-dessous montre pour une buse XRTEEJET 110° dans des conditions données de pulvérisation l'évolution des coefficients de variation en fonction de l'écartement. Il faut noter qu'il s'agit dans cet exemple d'un essai dont l'ajustement est acceptable (rapport des chi carré égal à 0.83).

Le tableau 2 donne les valeurs des trois paramètres pour toutes les conditions d'utilisation d'une buse donnée.

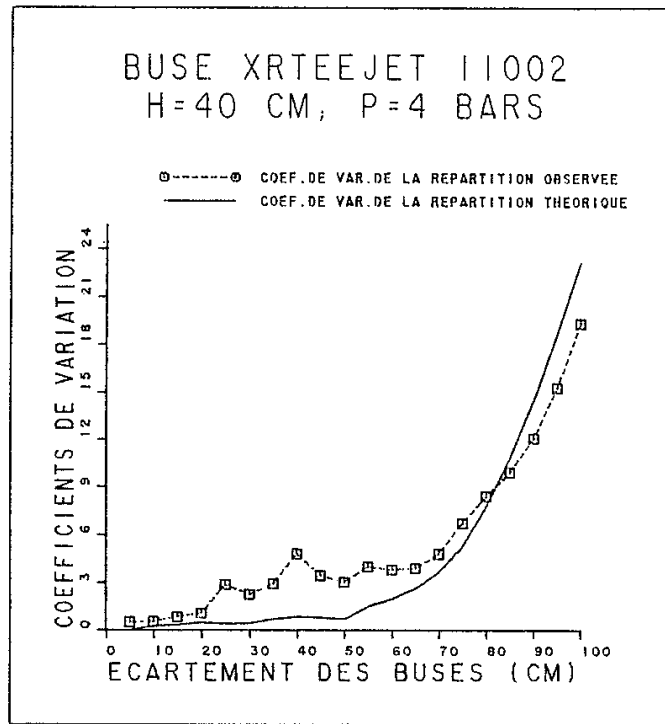


Figure 4: Coefficients de variation en fonction de l'écartement des buses.

Tableau 2 : paramètres des répartitions sous rampe de la buse LURMARK LP11002, en fonction de la hauteur, la pression et l'écartement des buses.

écartement H(cm)P(bar)			20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
40	1	CVO	2.9	4.6	6.9	14.7	21.1	24.0	25.2	26.6	29.1	32.9	38.2	44.0
		CVT	0.5	0.7	0.7	0.6	1.3	3.0	5.7	9.4	14.2	19.8	26.0	32.5
		sxy	14.2	17.6	23.2	41.5	48.9	46.1	38.6	30.9	26.1	24.2	25.0	26.0
40	2	CVO	2.6	2.5	3.9	4.4	7.2	11.9	16.4	19.6	22.3	24.9	27.5	30.8
		CVT	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	2.1	3.9	6.5	10.0	14.1	18.9
		sxy	14.0	11.2	14.9	15.7	22.1	30.2	34.6	34.7	32.1	28.0	23.8	20.7
60	1	CVO	2.2	3.1	5.7	6.0	7.2	12.8	18.4	22.1	23.7	24.2	24.6	25.5
		CVT	0.9	0.8	0.9	1.2	1.2	1.1	1.3	2.1	3.2	4.7	6.9	9.6
		sxy	17.8	18.1	23.5	20.0	25.2	37.0	45.8	48.0	45.1	39.4	33.3	28.5
60	2	CVO	0.7	1.8	1.5	2.6	3.6	4.2	5.6	8.2	10.7	12.8	14.6	16.2
		CVT	0.4	0.2	0.5	0.2	0.7	0.6	0.7	0.7	1.1	2.1	3.3	5.0
		sxy	4.3	12.4	9.2	12.2	14.7	15.8	19.3	24.2	27.4	28.1	27.6	25.8
80	1	CVO	1.4	2.5	3.2	5.8	5.9	6.3	8.8	12.6	16.2	18.6	19.9	20.4
		CVT	0.6	0.3	0.7	0.3	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2	1.9	2.7	3.8
		sxy	8.5	16.6	17.8	26.9	21.2	23.3	29.5	36.5	41.1	42.2	40.2	36.6
80	2	CVO	1.3	1.4	1.7	1.1	2.0	2.7	3.6	4.3	5.4	6.3	7.2	8.0
		CVT	0.5	0.6	0.4	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	1.1	1.8
		sxy	9.5	9.3	11.1	7.7	9.5	11.4	14.0	17.3	19.2	19.8	19.7	18.9

3.4. Discussion des résultats

1°) Le modèle théorique

L'examen des répartitions sous rampe révélait déjà la dissemblance des répartitions théorique et observée, même lorsque l'ajustement de la répartition individuelle est acceptable au sens statistique. La figure 2 le confirme, qui met en évidence l'absence de relation commune entre les deux répartitions et l'écartement.

Par conséquent, le modèle théorique individuel n'est pas utilisable pour décrire la répartition observée sous rampe, et a fortiori pour l'optimiser. On constate toutefois que

l'homogénéité est plus grande pour les répartitions théoriques que pour les observées, et que les coefficients de variation de ces dernières sont plus bas lorsque l'ajustement est bon, c'est-à-dire lorsque leur forme est plus régulière.

Vu que le modèle théorique est inutilisable, seuls seront discutés dans la suite les répartitions sous rampe observées et leurs coefficients de variation.

2°) L'influence de l'écartement

Les coefficients de variation diminuent en général quand l'écartement des buses diminue. Cette tendance présente toutefois des exceptions localisées telles que les coefficients peuvent diminuer de moitié en augmentant l'écartement de 10 cm. La relation entre les coefficients de variation et l'écartement est différente pour tous les essais: elle est imprévisible.

3°) L'effet de la hauteur

D'une manière générale, le coefficient de variation de la répartition sous rampe diminue nettement lorsque la hauteur de pulvérisation passe de 40 à 60 cm. Il se maintient ou diminue de manière négligeable quand la hauteur passe de 60 à 80 cm. C'est ce que montre la figure 5 ci-dessous. Toutefois, ces observations doivent être nuancées en fonction de la pression.

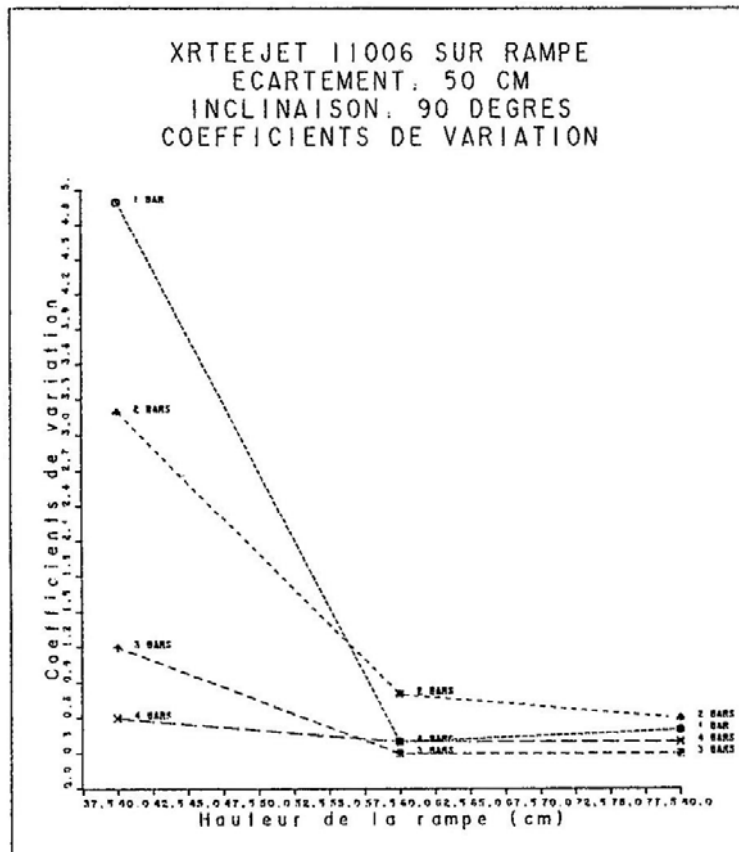


Figure 5: Coefficients de variation en fonction de la hauteur et de la pression.

4°) L'influence de la pression

A 40 cm de hauteur, l'effet d'une pression croissante est d'augmenter de manière sensible l'homogénéité de la répartition sous rampe. A 60 cm de hauteur, l'effet de la pression sur le coefficient de variation est faible et ne présente pas de caractère systématique. A 80 cm, cet effet devient négligeable. Ceci peut être observé sur la figure 5 ci-dessus.

Cela signifie qu'il y a un intervalle de hauteurs dans lequel le coefficient de variation est peu affecté par une variation de la pression; pour des buses écartées de 50 cm, cet intervalle va de 60 à 80 cm au moins.

L'intérêt de cette observation est lié au système de régulation du débit d'un pulvérisateur. Rappelons que ce système vise à obtenir une répartition longitudinale homogène en compensant la variation de la vitesse du pulvérisateur par des variations proportionnelles du débit, et donc de la pression.

4. Conclusions

La répartition transversale des volumes épandus par une tête de jet se reproduit avec de faibles différences d'une répétition à l'autre d'un essai de répartition et se montre peu sensible à de petites erreurs de montage, ce qui permet de limiter l'expérimentation à une seule observation pour une buse et des conditions de pulvérisation données.

Cette répartition a été ajustée à la distribution normale à troncature symétrique, courbe de mêmes caractéristiques que la répartition. La qualité de cet ajustement est essentiellement liée à la présence quasi constante d'accidents dans les répartitions observées: troncature au sommet, épaulements latéraux. Malgré ces accidents, l'ajustement est parfois acceptable en toute rigueur, et souvent assez proche des répartitions observées. Les paramètres de ces dernières, ainsi que ceux des distributions ajustées, dépendent de manière étroite des paramètres de la pulvérisation: hauteur, pression et calibre de la buse. Ainsi, l'écart-type s'exprime en fonction des logarithmes de la hauteur, de la pression et du débit nominal; la largeur de travail présente une corrélation étroite avec l'écart-type. Ces deux relations permettent de décrire complètement le modèle théorique.

Lorsque des buses sont montées sur une rampe, les répartitions transversales des jets voisins se recouvrent et engendrent ainsi une répartition sous rampe constituée d'une succession périodique de pics et de creux, d'amplitude généralement moindre pour les répartitions sous rampe obtenues à partir des distributions ajustées que pour celles obtenues à partir des répartitions individuelles observées. Les différences entre les répartitions sous rampe théorique et observée existent quel que soit la qualité de l'ajustement: le recouvrement des répartitions individuelles voisines amplifie toutes les irrégularités de ces répartitions par rapport à leurs distributions ajustées.

Le modèle théorique individuel est donc inutilisable pour simuler et optimiser la répartition réelle sous rampe. Cependant, le procédé de simulation, appliqué aux répartitions individuelles observées, a permis de dégager quelques observations quant à l'influence sur l'homogénéité de la répartition sous rampe des paramètres de la pulvérisation: pression, hauteur de rampe, écartement des buses. Ainsi le fait qu'un écartement croissant diminue généralement l'homogénéité de la répartition, qu'une hauteur ou une pression croissantes l'augmentent, et qu'il existe un intervalle de hauteurs où l'homogénéité est peu affectée par une variation de pression.

Il reste que la comparaison des répartitions théorique et observée montre l'influence importante des accidents des répartitions individuelles sur l'homogénéité des répartitions sous rampe. Il appartient finalement aux fabricants de buses de poursuivre leurs efforts pour atténuer ces accidents et améliorer ainsi la précision et la régularité des rampes de pulvérisation.

Bibliographie

- DAGNELIE, P. Théorie et méthodes statistiques. Presses agronomiques de Gembloux, 1969.
- JOHNSON, N.L.; KOTZ, S. Distributions in Statistics, Continuous Univariate Distributions. Houghton Mifflin Co., Boston 81-87, 250-266.
- LILJEDAHN, L.A. Effect of fluid properties and nozzle parameters on drop size distribution from fan spray nozzles. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, 1971.
- NATION, H.J. A selective review of literature on hydraulic pressure nozzle design and performance. Div. Note DN1300, Natl. Inst. Agric. Engng., Silsoe, October 1985.