

Guide
pratique

Manuel de lutte antiacridienne

Tahar Rachadi



éditions
Quæ

Manuel de lutte antiacridienne

Tahar Rachadi

Éditions Quæ/CTA



partageons les connaissances au profit des communautés rurales
sharing knowledge, improving rural livelihoods

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) a été créé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé signée entre les États du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et les États membres de l'Union européenne. Depuis 2000, le CTA opère dans le cadre de l'Accord de Cotonou ACP-UE. Le CTA a pour mission de développer et de fournir des produits et des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural. Le CTA a également pour mission de renforcer les capacités des pays ACP à acquérir, traiter, produire et diffuser de l'information pour le développement agricole et rural.

Le CTA est financé par l'Union européenne.

CTA – Postbus 380 – 6700 AJ Wageningen – The Netherlands
www.cta.int

Éditions Quæ, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com

© CTA, 2010 / ISBN 978-92-9081-457-3

© Éditions Quæ, 2010 / ISBN 978-2-7592-0867-8 / ISSN 1952-2770

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Sommaire

Introduction 5

Les principes de base de la pulvérisation 7

Cible et matière active 8

Critères de répartition et de dépôt des gouttelettes 10

Les modes de pulvérisation 22

Les modes de transport des gouttelettes 29

L'évaluation de la qualité des pulvérisations 39

Le matériel de pulvérisation 49

Les pulvérisateurs portatifs 49

Les pulvérisateurs portés par véhicule 59

Le matériel d'épandage aérien 73

Les traitements antiacridiens 101

Les modes d'intervention 101

La pratique des traitements 113

Les contrôles des traitements et l'optimisation des opérations de lutte 145

Conclusion 163

Références bibliographiques 165



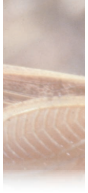
Introduction

L'accroissement démographique, les changements climatiques et les défis environnementaux qui en découlent ont considérablement fragilisé la disponibilité alimentaire dans de nombreux pays en développement. La pénurie guette dès que des pullulations d'acridiens affectent le rendement des récoltes.

À l'exception des situations d'urgence, qui suscitent l'engagement actif de la communauté internationale, la lutte antiacridienne gagne à être bien organisée aux niveaux local et national. Une gestion à l'échelon régional serait en outre souhaitable lorsque plusieurs pays sont susceptibles de subir les effets d'un même fléau. Sur la période concernée par les invasions et pullulations de 1987-1989, d'énormes quantités d'insecticides ont été pulvérisées sur des millions d'hectares : l'impact considérable et les effets environnementaux délétères de telles campagnes ne peuvent être ignorés.

Dans un tel contexte, l'application d'insecticides doit s'opérer dans des conditions d'efficacité optimale. Par conséquent, une approche pluridisciplinaire s'impose, combinant les dernières connaissances sur la biologie et l'écologie de ces insectes, sur les techniques d'application et le matériel adapté et sur l'économie des traitements phytosanitaires – le tout dans le souci de préserver autant que possible l'environnement à court et à long terme. La diversité des acteurs de la lutte antiacridienne, depuis les simples paysans jusqu'aux pilotes des aéronefs d'épandage, doit également être soigneusement prise en compte. Il est bien entendu impératif de prévenir les invasions en luttant contre les premières pullulations ou en étouffant les foyers de prolifération – mais pas à n'importe quel coût. L'efficacité des acridicides doit être optimisée pour réduire les quantités de substances chimiques répandues. Sous cet angle, renforcer et améliorer les techniques d'application devient **une nécessité économique et éthique**.

La plupart des écrits consacrés à la lutte antiacridienne traitent surtout des insecticides. Peu nombreux sont ceux qui expliquent comment ces produits doivent être employés. S'il est évident pour tout le monde que répandre un produit avec un arrosoir ne saurait donner de bons résultats, dans la mesure où la matière active doit être répartie de manière uniforme sur toute la surface à protéger, il est plus difficile à comprendre que pulvériser avec des gouttelettes à très large spectre entraîne un gaspillage significatif de produit et d'énergie – les gouttelettes très fines étant entraînées loin de la cible et les plus grosses tombant directement au sol. Les deux techniques ont un effet négatif sur l'environnement. Il est de ce fait essentiel de bien comprendre et maîtriser les phénomènes qui régissent les pulvérisations d'insecticides, d'autant plus qu'en lutte antiacridienne les méthodes les plus efficaces vont parfois à l'encontre des idées reçues.



La sécurité et l'efficacité de l'utilisation des pesticides dépendent dans une large mesure de l'état du matériel d'application. Dans la plupart des cas, les produits sont appliqués à l'aide de dispositifs rotatifs qui fragmentent le liquide en un brouillard de fines gouttelettes. La gamme des outils de pulvérisation est relativement sophistiquée et requiert un niveau élevé d'entretien, de formation et de maîtrise. En commençant par essayer de comprendre la nature des infestations acridiennes et les défis à relever pour les combattre, les chercheurs peuvent contribuer à améliorer les pratiques actuelles en matière de pulvérisation chimique, à accroître l'efficacité générale des traitements et à diminuer les risques sanitaires pour les opérateurs. De surcroît, plus d'efficacité signifie moins de traitements et donc moins de dépenses et de risques pour l'environnement.

Avec l'invention des insecticides de synthèse, les procédés d'application contre les acridiens ont connu un développement rapide. Les années passant, les pesticides sont devenus plus puissants et demandent désormais à être appliqués avec une précision bien supérieure. Les matériels de pulvérisation ont également beaucoup évolué, en tirant parti de nouveaux matériaux plus légers et plus solides. Ces progrès se sont traduits par une amélioration significative des pulvérisateurs en ultra bas volume (UBV) (*ultra low volume*, ULV), qui se sont aujourd'hui généralisées, tant pour les traitements terrestres que pour les épandages aériens. C'est ainsi que depuis les années 1980, la très grande majorité des applications antiacridiennes a été réalisée à l'aide de ce type de matériel, tandis que la part des pulvérisations aqueuses, des appâts et du poudrage est devenue négligeable. Consacrer un manuel à la technique UBV et au matériel associé se justifiait donc, pour tenter d'offrir aux opérateurs de la lutte antiacridienne, un guide de terrain adapté à leurs besoins.

Pour remplir son objectif, tout traitement phytosanitaire quel qu'il soit doit être appliqué au bon moment, au bon endroit, avec le bon produit et le bon matériel, calibré avec soin.

De telles précautions sont absolument nécessaires pour éviter les erreurs d'application, lesquelles entraînent :

- un accroissement considérable du coût du traitement;
- un gaspillage dispendieux de produits chimiques potentiellement dangereux pour les humains et pour l'environnement;
- un risque accru d'intoxication des opérateurs et de contamination des organismes non ciblés par les traitements;
- des résidus en excès, qui contaminent l'environnement.

La méconnaissance des techniques de calibrage peut avoir d'autres répercussions négatives. Les échecs des traitements sont souvent abusivement attribués à une prétendue inefficacité des produits et il arrive que les opérateurs, face à des résultats décevants, soient tentés par le surdosage ou par le renouvellement des traitements, ce qui multiplie les effets nocifs sans résoudre le problème.

Ce manuel se propose de contribuer à combler les lacunes de ce type. La première partie présente les notions générales en matière de pulvérisation. Elle expose clairement les principes de base régissant la formation des gouttelettes tout en faisant comprendre le rôle des conditions atmosphériques. La deuxième partie décrit le matériel le plus couramment utilisé en lutte antiacridienne terrestre et aérienne. La troisième partie, enfin, intègre les acquis des chapitres précédents et montre comment s'appuyer sur ces connaissances pour concevoir des programmes de traitement adaptés aux diverses situations.



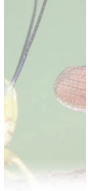
Les principes de base de la pulvérisation

La pulvérisation phytosanitaire est une technique qui consiste à fragmenter une veine de liquide en une multitude de gouttelettes et à transporter ces dernières pour les répartir sur une surface donnée. Cette définition doit cependant être complétée par la prise en compte de deux facteurs limitants, à savoir, le ruissellement au sol des gouttelettes les plus volumineuses d'une part, et la dérive des gouttelettes les plus fines, d'autre part. La chute des gouttes qui se sont coalescées sur le feuillage peut être à l'origine d'un lessivage important – un risque que les méthodes utilisant les techniques à **très bas volume** (TBV, *very low volume* ou VLV en anglais) et en **ultra bas volume** (UBV, *ultra low volume* ou ULV en anglais) permettent de réduire. Mais ces méthodes contribuent par ailleurs à accroître un autre risque, celui de voir les gouttelettes les plus fines (les plus légères) dériver hors de la zone cible.

Les notions de base des pulvérisations phytosanitaires, dont il est question dans cette première partie, sont essentielles à la compréhension des deux autres volets de l'ouvrage. Bien comprises, elles permettent de choisir les équipements les mieux adaptés puis de se familiariser avec les subtilités des calibrages qui permettront d'optimiser les résultats des traitements.

Ce premier chapitre est subdivisé en cinq points :

- la **cible** et la **matière active**. Ce chapitre décrit la cible acridienne et ses spécificités afin de pouvoir établir le meilleur moyen de l'atteindre ;
- la **distribution**, le **dépôt** des gouttelettes. Ce deuxième chapitre traite des paramètres qui président à la formation des gouttelettes, puis aborde les notions qui permettront ensuite d'évaluer les traitements ;
- les **modes de pulvérisation**. La description des différents modes de pulvérisation permet d'éviter les ambiguïtés qui sont fréquemment à l'origine d'erreurs dans le choix du matériel antiacridien ;
- les **modes de transport des gouttelettes**. L'étude de cette problématique fait toucher du doigt l'importance de l'action des facteurs atmosphériques sur la pulvérisation, notamment dans le cas des applications UBV en dérive contrôlée. Une bonne connaissance des phénomènes atmosphériques est essentielle pour réussir les traitements de ce type ;
- l'**évaluation de la qualité des traitements**. L'objectif de l'évaluation est de s'assurer que la pulvérisation produite réponde aux critères recherchés et de rectifier les éventuelles erreurs de calibrage.



Cible et matière active

Pour qu'une application phytosanitaire soit efficace, il convient de commencer par en définir la cible, à la fois dans le temps et dans l'espace. Un traitement atteindra son efficacité optimale s'il est appliqué au moment où le ravageur visé est le plus vulnérable – ce qui implique une bonne connaissance de la biologie et du comportement de la cible. En outre, il est évident que l'espace au sein duquel cette dernière se déplace pendant la durée de la persistance d'activité d'un pesticide doit également être délimité. Ainsi, un nombre égal de larves n'occupe pas le même espace qu'un nombre équivalent d'ailés. L'approche adoptée contre une espèce donnée d'acridien ne doit pas être aveuglément appliquée à une autre espèce – locuste ou sauteriau.

Le pesticide qui n'atteint pas sa cible constitue une perte économique et une réelle menace pour l'environnement; l'optimisation des traitements devrait donc avoir pour objectif de détruire le maximum d'acridiens **en contaminant le moins possible tout ce qui n'appartient pas à la cible**. Les procédés d'application devraient viser à réduire les quantités de pesticides utilisées tout en augmentant les quantités de pesticides atteignant effectivement la cible – ce qui implique de lutter contre le lessivage et la dérive incontrôlée. Quel que soit le pesticide employé, son mode d'action devrait être connu car les matières actives n'utilisent pas toutes le même canal pour détruire la cible. Ainsi pyréthrinoides et composés organophosphatés ne s'emploient-ils pas de la même manière que les régulateurs de croissance (*insect growth regulators, IGR*). Pour être efficaces, les premiers doivent atteindre leur cible directement, tandis que les seconds agissent par l'ingestion de végétaux contaminés. Les informations de ce type doivent être prises en considération, tout comme les caractéristiques de l'environnement, pour définir les paramètres de la pulvérisation qui permettront d'atteindre la cible dans les meilleures conditions.

À l'exception des essaims posés et des bandes larvaires en bloc isolé, la cible acridienne se présente le plus souvent sous la forme d'insectes dispersés (adultes clairssemés, bandes éparées de larves) et la procédure habituelle est de traiter le périmètre à l'intérieur duquel les ravageurs évoluent plutôt que de traiter chaque insecte directement. On parle dans ce cas de **zone cible**.

Définir l'objectif du traitement revient essentiellement à définir la cible dans le temps et dans l'espace et à établir la dose à appliquer.

Les acridiens peuvent se rencontrer sous trois formes, qui correspondent aux trois stades du développement : les œufs, les larves (ou nymphes) et les imagos (ailés). Comme les œufs sont enfouis dans le sol, à l'abri des pesticides pulvérisés, la cible acridienne est donc constituée des larves et des imagos.

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour définir la cible acridienne.

La nocivité

La nocivité à la fois présente et future doit être prise en considération. Il en découle que la nocivité d'une population de sauteriaux devrait être estimée en fonction de la proximité et de la vulnérabilité des cultures à risque. Un champ de mil, par exemple, est très sensible au stade de la plantule et de la formation du grain. En revanche, une population de locustes sera considérée comme cible dès lors qu'elle atteindra son seuil de grégarisation, même si elle se trouve à des centaines de kilomètres de toute culture, et même si cela peut paraître disproportionné au regard des dégâts constatés sur le moment.



La vulnérabilité

Les larves, notamment celles des premiers stades, sont connues pour être plus sensibles que les ailés. Le fait qu'elles ne se déplacent pas sur de longues distances les rend en outre plus faciles à maîtriser. Larves et ailés se traitent mieux dans des habitats ouverts que dans des milieux buissonnants ou boisés.

La mobilité

Les locustes ailés sont capables de se déplacer en vol sur des dizaines, voire des centaines, de kilomètres par jour. Au cours de leur vie, ces insectes peuvent parcourir des milliers de kilomètres. Les essaims ne constituent de bonnes cibles que lorsqu'ils sont posés, en particulier s'ils sont engourdis par le froid. Par temps chaud, la cible est en trois dimensions et mobile. Un même essaim peut être aperçu en plusieurs endroits quasi simultanément. La cible est alors en mesure de se déplacer plus rapidement que les moyens de prospection et de lutte.

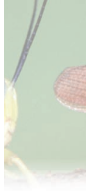
Les larves sont moins mobiles et ne se déplacent qu'en marchant ou en sautant. Elles constituent ainsi une cible plus facile à atteindre. Les bandes larvaires peuvent parcourir plusieurs kilomètres par jour mais demeurer pendant quelques semaines relativement stationnaires et, une fois repérées, être faciles à suivre et à traiter.



Figure 1. Une bande larvaire de Criquets pèlerins de 5^e stade traversant une route au Sénégal (octobre 1988). La densité des bandes larvaires peut être de plusieurs centaines de larves par mètre carré. Elles peuvent occuper des dizaines d'hectares par an.

L'ampleur

Dans un milieu uniforme où les cibles ont des contours et des dimensions similaires, les ailés et les larves de sauteriaux partagent généralement le même espace, tandis que le volume occupé par un essaim de locustes varie sensiblement au cours de la journée, en fonction de la température, du vent, de la stabilité de l'air,



de la nature et de la structure de la végétation et de l'activité des individus qui le constituent. En outre, il est fréquent qu'un essaim investisse une zone vingt fois plus importante que celle qu'occupait la bande larvaire dont il est issu. Se tromper de tactique à l'encontre d'un essaim de grande taille peut se traduire non seulement par un taux de mortalité décevant mais – bien pire – par la fragmentation de l'essaim en plusieurs essaims plus petits, constituant alors de multiples cibles dispersées sur une surface encore plus étendue, beaucoup plus difficiles à traiter. Les bandes larvaires – surtout des premiers stades – sont souvent très denses. On observe souvent plusieurs milliers d'individus par mètre carré. La surface couverte par une bande peut varier de moins d'un mètre carré à plusieurs centaines d'hectares (fig. 1). Il arrive que ces bandes se morcellent en groupes plus petits mais elles se dispersent rarement en individus isolés. Elles constituent des cibles vulnérables et faciles à définir une fois localisées. Une erreur de tactique de traitement contre une bande larvaire n'entraîne pas de modification significative de la zone cible.

Critères de répartition et de dépôt des gouttelettes

La dose de matière active

La pulvérisation est un moyen de répartir de manière aussi homogène que possible une certaine quantité de matière active – la dose – sur une surface donnée. En lutte antiacridienne, **l'unité de surface de référence est l'hectare (ha)**. Les doses sont donc exprimées en grammes de matière active par hectare (**g m. a./ha**). Le coordinateur des opérations antiacridiennes sur le terrain doit absolument s'assurer que la dose effectivement utilisée est suffisamment proche de la dose recommandée. Il ne s'agit pas là d'une exigence disproportionnée, car les erreurs de calculs et les surdosages réduisent l'efficacité du traitement et entraînent des répercussions nuisibles sur l'environnement. En particulier, les opérateurs doivent résister à la tentation instinctive de pulvériser avec insistance sur les endroits où la densité des criquets est plus forte qu'ailleurs. À l'inverse, ils ne doivent pas non plus passer plus rapidement sur les zones apparemment moins densément occupées. Le résultat, dans le premier cas, est un surdosage dangereux doublé d'une perte économique et, dans le second, la survie d'un nombre d'insectes suffisant pour que l'infestation reprenne, en particulier lorsqu'il s'agit de locustes.

Les volumes à appliquer par hectare

La mobilisation de ressources logistiques considérables est nécessaire pour pouvoir traiter rapidement de vastes étendues infestées, en particulier dans le cas des invasions généralisées de locustes. Ces situations ont poussé les opérateurs antiacridiens à rechercher des moyens pour réduire le volume de produit à épandre par hectare, avec l'idée de limiter les dépenses et les délais nécessaires au contrôle des acridiens sur de grandes étendues. Expressément conçu dans ce but précis, le pulvérisateur fixé sur pot d'échappement (PPE ou *ENS* en anglais, *exhaust nozzle sprayer*) a été le premier pulvérisateur UBV.



Les recherches qui ont suivi la mise au point du PPE ont montré que l'efficacité globale augmentait lorsque les gouttelettes étaient à la fois plus fines et plus nombreuses, ce qui se traduisait par une réduction des volumes de pesticides utilisés.

Une pulvérisation uniforme de gouttelettes de petite taille est beaucoup plus efficace que l'application de gros volumes de produits.

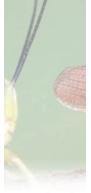
La classification des pulvérisations selon les volumes utilisés par hectare est purement conventionnelle et surtout basée sur des critères subjectifs. Elle distingue cinq catégories de pulvérisation (tableau 1) : **haut volume** (HV – *high volume* ou HV en anglais), **volume moyen** (VM – *medium volume* ou MV en anglais), **bas volume** (BV – *low volume* ou LV en anglais), **à très bas volume** (TBV – *very low volume* ou VLV en anglais) et **en ultra bas volume** (UBV – *ultra low volume* ou ULV en anglais).

La technique UBV emploie un volume de produit aussi faible que possible tout en préservant une efficacité optimale. En traitement phytosanitaire, les quantités utilisées dépendent généralement du type de cible et des caractéristiques du milieu, telles que la couverture végétale (tableau 1). Il arrive cependant que le volume par hectare soit imposé par le type et la teneur en matière active de la formulation dont on dispose, en dépit des exigences liées à la zone cible. La situation doit alors être analysée par les responsables des opérations aux échelons régionaux et nationaux, à qui il revient de fournir au personnel de terrain les formulations les mieux adaptées à leur travail.

Type de pulvérisation	Qualité de la pulvérisation	Volume (l/ha)	Diamètre des gouttelettes (µm)
HV	Grossière	600 - 1 000	> 500
MV	Grossière	100 - 600	300 - 500
LV	Moyenne	25 - 100	200 - 300
VLV	Fine	5 - 25	50 - 1500
UBV	Très fine	< 5	40 - 620

Tableau 1. Classification des pulvérisations en fonction du volume d'application.

Le plus souvent, en particulier pour les épandages aériens, le volume utilisé dépasse rarement un litre par hectare, puisque les opérations concernent surtout des zones dont la couverture végétale est clairsemée. Il reste judicieux toutefois de fixer ici des limites afin d'éviter tout excès. Pulvériser des volumes inférieurs à 0,5 l/ha accroît considérablement les risques d'exodérive dans la mesure où les gouttelettes produites sont trop petites (< 40 microns) ; d'autre part, diminuer le volume utilisé plutôt que la taille des gouttelettes (par exemple, en réduisant le débit d'une buse pneumatique) n'améliorera en rien le traitement. L'application par gouttelettes calibrées (*controlled droplet application*, CDA) est une approche qui vise à limiter les volumes utilisés en diminuant et en uniformisant les gouttelettes produites (Matthews, 1985). Toutefois, en traitements dits *en barrières*, ramené à la totalité de la surface protégée, le volume appliqué peut descendre jusqu'à 0,25 l/ha en moyenne.



Les traitements en UBV utilisant des formulations à base d'eau (formulations aqueuses) ne sont pas adaptés. En effet, les opérations de lutte antiacridienne interviennent souvent en conditions chaudes et sèches, dans lesquelles les gouttelettes inférieures à 200 microns sont susceptibles de s'évaporer rapidement et de se transformer en poussières en suspension : celles-ci dérivent à l'extérieur de la zone cible en provoquant perte de produit et pollution. **De fait, il est admis que les volumes d'application des formulations aqueuses doivent être supérieurs à cinq litres par hectare.**

Au vu de ce qui précède, la technique UBV dans le cadre de la lutte antiacridienne peut être définie de la manière suivante : **il s'agit d'une technique de production de très fines gouttelettes uniformes (DMV inférieur à 100 µm), permettant la pulvérisation de formulations huileuses à des volumes inférieurs à cinq litres par hectare.**

Les préparations pour pulvérisations en UBV sont toujours huileuses et, à quelques exceptions près, sont utilisées en l'état. Si le produit doit être dilué, il est possible de le faire dans la quantité appropriée d'une quelconque huile disponible sur place. Cet adjuvant doit être compatible, d'où la nécessité de procéder à des essais avant le traitement. Mieux vaut ici rechercher l'avis du fabricant. Parfois, lorsque les doses sont très faibles, il est avantageux de transporter des produits concentrés jusqu'au chantier de traitement, puis de les mélanger sur place.

1. Exemple de calcul pour une dilution extemporanée

Une formulation contient 450 g/l de matière active. Combien de diesel doit-on y ajouter pour pouvoir traiter une infestation de Criquets pèlerins à 200 g m.a./ha ou une infestation de sauteriaux à 150 g m.a./ha, sachant que, dans les deux cas, le volume d'application est de 1 l/ha ?

Note : pour simplifier les calculs, on utilisera les cm³ et les ml (millilitres) comme unités.

On commence par calculer le **volume de formulation qui contient la dose requise** de matière active. On utilise la formule :

$$Q = (D \times 1000) / C$$

où : Q = le volume, en ml

D = la dose, en grammes de matière active par hectare (g m.a./ha)

C = la concentration de matière active dans la formulation d'origine (g m.a./l)

Dans le cas des Criquets pèlerins : $Q = (200 \times 1000) / 450 = 444$ ml

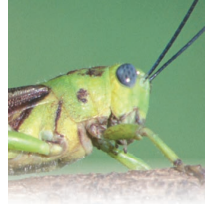
Dans le cas des sauteriaux : $Q = (150 \times 1000) / 450 = 333$ ml

La quantité d'adjuvant nécessaire est donc de :

– dans le cas des Criquets pèlerins : $1000 - 444 = 556$ ml ;

– dans le cas des sauteriaux : $1000 - 333 = 667$ ml.

Ainsi, 444 ml de la préparation d'origine seront dilués dans 556 ml de diesel ($444 + 556 = 1000$ ml) pour traiter 1 ha contre les Criquets pèlerins et 333 ml de formulation seront dilués dans 667 ml de diesel ($333 + 667 = 1000$) pour traiter 1 ha contre les sauteriaux.



La densité des gouttelettes (degré de couverture)

Le degré de couverture correspond au nombre de gouttelettes qui atteignent la cible. Il peut être estimé et s'exprime en **nombre de gouttelettes par cm²**. Comme il est quasiment impossible de connaître le nombre de gouttelettes qui atteignent la cible acridienne proprement dite, on se contente d'estimer **la couverture de la zone cible**.

Il faut souligner que la densité des gouttelettes qui entrent en contact avec le feuillage dans la zone cible est élevée lorsque la taille des gouttelettes est petite et que l'efficacité croît avec le nombre de gouttelettes. Il est donc plus efficace de pulvériser avec un grand nombre de fines gouttelettes qu'avec un petit nombre de grosses gouttes.

Type de végétation	Matériel de pulvérisation			
	UBV aérien	Porté	À piles	TBV pneumatique à dos
Tapis herbeux clairsemé	0,5	0,5	1	5
Tapis herbeux moyennement dense	1	1	2,2	5 - 10
Tapis herbeux dense discontinu	1.5 - 2	2	3	10 - 20
Tapis herbeux dense continu	2 - 3	3 - 5		> 20

Tableau 2. Volumes d'application pour des traitements UBV et TBV en fonction de la végétation et du type de matériel (en l/ha).

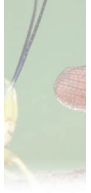
De manière générale, le nombre d'impacts nécessaires pour assurer une efficacité suffisante dépend de la nature de la cible : ainsi faut-il un nombre d'impacts (ou de gouttelettes) plus élevé pour traiter les champignons que les insectes (tableau 3). De même, une pulvérisation contre les pucerons requiert plus de gouttelettes que celle contre les acridiens.

Pour les traitements en couverture totale, 20 gouttelettes par cm² suffisent généralement avec un insecticide par contact, tandis qu'en traitement en barrières avec des insecticides à longue persistance d'activité, la densité des gouttelettes diminue en amont du vent vers l'aval. Les traitements en barrières réalisés avec le fipronil ont une efficacité satisfaisante là même où aucune gouttelette n'a été relevée sur les collecteurs (Rachadi, 1999).

En lutte antiacridienne, en couverture totale, 20 gouttelettes par cm² permettent d'assurer une efficacité satisfaisante dans la plupart des cas.

La taille des gouttelettes

La taille des gouttelettes indique la mesure des sphères qu'elles forment pendant leur trajectoire entre leur point d'émission et l'impact sur un obstacle. Cette valeur est purement théorique car pendant le trajet, la gouttelette est soumise à



DMV*	% de dépôt	Types d'utilisation	Remarques
500	> 95	Application d'herbicide, aucune dérive tolérée. Applications en HV ou VM	Dans le cas d'épandages aériens, l'avion doit voler très bas
200-500	80-95	Utilisation pour opérations de santé publique. Applications en BV sur les cultures, y compris herbicides	Convient pour des formulations aqueuses, y compris pour des épandages aériens
125-250	50-80	Applications en TBV d'insecticides par contact et traitements de position sur toutes cultures	Bonne couverture en TBV. Formulations aqueuses par temps frais et humide
60-120	30-20	Application en UBV d'insecticides par contact et traitements de position dans la plupart des traitements phytosanitaires. La méthode la plus utilisée en lutte antiacridienne	Bon dépôt au sein du feuillage. Formulations spécifiques pour pulvérisation en UBV
30-60	15-30	Applications par contact contre des insectes en vol ou posés (moustiques, glossines, etc.). Technique UBV	Dérive importante. Dépôt faible. Application en période d'inversion atmosphérique
15-30	< 15	Aérosol pour traitements par contact contre des insectes volants. Technique UBV	Dérive très forte. Pratiquement aucun dépôt.

* DMV : diamètre médian du volume

Tableau 3. Taille des gouttelettes en fonction du type de traitement (d'après Lerch, 1984).

de nombreux facteurs de déformation. La taille des gouttelettes est exprimée en micromètres ou microns (μm).

Il a été souligné plus haut que, à dose égale, l'efficacité d'un traitement est supérieure lorsque les gouttelettes sont plus fines. La raison en est que les fines gouttelettes pénètrent mieux dans le feuillage et assurent une meilleure couverture. L'interception des insectes en vol est également améliorée.

Comme le nombre des gouttelettes est inversement proportionnel à leur diamètre, un volume donné peut traiter une plus grande surface si les gouttelettes sont fines. Ainsi, diviser par deux le diamètre des gouttelettes équivaut à en multiplier le nombre par huit et à doubler la surface couverte par le traitement (fig. 2).

Il convient de noter que le comportement des gouttelettes est influencé par la gravité et par les conditions atmosphériques en fonction de leur taille. Ainsi :

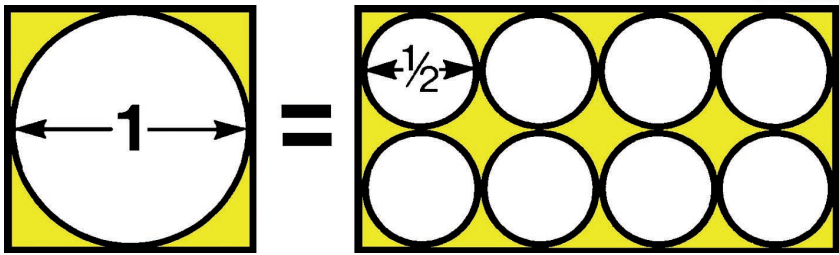


Figure 2. Comparaison de la surface couverte par de grosses gouttelettes et par de fines gouttelettes (d'après Hoechst). À volume égal, diviser le diamètre des gouttelettes par deux équivaut à doubler la surface couverte.

- Les gouttelettes de plus de 300 μm tombent presque verticalement sous l'effet de la gravité. Dans la quasi-totalité des cas, elles se retrouvent au sol : en effet, même si elles sont interceptées par la végétation, elles se disloquent au moment de l'impact et ruissellent vers le bas (fig. 3). Les grosses gouttelettes sont celles qui contiennent la plus grande proportion du volume et donc de matière active. Elles atteignent la cible par sédimentation.
- Les gouttelettes de 100 à 300 microns sont elles aussi entraînées vers le bas mais sont par ailleurs soumises à une certaine dérive latérale avant d'être interceptées. Elles atteignent leur cible par sédimentation et par interception. Elles ne sont que modérément retenues par la végétation.
- Les gouttelettes de 30 à 100 microns peuvent être emportées loin de leur point d'émission par un vent latéral tout en sédimentant progressivement. Elles atteignent leur cible principalement par interception. Elles pénètrent bien dans la végétation et sont bien retenues par le feuillage et par les téguments des insectes (fig. 4).

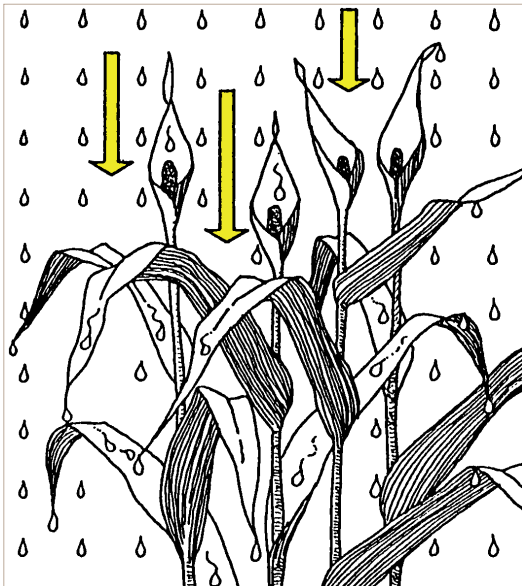
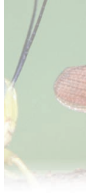


Figure 3. Les inconvénients des pulvérisations à grosses gouttelettes (d'après Hoechst). Les gouttelettes ne sont pas retenues par le couvert végétal. Elles finissent généralement au sol.



• Les gouttelettes de moins de 30 microns sont trop légères pour être très affectées par la gravité. Elles restent en suspension dans l'air tout en dérivant loin de leur point d'émission, jusqu'à ce qu'elles s'évaporent. Ce type de pulvérisation n'est pas habituellement utilisé en lutte antiacridienne mais plutôt en santé publique, contre des insectes volants tels que moustiques et glossines (tableau 4). La cible est exclusivement atteinte par interception.



Figure 4. Les avantages des pulvérisations à fines gouttelettes (d'après Hoechst). Elles atteignent la cible par interception et pénètrent bien dans le couvert végétal.

Type de cible	Couverture (gouttelettes par cm ²)	Pourcentage estimé de dépôt
Insectes volants	Gouttelettes en suspension dans l'air	15
Insectes au sol	20 - 30	15 - 40
Mauvaises herbes en post-émergence	30 - 40	40 - 80
Champignons/moisissures	50 - 70	50 - 80

Tableau 4. La couverture et le pourcentage de dépôt des gouttelettes en fonction du type de cible (d'après Lerch, 1984).

Pour obtenir une densité de 20 gouttelettes par cm², le volume d'application sera de :

- 1 000 l/ha avec des gouttelettes de 985 microns,
- 200 l/ha avec des gouttelettes de 576 microns,
- 50 l/ha avec des gouttelettes de 363 microns,
- 20 l/ha avec des gouttelettes de 267 microns,
- 5 l/ha avec des gouttelettes de 168 microns,
- 4 l/ha avec des gouttelettes de 156 microns,
- 3 l/ha avec des gouttelettes de 142 microns,
- 2 l/ha avec des gouttelettes de 124 microns,
- 1 l/ha avec des gouttelettes de 98 microns,**
- 0,1 l/ha avec des gouttelettes de 46 microns.



Par ailleurs, avec un litre par hectare, on peut théoriquement produire, par centimètre carré :

- 387 gouttelettes de 20 microns,
- 298 gouttelettes de 40 microns,
- 88 gouttelettes de 60 microns,
- 37 gouttelettes de 80 microns,
- 19 gouttelettes de 100 microns,
- 11 gouttelettes de 160 microns,
- 2 gouttelettes de 200 microns.

Après avoir sélectionné la taille et la densité des gouttelettes souhaitées en fonction du type d'usage envisagé (tableau 3), il est possible de déterminer le volume d'application à l'aide d'un abaque, tel le graphique de la figure 6. Ainsi, s'il faut pulvériser avec des gouttelettes de 100 microns à raison de 50 gouttelettes/cm², on utilisera 3 l/ha. Pour une couverture de 19 gouttelettes/cm² dans les mêmes conditions, on utilisera 1 l/ha.

En traitements en UBV, la taille des gouttelettes utiles oscille entre 30 et 120 microns. Le diamètre optimal se situe entre 30 et 70 microns pour les traitements antiacridiens.

Les pertes de liquide au niveau des gouttelettes dépendent de la température et de l'humidité relative de l'air et de la taille des gouttelettes. Les grosses gouttes, qui tombent rapidement, sont peu affectées, tandis que les plus fines, qui demeurent longtemps en suspension, sont soumises à une forte évaporation et peuvent même s'évaporer complètement (fig. 5). La forme solide de la matière active qui résulte de cette évaporation est susceptible de dériver à grande distance du point d'émission avant de se déposer par sédimentation.

C'est la raison pour laquelle les solvants utilisés dans les formulations pour l'UBV doivent impérativement avoir un point éclair élevé pour permettre aux gouttelettes d'atteindre la cible avant d'avoir trop diminué de volume.

Le spectre des gouttelettes

La notion de spectre

Habituellement, une pulvérisation génère un grand nombre de gouttelettes inférieures à 0,5 mm (500 microns) et il est sans intérêt d'en produire de plus grosses. Toutefois, aucun des nombreux modèles de pulvérisateurs actuels ne produit des gouttelettes qui soient toutes exactement de la même taille : on obtient toujours une gamme de gouttelettes de différents diamètres.

Le spectre des gouttelettes est la classification des gouttelettes en fonction de leur taille; elle peut être estimée à **partir du diamètre médian du volume (DMV** ou *volume median diameter*, VMD en anglais) **et du diamètre médian du nombre (DMN** ou *number median diameter*, NMD en anglais). Bien que purement théoriques, ces grandeurs sont importantes pour comprendre l'influence de la taille des gouttes sur la couverture de la pulvérisation. Ce sont des critères importants pour estimer la qualité de la pulvérisation.

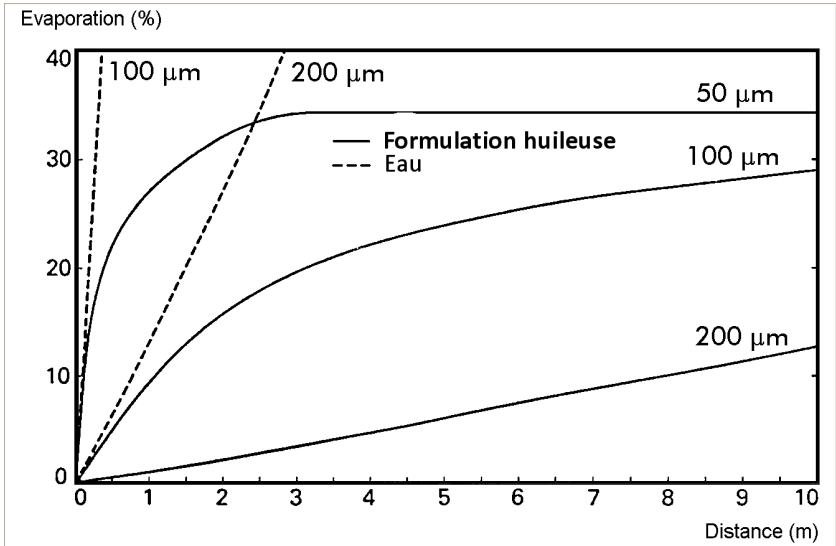
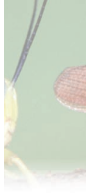


Figure 5. Vitesse d'évaporation d'une formulation huileuse pour UVB par rapport aux applications aqueuses, en fonction de la taille des gouttelettes et de la distance entre le point d'émission et le point d'impact (d'après Ciba-Geigy, 1984). Évaluation en laboratoire, à 30 °C.

Diamètre des gouttelettes (microns)	Température (°C)	Humidité relative (%)	Longévité (secondes)
100	20	70	20
		40	9
	30	70	17 - 18
		40	8
	40	70	16,8
		40	7,8
50	20	70	5
		40	2
	20	40	1.9

Tableau 5. Longévité de gouttelettes d'eau en fonction de leur diamètre, de la température et de l'humidité relative de l'air (d'après von Eickstedt in Gröner 1985).

Le diamètre médian du volume

Si l'on range les gouttelettes produites de la plus petite à la plus grosse tout en additionnant leur volume de proche en proche, le diamètre de la gouttelette avec laquelle on arrive à 50 % du volume total, correspond au diamètre médian du volume (DMV). La moitié du volume total des gouttelettes produites est répartie dans des gouttelettes de diamètre inférieur au DMV et l'autre moitié dans des gouttelettes de diamètre supérieur au DMV (fig. 7 et 8).



L'estimation et le calcul du DMV (et du DMN) prennent du temps du fait du nombre élevé de gouttelettes qui sont générées. L'analyse automatisée d'échantillons de gouttelettes est désormais possible par le traitement d'images par laser, une technique disponible dans quelques laboratoires spécialisés. Sur le terrain, le DMV peut être estimé à l'aide de l'équation :

$$\text{DMV} = 0,45 \times D_{\text{max}}$$

D_{max} étant le diamètre de la gouttelette la plus grosse (son estimation sera abordée dans la section consacrée à la qualité des pulvérisations).

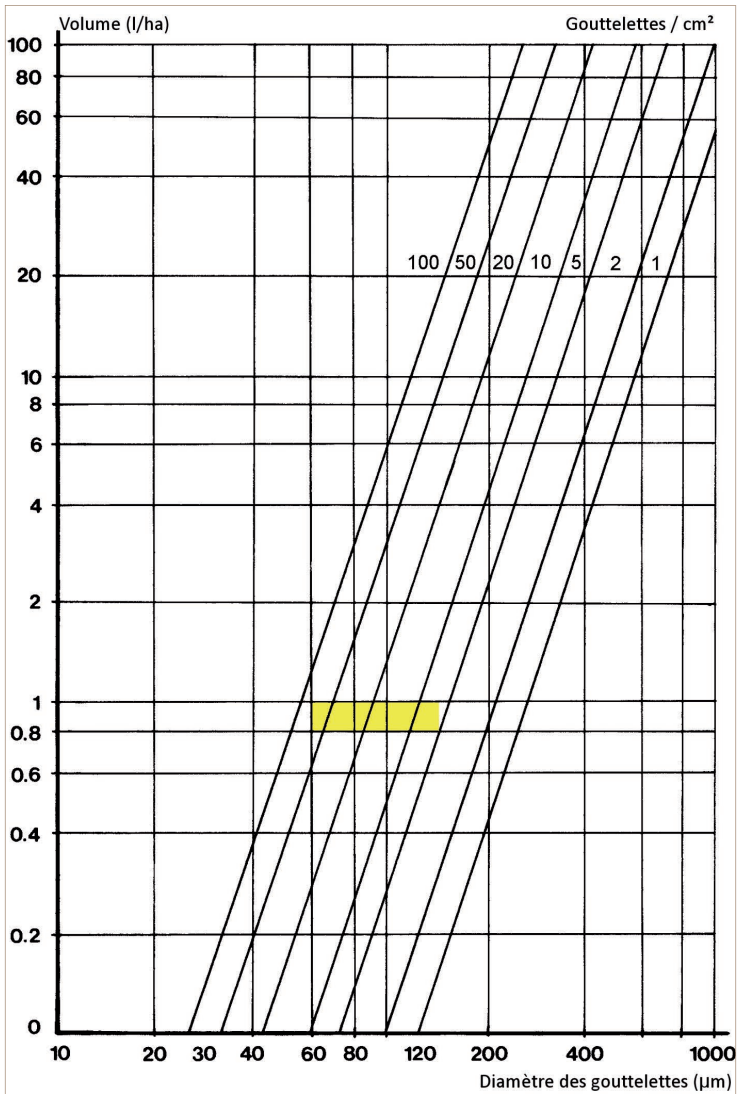
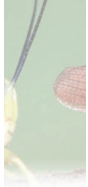


Figure 6. Relation entre le volume utilisé par hectare, la taille des gouttelettes et la densité de couverture (Castel, 1986).



Le diamètre médian du nombre

Si les gouttelettes sont rangées de la plus petite à la plus grosse et numérotées dans cet ordre, alors le diamètre de la goutte dont le numéro d'ordre est la moitié du nombre total de gouttelettes correspond au diamètre médian du nombre (DMN) (fig. 7). La moitié des gouttelettes a un diamètre inférieur au DMN, tandis que l'autre moitié a un diamètre supérieur. Isolément, le DMN peut donner une idée déformée de la réalité car il est influencé par le grand nombre de petites gouttelettes qui ne contiennent en général qu'une petite proportion de la formulation pulvérisée.

Le diamètre médian du volume comme le diamètre médian du nombre sont des grandeurs théoriques. Ils servent à décrire les caractéristiques de la pulvérisation et à donner une idée de la largeur du spectre des gouttelettes produites.

L'homogénéité de la pulvérisation

Comme un petit nombre de grosses gouttelettes contiennent plus de liquide qu'un grand nombre de petites gouttelettes, le diamètre médian du volume (DMV) est toujours plus grand que le diamètre médian en nombre (DMN).

Le rapport DMV/DMN permet de se faire une idée de la largeur du spectre des gouttelettes. Il exprime l'uniformité des particules et permet de mieux juger de la qualité des pulvérisations. Plus la différence entre la goutte la plus grosse et la goutte la plus fine est importante, plus le rapport DMV/DMN est grand.

Nous pouvons donc dire que la pulvérisation est grossière quand le rapport DMV/DMN est grand.

Le rapport DMV/DMN dépend du type de matériel et des conditions d'utilisation. Il faut souligner qu'il existe une grande différence entre les formulations aqueuses et les formulations pour UBV. Le Centre d'études et d'expérimentation du machinisme agricole tropical du Cirad (Montpellier, France) a classé les différents types de buses (ou gicleurs) en fonction du rapport DMV/DMN qu'elles permettent d'obtenir dans les conditions du laboratoire :

- buse hydraulique : DMV/DMN = 5,0 à 10,0;
- buse centrifuge : DMV/DMN = 1,2 à 1,7;
- pulvérisateur électrostatique : DMV/DMN = 1,03 à 1,30.

Ainsi, si l'on exclut les pulvérisateurs électrostatiques, qui ne sont pratiquement pas utilisables en lutte antiacridienne, les buses centrifuges sont celles qui produisent les jets les plus homogènes. Bien qu'il s'agisse de grandeurs théoriques, le diamètre médian du volume et le diamètre médian en nombre sont très utiles pour évaluer la qualité d'une pulvérisation. Il est indéniable qu'une pulvérisation homogène doit être l'objectif vers lequel il faut tendre, même si une pulvérisation parfaitement homogène est impossible à obtenir dans la pratique. Si toutes les gouttelettes avaient la même taille et étaient soumises à un flux d'air parfaitement régulier, elles tomberaient toutes au même niveau. Ce n'est jamais le cas et une bonne pulvérisation est un nécessaire compromis entre l'exigence d'avoir un bon taux de récupération, lequel est obtenu avec les grosses gouttelettes, et un bon recouvrement qui est procuré par les plus fines. **En lutte antiacridienne, un bon compromis est réalisé avec un DMV de 100 microns et un rapport DMV/DMN de 1,5 à 2,5.**

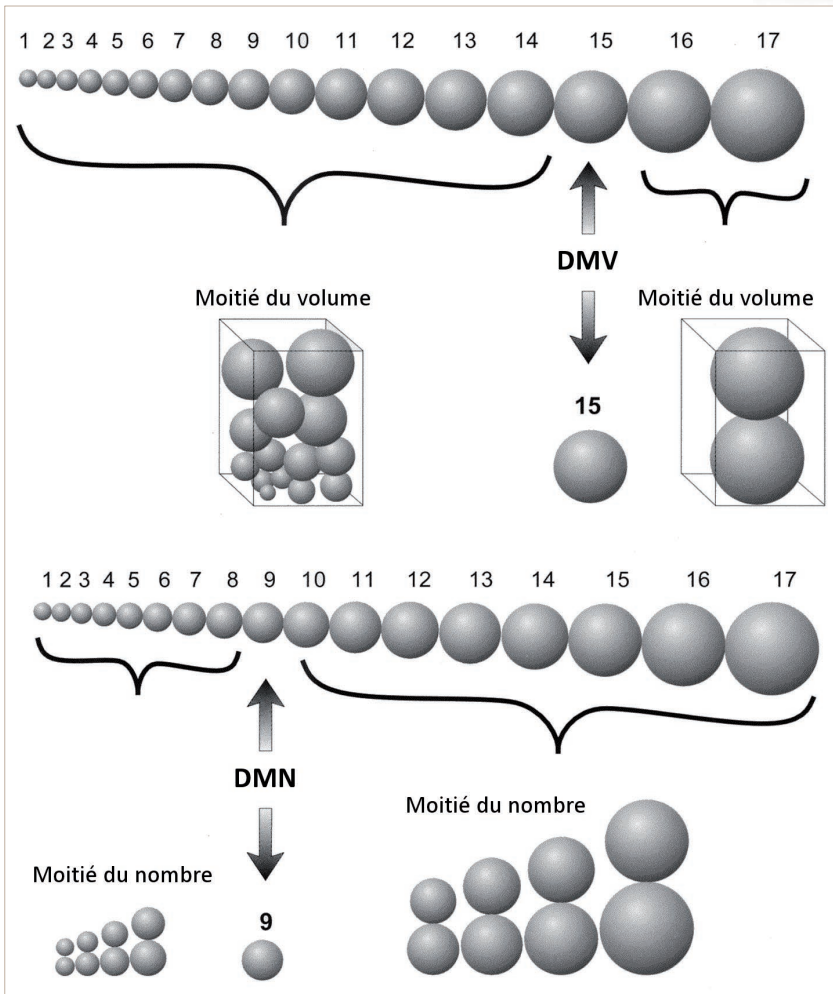
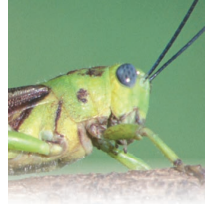


Figure 7. Représentation schématique du diamètre médian du volume et du diamètre médian en nombre (DMV et DMN) (d'après Dobson, 2001). La moitié du volume total est composé de gouttelettes dont le diamètre est inférieur au DMV et l'autre moitié supérieur au DMV. La moitié du volume total qui se trouve dans les gouttelettes fines est répartie en un nombre significativement plus grand de gouttelettes que la moitié qui se trouve dans les grosses gouttelettes.

La répartition spatiale des gouttelettes

Dans le cadre des traitements en couverture totale, une répartition homogène est importante pour l'efficacité du traitement. Cette répartition peut être estimée par un pourcentage (fig. 8). Si elle peut être plus faible lorsque la persistance d'activité de la matière active est longue, elle doit être plus élevée lorsque la persistance d'activité est brève (voir § *L'évaluation de la distribution des gouttelettes*). Lorsque la matière active a une persistance d'activité courte, la couverture doit donc être plus homogène.

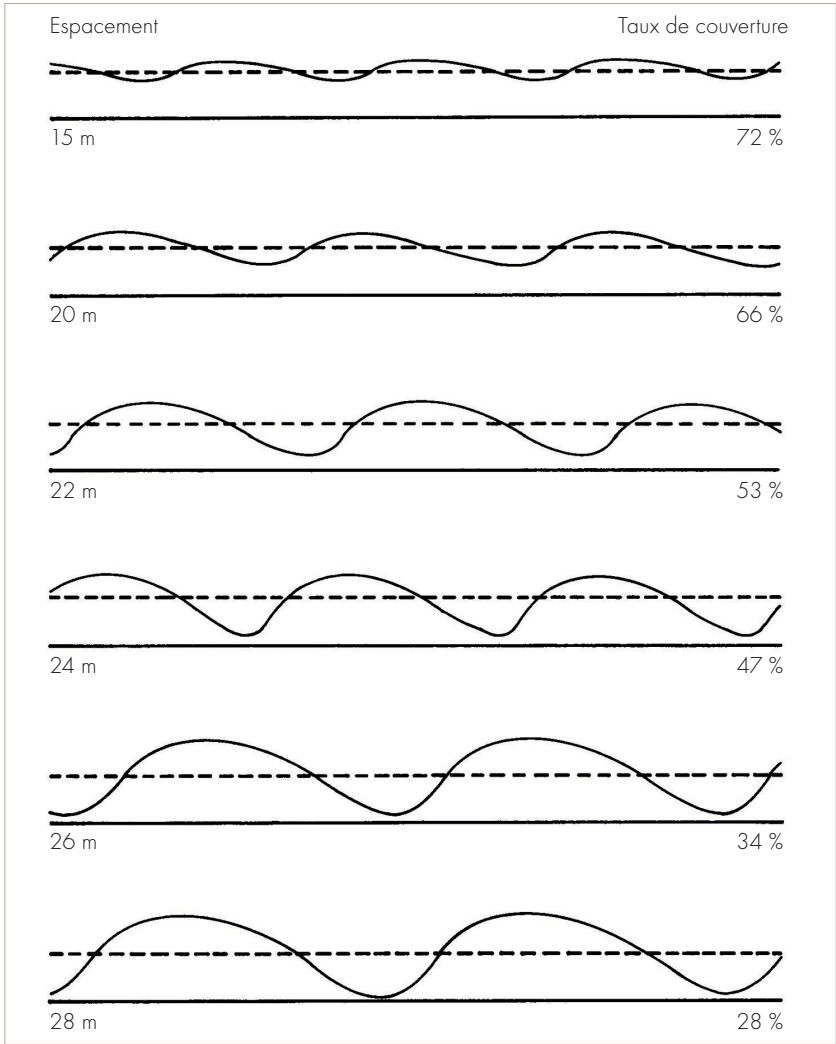
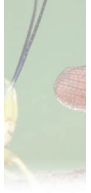


Figure 8. Homogénéité et répartition spatiale des gouttelettes (d'après Ciba-Geigy, 1984). Plus les espacements sont courts, plus le taux de couverture est élevé.

Les modes de pulvérisation

Les pulvérisations peuvent être classées en fonction du mécanisme de production des gouttelettes et du type de buse.

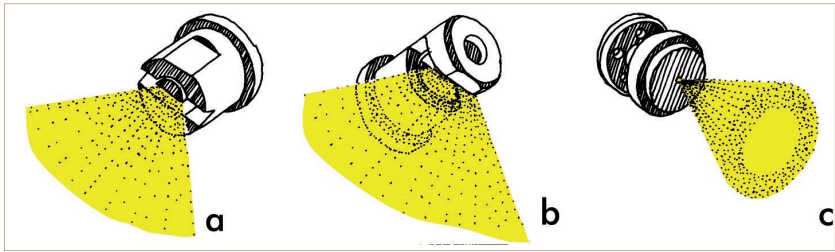
La pulvérisation à jet projeté ou hydraulique

Ce système est le plus ancien. Les gouttelettes sont produites par la mise sous pression du liquide à pulvériser et sa sortie forcée à travers un orifice calibré de



Pression (bars)	Taille des gouttelettes (microns)	Durée (secondes) pour un trajet de		
		0,25 m	0,50 m	1,00 m
1	50	0,094	0,290	0,700
	100	0,060	0,210	0,540
	200	0,034	0,100	0,380
2	50	0,084	0,220	0,510
	100	0,044	0,130	0,350
	200	0,022	0,061	0,200
4	50	0,057	0,150	0,420
	100	0,030	0,090	0,290
	200	0,015	0,041	0,140

Tableau 6. Durée de la période de suspension dans l'air de gouttelettes émises par une buse à fente (d'après Dirske, 1986).



a : buse à fente; b : buse à miroir; c : buse à turbulence

Figure 9. Trois types de buses hydrauliques pour pulvérisation aqueuse à jet projeté (d'après Desmarquest).

faible ouverture (buse ou gicleur). Une pompe puissante fournit l'énergie nécessaire à l'expulsion du liquide et sa pulvérisation. La taille des gouttelettes dépend de la pression appliquée, du type de buse utilisée et de la taille de l'orifice. Une pression basse et un orifice large produisent de grosses gouttes, tandis qu'une pression élevée et un orifice étroit produisent des gouttes plus fines. Ce type de dispositif génère de toute manière un spectre de gouttelettes très large, le volume des plus grosses pouvant atteindre un million de fois celui des plus fines.

Il existe une grande variété de buses, présentant des formes et des diamètres d'orifices divers, ces derniers déterminant le trajet des gouttelettes et leur impact (tableau 6). Plusieurs types de buses sont disponibles, tels que les buses à turbulence (ou à jet conique), les buses à fente et les buses à miroir. Le débit et la taille des gouttelettes peuvent être réduits mais pas suffisamment pour les rendre compatibles avec une pulvérisation en UBV. Il reste cependant possible de réaliser des épandages aériens en UBV avec des buses à turbulence (fig. 9), en exploitant le flux d'air généré par l'aéronef en mouvement (fig. 10).

Les pulvérisateurs à buse hydraulique sont rarement utilisés en lutte antiacridienne du fait des hautes pressions requises (de 2 à 60 bars) et des grandes quantités d'eau nécessaires (de 100 à 1 000 l/ha). Le poids du matériel et les besoins importants en eau constituent des handicaps majeurs en zone sèche.

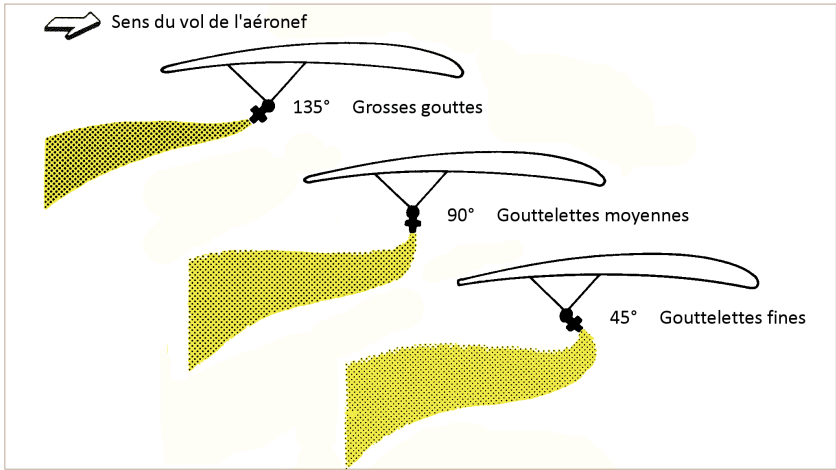
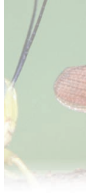
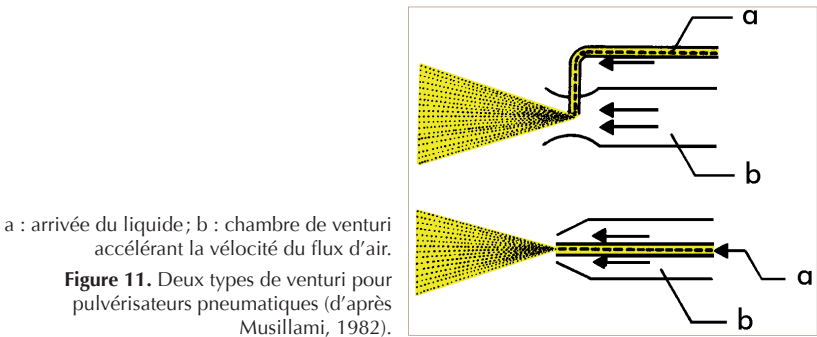


Figure 10. Orientation des buses hydrauliques en épandage aérien et effet sur la taille des gouttelettes produites (d'après Ciba-Geigy, 1984).

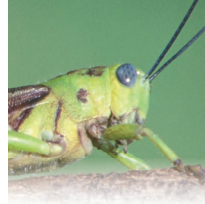
La pulvérisation pneumatique

Les gouttelettes sont formées par l'action d'un flux d'air très rapide sur une mince veine de liquide à basse pression. Ces buses sont également dites « bi-fluides » du fait de la coexistence de deux circuits de fluides. Le premier conduit le liquide à basse pression (0,2 bar). Le second achemine un flux d'air propulsé à grande vitesse par une turbine – actionnée par un moteur autonome ou par le véhicule de transport – pour le forcer à travers un *venturi*¹, qui lui donne un surcroît de vitesse juste avant qu'il ne frappe la veine liquide (fig. 11). L'impact du jet d'air très rapide en sortie du col de la chambre de venturi sur la veine de liquide provoque l'éclatement du liquide en gouttelettes.

Le spectre des gouttelettes généré par une buse pneumatique est plus étroit que celui issu d'une buse hydraulique. La taille des gouttelettes produites dépend du rapport débit du liquide/débit de l'air. Elle est inversement proportionnelle au débit d'air (tableau 7).



1. Le rétrécissement du diamètre du conduit au niveau du col accélère le flux du fluide. Ce processus porte le nom de celui qui l'a décrit, le physicien italien Giovanni Battista Venturi (1746-1822).



Débit du liquide (eau) (litres/minute)	Diamètre des gouttelettes (microns)
0,7	200
1,6	242
2,0	285

Tableau 7. Exemple de variation du diamètre des gouttelettes en fonction du débit de la phase liquide avec un pulvérisateur pneumatique à dos (d'après Matthews, 1985).

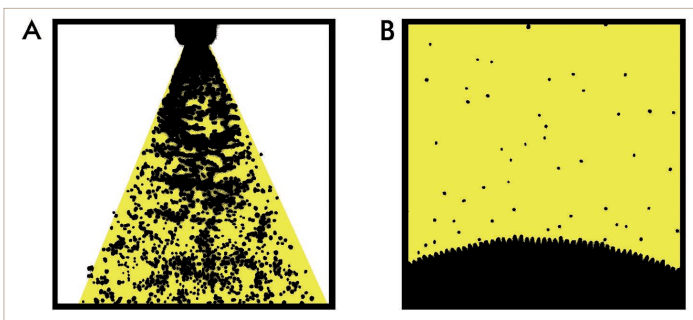
La forme et la position de l'orifice d'arrivée du liquide au niveau du *venturi* peut également avoir une influence sur la taille des gouttelettes. Les buses pneumatiques produisent un meilleur jet que les buses hydrauliques. Plus fines, les gouttelettes sont très nombreuses et assurent ainsi une meilleure couverture. En outre, étant portées par le flux d'air, elles pénètrent mieux le feuillage dense de certaines cultures.

Lorsqu'un aéronef est équipé d'un système à buse hydraulique, il produit en réalité une pulvérisation pneumatique dans la mesure où le jet de gouttelettes interagit avec le flux d'air qui s'écoule autour de l'appareil en mouvement. La taille des gouttelettes peut être modifiée en ajustant l'orientation de l'orifice de la buse par rapport à la direction de vol (fig. 10). Les buses pneumatiques les plus évoluées peuvent réaliser des pulvérisations en BV et en TBV de manière satisfaisante mais doivent être équipées d'un dispositif centrifuge pour effectuer des pulvérisations en UBV (fig. 12). La pulvérisation pneumatique consomme beaucoup d'énergie, d'où un matériel lourd et encombrant.

Il faut souligner que le pulvérisateur sur pot d'échappement (PPE) a longtemps joué un rôle considérable dans la lutte antiacridienne. Le PPE est un pulvérisateur pneumatique classique qui produit une pulvérisation de très bonne qualité tout en étant relativement économe du fait qu'il exploite l'énergie des gaz d'échappement du véhicule qui le transporte. La conception particulière de la chambre de venturi, qui entraîne un effet venturi très puissant et

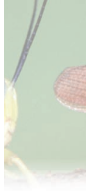


Figure 12. Cône rotatif monté sur l'arrivée d'air d'un pulvérisateur pneumatique à dos (Micron Sprayers).



A : buse hydraulique; B : disque rotatif.

Figure 13. Comparaison de la production de gouttelettes par une buse hydraulique et par un disque rotatif denticulé (d'après Micron Sprayers).



la position de l'orifice d'arrivée du liquide sont ici déterminants (fig. 13). C'est d'ailleurs la conception du PPE qui est à la base de la technique UBV. Cependant, les réglages sont difficiles à réaliser et surtout son entretien est très compliqué. Il a été abandonné au profit de la nouvelle génération d'appareils rotatifs électriques portés par véhicule.

La pulvérisation par centrifugation

Avec la pulvérisation par centrifugation, les gouttelettes sont produites par la rotation très rapide (de 5 000 à 12 000 tours/min) du dispositif de pulvérisation. Le liquide arrive à basse pression près du centre de l'élément rotatif, puis est poussé vers les bords par la force centrifuge et fragmenté en gouttelettes. L'atomisation est obtenue sans l'application d'un flux d'air à haute pression. Ce processus permet de régler indépendamment le débit de liquide et la taille des gouttelettes. De manière générale, la taille des gouttelettes est inversement proportionnelle à la vitesse de rotation mais dépend également du débit et de la viscosité de la formulation. À débit égal, une augmentation de la vitesse de rotation se traduit par une diminution de la taille des gouttelettes produites. À l'inverse, une augmentation du débit (à vitesse de rotation constante) entraîne une augmentation de la taille des gouttelettes (tableau 8). À débit et vitesse constants, un accroissement de la viscosité entraîne pour sa part un accroissement de la taille des gouttelettes. Des variations importantes de la température sont donc susceptibles de se répercuter sur la taille des gouttelettes, étant donné que la viscosité tend à diminuer lorsque la température s'élève.

Vitesse de rotation (tours/min)	Débit (ml/min)	DMV (microns)	DMN (microns)	DMV/DMN
9 000	8,5	64	40	1,6
12 000	8,5	54	33	1,6
15 000	8,5	41	32	1,4
9 000	26,0	71	50	1,3
12 000	26,0	52	39	1,4
15 000	26,0	45	33	1,7
9 000	60,0	81	55	1,5
12 000	60,0	60	38	1,6
15 000	60,0	64	37	1,7

Tableau 8. Effet de la vitesse de rotation et du débit sur le spectre des gouttelettes avec un pulvérisateur UBV porté manuellement (Mini ULVA), d'après Dirske, 1985.

Les dispositifs rotatifs sont généralement actionnés par un moteur électrique (alimenté par le véhicule ou par des piles), par un mécanisme hydraulique ou par une turbine entraînée par le flux d'air environnant un aéronef en vol. Par rapport aux autres systèmes (fig. 13 à 15), la pulvérisation centrifuge produit un grand nombre de gouttelettes fines à spectre étroit (de 50 à 150 microns), ce qui la rend acceptable pour la pulvérisation en UBV. En couverture totale, avec certains produits à longue persistance d'activité, il est possible de réduire le volume d'application jusqu'à 0,5 l/ha tout en demeurant dans les limites des conditions optimales de pulvérisation avec ces appareils. Les dispositifs rotatifs sont habituellement des disques (fig. 14), des cônes (fig. 15) ou des cages (fig. 16 et 17).

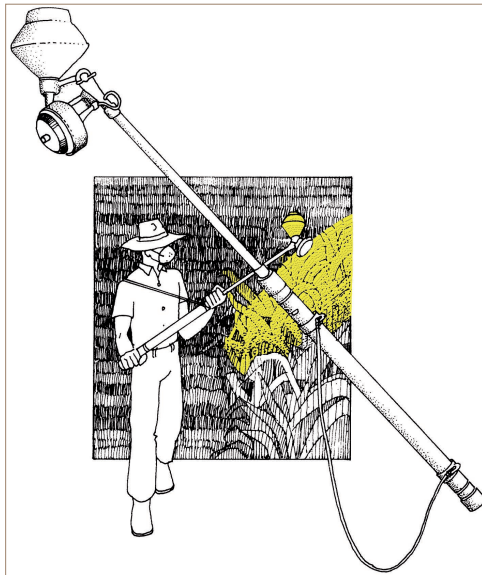


Figure 14. Le pulvérisateur à piles Giro 1 de Tecnomat. Cet atomiseur fonctionne avec un disque rotatif lisse.

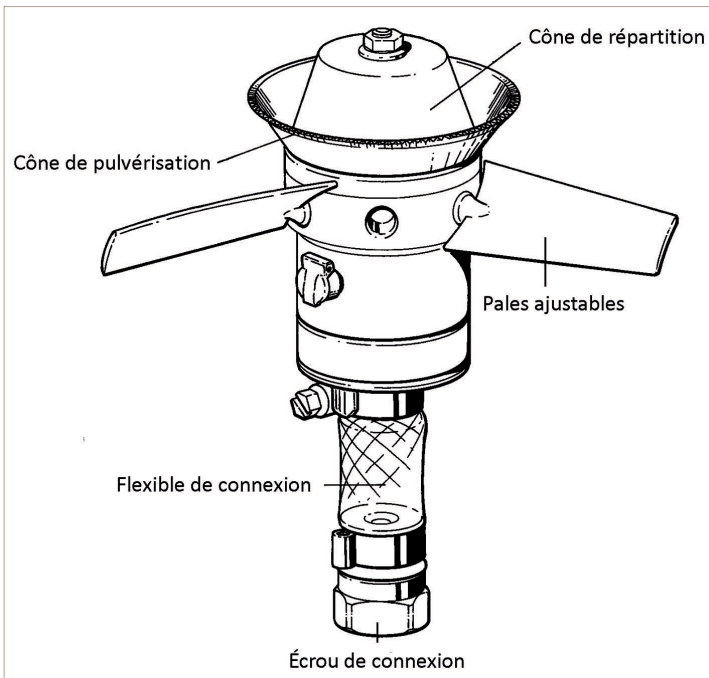


Figure 15. Un dispositif centrifuge conique denticulé : le Micron X-1 de Micron Sprayers. Ce matériel est bien adapté pour équiper les appareils motorisés à dos.

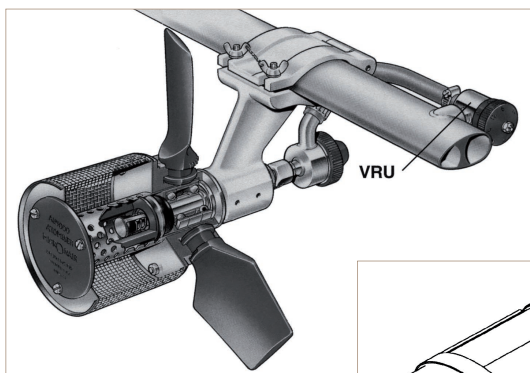


Figure 16. Cage rotative AU4000 de Micronair (d'après Micronair). Un classique du genre.

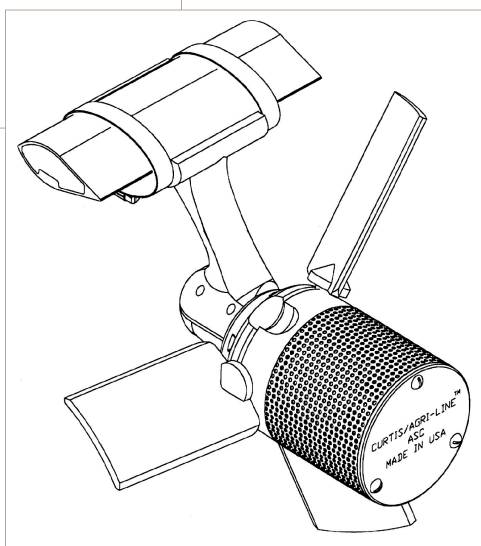


Figure 17. Cage rotative Curtis Dyna-Fog ASC-A10.

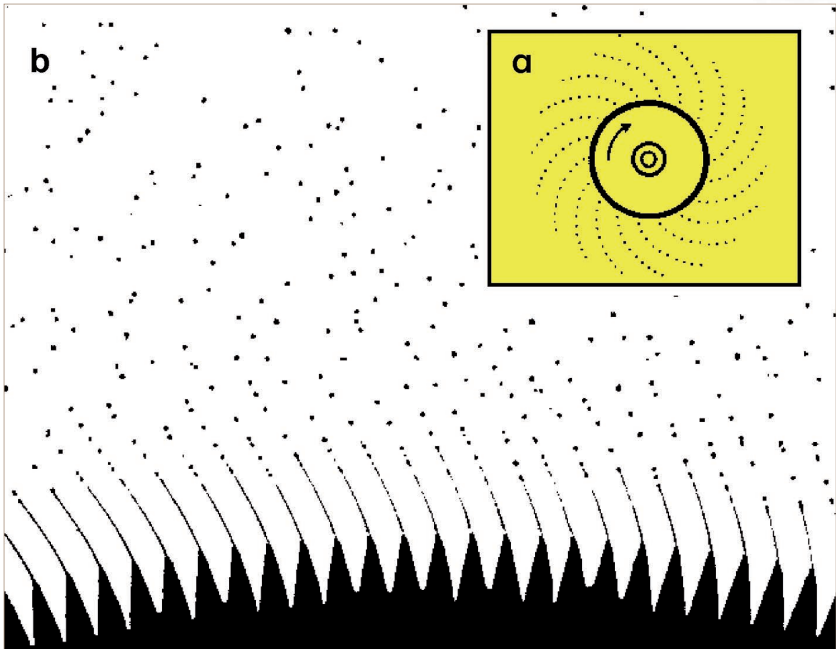
Les disques et cônes rotatifs

La plupart de ces dispositifs sont dentelés (fig. 18). Quelques modèles sont composés de plusieurs disques empilés (le Micron X-15). Les disques rotatifs sont en général entraînés par un moteur électrique : c'est le cas du Micro Ulva+ et du Micron X-15 de Micron Sprayers, du Giro 1 de Tecnomat (fig. 14) et du C8 de Berthoud.

Les disques dentelés produisent une pulvérisation spectre étroit, avec un DMV oscillant entre 40 et 80 microns et un rapport DMV/DMN de 1,2 à 1,7. Ils produisent donc des gouttelettes qui allient un bon degré d'uniformité à une taille adaptée à la cible acridienne, ce qui permet d'optimiser le volume de formulation utilisé. Cette approche est appelée application par gouttelettes contrôlées (*controlled droplet application, CDA*) (Bals, 1978).

Les cages et cylindres poreux rotatifs

Cette catégorie d'appareil comprend soit une cage, soit un cylindre perforé. Les cages sont composées d'un cylindre de grillage métallique très fin et résistant à la corrosion qui tourne sur lui-même autour d'un axe creux fixe (fig. 16). Les cylindres sont fabriqués dans une matière plastique très résistante (fig. 17). Cages et cylindres poreux tournent sur eux-mêmes à très grande vitesse. Les cages



a : fonctionnement; b : formation des gouttelettes au bout des dents du disque rotatif.

Figure 18. Production de gouttelettes par un disque rotatif denticulé (d'après Dobrowsky et Lloyd in Matthews, 1985).

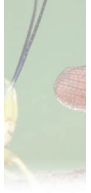
peuvent être actionnées par le flux d'air autour de l'aéronef en mouvement (par l'intermédiaire d'une turbine, Micronair, ASC de Curtis Dyna-Fog), par l'électricité produite par le moteur du véhicule (Micronair, Beecomist) ou par un mécanisme hydraulique (Micronair). Les systèmes disponibles à cylindre fonctionnent tous à l'électricité produite par le moteur du véhicule porteur (Airbi).

La formulation arrive par l'axe creux, puis est distribuée sur le grillage ou à travers les perforations d'un déflecteur. Après cette première fragmentation de la veine liquide, la pulvérisation en gouttelettes fines est assurée par les mailles de la grille de la cage ou les perforations du tambour tournant à grande vitesse.

Jusqu'au début des années 1980, les cages et les cylindres rotatifs étaient principalement utilisés pour les épandages aériens. Aujourd'hui, outre les appareils à piles, la plupart des appareils portés par véhicule ou motorisé à dos, sont équipés de dispositifs rotatifs. Pour les appareils munis d'hélice, le réglage de la vitesse de rotation se fait en ajustant l'angle des pales (fig. 15, 16 et 17) ou par l'intermédiaire d'un boîtier de commande électrique.

Les modes de transport des gouttelettes

Il existe différents moyens de transporter les gouttelettes depuis leur point d'émission jusqu'à leur point d'impact sur la zone cible. Le mode de transport peut être



tout à fait indépendant du mécanisme de génération des gouttelettes. Il est très important de distinguer ces deux aspects afin d'éviter les confusions et de pouvoir faire les bons choix en matière d'équipement (tableau 9).

Type de buse	Mode de transport des gouttelettes	Largeur de l'andain possible	Type de matériel
Buse hydraulique	– Énergie cinétique + flux d'air (jet porté) + gravité	– Quelques mètres – Quelques dizaines de mètres	– Pulvérisateur à dos – Pulvérisateur porté – Épandage aérien
Buse pneumatique	– Jet porté + jet latéral	– Quelques mètres	– Pulvérisateur pneumatique à dos
	– Jet porté + vent latéral – Jet ascendant	– Quelques dizaines de mètres – de 100 à 200 mètres	– Pulvérisateur pneumatique à dos – Pulvérisateur sur échappement
Buse centrifuge	– Jet porté + jet latéral – Vent latéral – Vent latéral	– de 20 à 50 mètres – de 10 à 30 mètres – de 100 à 200 mètres	– Pulvérisateur pneumatique à dos – Pulvérisateur UBV porté manuellement – Épandage aérien

Tableau 9. Récapitulation des types de buses et des principaux modes de transport des gouttelettes.

Le jet projeté

L'énergie qui produit les gouttelettes est aussi celle qui les éjecte en direction de la cible. Le trajet des gouttelettes est très court parce qu'elles sont rapidement freinées par la résistance de l'air, même lorsqu'elles sont émises à une vitesse élevée. Seules les plus grosses peuvent continuer sur plusieurs mètres. Par conséquent, l'émission des gouttelettes doit se situer à proximité de la cible. Les pulvérisateurs hydrauliques à dos appartiennent à cette catégorie.

Le jet porté

Il convient de bien faire la différence entre une pulvérisation à jet porté et une pulvérisation pneumatique. Cette dernière correspond à un mécanisme de génération des gouttelettes par l'intermédiaire d'un jet de gaz. Le transport par jet porté des gouttelettes est possible quel que soit le mécanisme qui les a produites – qu'il s'agisse de buses hydrauliques, pneumatiques ou centrifuges.

Le jet porté peut s'imposer lorsque la végétation à traiter par voie terrestre est touffue et buissonnante. Le courant d'air d'un ventilateur puissant fait bouger le feuillage facilitant ainsi la pénétration de particules liquides à l'intérieur de la biomasse végétale. La vitesse du flux d'air est également importante pour porter le jet vers la cime des arbres de grande taille si des acridiens ailés y sont perchés.

Lorsque la situation exige ce mode de transport, il convient de savoir de quel type de genèse de gouttelettes le matériel est équipé car la qualité de la pulvérisation



en dépend. De fait, si le matériel n'est pas doté d'un dispositif qui convient, diminuer le débit du liquide ou augmenter le débit d'air ne se traduira pas par une amélioration significative de la finesse des gouttelettes. **Dans ce cas, une pulvérisation en UBV est impossible.**

Quelque soit le mécanisme de génération, les gouttelettes inférieures à 100 microns sont mieux transportées que les gouttelettes plus grosses. Ainsi les particules de 60 à 50 microns peuvent-elles être transportées par le flux d'air sur 50 m alors que celles de 200 à 400 microns ne le sont que sur une dizaine de mètres au plus dans les mêmes conditions.

L'utilisation du vent latéral : la dérive contrôlée

À l'exception de certains cas particuliers, les modes de transport décrits ci-dessus ne sont pas très couramment utilisés en lutte antiacridienne car la faible largeur de l'andain ne permet pas le traitement rapide de vastes étendues. À l'inverse, l'utilisation judicieuse du vent latéral rend possible, dans la plupart des cas, un espacement de plus de 100 m dans des traitements en couverture totale. Cette méthode est connue sous l'expression de **pulvérisation (ou traitement) par dérive contrôlée (TDC)** (*controlled drift spraying, CDS*).

Après leur émission, les gouttelettes sont soumises à divers facteurs qui détermineront la distance qu'elles vont parcourir et la manière dont elles impacteront la cible. Il est essentiel de comprendre ces phénomènes pour tirer le meilleur parti du vent latéral pour le transport et la répartition des gouttelettes sur la zone cible.

Au nombre de ces facteurs, certains sont constants tandis que d'autres peuvent être modifiés pour contrôler la dérive et la sédimentation des gouttelettes.

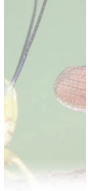
Dans certaines conditions, le débit et la hauteur d'émission des gouttelettes peuvent être contrôlés par l'opérateur, tandis que les propriétés physiques des formulations sont fixées à l'avance. De même, les turbulences de l'atmosphère et les températures élevées sont des contraintes susceptibles d'affecter le dépôt. Les conditions atmosphériques varient au cours de la journée et certaines périodes sont plus favorables que d'autres aux traitements par dérive contrôlée.

Les principaux facteurs à prendre en considération pour maîtriser la dérive des gouttelettes sont :

- la gravité et la vitesse de sédimentation ;
- la vitesse du vent latéral ;
- la hauteur du point d'émission ;
- les conditions atmosphériques ;
- les propriétés physiques des formulations.

Les effets de la gravité et la vitesse de sédimentation

Une goutte libérée dans une atmosphère immobile tombe verticalement en accélérant sous l'action de la gravité mais atteint rapidement une vitesse maximale à laquelle la gravité entre en équilibre avec les frottements dus à l'air (force de traînée). La chute se poursuit alors à une vitesse constante appelée **vitesse de sédimentation** ou vitesse limite de chute. Les gouttelettes inférieures à 100 microns atteignent leur vitesse de sédimentation après un trajet de 25 mm, tandis que les gouttelettes de 500 microns y parviennent après environ 70 cm. La densité du liquide et la taille des gouttelettes, ainsi que la densité et la fluidité de l'air,



Taille des gouttelettes (microns)	Vitesse de sédimentation (m/s)	Durée d'une chute de 10 m (secondes)
20	0,012	833
40	0,047	208
50	0,073	137
60	0,105	98
70	0,141	71
80	0,183	53
90	0,228	44
100	0,278	36
120	0,355	28
140	0,445	22
160	0,536	18
180	0,625	16
200	0,705	14
250	0,940	10
300	1,150	8

Tableau 10. Vitesse de sédimentation de gouttelettes de différentes tailles (d'après Quantick, 1985).

influencent la vitesse de sédimentation. Dans la pratique, on considère que le facteur déterminant de la vitesse de sédimentation est la taille de la gouttelette (tableau 10).

La vitesse et la direction du vent

Le vent a un effet considérable sur le comportement des gouttelettes. Lorsqu'il est léger et régulier, l'effet est utile pour le transport et la distribution des gouttelettes jusqu'à l'intérieur du feuillage. Trop fort, il devient gênant dans la mesure où il porte les gouttelettes trop loin et, trop irrégulier (par à-coups), il compromet l'uniformité du dépôt.

La vitesse (ou la force) du vent varie en fonction de l'altitude. Près du sol, elle est en général plus faible mais varie en fonction de la topographie. Lorsque l'on dispose des outils qui le permettent, il est conseillé de mesurer les caractéristiques du vent le plus près possible du point d'émission des gouttelettes.

Pour un **traitement en couverture totale**, la vitesse idéale du vent se situe entre 2 et 3,5 m/s (soit entre 7,2 et 12,6 km/h). Pour les **traitements en barrières ou en couverture irrégulière**, un vent de 6 m/s peut être acceptable dans certaines conditions. Mieux vaut éviter de traiter quand la vitesse du vent est nulle ou supérieure à 6 m/s (26 km/h).

La vitesse du vent se mesure à l'aide d'un anémomètre. Ces appareils peuvent être relativement sophistiqués, avec affichage numérique mais ils sont alors souvent coûteux et fragiles (fig. 19). Il existe des systèmes plus simples qui, quoique moins précis, donnent toutefois une indication suffisante de la vitesse du vent pour permettre aux opérateurs de prendre les bonnes décisions concernant les traitements (fig. 20).

En l'absence d'anémomètre, il est possible d'utiliser l'échelle de Beaufort, en se limitant aux vents de force 1 à 2 pour un traitement en couverture totale et aux vents de force 1 à 4 pour des traitements en barrières ou en couverture irrégulière (tableau 11 et fig. 21).

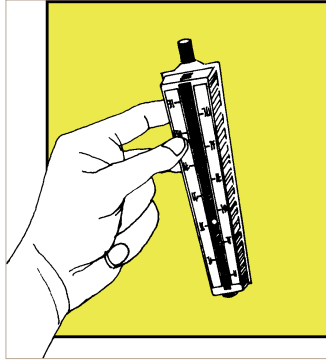


Figure 20. Anémomètre de Dwyer (d'après Matthews, 1985b). Simple, cet anémomètre de poche convient pour les opérations antiacridiennes classiques.

Figure 19. Anémomètre à affichage numérique. Il affiche la vitesse moyenne du vent calculée sur les 30 dernières secondes.

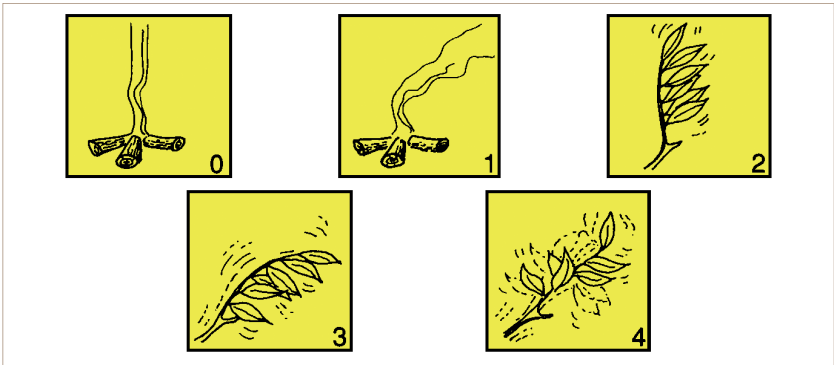
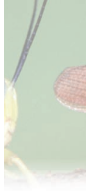


Figure 21. Estimation de la force du vent à l'aide de l'échelle de Beaufort.

Force du vent	Description	Observations au sol	Vitesse du vent (m/s)	
			Moyenne	Extrême
0	Calme	La fumée s'élève verticalement.	0,1	0,0 - 0,2
1	Très légère brise	La direction du vent n'est décelable qu'en regardant la fumée.	0,9	0,3 - 1,3
2	Légère brise	Sensation de vent sur la figure, les girouettes indiquent la direction du vent.	2,4	1,6 - 3,2
3	Petite brise	Les feuilles et les petites tiges bougent, un drapeau léger s'agite doucement.	4,3	3,3 - 5,4
4	Jolie brise	Un peu de poussière et quelques papiers s'élèvent, les petites branchettes bougent.	6,7	5,5 - 7,9

Tableau 11. Les degrés de l'échelle de Beaufort pour l'estimation de la vitesse du vent dans le cadre des traitements par dérive contrôlée (d'après Castel, 1982a).



Dans l'idéal, l'axe de passage du traitement devrait être de 90° par rapport à la direction du vent mais ces conditions sont rarement remplies. Un angle supérieur à 25° reste acceptable (fig. 22).

L'observation de la végétation sur le site à traiter suffit pour estimer la direction du vent (mouvements des branches des arbres et arbustes, tiges des herbes). Pendant les épandages aériens, il est très utile d'avoir une source de fumée visible de loin par le pilote. Pour les traitements terrestres, une banderole de tissu ou de plastique léger fixée en haut d'une perche est un moyen simple d'indiquer la direction du vent.

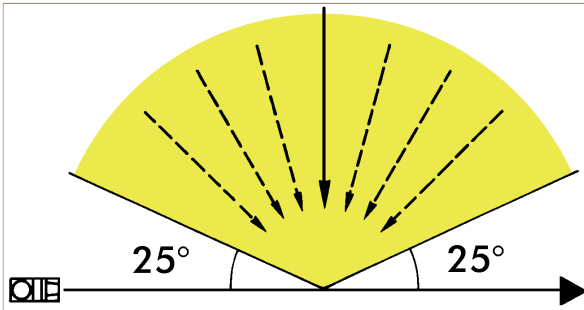


Figure 22. Angle des passages par rapport à la direction du vent. Le traitement par dérive contrôlée demeure acceptable tant que l'angle entre les deux est supérieur à 25° (d'après Micron Sprayers).

La hauteur d'émission des gouttelettes

Comme les gouttelettes sont susceptibles de se déposer à des distances variables de la verticale de leur point d'émission selon leur taille et la force du vent, il est possible d'estimer la largeur de l'andain (la largeur de la zone couverte de gouttelettes) et de fixer à l'avance l'espacement, c'est-à-dire la distance qui sépare les passages parallèles successifs de la plateforme portant le dispositif de pulvérisation.

Sans vent, les gouttelettes tombent verticalement par gravité et la durée de leur chute dépend de leur taille (tableau 10). Plus elles sont fines, plus elles restent en suspension longtemps dans l'air et dérivent avec le vent. Les gouttelettes les plus fines parcourent ainsi de plus longues distances que les plus grosses dont le point d'impact reste proche de la verticale de leur point d'émission.

Si le point d'émission est rehaussé par vent constant et régulier, les gouttelettes dérivent plus loin. La distance parcourue par les gouttelettes avant leur impact dépend de la gravité (attraction vers le bas) et de la force du vent (poussée latérale). Cette relation est résumée par la formule suivante :

$$D = H \times U / V_s$$

D : distance qu'une goutte parcourt à partir de son point d'émission. Elle est **exprimée en mètres**;

H : hauteur du point d'émission au-dessus du sol, **exprimée en mètres**;

U : vitesse moyenne du vent, **exprimée en mètres par seconde**;

V_s : vitesse de sédimentation de la gamme de gouttelettes produites, **exprimée en mètres par seconde**.



Selon cette formule, les gouttelettes se déposent toujours à la même distance « D » si le produit « H x U » reste constant. Il en résulte que, pour une largeur constante de l'andain, la hauteur d'émission doit être abaissée si la vitesse du vent latéral augmente et inversement.

On considère habituellement que les gouttelettes utiles sont celles dont la taille est comprise entre 30 et 120 microns (Bals, 1978), bien qu'il ne soit pas exclu que celles situées de part et d'autre de cet intervalle peuvent contribuer à améliorer l'efficacité générale du traitement.

2. Exemple de calcul d'une distance de dérive

Des gouttelettes de 80 microns émises à 10 mètres de hauteur avec un vent de 2 m/s se déposeront à une distance de :

$$D = H \times U / V_s$$
$$D = (10 \times 2) / 0,183 = 109 \text{ m}$$

Si le vent passe à 4 m/s, il faudra, pour conserver cette distance de dérive, faire en sorte que le produit H x U reste le même (égal à 20). Comme la valeur de U a doublé en passant de 2 m/s à 4 m/s, il faudra diviser la valeur de H par deux, c'est-à-dire pulvériser à une hauteur de 5 m.

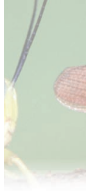
L'impact des conditions atmosphériques

Il est bien connu que, dans la troposphère, la température diminue avec l'altitude. La vitesse avec laquelle elle décroît en fonction de l'altitude s'appelle le **gradient vertical de température**. Des observations réalisées à l'aide de ballons-sondes révèlent que le gradient vertical de température varie dans l'espace et dans le temps mais se situe généralement autour de 1 °C par tranche de 100 m. Dans certaines conditions, cependant, il arrive que la température suive un gradient inverse et augmente avec l'altitude – un phénomène appelé **inversion atmosphérique**.

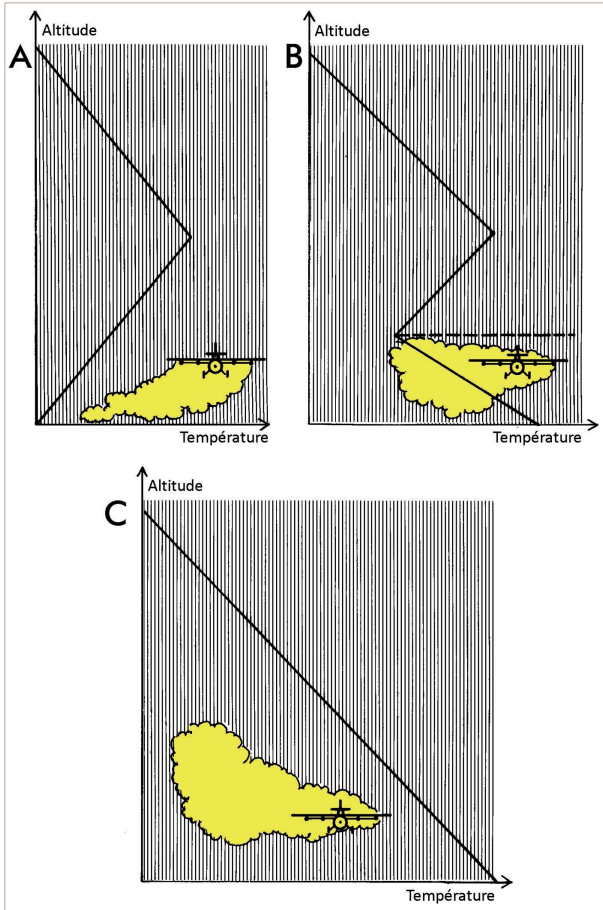
Les inversions atmosphériques surviennent dans les couches basses de l'atmosphère, en particulier le soir et le matin tôt, lorsque le sol perd de la chaleur par rayonnement et qu'il est plus froid que l'air qui le surmonte. L'air situé à proximité se refroidit et s'alourdit. En conditions d'inversion, la température augmente avec l'altitude jusqu'à une hauteur de 10 à 15 m avant de laisser place au gradient habituel. Les inversions sont généralement maximales au petit matin, juste avant l'aube. L'atmosphère est alors stable, presque sans aucune turbulence, c'est-à-dire sans mouvements verticaux de l'air.

Il y a inversion lorsque la température de l'air à 2 m au-dessus du sol dépasse de 0,6 °C la température à la surface du sol.

Après le lever du soleil, la masse d'air située près du sol se réchauffe peu à peu sous l'action de son rayonnement et commence à monter. Elle poursuit son ascension tant qu'elle reste plus chaude et plus légère que l'air environnant. Il en résulte un mouvement de convection de l'air dans une atmosphère instable, ce qui renforce les turbulences (fig. 23). Dans de telles conditions, les chances de dépôt gouttelettes sur la zone cible sont réduites et aléatoires. En revanche, en période d'inversion, habituellement maximale, tôt le matin, l'atmosphère est stable, sans circulation de bas en haut : les conditions sont alors favorables pour les traitements.

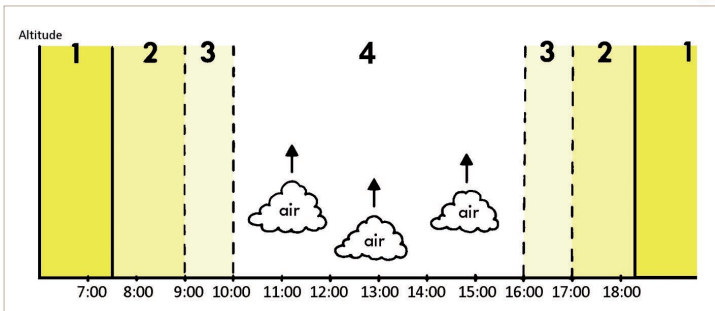


Les variations quotidiennes des conditions atmosphériques peuvent diviser la journée en plusieurs périodes plus ou moins favorables aux pulvérisations par dérive contrôlée. La durée de ces périodes dépend des conditions atmosphériques locales telles que la température, l'humidité relative et la couverture nuageuse mais dans la pratique, on considère que les traitements par dérive contrôlée sont possibles le matin entre le lever du soleil et environ 10 h, puis à partir de 16 h jusqu'au coucher du soleil (fig. 24). En milieu de journée, l'absence d'inversion entraîne des turbulences qui perturbent le dépôt des gouttelettes. **Il est donc habituellement déconseillé de traiter par dérive contrôlée entre 10 h et 16 h.**



A – Inversion; l'air est stable, le vent latéral régulier : les conditions de pulvérisation par dérive contrôlée sont bonnes. B – Conditions neutres; inversion située plus haut en altitude : la pulvérisation est encore possible. C – Conditions de turbulences; les mouvements d'air sont instables et ascendants : la pulvérisation par dérive contrôlée doit être évitée (les gouttelettes ne se déposent pas sur la zone cible).

Figure 23. La stabilité de l'air et ses conséquences sur la qualité d'un épandage aérien en fonction des conditions thermiques (d'après Castel, 1982).



1 : Période d'inversion, en général favorable. 2 : Période d'accroissement des températures, favorable. 3 : Période de légères turbulences, encore acceptable. 4 : Période de fortes turbulences, à éviter.

Figure 24. Les périodes favorables aux traitements par dérive contrôlée en fonction des variations journalières de la stabilité atmosphérique (d'après Castel, 1982b).

Les contraintes liées aux formulations

Les propriétés physiques des formulations jouent un rôle important dans la qualité de la pulvérisation en UBV.

Les formulations UBV sont huileuses, avec une teneur en matière active parfois élevée. En général, elles doivent être utilisées en l'état mais la situation peut parfois exiger le recours à une concentration moindre. Dans ce cas, une dilution extemporanée est possible avec un adjuvant neutre, à condition que ce nouveau mélange ne soit pas phytotoxique ou corrosif pour le matériel.

Les principales propriétés physiques des formulations, susceptibles d'influencer la qualité de la pulvérisation sont :

1 - La densité

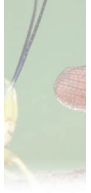
La densité (poids spécifique) des formulations pour traitements en UBV ne doit pas être trop basse, sinon les gouttelettes tendent à dériver trop loin. Les préparations les plus utilisées en lutte antiacridienne ont une densité qui varie entre 0,9 et 1,2, avec un optimum à 1.

2 - La volatilité

La pulvérisation en UBV exige un jet de gouttelettes très fines. Chez celles-ci, la surface est relativement développée par rapport à leur volume, ce qui se traduit par une vitesse d'évaporation plus élevée. Si la formulation contient des solvants très volatils, les gouttelettes fines se volatilisent rapidement et se transforment en aérosols, voire en petites particules de poussière, qui restent en suspension dans l'atmosphère. Par ailleurs, la baisse de température entraînée par l'évaporation du solvant ainsi que cette évaporation même provoqueraient la cristallisation du produit sur les têtes de pulvérisation et notamment sur le grillage des cages rotatives. Les mêmes raisons conduisent à bannir les formulations à base d'eau pour les traitements en UBV. Il est important que les solvants des formulations pour pulvérisations en UBV aient une **faible volatilité**.

3 - La viscosité

Les liquides peuvent présenter des viscosités différentes. La viscosité est définie couramment comme la résistance d'un liquide à l'écoulement. Plus le liquide est épais, plus sa viscosité (et sa valeur en CP = centipoises) est élevée.



Si l'on pulvérise une préparation visqueuse, la plus grande partie du volume est composée de grosses gouttelettes, ce qui produit une couverture médiocre. À l'inverse, les formulations plus fluides (moins visqueuses) permettent une couverture bien meilleure. La viscosité influence ainsi la qualité de la pulvérisation et constitue un facteur important à prendre en compte pour calibrer le débit (tableau 12) et estimer la largeur de l'andain, notamment si elle varie fortement avec la température.

Pression (psi*)	Buse D4 Fan 45			Buses D6 et D7		
	Fenitrothion UBV 500 g/l	Fenitrothion UBV 1250 g/l	Gasoil	Fenitrothion UBV 500 g/l	Fenitrothion UBV 1250 g/l	Gasoil
40	1,29	1,36	1,48	2,05	1,76	2,20
50	1,48	1,57	1,66	2,36	2,20	2,45
60	1,62	1,78	1,82	2,58	2,32	2,75
70	1,80	1,95	2,02	2,84	2,60	2,68
80	1,89	2,03	2,15	3,08	2,80	3,10

* psi : livres par pouce carré (pounds per square inch ; 40 psi = 2,76 bars).

Tableau 12. Débit d'un dispositif de pulvérisation équipé de buses "Tee Jet" avec des formulations huileuses de différentes viscosités (en litres par minute, d'après Castel, 1982b).

La viscosité optimale des formulations UBV pour la lutte antiacridienne doit être comprise entre 20 et 30 cP à 20 °C. La viscosité varie en fonction de la nature du solvant (tableau 13), avec un impact plus ou moins prononcé de la température. Plus la viscosité est élevée, plus les gouttelettes sont grosses. Une formule utilisable en UBV doit avoir un indice de viscosité aussi stable que possible, c'est-à-dire une viscosité qui change le moins possible avec la température. La viscosité est exprimée en centipoises (cP) : celle de l'eau est de 1 cP et celle du Malathion de qualité technique de 45 cP.

Liquides	Viscosité (cP)
Eau	1
Pyréthriinoïdes	6 - 7
Dursban 1.5 ULV	12 - 14
Gasoil	28
Fénitrothion 500 ULV	4 - 6
Adonis 4 ULV	6
Adonis 123.5 ULV	5,6
Malathion de qualité technique	30 - 40

Tableau 13. Exemple de viscosités de quelques liquides à 20 °C.

Le débit doit être calibré à une température proche de celle à laquelle le traitement sera appliqué, en tenant compte qu'avec l'élévation de la température il va augmenter légèrement. Au moment de spécifier les conditions d'achat des



produits, il convient de demander que les propriétés physiques soient clairement indiquées sur les étiquettes car ces informations sont nécessaires pour les opérateurs responsables du calibrage et pour les pilotes des aéronefs qui doivent optimiser le rapport de la charge produit/carburant au moment du chargement.

L'évaluation de la qualité des pulvérisations

Pourquoi évaluer les pulvérisations

Dans la plupart des cas d'inefficacité, on a tendance à accuser promptement les produits utilisés. Sans exclure que des produits puissent être inefficaces, on peut affirmer que dans la majorité des cas ce sont les réglages des équipements qu'il faut mettre en cause. En cas d'efficacité insuffisante, mieux vaut commencer par évaluer la pulvérisation avant d'incriminer le produit.

L'évaluation peut être plus ou moins poussée, depuis la plus simple jusqu'à la plus sophistiquée. Il n'existe malheureusement pas de méthode applicable à tous les cas de figure. Les procédés de pointe utilisent un analyseur de particules informatisé, qui présente toutefois le double inconvénient d'être coûteux et difficile à employer sur le terrain.

Même lorsqu'une équipe ne dispose pas de matériel particulier à cette fin, une procédure très simple permet tout de même de procéder à une évaluation acceptable. Pour collecter des échantillons de gouttelettes, n'importe quel type de papier de couleur claire, tel que des marges de papier journal, du papier d'emballage ou du papier toilette, peut être employé. Le papier est découpé en morceaux d'environ 50 cm², qui sont placés sur la zone cible le long d'une ligne perpendiculaire à l'axe de passage. Les morceaux de papier peuvent être maintenus en place à l'aide de pinces à linge, de trombones ou de cailloux. Lorsque cela est possible, l'ajout d'un colorant à la formulation facilite les observations.

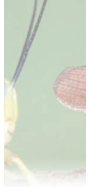
Les évaluations se justifient à différentes étapes des opérations de traitement, notamment pendant les phases de réglage et de calibrage mais également pour vérifier les calibrages en cours de traitement. Elles prennent une importance capitale à l'occasion des expérimentations sur le terrain et également en cas de traitement défaillant. Les paramètres clés à surveiller sont alors les calibrages de base (voir § *Les réglages de base*), la largeur de l'andain, la distribution et le spectre des gouttelettes.

Pour pouvoir étudier la distribution et le spectre des gouttelettes, il faut **collecter des gouttelettes** sur un support qui peut être transporté au camp ou au bureau pour son **analyse manuelle** ou encore au laboratoire pour une éventuelle **analyse automatique**, plus détaillée.

La collecte des échantillons de gouttelettes

En général, on utilise des collecteurs artificiels sur lesquels les gouttelettes laissent une empreinte après évaporation du liquide. Différents types de collecteurs peuvent être employés en fonction de la situation :

- un liquide coloré sur des papiers glacés ou sur des plaques de verre spécialement traitées;



- un liquide incolore sur des cartes colorées;
- un liquide incolore sur des papiers oléo-sensibles.

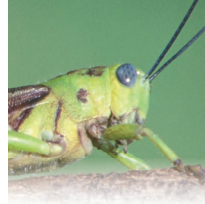
Les méthodes utilisant des papiers sensibles sont simples et faciles à mettre en œuvre et très couramment utilisées pour évaluer les pulvérisations en BV, TBV et UBV. Aucun savoir-faire particulier n'est nécessaire et les résultats obtenus sont suffisamment fiables. Deux types de papiers sensibles sont disponibles : les papiers oléo-sensibles pour les formulations huileuses et les papiers hydro-sensibles pour les formulations aqueuses. Les deux existent sous la forme de rouleaux à découper ou de cartes prêtes à l'emploi (52 x 75 mm).

Solvants	Degré de marquage du papier
Essence (carburant) Huile de ricin Huile de coton Cyclohexanone Dibutylphtalate	nul médiocre médiocre bon bon
Gasoil Diméthylformamide Diméthylphtalate Dioctylphtalate Éthanol	nul bon bon bon médiocre
Hexylène glycol Isophorone Isopropanol Pétrole lampant (kérosène) Méthanol	bon bon nul nul médiocre
Méthyltriglycol Huile de paraffine Huile de pin Shellsol AB Solvent 200	bon nul nul nul nul
Huile de soja Toluène Trichloréthane Xylène	médiocre nul nul nul

Tableau 14. Sensibilité du papier oléo-sensible CF1 à divers solvants (d'après Ciba-Geigy, 1994).

Les papiers oléo-sensibles

Le papier oléo-sensible se présente sous la forme d'un papier rigide noir recouvert d'une mince couche de cire soluble dans des produits huileux. Lorsqu'une goutte parvient sur le papier, la surface cireuse est dissoute et laisse une trace noire proportionnelle à la taille de la gouttelette. Le diamètre de l'impact est toujours plus grand que le diamètre réel de la goutte concernée. L'empreinte sur le papier correspond à la taille réelle de la goutte multipliée par le **facteur d'étalement** de la formulation, c'est-à-dire le rapport du diamètre de la trace sur le diamètre réel de la goutte.



Malheureusement, les papiers oléo-sensibles ne sont pas tous imprimés par tous les solvants utilisés dans les formulations. Lorsque les propriétés des formulations en la matière ne sont pas connues, il peut être nécessaire de pulvériser le papier et de le laisser sécher avant de vérifier si des empreintes noires y sont bien visibles. Certains solvants ont été testés pour leurs caractéristiques quant au marquage du papier oléo-sensible CF1 (tableau 14).

Pour assurer un bon échantillonnage des gouttelettes, les papiers devraient être placés de sorte qu'ils soient atteints de la même manière que la cible elle-même. Pour évaluer la pénétration de la pulvérisation, il est possible de placer des papiers en position haute, moyenne et basse dans la végétation. Le même procédé peut également servir à estimer la largeur de l'andain. La collection d'échantillons de gouttelettes sur papier sensible demande une certaine organisation, portant notamment sur les actions décrites ci-dessous.

- Manipuler les papiers oléo-sensibles avec précaution. Éviter de les frotter les uns contre les autres et de les toucher avec les doigts ou avec tout objet gras, parce que la couche de cire est très fragile et peut être marquée par des impacts autres que le produit.
- Numéroter les papiers sensibles au dos avant de les fixer sur leurs supports (piquets).
- Fixer les papiers oléo-sensibles de préférence sur un support pivotant se positionnant automatiquement face au vent (« girouette ») ou sur une plaque à 45° par rapport à l'horizontale, quelques centimètres au-dessus du feuillage.
- Fixer les papiers à leur support à l'aide de pinces ou de trombones.
- Placer les piquets de manière à ce que le côté sensible des papiers se trouve face au vent (fig. 25).

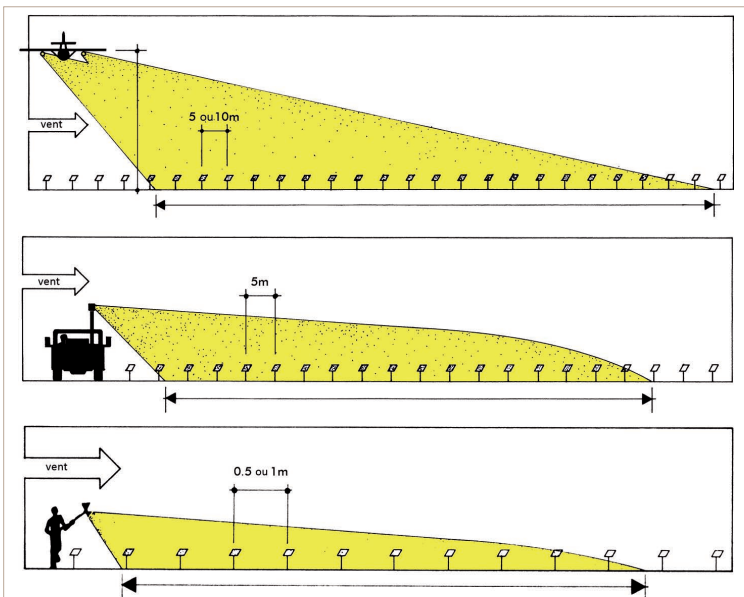


Figure 25. Disposition des collecteurs de gouttelettes pour l'évaluation d'un traitement par dérive contrôlée. Les papiers doivent être placés avec leur face sensible face au vent.



Figure 26. Papiers sensibles épinglés directement à l'intérieur de la végétation, à différentes hauteurs dans une plante buissonnante (d'après Ciba-Geigy).

- Si la zone cible est couverte d'une végétation buissonnante, la pénétration du traitement peut être estimée en installant des papiers sensibles en position haute, moyenne et basse à l'intérieur de la masse végétale (fig. 26).
- Aligner les collecteurs (les papiers et leurs supports) face au vent et perpendiculairement à l'axe de passage (fig. 27). La distance entre les collecteurs dépend du type de matériel. Ils seront placés tous les 0,5 m ou tous les mètres, sur 50 à 100 m pour des pulvérisateurs portés manuellement et tous les 5 à 10 m sur 100 à 200 m pour des pulvérisateurs montés sur véhicule. Dans le cas d'épandages aériens, les intervalles seront de 10 à 30 m sur une distance d'au moins 200 m pouvant aller jusqu'à 2 000 m (traitements en barrières). La distance sur laquelle les collecteurs doivent être installés devrait être au moins égale à deux fois la largeur prévue de l'andain.



Figure 27. Disposition des collecteurs de gouttelettes pour un épandage aérien de formulation aqueuse (d'après Ciba-Geigy). Les papiers hydro-sensibles sont placés horizontalement sous le passage de l'aéronef.



- Installer si possible deux ou trois lignes de collecteurs espacées de 100 m.
- Installer la première rangée de collecteurs au moins 100 m après le début prévu de la pulvérisation.
- Pour les épandages aériens, attendre quelques minutes après le passage de l'aéronef avant d'aller ramasser les échantillons (les papiers juste après leur imprégnation) pour laisser le temps aux gouttelettes les plus fines de se déposer.
- Pour les calibrages, un coup d'œil rapide renseignera suffisamment pour cibler les ajustements. Il peut être possible de comparer les échantillons avec des cartes de référence montrant les impacts produits par des gouttelettes de DMV et de densité connues (fig. 28). Cette évaluation est suffisante sur le terrain.
- Pour les évaluations détaillées, les échantillons doivent être récoltés avec précaution et chaque série rangée séparément dans une enveloppe étiquetée. Ils doivent être stockés précieusement dans l'attente des analyses.

Les papiers hydro-sensibles

Les papiers hydro-sensibles ont une surface recouverte d'un produit jaune qui se colore en bleu foncé au contact de gouttelettes aqueuses. Tout comme les papiers oléo-sensibles, ils sont fixés sur des supports rigides ou directement sur le feuillage, à différentes hauteurs dans la végétation. Sur le site, après le traitement, les échantillons peuvent être comparés avec des cartes de référence portant les empreintes de gouttelettes de DMV et de densités connues afin d'estimer la couverture et le spectre de la pulvérisation (fig. 29).

Pour tirer le meilleur parti des papiers hydro-sensibles, il convient de tenir compte des observations et recommandations listées ci-dessous.

- Lorsque l'humidité relative est très élevée, seules les évaluations visuelles sont possibles. Au-dessus de 80 % d'humidité relative, les échantillons sont trop lourdement marqués et ne peuvent plus être exploités.
- Lorsque l'humidité relative est inférieure à 50 %, les gouttelettes inférieures à 50 microns ne marquent plus le papier parce qu'elles s'évaporent avant d'y parvenir.
- Ne pas installer les papiers hydro-sensibles dans un terrain où les plantes sont couvertes de rosée.
- S'assurer que les supports sont bien secs au moment d'y fixer les papiers hydro-sensibles.
- Numéroter les papiers avant de les placer.
- Manipuler les papiers hydro-sensibles avec précaution, en évitant absolument tout contact avec les doigts ou tout objet humide. Utiliser si possible des gants propres et secs.
- Planter les supports dans le sol tous les deux ou trois mètres, légèrement au-dessus de la surface du sol ou du feuillage.
- Pour vérifier la largeur de l'andain et faire les calibrages de vitesse, commencer par calibrer le débit de sortie avant de collecter les gouttelettes.
- Installer la première rangée de collecteurs au moins 100 m après le début prévu de la pulvérisation.
- Après la pulvérisation, attendre que les papiers imprégnés soient bien secs avant d'aller les chercher et les ranger dans des enveloppes étiquetées.
- Avant de ranger les échantillons, essayer la poussière qui s'y trouve avec un papier essuie-tout bien sec.

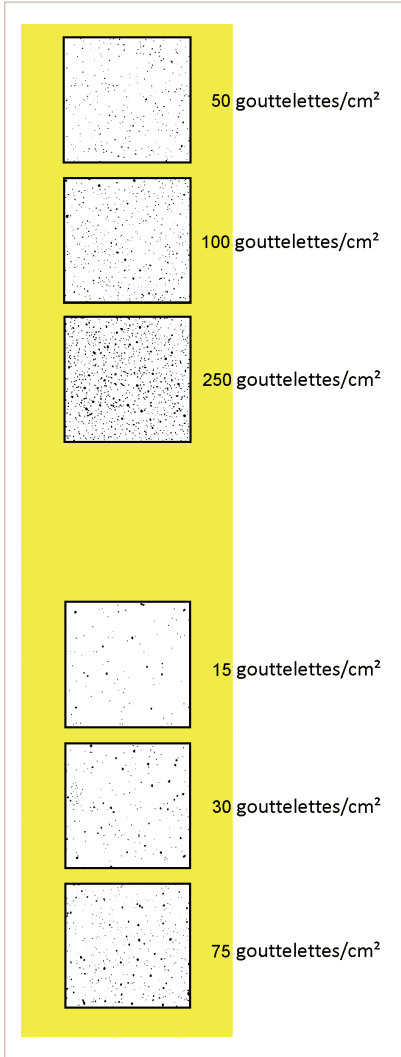
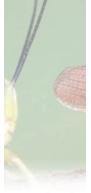


Figure 28. Cartes de référence pour l'évaluation visuelle des pulvérisations en UVB.

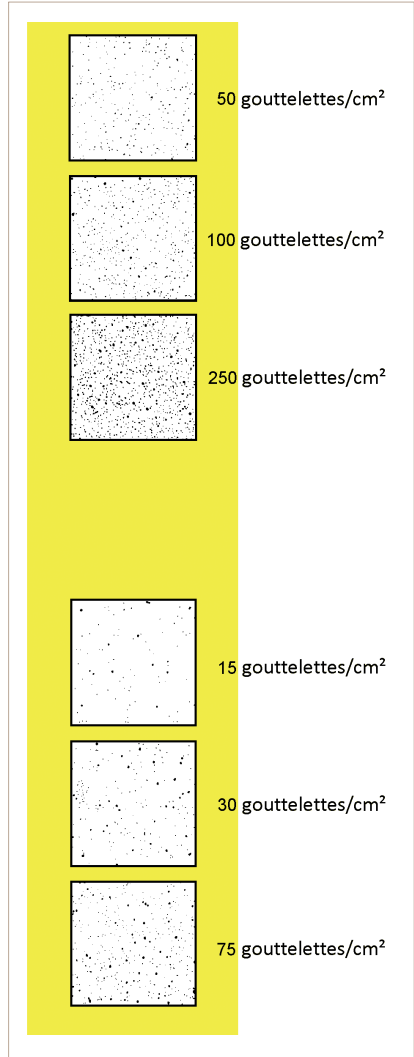
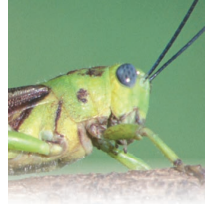


Figure 29. Cartes de référence pour l'évaluation visuelle des pulvérisations en TBV.

Analyse et exploitation des papiers impressionnés

L'analyse des échantillons de gouttelettes sur papier sensible peut être manuelle ou automatique. L'évaluation de la taille des gouttelettes consiste à mesurer le diamètre des traces laissées. Étant donné que les gouttelettes s'étalent lorsqu'elles rencontrent un obstacle, leur diamètre réel en est déduit en tenant compte du facteur d'étalement.



Le facteur d'étalement varie d'un solvant à l'autre et, qui plus est, augmente avec la taille des gouttelettes.

Pour une étude précise de la qualité de pulvérisation, telle que l'exigent les essais d'évaluation d'insecticides et de matériel de pulvérisation, il est impératif de connaître la valeur exacte du facteur d'étalement de la formulation utilisée. Il est ici conseillé de s'en informer auprès du fabricant.

Dans la plupart des cas, l'utilisation de facteurs d'étalement « généraux » permet d'obtenir rapidement des résultats suffisamment fiables et précis (tableau 15).

Formulation	Taille des gouttelettes (microns)	Facteur d'étalement
Formulations aqueuses	< 100	1,7
	200 - 400	2,0
	400 - 500	2,1
Formulations huileuses	< 100	2,0
	100 - 150	2,2
	150 - 250	2,5

Tableau 15. Facteurs d'étalement utilisables sur le terrain, en fonction du type de formulation et de la taille de gouttelettes (d'après Ciba, 1983 et Castel, 1986).

L'analyse automatique

L'analyse automatique s'appuie sur des processeurs d'analyse d'images, avec une caméra électronique et un module de mémorisation d'images, connecté à un ordinateur. Ces dispositifs sont en mesure d'enregistrer des images de 1 cm² et de calculer la surface de chaque tache d'impact. La répartition de la taille des gouttelettes est représentée sous forme d'histogrammes ou de courbes.

Ces appareils sophistiqués présentent plusieurs inconvénients : ils sont lourds, délicats à manipuler et demandent un haut niveau de qualification, ce qui interdit leur utilisation sur le terrain. Cependant, si les échantillons présentent des impacts nets et ont été rangés et transportés dans de bonnes conditions, l'examen spectrométrique peut être réalisé dans un laboratoire équipé d'un processeur d'analyse d'image. Toutefois, cette technique étant relativement onéreuse, elle est habituellement réservée aux cas pour lesquels il est particulièrement important de travailler avec une précision élevée ou pour l'évaluation expérimentale de produits et de matériel.

L'analyse manuelle

Le plus souvent, un haut degré de précision n'est pas particulièrement nécessaire et une analyse manuelle peut suffire, à l'aide d'une loupe de poche, d'un microscope portable ou d'une loupe binoculaire (X 10 ou X 15) et d'un réticule délimitant des « fenêtres » de 1 cm², 1/2 cm² ou 1/4 cm² (fig. 30 et 31).

L'évaluation de la densité des gouttelettes

Sur chaque échantillon, quatre comptages sont effectués en des endroits différents choisis au hasard. Lorsque la densité des gouttelettes est élevée, la fenêtre du réticule la plus petite (1/4 cm²) est utilisée pour ce faire. Le nombre moyen de gouttelettes par cm² sur chaque échantillon est calculé et noté pour servir à d'autres calculs ultérieurs. Lorsque tous les échantillons ont été traités de la sorte,

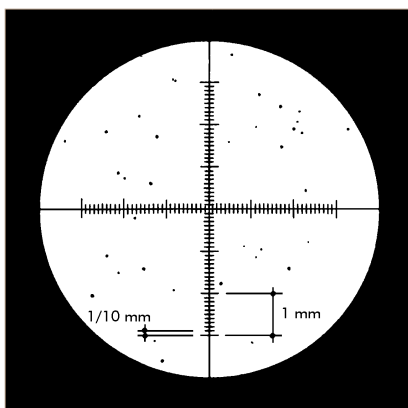
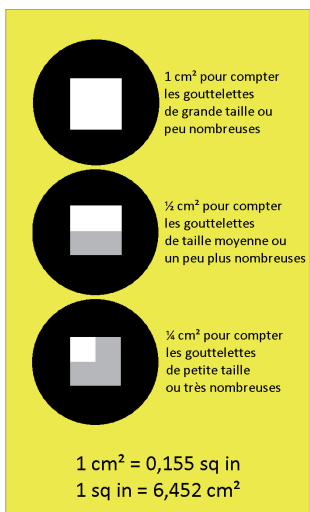


Figure 31. Champs d'une loupe micrométrique pour compter et mesurer les impacts des gouttelettes.

Figure 30. Carte à fenêtres étalonnées pour compter les gouttelettes (Spraying Systems).

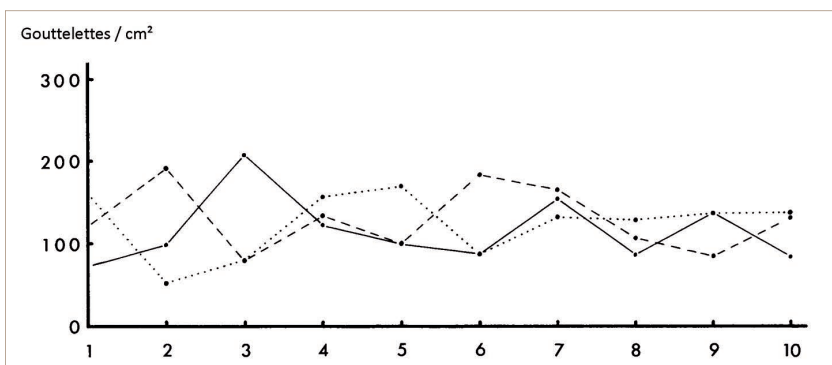


Figure 32. Densité des gouttelettes sur trois parcelles traitées avec la même formulation et le même volume par hectare. Expérience menée par une équipe du PRIFAS au Tchad en 1988 (3 l/h d'une formulation huileuse appliquée avec des pulvérisateurs UBV à piles). Une ligne de dix collecteurs par parcelle.

il est possible de calculer la densité moyenne des gouttelettes sur l'ensemble des échantillons (fig. 32).

Évaluation du spectre des gouttelettes

Pour le calcul du DMV, un échantillon comportant un minimum de 200 gouttelettes est choisi au hasard et les gouttelettes sont triées par classes de diamètre d'intervalles réguliers (en excluant les très grosses qui sont visiblement hors du spectre normal du jet et qui sont attribuables à des fuites). Pour chaque classe de diamètre, le nombre de gouttelettes qu'elle contient est compté et le volume correspondant calculé. Le volume total de chaque classe est cumulé de classe en



classe en commençant par celle des gouttelettes les plus fines. Une fois connu le volume total de l'échantillon, il faut rechercher la classe au niveau de laquelle le volume cumulé devient supérieur à 50 % du volume total : le diamètre de cette classe correspond au DMV.

Il est également possible de représenter graphiquement, par une courbe, les volumes cumulés (en pourcentage du volume total) et d'en déduire le DMV en repérant la classe à la hauteur de laquelle la courbe franchit la verticale correspondant aux 50 % (fig. 33).

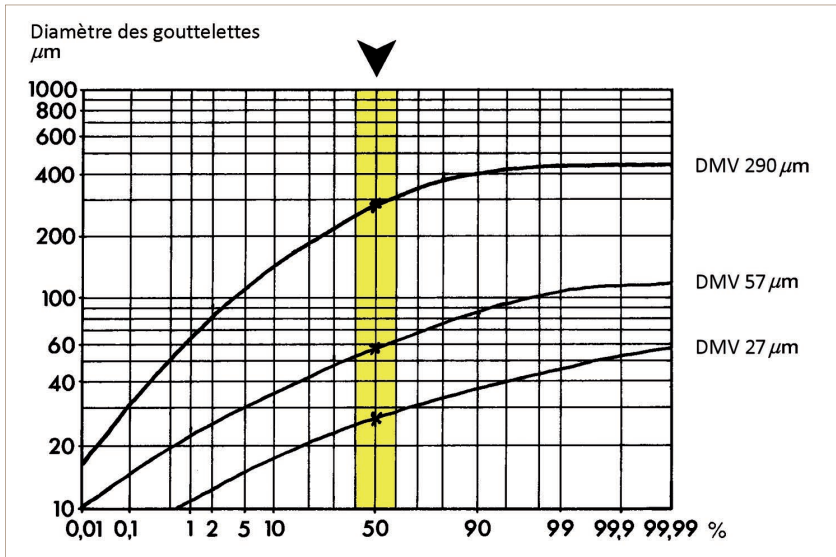
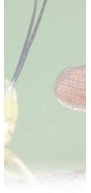


Figure 33. Détermination manuelle du DMV (OEPP, 1982).

La moitié du volume pulvérisé est composée de gouttelettes de diamètre inférieur au DMV, tandis que l'autre moitié est composée de gouttelettes de diamètre supérieur au DMV. Comme la méthode de détermination exposée ci-dessus est laborieuse et pratiquement impossible à appliquer sur le terrain, on lui préfère un autre procédé, considéré suffisamment précis pour les évaluations de routine : la méthode du D_{max} . La marche à suivre est la suivante :

- mesurer les deux empreintes de gouttes les plus grosses de chaque papier-échantillon (en excluant celles qui sont nettement hors du spectre, c'est-à-dire dont la classe de diamètre qui leur est juste inférieure est vide) ;
- sur l'ensemble des empreintes de gouttes ainsi mesurées, prendre les cinq empreintes les plus grosses et calculer leur diamètre moyen. Ce diamètre est appelé D_{max} ;
- multiplier D_{max} par 0,45 (un facteur de correction considéré acceptable pour les formulations courantes pour UBV) pour obtenir le DMV.

La méthode du D_{max} ne permet pas d'évaluer le DMN. Ce dernier n'est nécessaire que lorsqu'il est considéré très important de quantifier la largeur du spectre des gouttelettes, par exemple pour l'évaluation expérimentale du matériel ou des produits insecticides.



L'évaluation de la distribution des gouttelettes

Le but d'un traitement est de s'assurer que les gouttelettes atteignent la végétation dans la zone cible ou la cible biologique elle-même. Il faut noter cependant qu'il est très difficile d'obtenir une distribution homogène des gouttelettes sur la zone cible et *a fortiori* sur la cible biologique elle-même. Il en résulte qu'une pulvérisation doit être minutieusement examinée pour pouvoir décider quel degré d'uniformité est nécessaire sur le terrain pour que le bilan biologique et économique de l'opération soit suffisant et ce, avec le souci de préserver l'environnement. En lutte antiacridienne, la relative hétérogénéité de la répartition des gouttelettes est compensée par la mobilité élevée des acridiens.

Une évaluation rapide visuelle est possible à l'aide de cartes de référence correspondant à des pulvérisations de paramètres connus.

Il est utile de disposer d'une représentation graphique de la distribution des gouttelettes. La comparaison de cette courbe avec des courbes de référence peut déjà donner une idée du coefficient de variation de la distribution des gouttelettes. Cependant, une analyse statistique est plus indiquée si des valeurs précises sont souhaitées. La formule suivante peut être utilisée à cette fin :

$$\text{Moyenne : } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad \text{Écart-type : } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$
$$\text{Coefficient de variation : } CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$$

X_i : densité des gouttelettes (nombre de gouttes par cm^2)

n : nombre de mesures

L'écart-type et la moyenne arithmétique peuvent être calculés rapidement à l'aide d'une machine à calculer programmable.

Dans la pratique, la répartition des gouttelettes n'est jamais parfaitement homogène (coefficient de variation nul). En lutte antiacridienne, sa variabilité relative importante n'a pas d'influence significative sur l'efficacité des traitements. Qui plus est, les traitements en barrières, avec des insecticides à longue persistance d'activité, peuvent autoriser un espacement jusqu'à 2 km. Dans ce cas, l'uniformité de la répartition des gouttelettes devient un facteur sans importance.

La vérification de la largeur de l'andain

En lutte antiacridienne, une estimation rapide à l'aide de collecteurs oléo-sensibles (papiers ou autres supports) suffit généralement à vérifier si la largeur de l'andain est suffisante (voir ci-dessus).

Si l'andain est plus étroit que prévu, vérifier notamment les points suivants :

– si les gouttelettes sont grosses, réduire leur taille en jouant sur les réglages de la tête de pulvérisation ;

– si la taille des gouttelettes est correcte, la vitesse du vent est peut-être trop faible ou le point d'émission trop bas.

À l'inverse, si seul le côté sous le vent des collecteurs est marqué, alors la dérive est trop forte. Vérifier alors les points suivants :

– si le point d'émission est trop élevé ou le vent trop fort, abaisser le point d'émission ou, si ce n'est pas possible parce qu'il est déjà bas, remettre à plus tard le traitement ;

– si la taille des gouttelettes est trop faible et le spectre trop étroit, régler la tête de pulvérisation pour corriger le problème.



Le matériel de pulvérisation

Les types de pulvérisateurs conçus spécifiquement pour la lutte antiacridienne sont relativement peu nombreux. En outre, chaque modèle a ses caractéristiques propres qui lui confèrent une certaine originalité. Pour cette raison, un manuel de lutte antiacridienne qui se veut pratique se doit de présenter le matériel qui existe en insistant au passage sur les éléments susceptibles d'entraîner des erreurs de manipulation. Les avis émis ici sont directement issus de l'expérience acquise sur le terrain et ne sont valables que dans le domaine de la lutte antiacridienne. Certains aspects paraissant présenter peu d'intérêt dans ce secteur sont tout à fait susceptibles de se révéler très utiles dans le cadre d'autres types de traitements phytosanitaires. Il est donc évident que les comparaisons exposées ici ont pour seul objet d'aider les opérateurs à optimiser l'utilisation du matériel disponible. Les opinions exprimées sont celles de l'auteur au moment de la publication et les recommandations sont susceptibles d'évoluer au fur et à mesure des progrès techniques enregistrés. Toutes les marques citées ont fait des contributions intéressantes. Il est possible que d'autres marques, qui pour l'instant n'ont pas la même notoriété dans le champ de la lutte antiacridienne, méritent à l'avenir d'être mentionnées à leur côté. Les marques déposées sont indiquées dans le texte en lettres majuscules pour simplifier leur identification sans autre mise en valeur particulière.

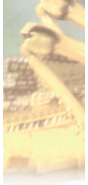
Les pulvérisateurs portatifs

Le pulvérisateur pneumatique motorisé à dos

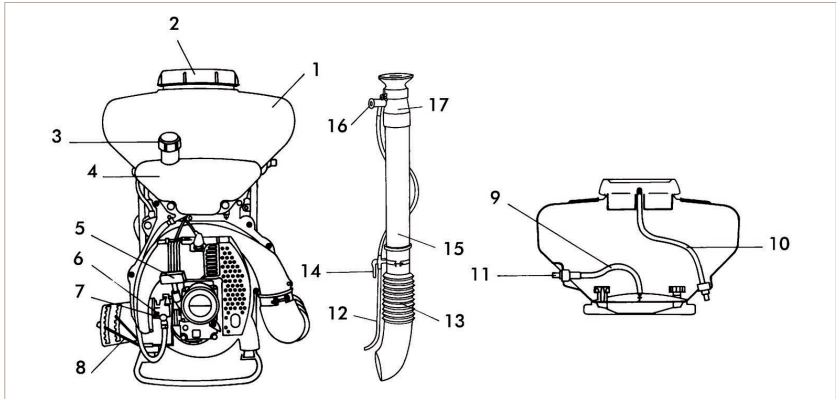
Dans ces appareils (fig. 34), l'air est un paramètre déterminant du transport des gouttelettes jusqu'à la cible. Les gouttelettes sont produites par un jet d'air qui fait éclater une veine de liquide. Certains pulvérisateurs pneumatiques sont aujourd'hui équipés d'un dispositif rotatif.

Les pulvérisateurs de cette catégorie permettent de pulvériser en BV des émulsions aqueuses. Ceux qui sont dotés d'un circuit hydraulique performant et d'un bon régulateur de débit sont capables de pulvériser en TBV des formulations huileuses. Pour les pulvérisations en UBV, ils doivent être équipés d'un dispositif de centrifugation à vitesse de rotation élevée.

Étant donné leur poids et leur volume, le choix d'un pulvérisateur pneumatique à dos n'est pertinent que lorsque l'on a besoin d'utiliser le puissant jet d'air pour



traiter des locustes perchées dans des arbres, à 10 m de hauteur au maximum. Ces appareils sont également utiles pour traiter une végétation buissonnante au sein de laquelle des locustes se seraient réfugiés.



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 : réservoir à produit | 10 : flexible de mise sous pression |
| 2 : bouchon du réservoir | 11 : orifice de sortie du produit |
| 3 : bouchon du réservoir de carburant | 12 : flexible du réservoir à la vanne d'arrivée du produit |
| 4 : réservoir de carburant | 13 : section flexible du manche à air |
| 5 : poignée du lanceur | 14 : vanne d'arrivée du produit |
| 6 : papillon des gaz | 15 : section rigide du manche à air |
| 7 : vanne de carburant | 16 : régulateur de débit |
| 8 : manette des gaz | 17 : venturi |
| 9 : flexible de retour au réservoir | |

Figure 34. Le pulvérisateur pneumatique à dos Arimitsu (Coopération nigéro-canadienne, 1987).

Description

Les principaux éléments constitutifs d'un pulvérisateur pneumatique à dos sont l'armature, le moteur thermique et les circuits d'air et de liquide.

Le châssis

Le châssis, en forme de L, doit être léger et suffisamment robuste pour soutenir le poids de l'appareil, moteur compris. Il est conçu de manière à ce que le pulvérisateur reste en position verticale lorsqu'il est posé sur une surface horizontale. Il comporte des amortisseurs en caoutchouc pour amortir les vibrations du moteur en marche.

Les courroies et le rembourrage sont conçus pour le confort de l'opérateur qui porte l'appareil, lequel est relativement lourd – il peut peser jusqu'à 14 kg à vide et jusqu'à 24 kg lorsque les réservoirs sont pleins.

Le moteur

La mise au point des pulvérisateurs pneumatiques à dos a en premier lieu été liée à l'évolution du moteur thermique à deux temps et à l'allègement progressif de ce dernier. Les moteurs de faible capacité sont légers mais peu puissants et le flux d'air produit est court et inutilisable pour traiter des arbres. Les moteurs puissants sont capables d'actionner des ventilateurs à même d'atteindre des arbres de grande taille et de traiter des cultures basses lorsque le traitement exige que le jet soit porté par un flux d'air. La vitesse de rotation du moteur varie entre 6000 et



8000 tours/min selon les modèles. Comme la vitesse de rotation du moteur détermine la vitesse du flux d'air produit, il est important de vérifier ce paramètre à l'aide d'un compte-tours (tachymètre). Si la vitesse de rotation n'est pas adaptée, le moteur doit être calibré ou ajusté en atelier.

Le carburant utilisé pour les moteurs à deux temps est un mélange d'huile **2T** (indice SAE de 30 pour la viscosité) et d'essence ordinaire dans la proportion d'un volume d'huile pour 24 volumes d'essence. Les huiles multigrades ne doivent pas être utilisées ici.

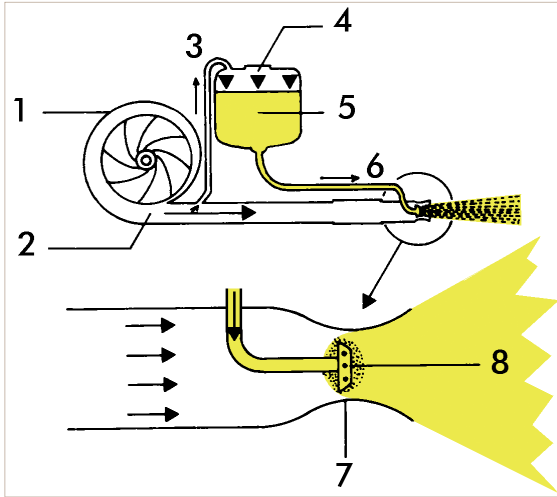
Ces pulvérisateurs sont généralement équipés d'un système de démarrage qui tend à se fatiguer assez rapidement à l'usage. Il est donc important que le démarreur soit équipé d'une poulie pour pouvoir mettre le moteur en route avec une corde même lorsque le ressort de rappel ne fonctionne plus.

En ce qui concerne l'entretien du moteur et de ses parties mobiles, les recommandations du fabricant doivent être suivies scrupuleusement. Il est particulièrement important de **veiller à ce que les ailettes de refroidissement restent propres et que le filtre à air soit régulièrement nettoyé.**

Le circuit du flux d'air

Le flux d'air produit par le ventilateur est dirigé dans un manche à air flexible qui se termine par un venturi, où le jet d'air accéléré est projeté contre la veine de produit (fig. 35).

Pour les traitements par dérive contrôlée, le manche de la tuyère peut être fixé en position haute de manière à laisser libres les mains de l'opérateur. Ce dernier peut alors concentrer son attention sur son allure et la direction (fig. 36).



- | | |
|--|--|
| 1 : ventilateur (produisant un flux d'air très rapide) | 6 : écoulement du produit vers la tuyère |
| 2 : conduite d'air | 7 : col du venturi, où la vitesse du flux d'air est la plus élevée |
| 4 : réservoir de produit sous pression | 8 : zone tourbillonnaire produisant une dépression qui aspire le produit |
| 5 : trajet du produit du réservoir au venturi | |

Figure 35. Fonctionnement d'une buse pneumatique montrant les détails d'un venturi (d'après Musillami, 1982).

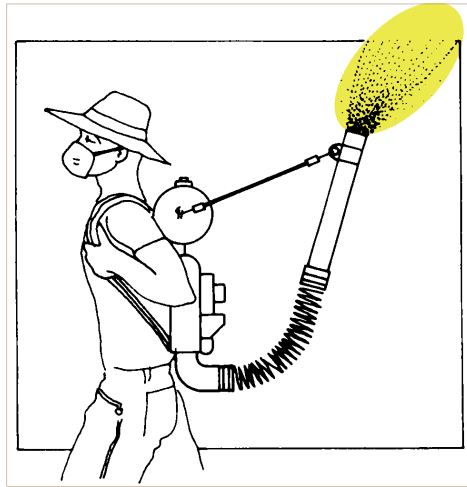
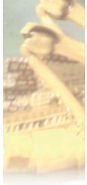


Figure 36. Position de la tuyère pour que l'opérateur ait les mains libres et puisse se concentrer sur la régularité de son allure et de la direction (d'après Matthews, 1985b).

Le dispositif de génération des gouttelettes se trouve à l'intérieur du venturi. Certains fabricants ont ajouté, avec plus ou moins de succès, un élément rotatif à cet endroit.

Le circuit du produit

Le réservoir

Le réservoir de produit, le plus souvent d'une capacité de 10 l, est en matière plastique et de forme variable. Son orifice de remplissage est large et garni d'un filtre qui doit toujours être laissé en place pour le ravitaillement. Le bouchon comporte un joint permettant de maintenir une légère pression à l'intérieur du réservoir (0,2 bar), suffisante pour pousser le liquide du réservoir jusqu'au venturi. Si le pulvérisateur est équipé pour pouvoir traiter en TBV ou en UBV, des filtres supplémentaires doivent être installés au niveau du réservoir et du régulateur de débit.

La pompe

Les pulvérisateurs dotés d'un système de centrifugation présentent également une petite pompe destinée à assurer la régularité du flux de liquide même lorsque le venturi se trouve plus haut que le niveau de produit dans le réservoir.

Le régulateur de débit

Pour un contrôle satisfaisant du flux de produit, un système de régulation du débit doit être inséré entre le réservoir et le venturi. Il peut s'agir d'un régulateur de débit proprement dit ou d'un système d'orifices de restriction interchangeables. L'ouverture et l'interruption de l'écoulement du produit sont contrôlées par la vanne d'arrivée du produit (marche/arrêt). Les pulvérisateurs pneumatiques pour traitements en TBV et UBV doivent toujours être équipés d'un système de régulation du débit qui soit à la fois précis et facile à régler. Il est important qu'il soit distinct de la vanne marche/arrêt d'arrivée du produit car les vannes progressives ne sont pas suffisamment précises pour les débits très faibles.



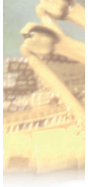
Le dispositif de pulvérisation

Beaucoup de marques et de modèles de pulvérisateurs pneumatiques à dos sont disponibles sur le marché. Au cours des années 2000, des donations d'appareils de marques et modèles variés ont eu lieu dans le cadre des aides bilatérales, avec pour résultat l'accumulation d'une très grande diversité de têtes de pulvérisation, depuis de simples flexibles se terminant en venturi jusqu'à des systèmes rotatifs plus ou moins rapides.

Presque tous les fabricants fournissent des buses spéciales diminuant le débit de liquide en affirmant que ces dispositifs permettent de traiter en UBV. Cependant, comme le mécanisme de génération des gouttes reste le même (buse pneumatique), les gouttes sont encore trop grossières pour autoriser une véritable pulvérisation en UBV. Certains fabricants l'ont compris et ont tenté d'introduire des systèmes rotatifs, avec un succès variable. La principale erreur commise à ce niveau est d'agrandir l'extrémité du manche à air pour y installer le mécanisme rotatif, ce qui entraîne un net ralentissement du flux d'air.



Figure 37. Pulvérisateur pneumatique à dos équipé d'une tête de pulvérisation AU8100 (d'après Micronair). L'élément rotatif est actionné par le flux d'air généré par la soufflerie du pulvérisateur. La tuyère peut être fixée en position haute pour les traitements en dérive contrôlée.



L'adaptation d'une cage rotative

Le dispositif AU8000 de Micronair a été conçu pour s'adapter facilement sur des pulvérisateurs pneumatiques à dos. La tête de pulvérisation de 1,5 kg est composée d'une cage rotative et d'un système de régulation du débit. Elle s'installe en lieu et place du venturi (fig. 37). L'élément d'atomisation est mis en rotation par une turbine aux pales orientables actionnée par le flux d'air provenant de la soufflerie du pulvérisateur pneumatique. Il comporte une cage grillagée cylindrique qui génère les gouttelettes. Lorsque le flux d'air est suffisamment puissant pour faire tourner cette cage entre 6000 et 8000 tours/min, le spectre des gouttelettes produites correspond à une pulvérisation en UVB (fig. 38).

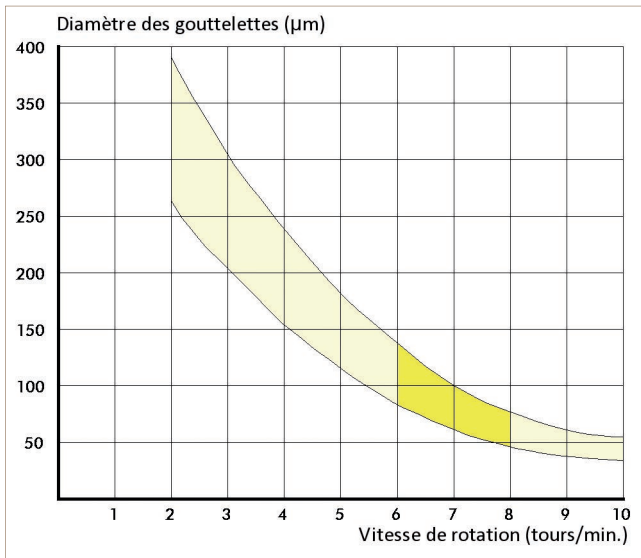


Figure 38. Variation de la taille des gouttelettes en fonction de la vitesse de rotation de la cage rotative sur le AU8000 de Micronair (d'après Micronair, 1989).

Types de restricteur (AU8000)		Débit (litres par minute)
Numéro	Couleur	
1	Marron	0,075
2	Rouge	0,150
3	Orange	0,300
4	Jaune	0,600
5	Vert	1,200

Tableau 16. Débit des différents types de tubes restricteurs du AU8000, mesuré avec du pétrole lampant (d'après Micronair, 1989).

Le débit est contrôlé par la pression du liquide et à l'aide d'un jeu de tubes restricteurs interchangeables qui se placent près de la vanne d'arrivée du produit. Pour faciliter la présélection du débit, les couleurs des tubes restricteurs correspondent à des débits prédéterminés (tableau 16). Les débits indiqués ont été mesurés avec des liquides de viscosité égale à celle de l'eau et doivent de ce fait uniquement



servir de point de départ pour un calibrage plus précis. La procédure de calibrage du débit est détaillée plus loin.

Le AU8000 peut être vendu sous la forme d'un pulvérisateur pneumatique complet ou d'un kit de conversion à monter sur son propre pulvérisateur pneumatique à dos, à condition que celui-ci soit suffisamment puissant (au minimum : puissance moteur de 5 CV, débit d'air de 20 m³/min et vitesse du flux d'air de 125 m/s à l'embouchure).

La taille des gouttelettes produites par la tête de pulvérisation dépend de la vitesse de rotation du mécanisme et de la viscosité du produit. La vitesse de rotation dépend elle-même de la puissance du flux d'air généré par la soufflerie et de l'angle des pales de la turbine. Comme la plupart des ventilateurs de pulvérisateur pneumatique sont conçus pour tourner à vitesse constante, la vitesse de rotation du mécanisme de pulvérisation s'ajuste en modifiant l'angle des pales de l'hélice de la tête de pulvérisation.

Pour obtenir un spectre des gouttes qui convienne à un traitement en UBV, la vitesse de rotation du dispositif doit se situer entre 7 000 et 8 000 tours/min (fig. 38). La vitesse de rotation se mesure à l'aide d'un compte-tours (tachymètre); à défaut, il est possible de se baser sur une estimation visuelle de la taille des gouttelettes pour en déduire les réglages de vitesse à effectuer.

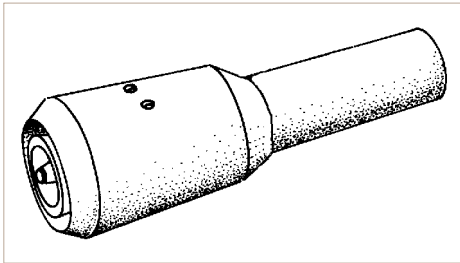


Figure 39. Le cône rotatif de Micronex pour pulvérisateurs motorisés à dos (d'après Micron Sprayers).

L'adaptation d'un cône rotatif

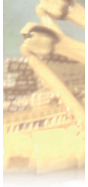
Ce dispositif peut être adapté, avec ou sans bouteille, sur l'embouchure de la tuyère. La turbine, actionnée par le flux d'air, atteint de 12 000 à 16 000 tours/minute. La vitesse de rotation dépend de la puissance du moteur.

Le débit, de 30 à 100 ml/min, est contrôlé à l'aide d'un jeu de buses colorées interchangeable ou de pastilles à orifices calibrés. La taille des gouttelettes est réglée en jouant sur les débits de l'air (par l'intermédiaire du régime du moteur) et du liquide et peut être abaissée jusqu'à 40 microns.

Ce type de tête de pulvérisation produit des gouttelettes fines et homogènes. Toutefois, lorsque le pulvérisateur pneumatique n'est pas assez puissant, le débit manque de précision et il devient nécessaire de maintenir la buse au-dessous du niveau du liquide dans le réservoir de produit. Cette contrainte limite les possibilités en matière d'espacements.

Le fonctionnement général

La proportion d'huile et d'essence dans le mélange carburant doit être scrupuleusement respectée. Le ravitaillement en carburant se fait à l'aide d'un entonnoir introduit au-dessus du filtre (pour éviter toute projection qui pourrait s'enflammer spontanément en cas de contact avec le moteur très chaud). Une fois le plein effectué, le bouchon du carburant doit être soigneusement remis en place.



Suivre attentivement les indications du fabricant pour démarrer le moteur. Pendant la pulvérisation, le moteur ne doit tourner à plein régime que sur de courtes périodes.

Avec des pulvérisateurs équipés d'une simple buse pneumatique, il convient de garder à l'esprit qu'à débit de produit constant, une diminution du débit de l'air se traduit par une augmentation de la taille des gouttelettes produites. À débit d'air constant, une augmentation du débit du produit aura le même effet.

Les pulvérisateurs UBV à piles

Au début des années 1960, la nécessité de réduire les volumes utilisés a présidé à la mise au point de pulvérisateurs UBV, fonctionnant avec des piles de type LR20. En 1975, plusieurs milliers d'hectares de coton étaient déjà traités de cette manière en Afrique de l'Ouest (Cauquil, 1987). Ce matériel simple, robuste et n'utilisant que peu ou pas d'eau a rapidement remplacé les pulvérisateurs hydrauliques à dos chez les cultivateurs de coton. La nécessité d'appliquer des traitements de manière répétée et l'arrivée sur le marché d'insecticides moins toxiques, tels que les pyréthrinoïdes, ont également contribué à son succès.

Les pulvérisateurs UBV à piles ont commencé à être utilisés en lutte antiacridienne à partir de 1985, notamment contre les sauteriaux. Aujourd'hui, ils sont couramment employés pour traiter, outre le coton, des cultures alimentaires telles que tomate, riz, maïs, arachide, millet, etc.

Les pulvérisateurs à piles sont susceptibles de jouer un rôle significatif en lutte antiacridienne préventive et curative pour traiter de petites superficies, en particulier pour la protection rapprochée des cultures alimentaires et lorsque la participation des exploitants agricoles locaux devient nécessaire, que ce soit pour des raisons techniques ou sociales. Au début de la saison des pluies dans les pays du Sahel sud saharien, il peut être crucial d'intervenir sur les premières éclosions larvaires pour préserver les plantules des cultures de céréales. Bien qu'il soit toujours possible que les populations de sauteriaux se développent en invasion généralisée, il n'est pas concevable de s'en remettre entièrement aux services phytosanitaires nationaux pour répondre aux besoins de tous, partout et au même moment. Là où l'on utilisait auparavant des sacs poudreux, les pulvérisateurs à piles constituent une alternative bien meilleure. En outre, les fabricants de produits chimiques ont maintenant mis au point nombre de formulations spéciales spécifiquement destinées à ces types de pulvérisateurs, qui acceptent indifféremment les préparations aqueuses ou huileuses. Il est toutefois conseillé de veiller à ce que les formulations utilisées soient peu toxiques pour les humains.

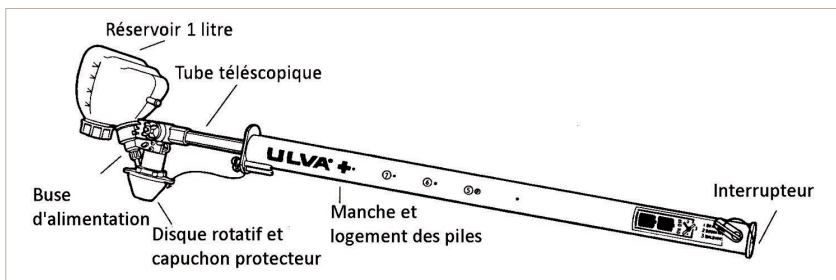


Figure 40. Vue générale d'un pulvérisateur UBV à piles (d'après Micron Sprayers).



Description

Un pulvérisateur UBV à piles se compose d'un manche tubulaire, d'un mécanisme d'orientation et de verrouillage de la tête, d'un moteur électrique, d'une source d'énergie, d'une bouteille (réservoir), souvent complétée par une nourrice portée sur le dos de l'opérateur et d'un disque rotatif (fig. 40). Ces appareils sont relativement légers, pesant entre 1,7 et 1,9 kg.

Le manche

Le manche, creux, remplit plusieurs fonctions : magasin pour les piles, ajustement de la hauteur d'émission, tenue du pulvérisateur en main. À son extrémité se trouve un interrupteur marche/arrêt. Sur la plupart des modèles, le manche est désormais prolongé par un tube télescopique en aluminium. Le logement des piles est soit en matière plastique (Berthoud), soit en aluminium (Micron Sprayers). Le modèle C5 de Berthoud utilise cinq piles et le Micro Ulva+ de Micron Sprayers de cinq à huit piles permettant de moduler la vitesse de rotation de la tête.

Le support orientable de la tête

Le mécanisme d'orientation et de verrouillage est en matière plastique ou en métal. Il permet d'ajuster l'angle de la tête de pulvérisation sur le tube télescopique en fonction de la hauteur d'émission, de sorte que l'axe de la buse d'alimentation demeure vertical.

Le moteur électrique et sa source d'énergie

Le moteur électrique est enfermé dans une coque étanche en matière plastique. Il fonctionne avec des piles sèches ordinaires (type D ou LR20), produisant une tension de 6 à 12 V selon le nombre de piles utilisées. Le disque est dentelé ou lisse et tourne à une vitesse variant de 4 000 à 10 000 tours/min. La vitesse la plus élevée est utilisée pour les traitements en UBV, tandis que la plus basse sert aux traitements avec des formulations aqueuses.

La plupart des modèles ont une vitesse de rotation fixe mais les modèles Micro Ulva+ peuvent tourner à des vitesses différentes selon le nombre de piles introduites dans le magasin (tableau 17).

Nombre de piles*	Vitesse de rotation (tours/min)	Taille des gouttelettes (microns)	Débit (ml/min)
2 (3 V)	3 000	110 - 130	100
4 (6 V)	7 000	70 - 90	60
6 (9 V)	11 000	50 - 60	40
8 (12 V)	15 000	35 - 45	20

* piles de type D/LR20 (1,5 V).

Tableau 17. Taille des gouttelettes produites en fonction du débit et de la vitesse de rotation du disque sur le Micro Ulva+ (d'après Micron Sprayers).

La consommation énergétique et la fréquence du changement des piles dépendent de la puissance utilisée et de l'efficacité du moteur. Certains moteurs dépensent plus d'énergie que d'autres. En outre, la manière d'utiliser l'appareil influence également sa consommation d'énergie. Après un certain temps de travail, la tension des piles baisse mais une repolarisation permet normalement une certaine



remontée de la tension après une période de repos. Il est donc recommandé d'intercaler des périodes de repos de cinq minutes toutes les vingt minutes de traitement continu.

Il est recommandé d'utiliser si possible des piles alcalines plutôt que salines car ces dernières sont moins efficaces et moins résistantes à l'utilisation intensive.

La bouteille et la nourrice

Le réservoir principal ou bouteille, est en matière plastique translucide d'une capacité d'un litre – ce qui permet de ne pas fatiguer l'opérateur. L'appareil entier, chargé avec huit piles et la bouteille remplie de produit, pèse environ 2,5 kg. La bouteille est graduée, soit tous les 250 ml, soit tous les 200 ml, ce qui permet à l'opérateur de vérifier facilement le niveau du produit. Si nécessaire, il est possible de rajouter des graduations intermédiaires au feutre indélébile.

Certains modèles présentent un second orifice de remplissage qui peut être connecté à un réservoir d'appoint ou nourrice (fig. 41). Tous sont conçus pour assurer une entrée d'air dans la bouteille afin que le produit s'écoule régulièrement.

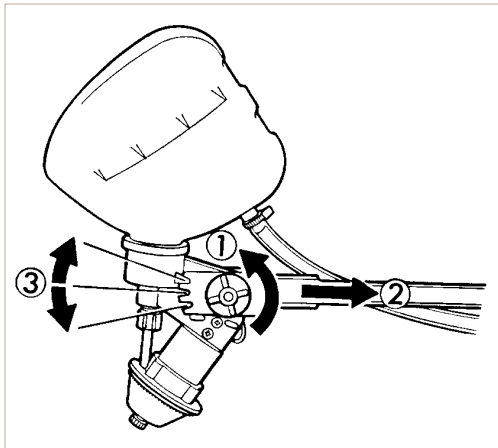


Figure 41. Schéma de la tête de pulvérisation d'un pulvérisateur UBV à piles (d'après Micron Sprayers).

La tête de pulvérisation doit être ajustée de manière à ce que le gicleur d'alimentation soit vertical pendant le traitement. La plupart des fabricants fournissent maintenant une nourrice à porter sur le dos, qui sert à remettre à niveau le produit dans la bouteille par l'intermédiaire d'un flexible et d'un robinet. On remplit la bouteille en ouvrant le robinet.

Les gicleurs d'alimentation

Les fabricants livrent chaque modèle avec un jeu de gicleurs colorés de différents diamètres correspondant chacune à un débit différent.

Il doit être souligné que les correspondances entre couleurs et débits ne sont pas les mêmes d'un fabricant à l'autre, bien qu'une certaine standardisation serait ici souhaitable. Il est donc recommandé de consulter le livret d'instructions pour s'assurer du diamètre des buses. En général, les buses peuvent être changées sans outillage particulier.



Berthoud		Micron Sprayers	
Couleurs des buses	Débites	Couleurs des buses	Débites
Violet	25	Rouge	90
Bleu	45	Noir	150
Jaune	85	Gris	175
Rouge	100	Rose	195
Vert	150		
Noir	200		

Tableau 18. Débit de deux modèles différents de pulvérisateurs UBV à piles (d'après Berthoud et Micron Sprayers).

Les débits donnés par le fabricant correspondent à des débits mesurés avec de l'eau, parfois avec des surfactants. Ces chiffres sont donc à considérer comme de simples indications, avant un calibrage plus précis. La viscosité des formulations pour traitements en UBV peut varier et le débit doit toujours être rééquilibré à chaque fois que l'on change de produit.

Les disques rotatifs

Il existe différentes formes de disques rotatifs : en forme d'assiette ou de coupelle plus ou moins concave, de 50 à 80 mm de diamètre, avec un bord incurvé. Ils sont fixés sur l'arbre par un boulon ou un système de clip. Tous peuvent être remplacés en cas de besoin. Tous les pulvérisateurs sont vendus avec un capuchon protecteur pour protéger les disques rotatifs des impacts.

Le bord du disque peut être dentelé ou lisse. Les disques dentelés sont ceux qui produisent les spectres de gouttelettes les plus étroits mais ils sont aussi plus fragiles.

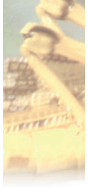
Le fonctionnement des pulvérisateurs UBV à piles

Le produit est amené par gravité au centre du disque en rotation par l'intermédiaire d'une buse d'alimentation et la force centrifuge répartit le liquide ainsi qu'il a été expliqué plus haut. À viscosité égale, la taille des gouttelettes varie en fonction de la vitesse de rotation et du débit (tableau 7).

Les pulvérisateurs portés par véhicule

Jusqu'à la fin des années 1980, le seul pulvérisateur porté par véhicule disponible était le pulvérisateur sur pot d'échappement. L'arrivée sur le marché de pulvérisateurs électriques conçus pour être montés sur des véhicules fut considérée comme une avancée notable, dans la mesure où l'énergie électrique utilisée n'affecte pas le moteur du véhicule. Depuis, de nombreuses améliorations ont été enregistrées dans les conditions difficiles du travail en zone désertique.

Les pulvérisateurs portés par véhicule dépendent plus ou moins étroitement du véhicule qui les porte. Le modèle le plus dépendant en ce sens est le PPE, dont le fonctionnement même est lié à celui du moteur du véhicule pour la production des gouttelettes (volume et flux des gaz d'échappement). Les caractéristiques mécaniques du véhicule ont également leur importance pour la vitesse d'avancement.



Certains modèles de pulvérisateurs portés par véhicule sont énergétiquement autonomes, disposant de leur propre moteur à essence ou à gasoil (Micronair AU8115 de Micron Sprayers, Puma et Super Puma de Berthoud) et ne dépendent du véhicule que pour la vitesse d'avancement. Les pulvérisateurs électriques sont autonomes du point de vue de la production des gouttelettes mais dépendent du véhicule pour leur alimentation électrique et la précision de la dose est fonction de la constance de la vitesse d'avancement (Ulvamast de Micron Sprayers). Le L15 de Curtis Dyna-Fog ne dépend plus du véhicule que pour son alimentation électrique, son système radar Syncroflow l'affranchissant de la vitesse d'avancement. En 1988, la FAO a publié des directives concernant les exigences minimales en matière de matériel d'application de pesticides dans le secteur agricole. Au chapitre des pulvérisateurs portés, les principales exigences sont les suivantes.

- L'unité de pulvérisation doit être fixée en toute sécurité à la plate-forme du véhicule.
- Toutes les poignées, manettes ou points d'appui doivent être placés à une distance minimale de 300 mm par rapport à tous les points d'articulation.
- Idéalement, les pulvérisateurs doivent être équipés d'un système de transfert fermé; cependant, dans le cas où le remplissage de produit se ferait manuellement, il devrait être possible pour l'opérateur d'ajouter du produit dans la cuve en se mettant debout sur la plate-forme.
- La distance entre la personne manipulant les produits sur la plate-forme et les points à atteindre ne doit pas dépasser 1 m verticalement et 0,3 m horizontalement. La zone de remplissage ne doit pas être encombrée.
- Le système de remplissage de la cuve du pulvérisateur doit permettre un remplissage facile, en toute sécurité, sans débordement ni éclaboussure.
- Toutes les parties extérieures du pulvérisateur doivent être conçues de manière à ce que le produit ne puisse être retenu à la surface de l'appareil et que les résidus chimiques accumulés puissent être facilement lavés selon une procédure pratique de nettoyage qui doit être décrite dans le manuel d'entretien.
- Il ne doit pas y avoir d'angles aigus, de surfaces abrasives ou de parties saillantes inutiles qui pourraient blesser l'utilisateur.
- Le pulvérisateur doit rester stable et en position verticale quand il est posé sur une pente de 1 pour 10 et orienté dans toutes les directions, quel que soit le niveau de remplissage de la cuve.
- Les réglages du pulvérisateur, la maintenance habituelle, la vidange et le nettoyage doivent être facilement réalisés sans avoir recours à des outils spéciaux.
- Le fabricant doit fournir un manuel d'utilisation clair, simple et bien illustré en anglais, français, arabe, etc. et dans les langues commerciales acceptées pour le marché spécifique au pulvérisateur.
- Le manuel d'utilisation doit contenir les instructions pour :
 - le montage initial;
 - l'identification de toutes les pièces de rechange;
 - le réglage et le calibrage;
 - le nettoyage et la décontamination;
 - la maintenance habituelle et le stockage;
 - l'utilisation efficace et en toute sécurité sur le terrain;
 - les précautions à prendre pour réduire les risques de contamination de l'utilisateur et de l'environnement liés à l'utilisation du pulvérisateur, y compris la dérive.



- Le fabricant doit également fournir des informations sur :
 - le choix des buses;
 - le calibre des buses et la pression à utiliser;
 - la manipulation des pesticides non dilués, le mélange des produits chimiques et le remplissage de la cuve;
 - les procédures limitant les quantités à éliminer de produit inutilisé et de liquides de lavage;
 - les procédures pour l'élimination sans risques des excès de pesticides dilués;
 - les besoins en matière de vêtements de sécurité conformes aux recommandations spécifiées pour les pesticides utilisés.
 - le pulvérisateur doit être clairement et durablement marqué avec le nom et l'adresse du fabricant, le modèle et le nom du pulvérisateur ainsi que l'année de fabrication.
 - Le fabricant doit pouvoir prouver à l'acquéreur qu'un système fonctionnel a été mis en place pour enregistrer les caractéristiques de l'appareil (marque, modèle et année de fabrication) de manière à pouvoir spécifier avec exactitude les pièces de rechange pour une durée minimale de cinq années après la date de fabrication.
- Tous les organes de contrôle doivent être situés dans un endroit facile à atteindre par l'utilisateur à partir de sa position habituelle de travail.
- Toutes les parties du pulvérisateur doivent être fabriquées à partir de matériaux non absorbants qui ne doivent pas être affectés par les formulations de pesticides homologués. Les parties habituellement exposées à la lumière directe du jour doivent être fabriquées à partir de matériaux non dégradables sous une exposition continue au rayonnement ultraviolet. L'acquéreur doit pouvoir obtenir du fabricant les informations pertinentes sur les matériaux utilisés dans la fabrication du pulvérisateur.

Les pulvérisateurs autonomes portés par véhicule

Ces pulvérisateurs ne dépendent du véhicule qui les porte que pour la vitesse d'avancement. L'énergie est fournie par leur propre moteur thermique. Dans la plupart des cas, il s'agit de pulvérisateurs à jet porté, dont les gouttelettes sont produites par des mécanismes divers (pneumatiques, hydrauliques ou centrifuges ou une combinaison de deux systèmes différents).

Certains modèles sont de très grande taille et sont équipés de moteurs thermiques de 50 CV portés par un tracteur (fig. 42) ou par un camion (fig. 43). Même si ces gros pulvérisateurs produisent un

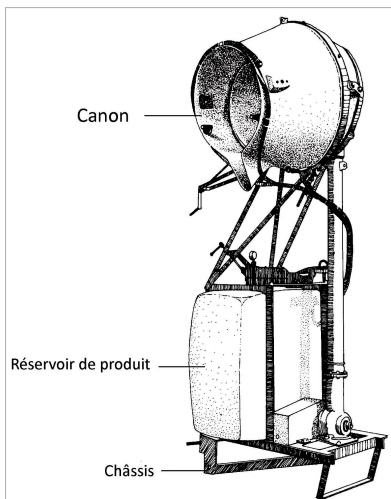
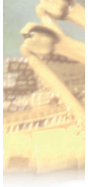


Figure 42. Pulvérisateur pneumatique à jet porté à monter sur un tracteur (d'après Tecnomia, 1988). Ce type de pulvérisateur peut se révéler utile pour atteindre les aîlés perchés en hauteur dans les arbres.



spectre acceptable de gouttes, leur poids et les contraintes de leur entretien les rendent mal adaptés aux opérations courantes de lutte antiacridienne. Ils peuvent cependant rendre service pour lutter contre les essaims perchés sur de grands arbres et des palmiers dattiers.

En revanche, les modèles petits et compacts qui peuvent être fixés sur la plateforme de n'importe quel *pick-up* à quatre roues motrices sont bien plus intéressants à condition de produire des gouttelettes suffisamment fines pour les traitements en UBV.

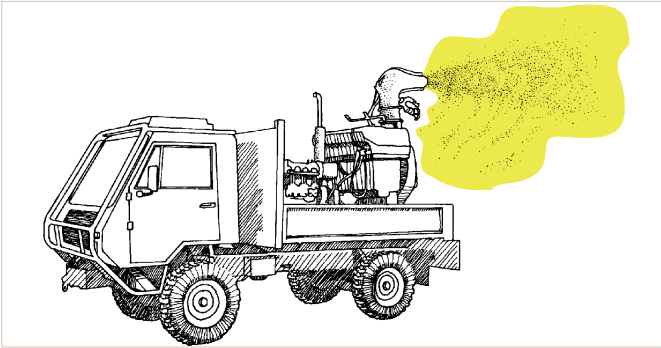


Figure 43. Pulvérisateur pneumatique à jet porté monté sur un petit camion à quatre roues motrices (d'après Berthoud, 1988). Ce type d'appareil est puissant mais très difficile à utiliser et à entretenir dans les conditions habituelles des campagnes antiacridiennes.

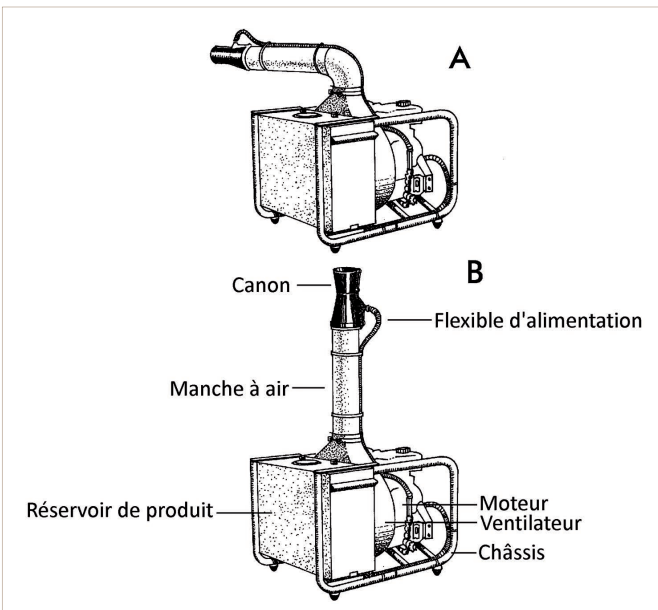


Figure 44. Groupe pneumatique autonome à tuyère orientable (d'après Berthoud, 1990). Le canon est en position horizontale (A) pour les traitements à jet porté ou en position verticale (B) pour les traitements en dérive contrôlée.



Le groupe pneumatique Puma de Berthoud

Le pulvérisateur autonome Puma est un appareil compact fixé sur un châssis en acier. Il est doté d'un réservoir de 85 l en polyéthylène, d'une pompe volumétrique avec filtre et d'un canon orientable de l'horizontale à la verticale grâce à une articulation à 45 degrés (fig. 44). L'énergie est fournie par un moteur diesel ou à essence. Le moteur diesel, de 8 CV, est équipé d'un démarreur électrique tandis que le moteur à essence a un démarreur électrique ou manuel (lanceur). Il est possible de contrôler la pulvérisation depuis l'intérieur de la cabine du véhicule porteur. Le pulvérisateur pèse au total 94 kg en version essence et 128 kg en version diesel. Il comporte des courroies pour son arrimage sur la plate-forme et pour son chargement, déchargement et transfert d'un véhicule à un autre. Le cas échéant, il est possible de fixer le châssis à la plate-forme à l'aide de boulons et d'écrous.

Le Puma est un pulvérisateur à buse purement pneumatique dont le ventilateur génère un flux d'air de 1350 m³/h à la vitesse de 408 km/h. Ceci permet normalement de produire un spectre des gouttes convenant aux applications en TBV.

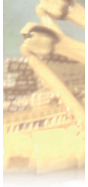
Le débit est calibré en combinant des plaques à orifices (pastilles perforées), des buses colorées et un variateur de débit (tableau 19). Ce système permet de disposer d'une très large gamme de débits.

Position variateur de débit	Buse orange 8/10	Buse rouge 10/10	Buse verte 12/10	Buse bleue 15/10	Buse grise 18/10	Buse noire 20/10	Buse blanche 25/10	Buse violette 30/10	Libre
1	0,29	0,33	0,51	0,68	0,80	0,90	0,95	1,00	1,05
2	0,30	0,33	0,52	0,72	0,90	0,98	1,20	1,30	1,55
3	0,30	0,34	0,53	0,77	0,95	1,10	1,40	1,60	2,10
4	0,31	0,34	0,54	0,79	1,00	1,20	1,61	2,10	2,80
5	0,31	0,35	0,55	0,80	1,05	1,25	1,85	2,55	3,15
6	0,32	0,35	0,56	0,85	1,15	1,30	2,00	3,05	4,00
7	0,32	0,35	0,57	0,9	1,24	1,41	2,15	3,25	4,80
8	0,33	0,36	0,58	0,95	1,25	1,56	2,20	3,25	5,20

Tableau 19. Exemples de variation du débit d'eau obtenu avec un pulvérisateur autonome Puma équipé d'une plaque à orifice de 4 mm en fonction des buses utilisées (d'après Berthoud, 1999).

Ce type de pulvérisateur peut se révéler utile dans les régions saharo-sahéliennes, où il est parfois nécessaire d'alterner les traitements à jet porté et les traitements par dérive contrôlée.

Le pulvérisateur porté autonome Puma est compact et relativement solide. Il peut être porté par un petit *pick-up* à quatre roues motrices. Il est complètement autonome et peut donc être rapidement transféré d'un véhicule à un autre avec très peu d'outils. Il présente toutefois des défauts liés à l'entretien du moteur thermique et les gouttelettes produites restent relativement grossières.



Le Micronair AU8115 de Micron Sprayers

Ce pulvérisateur fonctionne avec une tête de pulvérisation centrifuge. Il est autonome et conçu pour une large gamme d'utilisations, y compris la lutte antiacridienne. L'appareil est monté sur un châssis et peut être installé à l'arrière de tout véhicule tout-terrain, bien que quelques adaptations soient nécessaires dans certains cas.

Le pulvérisateur peut être boulonné à la plate-forme du véhicule de manière permanente ou seulement arrimé temporairement. Pour une installation permanente, le châssis est boulonné directement sur la plate-forme du véhicule ou sur des traverses en bois elles-mêmes boulonnées au véhicule.

Pour une installation temporaire, le pulvérisateur est fixé au véhicule par des courroies passées dans les coins supérieurs du châssis.

Les éléments constitutifs

Le moteur

Il s'agit d'un moteur à quatre temps de 11 CV à refroidissement à air et fonctionnant à l'essence, suffisamment puissant pour permettre son utilisation à bas régime en conditions chaudes ou à haute altitude. Le démarreur est de type lanceur. Les pièces de rechange du moteur sont disponibles dans le monde entier.

Un manuel d'utilisation est disponible auprès du fabricant dans lequel sont exposées les instructions pour son utilisation et les consignes de sécurité. Ces indications sont importantes et doivent être suivies à la lettre pour limiter les risques d'avarie et d'accident.

Le système de soufflerie

L'élément de soufflerie est en prise directe avec l'arbre du moteur. Il produit un flux d'air rapide qui est amené jusqu'à la tête de pulvérisation par une tuyère flexible.

La tête de pulvérisation

Le pulvérisateur rotatif AU8115 est entraîné par le flux d'air. Il est monté sur un pivot réglable qui permet d'orienter le jet. Un kit d'extension est disponible en option pour pouvoir élever la tête de pulvérisation. La hauteur d'émission peut ainsi atteindre 15 m. Ce système est particulièrement utile lorsque l'on doit traiter selon de larges espacements (100 m ou plus) ou pour traiter des cultures de haute taille telles que le maïs ou la canne à sucre.

Le pulvérisateur AU8115 est fabriqué avec des matériaux résistants aux produits chimiques. Afin de s'assurer une performance prolongée, il doit être entretenu avec soin et, en particulier, nettoyé après chaque utilisation. Un équilibrage dynamique permet à l'élément rotatif de tourner sans produire de vibrations. Certains produits chimiques, notamment des solides en suspension et des formulations pour UBV, sont susceptibles de sécher ou de cristalliser sur le grillage, bouchant les interstices et entraînant la vibration de l'atomiseur. Ce problème peut être facilement évité en faisant passer dans le pulvérisateur 1 à 2 litres d'un produit nettoyant, à la fin de chaque journée de pulvérisation. L'eau ne dissout normalement que les formulations aqueuses mais le pétrole lampant et le diesel conviennent dans le cas des formulations pour UBV. Les roulements de la tête de pulvérisation AU8115 sont scellés et lubrifiés à vie. Ils doivent être remplacés en cas d'usure.

Le système d'alimentation en produit

Le système d'alimentation en produit comporte un réservoir, un dispositif de régulation du débit et un filtre.

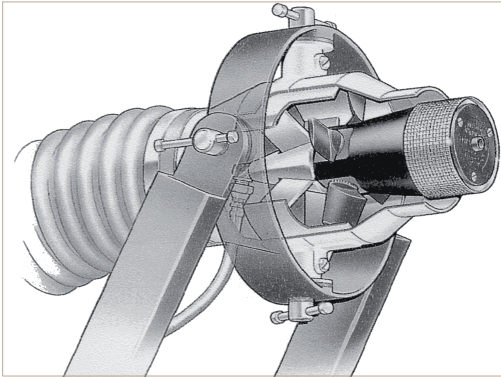


Figure 45. Tête de pulvérisation Micronair AU8115, montrant le système d'articulation à deux axes perpendiculaires (d'après Micron Sprayers).

Le réservoir

La cuve est en polyéthylène haute densité, d'une capacité de 100 l, avec des graduations tous les 5 l.

La pompe

La pompe est centrifuge à entraînement magnétique.

Réglages et calibrages

La taille des gouttelettes

L'atomiseur est actionné par le flux d'air à grande vitesse généré par la turbine. Plus la vitesse de rotation de la cage est élevée, plus les gouttelettes produites sont fines (fig. 46). Pour régler la taille des gouttelettes, on agit sur l'angle des pales de l'hélice de la tête de pulvérisation, en fonction du débit et de la viscosité du produit. Un angle étroit (numéro de position bas) se traduit par une vitesse de rotation élevée (fig. 47). Les indications pour changer l'angle des pales figurent dans le manuel fourni par le fabricant et doivent être attentivement suivies. Les quatre pales doivent toujours être toutes ajustées selon le même angle.

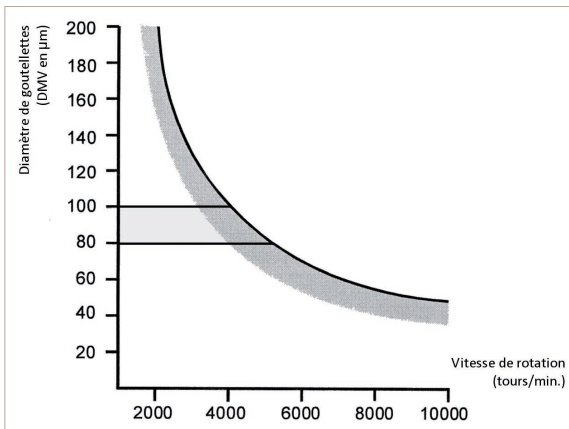


Figure 46. Taille des gouttelettes produites en fonction de la vitesse de rotation de la cage rotative (d'après Micron Sprayers). Les vitesses de rotation les mieux adaptées à la lutte antiacridienne se situent entre 4 000 et 5 000 tours/min. Toutes les mesures de référence sont faites avec de l'eau et ne sont donc qu'indicatives, pour faciliter le calibrage proprement dit, réalisé avec la formulation prévue pour le traitement.

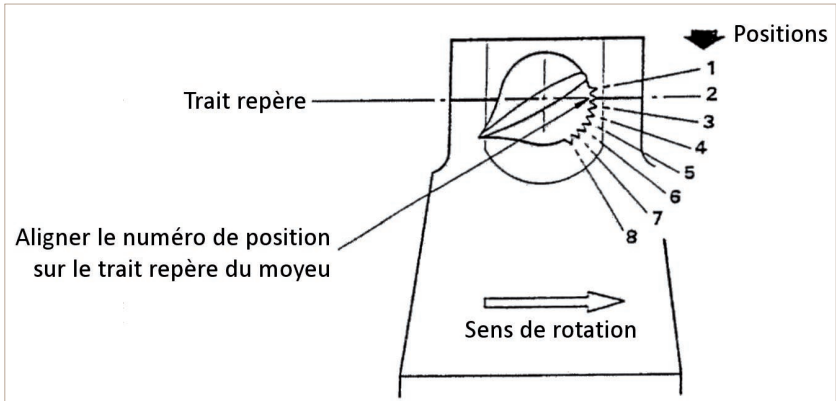
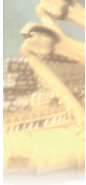


Figure 47. Ajustement de l'angle des pales d'une cage rotative (d'après Micron Sprayers).

La taille des gouttelettes peut être réglée entre environ 45 microns et 300 microns. Un spectre des gouttes variant de 30 à 120 microns (avec un DMV d'environ 90 microns) convient pour les traitements antiacridiens, tandis que des diamètres de 100 à 145 microns sont nécessaires pour les traitements en TBV et BV.

Le calibrage du débit

Le débit de produit émis par la tête de pulvérisation est contrôlé par un variateur de débit de type VRU (*variable restrictor unit*) placé sur l'alimentation de la cage rotative et par la pression du liquide. Le bouton du VRU comporte deux rangées de nombres, les uns impairs (de 1 à 13) et les autres pairs. Les VRU des atomiseurs AU8115 sont livrés avec une plaque à orifices de type « L » portant des orifices de restriction « bas débit » numérotés de 1 à 7 (tableau 20). Le bouton doit être positionné de manière à ce que l'un de ces chiffres soit aligné avec le trait-repère sur le corps du variateur. Sur le Micronair AU8115, les chiffres de 8 à 14 ne sont pas utilisés.

Position du VRU	Pression			
	0,66 bar (10 psi)	1,0 bar (15 psi)	1,3 bar (20 psi)	1,7 bar (25 psi)
1	0,22	0,27	0,32	0,36
2	0,36	0,44	0,60	0,66
3	0,60	0,84	0,96	1,00
4	0,82	1,00	1,20	1,30
5	1,00	1,28	1,48	1,68
6	1,34	1,64	1,88	2,14
7	1,74	2,20	2,52	2,88

Tableau 20. Débit approximatif de l'atomiseur AU8115 équipé d'un VRU avec une plaque de type « L » (en l/min, d'après Micron Sprayers, 2000).

Si la situation exige un débit non limité, le variateur de débit VRU peut être ouvert entièrement en positionnant le bouton sur le chiffre 7, puis en le tirant en arrière et en le tournant de 90° jusqu'à ce qu'il se verrouille vers l'extérieur. Cette opération



sépare les deux plaques du variateur et laisse le produit s'écouler librement. Pour revenir en position normale, tourner le bouton dans l'une ou l'autre direction jusqu'à ce que le ressort repousse la plaque-sélecteur à sa place. Il est conseillé d'appuyer sur le bouton avec la paume de la main pour bien s'assurer qu'il s'enclenche à fond. Si le variateur se bloque en position d'ouverture complète, il peut parfois être libéré en faisant tourner la plaque-sélecteur d'avant en arrière. Toute contamination cristallisation de produit entre les plaques les empêchera de revenir en contact et se traduira par un débit irrégulier.

L'entretien général

À la fin de la session de pulvérisation, vidanger le surplus de produit restant dans le réservoir. Tout le produit restant doit être recueilli dans un contenant adapté, pour son utilisation ultérieure ou pour son élimination en toute sécurité. Un court tuyau flexible connecté à la sortie du robinet sera utile pour éviter de faire couler du produit au sol pendant la vidange du réservoir.

Il est très important de rincer et de nettoyer l'ensemble du pulvérisateur après utilisation. Beaucoup de formulations UBV sont susceptibles d'endommager l'appareil si elles y sont laissées pour des périodes prolongées. Le système doit être rincé en le faisant fonctionner avec un solvant adapté à la formulation utilisée, en général le gazole. L'opération est réalisée sur le site même du traitement afin d'éviter de contaminer une zone non ciblée avec du pesticide dilué. Tout solvant restant dans la cuve est vidangé et éliminé en toute sécurité. Après le rinçage, toutes les surfaces externes sont nettoyées avec un solvant adapté puis avec de l'eau, si possible chaude, additionnée de détergent ou simplement du savon.

Bien veiller à ne jamais laisser de produit chimique ou de solvant de rinçage dans le réservoir lorsque le pulvérisateur n'est pas utilisé.

En ce qui concerne les opérations d'entretien plus spécialisées, les procédures sont expliquées en détail dans le manuel d'utilisation et le catalogue qui sont fournis avec l'appareil.

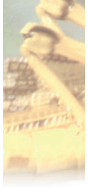
Les pulvérisateurs électriques portés par véhicule

Ces modèles fonctionnent sous une tension de 12 V et une intensité maximale de 10 A. Du fait de ces besoins modestes, il est possible de les brancher sur le circuit électrique du véhicule.

L'originalité de ces pulvérisateurs tient à leur relative légèreté (environ 65 kg), à leur forme compacte et à leur sobriété énergétique. Ils peuvent produire une pulvérisation parfaitement acceptable même montés sur des véhicules relativement peu puissants – à condition qu'ils aient quatre roues motrices. Les connexions et le fonctionnement sont simples. La batterie du véhicule n'est pas affectée dans la mesure où le pulvérisateur ne fonctionne généralement pas lorsque le moteur du véhicule est à l'arrêt.

Ces modèles ont commencé à être employés en lutte antiacridienne à la fin des années 1980. Robustes, peu gourmands en énergie et faciles à utiliser, ils peuvent faire toute la différence – notamment dans le cadre des campagnes préventives, où ils constituent une alternative crédible au pulvérisateur sur pot d'échappement (PPE).

Le calibrage de base de ces pulvérisateurs est décrit plus loin, dans la troisième partie de ce manuel.



Les éléments constitutifs

L'armature et le mât

L'armature est généralement en acier galvanisé ou en acier revêtu. Elle est prolongée par un mât repliable qui porte la tête de pulvérisation et qui permet de modifier quelque peu la hauteur d'émission.

Le circuit de produit

Le circuit du produit comporte une cuve et un petit réservoir de rinçage, une pompe, une vanne d'isolement, un robinet de vidange, un mécanisme de régulation du débit, des filtres et des flexibles. Les matériaux constitutifs sont plus ou moins résistants à la corrosion.

Le circuit électrique

L'équipement électrique comprend des câbles électriques gainés de nylon, un système de connexion à la batterie du véhicule et un boîtier de commande, qui peut être installé dans la cabine du véhicule à portée de main du conducteur.

La tête de pulvérisation

La tête de pulvérisation comporte un dispositif centrifuge fonctionnant avec l'électricité provenant de l'alternateur et stockée dans la batterie du véhicule.

Fixation sur le véhicule

Le véhicule porteur doit avoir une cabine dont les fenêtres peuvent être hermétiquement fermées pour bien protéger le conducteur du produit pulvérisé. Le pulvérisateur est installé aussi loin que possible à l'arrière de la plate-forme, de manière à ce que, lorsque le mât est en extension maximale, la tête de pulvérisation dépasse de l'arrière du véhicule. Ce positionnement permet par ailleurs de ménager un peu de place sur la plate-forme pour un réservoir d'appoint de produit – ce qui peut s'avérer utile en lutte préventive, lorsque l'alternance des phases de prospection et de traitement réclame d'emporter des réserves plus importantes.

Le pulvérisateur doit être solidement arrimé au véhicule par le biais de trous percés dans la plate-forme, avec les semelles de fixation, boulons, rondelles et écrous adaptés, habituellement fournis par le fabricant. Bien prendre garde de ne pas toucher le réservoir de carburant du véhicule (qui se trouve le plus souvent sous la plate-forme) en forant les trous. Pour une installation temporaire, le pulvérisateur peut être arrimé au véhicule avec des sangles ou des cordes passées autour de l'armature – à condition que le terrain ne soit pas trop accidenté.

L'alternateur du véhicule fournit l'énergie nécessaire, le pulvérisateur étant connecté par des câbles aux cosses de la batterie. Le système de connexion doit être facile à installer et à déconnecter et doit présenter un mécanisme coupe-circuit. Les câbles électriques doivent être protégés à l'intérieur d'une gaine résistante à la chaleur et à la corrosion chimique. Ils doivent être suffisamment longs pour que le boîtier de commande puisse être installé dans la cabine du véhicule, à portée de main du conducteur.

Au moment de l'installation, certains points méritent une attention particulière :

- Dans le cas d'un pulvérisateur équipé d'un système de commande en cabine, forer un trou dans la tôle de la cabine du véhicule pour y faire passer le câble du boîtier de commande. Bien s'assurer que les bords de ces trous soient nettoyés de toute barbe coupante et recouverts pour éviter l'usure prématurée du câble. En faisant passer le câble jusqu'à la cabine, veiller à ce qu'il ne soit pas exposé



à des bords coupants et éviter les torsions. Une fois le câble installé, colmater tous les orifices forés sur son passage pour empêcher le brouillard de produit et les gaz d'échappement de pénétrer dans la cabine.

- Avant toute opération, le conducteur doit être parfaitement familiarisé avec les procédures de démarrage et d'arrêt de l'appareil et toutes les autres commandes.
- Avant son utilisation effective, tester l'appareil depuis un bon poste d'observation en lui faisant suivre toute la séquence des opérations.

Le pulvérisateur Ulvamast

Le premier des modèles de pulvérisateur Ulvamast (fig. 48) a été mis au point à partir de la tête de pulvérisation Micron X-15. Depuis, le fabricant en a créé deux versions, le V3E et le V3M, spécialement étudiés pour la lutte antiacridienne, en incorporant des améliorations significatives telles qu'un atomiseur à entraînement direct, un mât repliable avec bras extenseur verrouillable, un réservoir de plus grande capacité et un boîtier de commande, conventionnel ou électronique, de la vitesse de rotation de l'atomiseur et du débit. Ces deux nouveaux modèles sont équipés d'une tête de pulvérisation X-9 DD à disque rotatif montée au bout du mât de manière à ce qu'elle dépasse à l'arrière du véhicule pendant le fonctionnement. La différence entre les deux modèles est que le boîtier de commande du débit et de la vitesse de rotation de l'atomiseur est électronique sur le modèle V3E.

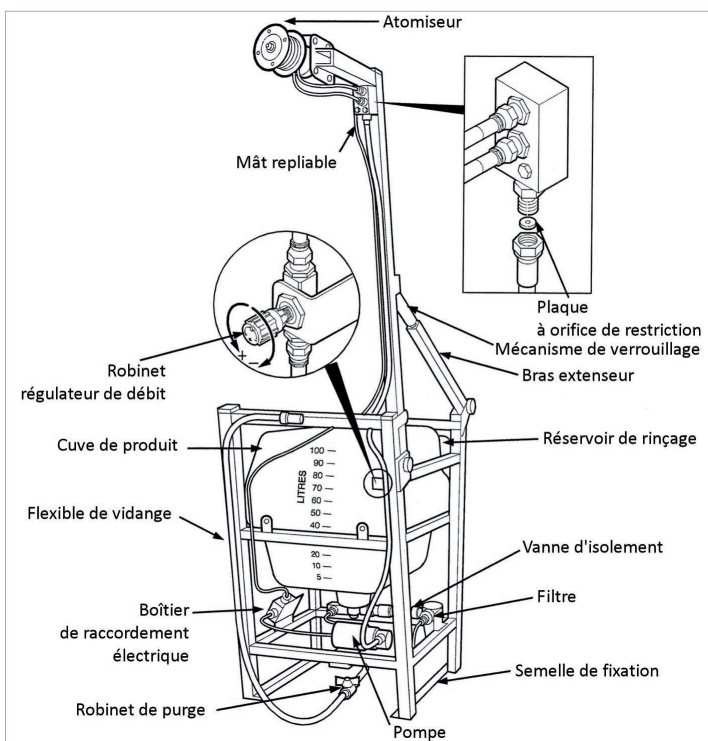
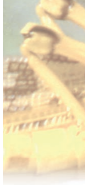


Figure 48. Le pulvérisateur électrique Ulvamast porté par véhicule et ses principaux éléments (d'après Micron Sprayers).



Caractéristiques techniques	
Poids	65 kg
Puissance	Tension d'alimentation : 12 V continu Intensité : 8 A maximum
Armature	Acier doux de section rectangulaire 30 et 40 mm Mât repliable et bras extenseur. Enduis nylon
Réservoirs	Cuve de produit : 100 l, gradué par 5 l Réservoir de vidange : 10 l Inserts en métal moulé; pas de colliers Polyéthylène haute-densité stable aux UV
Pompe	Pompe volumétrique à engrenage à entraînement magnétique
Flexibles	Tuyaux tressés flexibles inoxydables garnis de PTFE
Raccords	Raccords en laiton plaqué acier avec raccordement par écrou de raccord pour l'entretien
Câbles électriques	Protégés par une gaine de nylon noir
Réglage de la vitesse de rotation de l'atomiseur	Vitesse fixe de 7 000 tours/min sur le V3M. Trois vitesses sur le V3E (4 500, 6 000 et 7 200 tours/min)
Boîtier de commande	V3M : commande marche/arrêt conventionnelle de la pompe et de l'atomiseur Fusible et voyant LED V3E : Commande électronique. Sélecteur marche/arrêt 3 niveaux de vitesse de l'atomiseur. 10 niveaux de débit Fusible et voyant LED

Débit (ml/min)	Grande vitesse V3M et V3E		Vitesse moyenne V3E uniquement		Petite vitesse VE3 uniquement	
	tr/min	DMV	tr/min	DMV	tr/min	DMV
0	7 800	–	5 200	–	4 000	–
200	7 600	50	–	–	3 900	90
300	7 400	55	5 000	65	3 850	95
500	7 000	60	4 850	75	3 800	105
1 000	6 800	70	4 700	85	3 700	120
1 500	6 600	75	4 500	95	3 700	130

Tableau 21. Taille des gouttelettes en fonction du débit et de la vitesse de rotation sur les atomiseurs V3E et V3M (d'après Micron Sprayers, 1999).

Le réglage de la taille des gouttes

Avec le modèle V3E, il est possible de sélectionner la vitesse de rotation de la tête rotative, de 3 700 à 7 800 tours/min, à l'aide d'un boîtier de commande électronique. Cette flexibilité est très intéressante pour pouvoir maintenir la taille des gouttelettes dans une gamme acceptable, en particulier lorsque le produit est



visqueux et lorsque l'on doit effectuer des traitements en barrières, pour lesquels des débits supérieurs sont exigés (autour de 1,6 l/min).

Avec le modèle V3M, dans la mesure où l'on ne peut pas faire varier la vitesse de rotation du disque rotatif, toute augmentation du débit ou de la viscosité du produit se traduit par une augmentation de la taille des gouttelettes. Toutefois, même avec un débit de sortie aussi élevé que 1,5 l/min, la vitesse de rotation se situe autour de 6 600 tours/min et le DMV des gouttelettes oscille autour de 75 microns, ce qui est encore tout à fait satisfaisant pour les traitements par dérive contrôlée.

Le calibrage du débit

Avec le modèle V3E, il est nécessaire de mesurer régulièrement le débit. Ceci est particulièrement important pour stabiliser le débit lorsque la viscosité du produit varie avec la température. Le calibrage est ainsi rendu beaucoup plus simple : dix niveaux de débit sont pré-réglés sur le boîtier de commande électronique, avec une possibilité de vérification réelle.

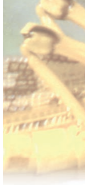
Orifice de restriction	Débit (ml/min)
24	108
30	149
39	294
49	461
59	581
68	709
80	957
98	1210

Tableau 22. Débit du pulvérisateur V3M en fonction de la plaque à orifice de restriction insérée (d'après Micron Sprayers, 1999). Le débit varie également en fonction de la viscosité de la formulation.

Position du sélecteur de débit	Débit (ml/min)
1	200
2	250
3	300
4	400
5	500
6	600
7	800
8	1 000
9	1 250
10	1 500

Tableau 23. Débit du pulvérisateur V3E en fonction de la position du sélecteur de débit. Test réalisé avec de l'huile (d'après Micron Sprayers, 1999).

Avec le modèle V3M, le calibrage du débit est effectué en combinant une plaque à orifice de restriction (pastille perforée) et un robinet régulateur de débit. Chaque appareil est fourni avec un jeu de pastilles à orifice de restriction (tableau 22). Le



débit est régi par la pastille à orifice de restriction d'une part et par un obturateur à pointe d'autre part. La pastille à orifice peut être choisie en fonction du débit souhaité, en se référant au tableau. Si le débit obtenu n'est pas satisfaisant, une autre pastille dont l'orifice de restriction est plus grand ou plus petit peut être installée. Le calibrage des modèles de ce type est expliqué en détail dans la troisième partie de ce manuel.

L'entretien

Un entretien suivi est essentiel pour s'assurer que le pulvérisateur demeure en bon état de marche. Les opérations suivantes sont à effectuer régulièrement.

- Éliminer les dépôts de pesticide sur les surfaces externes en les essuyant avec un chiffon ou du papier essuie-tout imbibé de pétrole lampant, de gazole ou d'eau savonneuse.
- Rincer le pulvérisateur avec du pétrole lampant ou du gazole à partir de la cuve de rinçage.
- Vérifier que les raccordements des flexibles sont bien serrés et qu'ils ne fuient pas.
- Vérifier que le disque rotatif tourne librement et qu'il est en bon état.
- Ne jamais faire fonctionner la pompe à vide (sans liquide).
- Vérifier le filtre de temps en temps et le nettoyer si besoin est.
- Pendant le transport d'un site de traitement à l'autre, le mât doit être arrimé en position repliée et la tête de pulvérisation doit être enveloppée dans sa housse anti-poussière.

Éléments à contrôler en cas de dysfonctionnement :

- **L'atomiseur ne fonctionne pas :**

- vérifier les connexions électriques et les fusibles dans le boîtier de commande ;
- vérifier l'état de la batterie du véhicule ;
- vérifier que le disque rotatif tourne librement.

- **Il n'y a aucune émission de liquide :**

- vérifier que la vanne à deux voies se trouve dans la bonne position ;
- vérifier que la pompe fonctionne correctement ;
- vérifier qu'il n'y a ni fuite ni obstruction dans les tuyauteries ;
- vérifier que le filtre n'est pas colmaté.

- **Aucun liquide ne sort de la pompe :**

- vérifier qu'il y a suffisamment de liquide dans le réservoir de produit ;
- vérifier que l'orifice de restriction n'est pas obstrué ;
- vérifier les connexions électriques et les fusibles dans le boîtier de commande (pour le V3M uniquement) ;
- vérifier que le filtre n'est pas colmaté ;
- vérifier que le rotor de la pompe n'est pas bloqué (le moteur tourne mais rien ne sort). Dans ce cas, il se peut que la pompe doive être démontée.

Le pulvérisateur sur pot d'échappement (PPE)

Le PPE a été conçu dès l'origine pour lutter contre les bandes larvaires de Criquets pèlerins par des traitements d'insecticides persistants en ultra bas volume. Les gaz d'échappement du véhicule sont utilisés pour fragmenter la veine liquide en gouttelettes de 70 à 90 microns de DMV qui sont projetées vers le haut puis laissées à dériver avec le vent. Les gaz d'échappement sont acheminés par un flexible

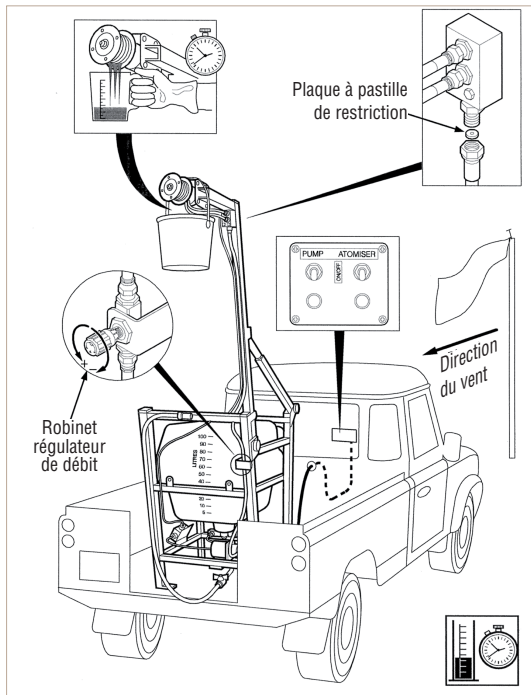


Figure 49. Réglage du débit sur le pulvérisateur V3M (d'après Micron Sprayers).

jusqu'à la buse de pulvérisation, dont l'orifice est choisi en fonction du type de véhicule et de moteur.

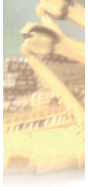
Le PPE était très bon marché et le plus simple des pulvérisateurs portés. Il reste que le calibrage est très difficile à effectuer et à maintenir sur la durée. En outre, les modèles récents sont vendus avec des buses qui produisent un spectre des gouttes moins bon que les anciens modèles. Ces défauts, ainsi que les difficultés rencontrées pour se procurer les pièces de rechange, ont poussé les opérateurs antiacridiens à abandonner ce modèle et à préférer les pulvérisateurs portés électriques.

Le matériel d'épandage aérien

Historique

Dès le début, les pionniers de l'aviation ont tenté d'utiliser des avions en agriculture. Considéré comme le père de l'aviation agricole, Alfred Zimmerman (1876-1964) a fait breveter l'utilisation d'avions pour lutter contre les insectes ravageurs dans le cadre de la gestion forestière.

L'aviation agricole naquit véritablement dans les années 1930, lorsque les avions des surplus militaires de la première guerre mondiale furent employés pour des épandages aériens. Ce ne fut que dans les années 1950 que des aéronefs spécia-



lement conçus pour les épandages aériens commencèrent à être commercialisés. Grâce aux progrès réalisés par ailleurs dans le domaine de la chimie, les volumes de produits nécessaires pour arriver à un même résultat ont pu être réduits, ce qui s'est traduit par plus de sobriété dans l'usage des aéronefs (Quantick, 1985). Aujourd'hui, le recours aux aéronefs en agriculture est répandu sur tous les continents, avec plus de 40 000 appareils en service dans le monde entier.

En lutte antiacridienne, les premiers essais d'épandage aérien en bas volume ont été réalisés à la fin des années 1940 avec des avions équipés d'une rampe garnie de buses hydrauliques. L'emploi d'aéronefs fut plus tard relancé par l'introduction du premier Micronair par la compagnie Britten Norman. Il est alors devenu possible de produire des gouttelettes suffisamment fines pour envisager des traitements par dérive contrôlée.

Pendant la période d'invasion acridienne généralisée de 1986-1989, les applications aériennes ont concerné environ 14 millions d'hectares en Afrique et au Proche-Orient. Plus tard, en 1993, elles ont couvert quatre millions d'hectares en Asie et en Afrique. L'importance des épandages aériens dans ce domaine dépend de la situation acridienne, qui découle elle-même des périodes de recrudescence et de récession.

D'un point de vue strictement financier, les applications aériennes ne sont justifiées que lorsque de très grandes surfaces sont concernées; l'efficacité du traitement est alors de cinq à dix fois celle des traitements par voie terrestre. Il reste que les interventions aériennes sont souvent sollicitées en lutte antiacridienne lorsque la rapidité de réaction est jugée plus importante que les considérations financières, même si les surfaces infestées sont relativement limitées. Il doit être souligné ici que la qualité du soutien logistique au sol est un élément clé du rapport coût-efficacité des opérations.

Les caractéristiques techniques des aéronefs antiacridiens

Les aéronefs utilisés en lutte antiacridienne doivent généralement affronter des conditions atmosphériques très difficiles. Le moteur, la structure de l'appareil et le système de pulvérisation doivent être résistants et suffisamment simples pour que les réparations éventuelles puissent autant que possible être réalisées par le pilote lui-même ou le mécanicien affecté. Les avions doivent être faciles à manœuvrer car ils doivent être en mesure de voler à basse altitude et à faible vitesse. Ils doivent, de ce fait, avoir les capacités suffisantes pour pouvoir reprendre rapidement de l'altitude. La stabilité latérale au décrochage devrait être telle que si le manche à balai est tiré en arrière pendant que l'appareil se trouve dans un virage à plat avec dérapage vers l'extérieur, l'avion continue à tourner en restant sous contrôle, sans se mettre brutalement à partir en roulis, puis en vrille ou en déclenché en sens inverse puis en vrille, comme avec certains appareils actuellement en service dans ce type de travail (Quantick, 1985).

Les conditions atmosphériques, telles qu'une température élevée de l'air, sont susceptibles d'affecter l'efficacité du moteur et donc les capacités ascensionnelles de l'appareil. Il doit être souligné que les caractéristiques nominales (tableau 24) sont données pour des conditions atmosphériques standard, c'est-à-dire une température de 15 °C et une pression de 1013 hPa au niveau de la mer. Une aug-



mentation de la température ou l'altitude du site d'opération peut affecter les performances de l'appareil. Il est donc conseillé de se conformer aux décisions du pilote s'il refuse de prendre à bord d'autres passagers lors d'un vol de prospection même s'il reste des places disponibles. Le carburant et le matériel de pulvérisation sont considérés comme faisant partie du chargement.

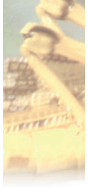
Avion	Puissance (cv)	PV (kg)	MD (kg)	DD (m)	Vitesse de croisière (km/h)	Vitesse de décrochage (km/h)	Vitesse ascensionnelle (km/h)
Anahuac (Mexique) El Tauro 300	300	1606	800	–	137	81	152
Antonov (Pologne) AN2M	1000	5500	1960	200	200	75	132
Britten Norman (Royaume-Uni) Islander	600	–	1000	250	220	70	–
Cessna (USA) Ag Wagon	285	1497	757	257	183	92	210
Ag Truck	285	1497	1056	207	166	92	210
Ag Carryall	300	1514	569	290	180	90	257
De Havilland (Canada) Beaver Turbo DHC2 MKIII	578	2313	910	152	225	97	361
Grumman (USA) Ag Cat	450	2041	980	228	161	107	329
Super Ag Cat	600	2041	1133	120	177	–	–
Pilatus (Suisse) Turbo PL6 B1-H2	550	2200	1176	198	202	112	460
Piper Aircraft (USA) PA 18A	150	949	370	92	145	69	232
PA 25	235	735	600	400	160	90	350
Pawnee brave PA 36	300	1085	860	488	180	106	488
Rockwell Int. (USA) Turbo Trush SR2R	750	1633	2086	183	153	106	400
Air Tractor AT302T	600	1474	1457	238	217	82	606

PV : poids à vide; MD : masse au décollage; DD : distance de décollage nécessaire.

Tableau 24. Caractéristiques techniques de quelques avions utilisés pour lutter contre les ravageurs (d'après Castel, 1982).

L'accent est mis sur la sécurité et sur la limitation des coûts de fonctionnement. Les caractéristiques essentielles d'un aéronef destiné à la lutte antiacridienne sont les suivantes :

- Pouvoir transporter un chargement pouvant aller jusqu'à 35/40 % du poids total en charge.



- Pouvoir franchir un obstacle de 15 m de hauteur après décollage d'une piste en terre battue de 400 m dans les conditions standard de l'air au niveau de la mer.
- Avoir une vitesse ascensionnelle élevée.
- Avoir une vitesse de décrochage basse (65-100 km/h).
- Pouvoir voler à faible hauteur à une vitesse de travail de 130 à 200 km/h.
- Pouvoir faire des virages serrés à faible hauteur.
- Disposer d'une cabine de pilotage avec une vue bien dégagée vers l'avant et en dessous pour permettre au pilote de franchir en toute sécurité les obstacles tels que clôtures, arbres et fils divers. Une vue dégagée vers l'avant par-dessus le nez de l'appareil est nécessaire pour la circulation au sol sur des pistes exigües, non apprêtées et temporaires.
- Le fuselage avant et la structure de la cabine doivent être conçus pour pouvoir résister aux charges nominales d'impact, de vol et d'atterrissage. La structure de l'appareil doit pouvoir absorber l'énergie par écrasement progressif. Les ceintures de sécurité, harnais, sièges et fixations doivent être à la fois confortables et suffisamment robustes pour résister jusqu'au point d'écrasement du cockpit. La cabine doit être pressurisée pour empêcher que les produits s'y infiltrent et intoxiquent le pilote.
- La cuve doit se trouver à l'avant du cockpit de manière à rester dans les limites du centre de gravité au moment du décollage. Elle doit être dotée d'une large porte pour faciliter son chargement manuel ou mécanisé et doit être équipée d'un dispositif permettant le largage rapide de la cargaison en cas d'urgence.
- Les réservoirs de carburant doivent se trouver sur les ailes ou à l'intérieur de celles-ci, loin de la cabine et du moteur.
- Il est extrêmement important que l'aéronef soit facile à inspecter, à entretenir et, le cas échéant, à réparer, afin qu'il puisse être mobilisé à tout moment et sans perte de temps, en particulier pendant les campagnes de lutte antiacridienne intensive. Toute la timonerie et autres parties essentielles doivent être visibles et faciles à inspecter. Les matériaux et les peintures doivent être résistants à l'action corrosive des formulations.
- Le système de refroidissement doit être suffisamment performant pour prévenir toute augmentation excessive de la température.
- Dans les régions concernées par la lutte antiacridienne, l'atmosphère est souvent chargée de poussières. Les aéronefs doivent de ce fait être équipés d'un mécanisme efficace les préservant de la poussière ambiante. Le moteur doit être bien protégé par un emplacement judicieux de la bouche d'arrivée d'air au carburateur, par la présence de multiples filtres à air et, en conditions difficiles, par des filtres de remplissage.

Types d'aéronefs utilisés en lutte antiacridienne

Le choix des aéronefs dépend de la stratégie adoptée et de l'étendue des zones cibles. Le recours aux hélicoptères est en augmentation à cause de la baisse de leur coût d'utilisation et de leur indépendance vis-à-vis des terrains d'atterrissage. Les essais avec des ULM dans la zone sahélienne ont donné à ce jour des résultats décevants à cause de leur fragilité face aux turbulences, fréquentes et souvent brutales.



Les avions gros porteurs

Ces avions sont capables de transporter un chargement de plusieurs tonnes sur 500 km. Leur taille ne leur permet pas d'atterrir sur les pistes courtes et non apprêtées qui sont souvent les seules disponibles dans les régions de lutte antiacridienne. Si ce défaut est compensé par leur longue autonomie, il reste que leur coût d'utilisation est très élevé. Ils ont aussi l'inconvénient de ne pas pouvoir voler très bas. Ils ne s'avèrent réellement utiles que dans quelques cas particuliers, lorsque de grandes zones de centaines de milliers d'hectares d'un seul tenant doivent être traitées dans l'urgence.

Les avions moyens porteurs et les avions légers

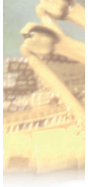
Ces avions sont fréquemment utilisés à cause de leur fiabilité en matière de sécurité et de leurs performances sans cesse améliorées. Les appareils spécialement mis au point pour les épandages aériens appartiennent à cette catégorie. Ils sont robustes et capables de décoller et d'atterrir sur des pistes courtes et rudimentaires; leur distance de décollage est courte (de 200 à 400 m). Nombreuses marques et modèles ont été utilisés récemment en lutte antiacridienne (tableau 24). Dans la catégorie des avions légers, les plus fréquents sont le Piper PA 25 Pawnee, le Cessna Ag Truck et le Cessna Ag Wagon. Dans celle des modèles de tonnage moyen, le Britten Norman Islander, l'Antonov AN2, le Turbo Trush et le Grumman Air Tractor, ont tous été récemment employés avec succès en lutte antiacridienne.

Les hélicoptères

Les hélicoptères ont la réputation d'être coûteux à utiliser. Toutefois, leur emploi récent en lutte antiacridienne montre que ce jugement devrait être nuancé, pour plusieurs raisons. L'existence d'une large gamme de matériel moderne aux caractéristiques variées rend possible le choix de solutions mieux adaptées, d'un rapport coût-performance bien supérieur. En outre, ces appareils sont parfaitement indiqués pour intervenir sur des infestations acridiennes difficilement accessibles par voie terrestre. La possibilité de recourir à des hélicoptères devient même un facteur déterminant lorsqu'il s'agit de combiner prospections et traitements sur une même zone. En effet, comme on peut atterrir en un point précis pour explorer les alentours à pied, l'hélicoptère permet de conduire des prospections préventives sur de grandes étendues (dans les limites du rayon d'action de l'appareil, tableau 25), de baliser les zones à traiter ultérieurement à l'aide d'avions et de revenir par la suite faire l'évaluation du traitement.

Dans le cas d'opérations antiacridiennes en zone sahéenne, le recours à des hélicoptères est souvent justifié du fait que ces appareils peuvent servir non seulement pour réaliser des épandages mais encore pour appuyer des interventions à grande échelle réalisées par avion. Leur potentiel est pleinement exploité lorsque leur utilisation est réfléchie et planifiée en détail longtemps à l'avance et que les carburants et les lubrifiants nécessaires sont acheminés en des points stratégiques avant le début de la saison des pluies.

Les avantages que présentent les hélicoptères sont particulièrement évidents lorsqu'il s'agit d'aller rencontrer les agriculteurs et les pasteurs, dont le concours peut être précieux pour localiser les essaims, les sites de ponte, les bandes larvaires et les infestations de sauteriaux.



Outre leurs compétences professionnelles, les équipages doivent pouvoir s'adapter facilement aux conditions saharo-sahéliennes et présenter les qualités humaines nécessaires pour tisser des liens fructueux avec les populations locales.

Hélicoptères	Puissance (cv)	Nombre de places	Poids à vide (kg)	Masse au décollage (kg)	Vitesse de croisière (km/h)	Autonomie (km)
Alouette III	870 550	1 + 6	1230	2200	195	500
Alouette II SA 313	–	1 + 4	1020	1600	175	320
Alouette II SA 318	360	1 + 4	1050	1650	175	580
Lama SA 315	870 550	1 + 4	1080	1950	180	500
Bell 206 Jet Ranger	420 370	1 + 4	720	1450	215	752
Bell 47 G2	260	1 + 2	740	1110	120	310
Bell 47 G4	320	1 + 2	840	1335	130	450
Écureuil	650	1 + 5	1050	1950	220	620
Écureuil 350 B2	742	1 + 5	1134	2500	236	670
Hughes 500	450	1 + 5	700	1360	220	450

Tableau 25. Caractéristiques techniques de quelques hélicoptères utilisés en lutte antiacridienne (d'après Castel, 1982 et Chaussepied, p.c. 1990).

Le matériel de pulvérisation aérienne

Le plus souvent, en lutte antiacridienne, les traitements sont effectués avec des formulations pour UBV. Le volume appliqué est en général de 1 l/ha mais peut varier de 0,5 à 3 l/ha. Le matériel décrit ci-dessous a été conçu d'emblée pour des traitements en ultra bas volume.

Le système de pulvérisation

Le système de pulvérisation (fig. 50) comprend l'ensemble du matériel concerné par la circulation du produit, depuis son chargement jusqu'à la tête de pulvérisation. En voici les principaux éléments.

Les cuves

La capacité de la cuve varie de 300 à 700 l pour les aéronefs légers et de 800 à 2000 l pour les appareils de moyen tonnage. Les cuves sont le plus souvent en fibre de verre pour pouvoir être réparées sur place le cas échéant. Elles présentent une zone translucide dépassant du fuselage. Une fenêtre translucide visible depuis le poste de pilotage permet au pilote de surveiller le niveau de produit. Pour des raisons de sécurité, la cuve est installée dans le fuselage, entre le cockpit et le moteur. Ainsi le poids du chargement demeure-t-il dans les limites du centre de gravité de l'appareil quelle que soit la position de ce dernier en vol.

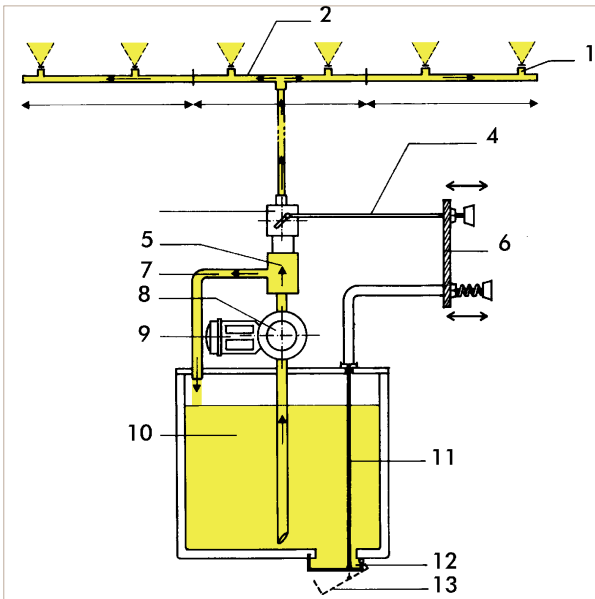


Figure 50. Représentation schématique d'un système de pulvérisation sur aéronef.

- | | |
|---|--|
| 1 : Tête de pulvérisation | 8 : Pompe |
| 2 : Rampe (en 3 parties sur les hélicoptères) | 9 : Moteur |
| 3 : Vanne à trois voies | 10 : Cuve |
| 4 : Commande de pulvérisation | 11 : Commande du clapet de décharge |
| 5 : Régulateur de débit | 12 : Fond de la cuve |
| 6 : Tableau de contrôle (dans le cockpit) | 13 : Clapet de vide-vite en position ouverte |
| 7 : Retour au réservoir | |

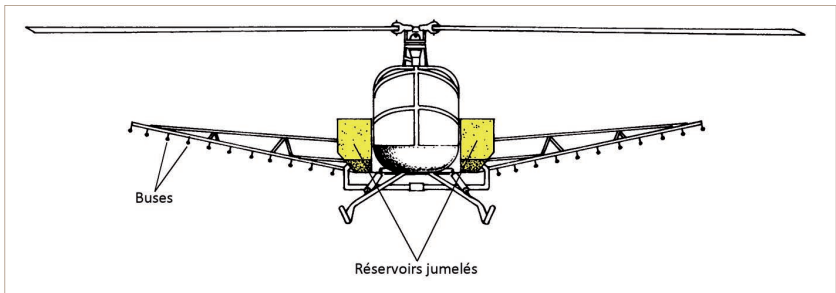
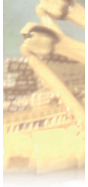


Figure 51. Hélicoptère équipé de cuves jumelées et d'une rampe de pulvérisation avec buses hydrauliques.

Le dispositif de largage d'urgence doit être conçu de sorte à pouvoir évacuer le chargement en moins de cinq secondes. Les cuves ventrales fixées sous le fuselage et les fuseaux (*poils*) fixés à des pylônes sous les ailes peuvent être largués avec leur chargement.

Certains hélicoptères sont équipés de cuves doubles montées de part et d'autre de l'appareil (fig. 51). Un système de communication entre les deux cuves permet d'équilibrer leur poids par rapport au centre de gravité de l'appareil.



Les filtres

Il est absolument essentiel que le produit soit filtré avant de parvenir jusqu'au mécanisme de pulvérisation car les particules solides sont susceptibles de s'agglutiner et de colmater les clapets anti-retour, les filtres des buses de pulvérisation ou le régulateur de débit. Une filtration défaillante a un impact négatif sur la qualité de la pulvérisation. C'est pourquoi plusieurs filtres sont installés sur le circuit du produit.

Un grand filtre en panier est placé au niveau de l'orifice de remplissage de la cuve. Le produit s'écoule ensuite à travers un second filtre juste avant ou juste après la pompe, selon les installations. On trouve parfois un dernier filtre juste avant la tête de pulvérisation, comme dans le cas des buses hydrauliques.

Afin d'éviter tout dysfonctionnement pouvant être lourd de conséquences, il est vivement recommandé de nettoyer régulièrement les filtres. Ces derniers doivent donc être faciles à atteindre et à dégraisser.

Les pompes

Chaque système de pulvérisation est doté d'une pompe, qui amène le produit sous pression jusqu'à la rampe et aux têtes de pulvérisation. La pression de service varie en général entre 1,5 et 5,6 bars. Le rendement est de 25 % pour les pompes centrifuges et de 20 % pour les pompes à engrenage. Les pompes doivent être suffisamment puissantes pour pouvoir assurer le débit maximal requis et, en même temps, agiter le produit restant dans la cuve en le faisant constamment circuler en boucle.

Il existe plusieurs types de pompes, chacune présentant des avantages et des inconvénients.

A. Les pompes centrifuges (fig. 52 et 53)

Ces pompes conviennent aux gros volumes (jusqu'à 550 l/min) à basse pression et aux liquides visqueux. Le volume de liquide émis décroît rapidement lorsque la pression dépasse 2,5-3,0 bars. Si l'orifice de sortie est fermé alors que la pompe est en marche, la pression augmente légèrement sans endommager le système.

Ces pompes, à amorçage automatique, doivent être installées sur la portion la plus basse du circuit de manière à pouvoir s'amorcer même lorsqu'il y a peu de liquide dans la cuve. Les pompes centrifuges fonctionnent généralement à des vitesses de rotation élevées (4 000 tours/min).

B. Les pompes à engrenage

Ces pompes sont constituées d'un engrenage de deux roues dentées, dont l'une est liée à la source de mouvement (fig. 54). Le liquide est aspiré entre les dents, qui tournent en sens inverse. Les dents des roues sont enduites d'un revêtement qui les protège de la corrosion.

Les pompes à engrenage sont fragiles et sont donc habituellement équipées d'une soupape de surpression pour éviter qu'une augmentation excessive de la pression n'endommage le système. Le débit peut être ajusté entre 5 et 200 l/min, à une pression de 7 bars.

C. Les pompes à rouleaux

Un rotor comportant de cinq à huit évidements tourne à l'intérieur du carter de la pompe (fig. 55). Dans chaque évidement se trouve un rouleau, qui tourne et oscille alternativement vers l'intérieur et vers l'extérieur pour aspirer et expulser le liquide. Les rouleaux sont généralement protégés de la corrosion par une couche de téflon.

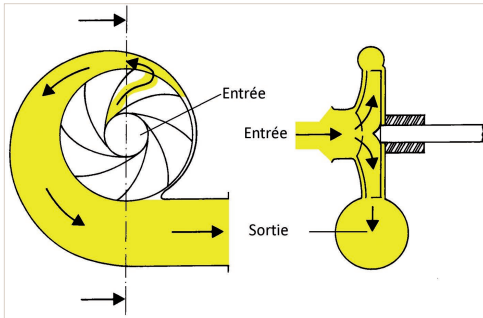


Figure 52. Fonctionnement d'une pompe centrifuge (d'après Musillami, 1982).

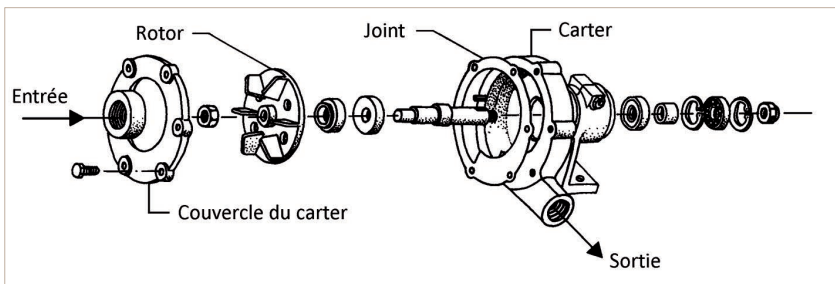


Figure 53. Schéma d'assemblage d'une pompe centrifuge (d'après Berthoud in Musillami, 1982).

Figure 54. Section transversale d'une pompe à engrenage (d'après Matthews, 1979).

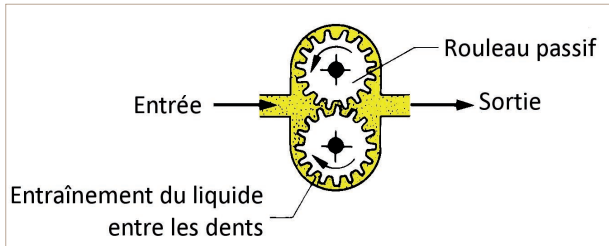
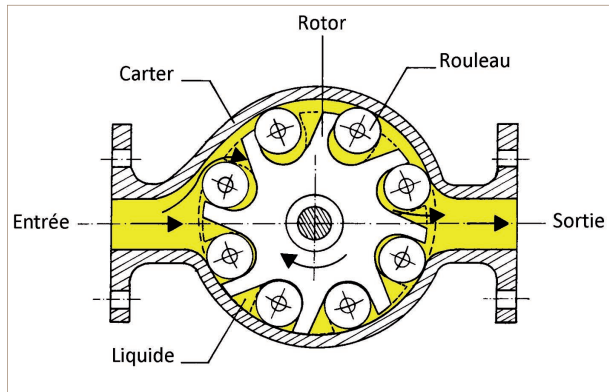
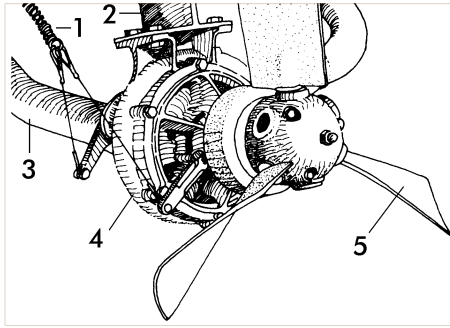
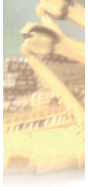


Figure 55. Section transversale d'une pompe à rouleaux (d'après Matthews, 1979).





1 : câble de frein; 2 : sortie; 3 : entrée; 4 : carter de la pompe; 5 : pales ajustables.

Figure 56. Pompe éolienne (d'après Shell, 1983). Elle se place sous le fuselage, derrière l'hélice de l'avion.

Les pompes à rouleaux sont habituellement conçues pour tourner à environ 1 000 tours/min, avec un débit de 20 à 140 l/min à une pression de 20 bars. Le débit varie en fonction de la vitesse de rotation.

L'entraînement de la pompe

Le système d'entraînement des pompes dans les aéronefs dépend en partie du type d'aéronef utilisé.

A. Les pompes éoliennes

Ce système est à la fois simple et relativement bon marché. L'énergie ne dépend pas directement du moteur de l'aéronef mais de la vitesse du vent relative de l'avion en vol et le calibrage du débit ne peut se faire au sol. Une turbine avec des pales en plastique orientables est préférable (Castel, 1982). Il est important de disposer d'un frein pour pouvoir arrêter la pompe pendant les manœuvres en vol.

Citons les points forts des pompes à pales orientables (Castel, 1982) :

- leur poids est moindre que celui des pompes à pales métalliques fixes;
- elles permettent d'ajuster le débit de manière à éviter un reflux trop important vers le réservoir (débit faible pour les traitements en UBV). Ce calibrage est réalisé en ajustant l'angle des pales : plus l'angle est ouvert, plus la pompe tourne lentement;
- il est possible d'utiliser de trois à six pales en fonction de la puissance requise;
- il n'est pas nécessaire de démonter la turbine avant les vols de convoyage, il suffit alors de mettre les pales en drapeau.

B. Les pompes à entraînement hydraulique

Ce type de transfert d'énergie est assez commun. Il est stable et facile à réparer. Son principal défaut est son poids élevé. Il est surtout utilisé pour équiper les hélicoptères.

C. Les pompes à entraînement mécanique

Ces pompes sont directement accouplées au moteur de l'aéronef. Elles sont le plus souvent installées sur des hélicoptères mais sont difficiles à poser sur les modèles d'aéronef plus anciens. Toutefois, elles sont légères, simples et économiques – des arguments en faveur d'un recours plus fréquent à ces pompes sur les appareils récents.



D. Les pompes à entraînement électrique

L'efficacité des pompes électriques est bonne en dessous de 1,5 CV environ. Au-dessus de ce seuil, l'alimentation du moteur électrique à bord de l'aéronef devient onéreuse. L'entraînement électrique est utilisé sur hélicoptère pour des traitements en UBV et en TBV. Le matériel électrique récent est bien conçu et n'est pas affecté par les très hautes températures.

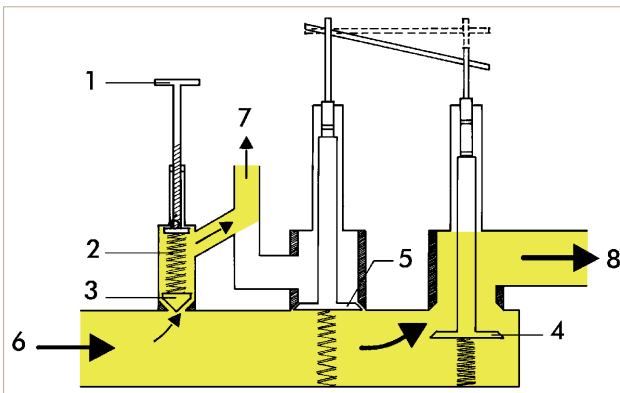
Les régulateurs de pression et de débit

Ces appareils sont conçus sur le principe d'une vanne fermant progressivement l'accès au circuit de retour vers la cuve. En se fermant, cette vanne induit une augmentation de la pression dans le système. Lorsque de grandes quantités de liquide sont renvoyées vers la cuve, la pression décroît dans le circuit, ce qui fait baisser le débit en direction de la rampe de pulvérisation. En ajustant le débit de liquide qui repart vers le réservoir, on protège le système contre une pression excessive qui pourrait lui être dommageable. Lorsque la pulvérisation est interrompue, une conduite de dérivation permet au liquide de retourner vers la cuve.

Deux types de régulateurs sont installés sur les aéronefs.

A. La vanne de type Sorensen (fig. 57)

La pression de service est réglée en serrant ou desserrant le ressort (2) d'un obturateur à pointeau en téflon (3) qui contrôle l'admission du liquide en excès vers le réservoir. Le bouton de commande (1) de l'obturateur à pointeau est installé dans la cabine de pilotage, à portée de main du pilote. L'arrêt et la mise en marche de la pulvérisation sont commandés par une action simultanée sur les vannes de sortie (4) et de retour (5).

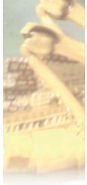


1 : bouton de commande; 2 : ressort du pointeau; 3 : pointeau en téflon; 4 : vanne de sortie; 5 : vanne de retour; 6 : entrée; 7 : retour vers le réservoir; 8 : sortie vers la rampe.

Figure 57. Schéma de fonctionnement d'une vanne de type Sorensen (d'après Sorensen).

B. La vanne à trois voies

Fondamentalement, une vanne à trois voies est une sphère à trois sorties, qui tourne de manière à laisser passer un flux de liquide plus ou moins important en direction de la rampe de pulvérisation. Le palier et la sphère sont recouverts de téflon contre la corrosion et pour l'étanchéité. Une vis fait varier la quantité de liquide qui repart vers le réservoir par une conduite de dérivation qui mène à un



venturi où la vitesse du liquide s'accélère (fig. 58 et 59). Lorsque le pilote ferme la vanne pour interrompre la pulvérisation, la baisse de pression qui s'ensuit dans la rampe de pulvérisation arrête immédiatement le flux de liquide et l'émission des gouttelettes. Une vanne à trois voies permet un calibrage précis et progressif du débit, depuis l'arrêt total jusqu'au débit maximal autorisé par la pompe et le système de pulvérisation.

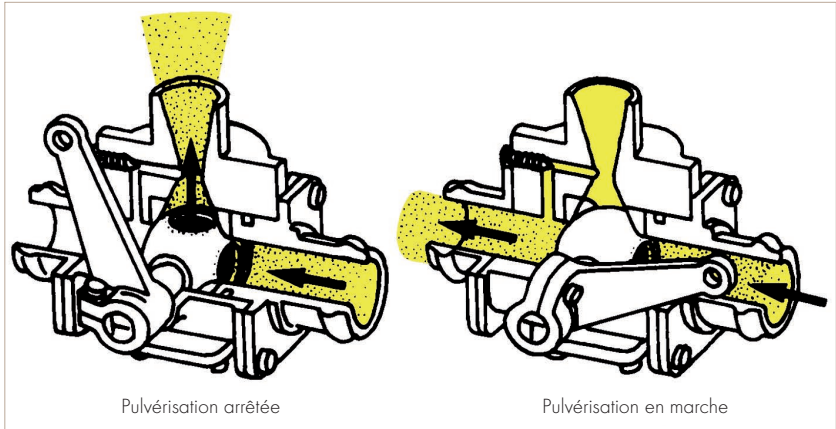
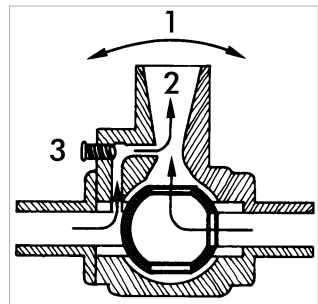


Figure 58. Vanne à trois voies (d'après Shell, 1983).

Figure 59. Coupe transversale d'une vanne à trois voies (d'après Shell, 1983).



Le manomètre (indicateur de pression)

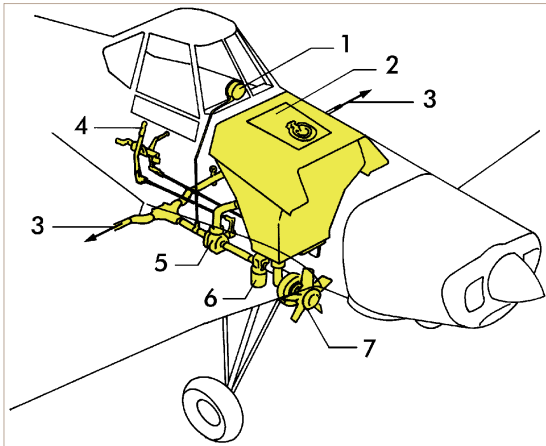
La pression à laquelle le jet est émis est un paramètre important de la qualité de la pulvérisation. Elle reflète l'état dans lequel se trouve le liquide dans le système de pulvérisation, c'est pourquoi le pilote doit à tout moment pouvoir en surveiller le niveau depuis son poste de pilotage. Il est donc important que le manomètre soit installé de manière à ce que le pilote puisse facilement le consulter du regard.

Avant le décollage, le pilote doit s'assurer que le manomètre fonctionne correctement. L'aiguille doit revenir à zéro lorsque le système est à l'arrêt. Autrement, cela indique une défaillance du régulateur de débit. La position du manomètre sur le circuit est presque toujours la même dans tous les systèmes de pulvérisation (fig. 60).

La rampe de pulvérisation

Sur les avions à ailes fixes, la rampe de pulvérisation fait en général toute l'envergure. Elle est le plus souvent fixée à l'arrière des ailes mais l'endroit dépend de la position de l'aile (haute ou basse) par rapport au fuselage. Les rampes sont souvent constituées d'un tube en acier inoxydable, en laiton ou en alliage d'aluminium, de section arrondie ou aérodynamique (fig. 61).

Sur les hélicoptères, la rampe est plus étroite que le rotor, avec une envergure maximale de 15 m. Elle se présente en général en trois sections, le tiers central



1 : manomètre; 2 : trappe de la cuve; 3 : sortie vers les buses; 4 : commande de pulvérisation; 5 : vanne régulatrice; 6 : filtre; 7 : pompe.

Figure 60. Positions relatives des éléments d'un système de pulvérisation pour avion (d'après Shell, 1983).

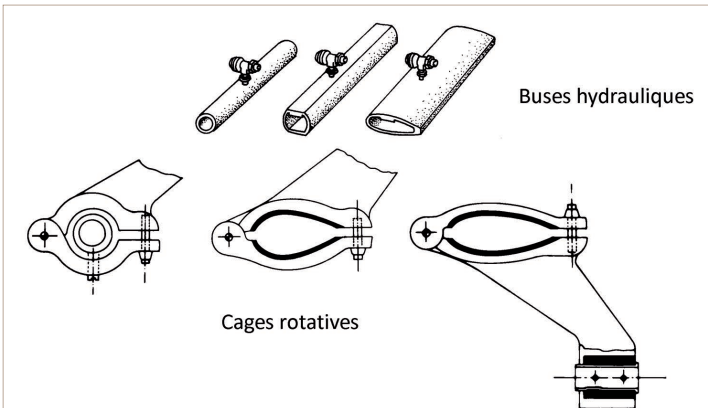


Figure 61. Montage de têtes de pulvérisation sur différents types de rampes (d'après Shell, 1983 et Micronair, 1987).

se trouvant à l'arrière, sous la turbine. La rampe doit pouvoir être démontée (ou repliée) facilement et rapidement, pour pouvoir tirer le meilleur parti de la polyvalence de l'appareil sur le terrain (fig. 62 et 63).

Les dispositifs d'atomisation

Bien qu'il existe encore des systèmes de pulvérisation aérienne avec buses hydrauliques, notamment en Asie centrale, le matériel le plus utilisé en lutte anti-acridienne est de type centrifuge. Les buses hydrauliques sont moins employées parce qu'elles produisent un jet dont les gouttelettes ne sont pas suffisamment fines pour les traitements en UBV. Cependant, le système hydraulique aérien peut convenir pour des traitements en BV et TBV.



Les buses hydrauliques

Les buses hydrauliques les plus couramment utilisées sont les buses à fente et les buses à turbulence. La rampe supporte de 20 à 50 buses implantées tous les 16,5 à 33 cm afin de produire une pulvérisation uniforme, même lorsque certaines des buses sont obturées (fig. 51).

Pour les traitements en BV et TBV, les buses à turbulence sont fréquemment employées (fig. 9). Par contre, les buses à jet plat, plus adaptées aux traitements herbicides, ne sont pas utilisées en lutte antiacridienne.

Lorsque la pompe est à l'arrêt ou que la vanne est fermée, la pression chute dans la rampe. Chaque buse est équipée d'un dispositif anti-goutte à membrane, parce qu'il est important qu'aucun produit chimique ne s'échappe du système lorsque la pression baisse (fig. 64). Bien que la membrane soit revêtue d'une mince couche de Téflon, il faut fréquemment inspecter le dispositif pour s'assurer de son bon fonctionnement.

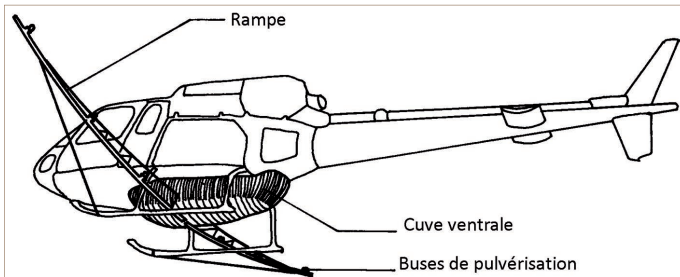


Figure 62. Hélicoptère équipé d'une rampe de pulvérisation en position d'utilisation (d'après Aérospatiale).

Figure 63. Hélicoptère en convoyage ou en prospection, avec sa rampe de pulvérisation repliée (d'après Aérospatiale).

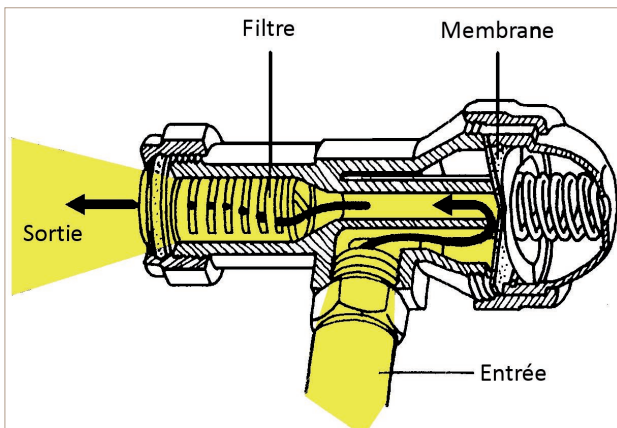
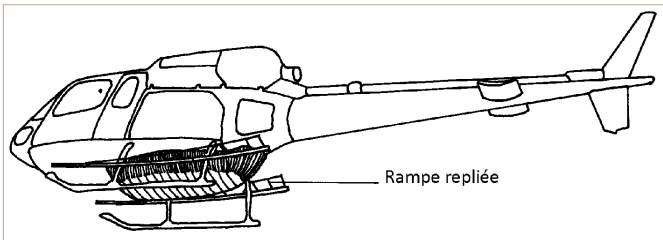


Figure 64. Schéma de fonctionnement du dispositif anti-gouttes (d'après Shell, 1983).



Le débit de sortie dépend de la pression de service, du nombre de buses et du diamètre de l'orifice. Pour faire varier le débit, il faut changer le nombre de buses et le diamètre de l'orifice. En effet, le débit de la buse est proportionnel à la racine carrée de la pression : doubler la pression ne fait qu'augmenter de 40 % le débit. Les réglages courants se font donc en jouant sur le nombre et/ou le calibre des buses (Quantick, 1985).

Le diamètre des gouttelettes varie avec la pression de service, le type de buse, la taille de l'orifice et l'orientation des buses. Lorsque les buses sont placées orientées vers l'arrière, le jet et le flux d'air ambiant s'écoulent à des vitesses proches et les forces de cisaillement opérant à l'interface de l'air et du liquide sont peu importantes : les gouttes produites sont de taille relativement grosse. Si les buses, à l'inverse, pointent vers l'avant, la différence entre la vitesse de l'air et celle du liquide est maximale et les forces de cisaillement produisent des gouttelettes plus fines (fig. 10). Pourtant, bien que cette possibilité de réglage existe, la taille des gouttes produites par les systèmes à buse hydraulique reste trop grande pour répondre aux critères des traitements en ultra bas volume.

Dans les secteurs où des aéronefs sont déjà couramment employés pour l'application d'herbicides, il est possible de fixer des buses hydrauliques et des buses d'atomisation sur les mêmes rampes. Ainsi peut-on alterner applications de formulations aqueuses en BV et TBV avec les buses hydrauliques et applications de formulation huileuse en UBV avec les buses centrifuges.

Les dispositifs centrifuges

Ces générateurs de gouttelettes ont permis le développement des épandages aériens en UBV. Les gouttelettes sont produites par une tête de pulvérisation tournant à grande vitesse. Les gouttes sont fines et leur spectre étroit, permettant des traitements en UBV de bonne qualité et une largeur d'andain importante. Le réglage de la taille des gouttelettes se fait en ajustant la vitesse de rotation du dispositif centrifuge. Aujourd'hui, la plupart des aéronefs employés en lutte anti-acridienne sont équipés de systèmes centrifuges.

L'entraînement des dispositifs centrifuges peut être électrique (Airbi, Beecomist et Micronair), hydraulique (Micronair) ou éolien (Micronair et Curtis ASC-Line). Les avions sont équipés de dispositifs à éolienne alors que les hélicoptères sont plutôt équipés de systèmes électriques ou hydrauliques.

De nombreux modèles de plusieurs marques sont disponibles sur le marché. Les plus courants sont les cages rotatives Micronair, le système Curtis ASC-Line et la tête de pulvérisation Beecomist.

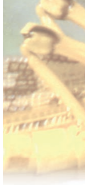
A. Les cages rotatives Micronair

Les cages rotatives Micronair sont les plus utilisées en lutte anti-acridienne. Il faut dire que les dispositifs développés par la firme britannique Micronair Aerial ont été à l'origine de la technique UBV en traitements aériens.

Plusieurs variantes existent permettant de couvrir les besoins de différents types de matériel aérien.

AU4000

La cage rotative AU4000 (fig. 16) est solide et peu sensible aux balourds. Ce modèle répartit bien le liquide sur le cylindre et peut émettre des gouttelettes fines à spectre étroit. Le débit varie de 0,3 à environ 23 l/min. Cette tête convient bien aux épandages anti-acridiens.

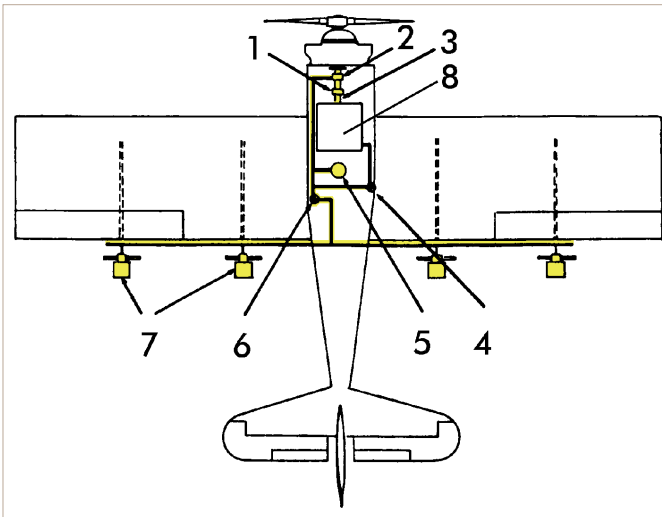


AU5000

Cette petite cage rotative a été mise au point initialement pour les pulvérisateurs terrestres à jet porté de type canon. Elle est dorénavant utilisée couramment sur les avions comme sur les hélicoptères. Similaire à la tête AU4000, elle est toutefois plus légère. Il est donc possible de remplacer les buses hydrauliques d'un système classique sur rampe par une dizaine de buses centrifuges AU5000. Comme chaque dispositif AU5000 peut pulvériser à un débit allant jusqu'à 23 l/min, la même installation peut servir à des traitements en UBV ou à des applications conventionnelles de 20 à 50 l/ha.

AU7000

Comme le précédent, l'atomiseur AU7000 a tout d'abord été mis au point pour des pulvérisateurs à jet porté terrestres. Il est de même type mais encore plus petit que le modèle AU 5000. Il est actionné par une hélice à quatre pales orientables qui lui donnent un surcroît de puissance, même lorsque les flux d'air sont lents. Cette tête de pulvérisation est bien adaptée aux aéronefs de type ultraléger motorisé (ULM) pour lesquels le poids est un paramètre de première importance. Le débit est ajustable de 0,2 à 6 l/min à une pression de service de 10 à 20 psi.

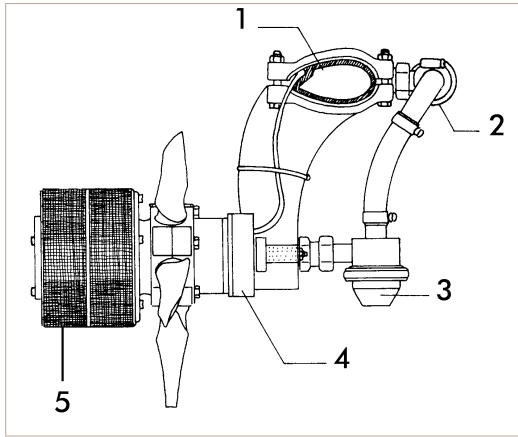


1 : filtre; 2 : pompe; 3 : arrivée du produit; 4 : régulateur de débit; 5 : manomètre;
6 : vanne régulatrice; 7 : tête de pulvérisation; 8 : cuve.

Figure 65. Disposition des dispositifs centrifuges (d'après Micronair, 1986).

Les aéronefs légers tels que les Piper Pawnee PA 25 sont souvent équipés de quatre buses centrifuges (fig. 65). Avec les nouveaux modèles, plus compacts et plus légers, il devient possible d'adapter le système de pulvérisation au type d'aéronef utilisé et aux besoins stratégiques des opérations. Il est ainsi devenu envisageable de rapprocher les buses les unes des autres pour en accroître le nombre sur la rampe.

Le système Micronair se compose d'une cage rotative, d'une turbine, d'un clapet anti-retour, d'un débitmètre et d'un système de régulation globale du débit (fig. 66 et 67).

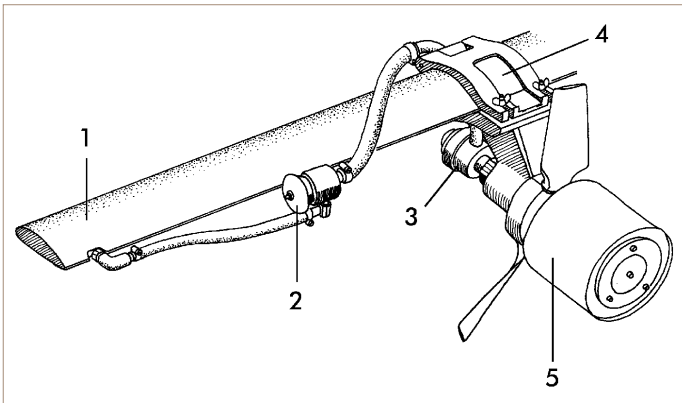


1 : rampe (en section transversale) ; 2 : variateur de débit de type VRU ;
3 : clapet anti-retour anti-goutte ; 4 : frein ; 5 : cage rotative.

Figure 66. Système de fixation d'une tête de pulvérisation (d'après Micronair, 1986).

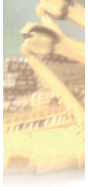
La cage centrifuge

La cage est constituée d'un cylindre de grillage métallique fin qui tourne autour d'un axe fixe creux. Le dispositif est actionné par l'action du vent relatif sur les cinq pales de l'hélice. Les pales sont en Delrin, équilibrées et insérées sur un moyeu sur lequel sont également fixés la cage rotative et l'ensemble support. L'angle des pales est ajustable, ce qui permet de régler la vitesse de rotation de la cage entre 2 000 et 14 000 tours/min. La cage est faite d'un fin grillage en alliage inoxydable.



1 : rampe ; 2 : variateur de débit de type VRU ; 3 : clapet anti-retour et anti-goutte ;
4 : frein électrique ; 5 : cage rotative.

Figure 67. Installation type d'une tête de pulvérisation centrifuge (d'après Micronair, 1986).



Si l'équilibrage du dispositif s'altère pour quelque raison que ce soit, la réparation ne peut être effectuée sur place car le système doit subir un rééquilibrage dynamique après intervention. Mieux vaut donc en ce cas envoyer la cage endommagée à la réparation chez le fabricant et la remplacer entre-temps par une autre en bon état.

Le produit pénètre dans la tête de pulvérisation par son axe central, creux et sort au travers d'un déflecteur rotatif qui distribue le liquide sur un diffuseur cylindrique, également en rotation. Une première fragmentation du liquide se produit à ce niveau, avant qu'il n'atteigne le cylindre grillagé principal. La pulvérisation fine est réalisée par la grille de la cage en rotation à grande vitesse. La taille des gouttelettes dépend de la vitesse de rotation.

Le frein électromagnétique

Un frein à commande électrique ou hydraulique installé sur le moyeu de l'assemblage permet d'arrêter la rotation pendant les vols de convoyage et en cas d'urgence. Le frein comporte d'une part, monté sur le bloc de fixation de l'atomiseur, un solénoïde dont l'enveloppe porte un revêtement à friction, et d'autre part une plaque polaire fixée à l'ensemble moyeu par un ressort diaphragme.

Le frein électromagnétique s'ajuste automatiquement et ne demande pas d'entretien régulier particulier. Une usure légère de la plaque polaire et de la surface de friction est normale. Toutefois, en cas d'usure excessive, les performances du frein sont susceptibles d'être affectées et les pièces concernées doivent être remplacées.

À l'exception des situations d'urgence (telles que la rupture d'une pale de turbine), les freins électromagnétiques des buses centrifuges ne doivent pas être utilisés pour arrêter les cages une fois qu'elles sont en rotation, à cause du risque élevé d'endommager les disques. Leur fonction est de bloquer les cages avant le décollage jusqu'au moment de déclencher la pulvérisation. À la fin du traitement, la procédure normale est de laisser les têtes de pulvérisation tourner librement jusqu'à l'arrêt complet de l'aéronef au sol.

Clapet anti-retour anti-goutte à membrane

Ce dispositif (fig. 68) a pour fonction d'éviter l'émission de gouttes de produit à l'extrémité des têtes, après fermeture de l'arrivée du produit. Il ne remplace pas la vanne d'arrêt secondaire qui se trouve sur l'axe central à l'intérieur de l'atomiseur et dont le rôle est de retenir toute pression statique dans le système de pulvérisation qui pourrait conduire à des fuites. Le clapet anti-retour est fait de matériaux résistants à l'action corrosive des produits chimiques agressifs : la membrane elle-même est renforcée en viton et les sièges sont en acier inoxydable.

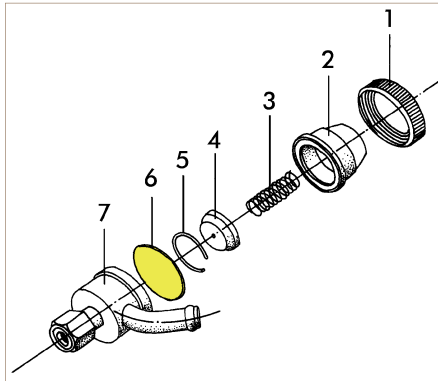
Le clapet anti-retour à membrane demande normalement très peu d'entretien. Il doit cependant être inspecté périodiquement dans la mesure où les formulations évoluent et qu'il est toujours possible que la membrane revêtue de viton soit affectée par certaines substances moins fréquemment utilisées. Dans ce cas, il faudra remplacer la pièce ou contacter le fabricant.

Le variateur de débit (VRU) et son fonctionnement

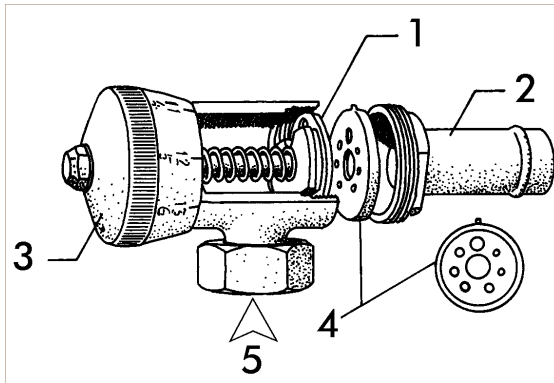
Le VRU (fig. 69), *variable restrictor unit* en anglais, contrôle le flux de produit arrivant à chaque tête de pulvérisation (fig. 66 et 67) par l'intermédiaire d'une plaque portant plusieurs orifices de restriction de tailles différentes disposés en périphérie. Cette plaque, fixe, est opposée à une seconde plaque (le sélecteur) portant un orifice unique, décentré, que l'on peut faire tourner par l'intermédiaire



d'un bouton situé à l'extrémité du dispositif. L'orifice du sélecteur peut être positionné en face de n'importe lequel des multiples trous de la plaque à orifices, ce qui modifie le débit en fonction du diamètre de l'orifice sélectionné. Un système de ressort et d'encoches permet au bouton de s'enclencher au bon endroit pour que l'orifice du sélecteur vienne se placer exactement en face de l'orifice sélectionné. Le mécanisme permet d'éviter que le sélecteur soit déplacé par accident. Une position « plein débit » est également possible.

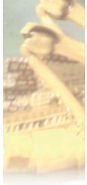


1 : bague; 2 : capuchon; 3 : ressort; 4 : piston; 5 : circlip; 6 : membrane (viton) ; 7 : corps.
Figure 68. Éléments constitutifs du dispositif anti-goutte à membrane (d'après Micronair, 1987).



1 : plaque à orifice mobile (sélecteur) ; 2 : sortie; 3 : bouton sélecteur;
 4 : plaque à orifices fixe; 5 : entrée.
Figure 69. Éléments constitutifs d'un VRU (d'après Shell, 1983).

Le bouton du VRU porte une série de nombres impairs de 1 à 13 et de nombres pairs de 2 à 14. Ces nombres correspondent aux orifices de restriction (tableau 26 et fig. 70) des plaques à orifices « O » (pour *odd* ou impair) et « E » (pour *even* ou pair) respectivement. Le diamètre des orifices varie de 0,77 à 6,35 mm, ce qui correspond, sur l'atomiseur AU4000, à des débits de 0,34 à 21 l/min. D'autres plaques à orifices peuvent être obtenues auprès du fabricant pour certains besoins particuliers (tableau 27).



Plaque	Orifice		AU4000			AU5000		
	no	ø (mm)	30 psi*	40 psi	50 psi	20 psi	30 psi	40 psi
Plaque "O" Nombres impairs (de série)	1	0,77	0,34	0,60	0,71	0,29	0,56	0,68
	3	1,18	1,25	1,55	1,82	0,77	0,95	1,18
	5	1,60	2,36	2,80	3,30	1,88	2,55	3,10
	7	2,40	3,70	4,20	4,80	2,56	3,88	4,77
	9	3,00	5,20	6,20	7,30	3,90	5,50	6,86
	11	3,97	8,00	9,60	11,00	6,46	8,25	10,45
	13	5,56	16,20	19,40	21,50	8,70	11,16	14,80
Plaque "E" Nombres pairs (en option)	2	0,89	0,60	0,70	0,90	0,45	0,59	0,80
	4	1,40	1,25	2,00	2,23	1,25	1,90	2,31
	6	1,85	2,46	3,24	3,50	2,23	3,68	4,56
	8	2,65	3,80	4,80	5,54	3,11	4,03	4,97
	10	3,30	5,70	7,00	8,30	4,17	5,76	6,92
	12	4,76	10,20	12,20	14,50	7,53	9,26	11,86
	14	6,35	16,60	20,80	23,80	9,40	14,97	19,12

*psi : livres par pouce carré (*pounds per square inch*).

Ces valeurs ont été obtenues à partir d'essais réalisés avec de l'eau. Les débits réels varient en fonction de l'installation et du produit utilisé. Les opérateurs doivent considérer ces valeurs comme une base de départ pour les calibrages en conditions réelles.

Tableau 26. Débit de sortie d'un variateur de débit de type VRU en fonction de l'orifice de restriction choisi (sur plaque O de série et sur plaque E en option), de la pression et du modèle d'atomiseur (d'après Castel, 1982 et Micronair, 1992).

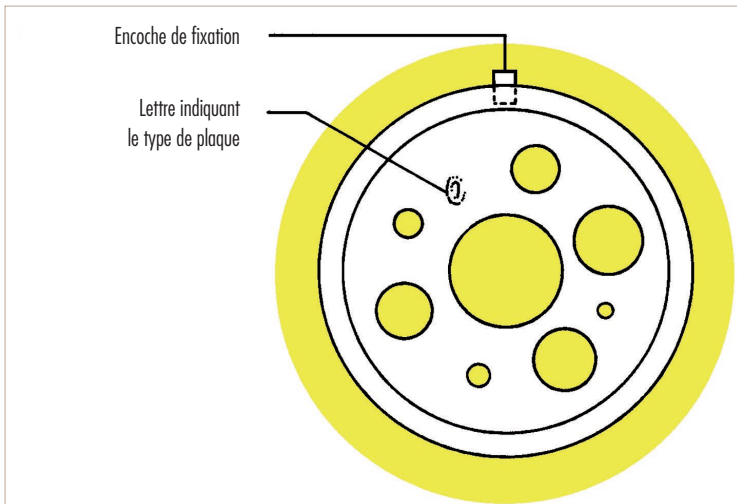


Figure 70. Plaquette fixe du VRU, munie d'orifices périphériques (d'après Micronair, 1987).

Les nombres gravés sur le bouton du VRU sont présentés dans cet ordre :

8	9	10	11	12	13	14
1	2	3	4	5	6	7



Ainsi, en réglant le bouton sélecteur sur les nombres 13 et 6, l'orifice sélectionné dépend du type de plaque insérée dans le système :

L'orifice n° 6 s'il s'agit d'une plaque à orifices de type « E » ;

L'orifice n° 13 s'il s'agit d'une plaque à orifices de type « O ».

Type de plaque	Référence du fabricant	Orifices
O (<i>odd</i>)	EX 194/O	Nombres impairs
E (<i>even</i>)	EX 194/E	Nombres pairs
L (<i>low</i>)	EX 194/L	Nombres de 1 à 7
H (<i>high</i>)	EX 194/H	Nombres de 8 à 14
B	EX 194/B	Aucun orifice

Tableau 27. Gamme des plaques à orifices disponibles pour le variateur de débit de type VRU et leurs numéros de référence.

Le VRU est monté sur le circuit de manière à ce que le liquide entre par son côté et pousse la plaque-sélecteur contre la plaque à orifices. Si le variateur est monté à l'envers, le liquide pénétrant par l'extrémité qui se trouve dans l'axe du VRU, les deux plaques s'écartent sous la pression et le débit est irrégulier.

La viscosité de la formulation doit être prise en compte pour le calibrage. L'influence de ce paramètre sur le débit est aussi importante que celle de la pression. Par ailleurs, la viscosité varie avec la température : on admet généralement qu'elle est divisée par deux lorsque la température s'élève de 20 °C à 40 °C.

La viscosité maximale compatible avec les buses centrifuges Micronair est de 50 mm²/s (50 centistokes).

Dans les systèmes Micronair, la pression de service oscille entre 20 et 50 psi (soit entre 1,4 et 3,5 bars environ). Son influence sur le débit reste entre ces limites. Contrairement à ce qui se passe avec les buses hydrauliques, la pression est sans effet sur la taille des gouttelettes.

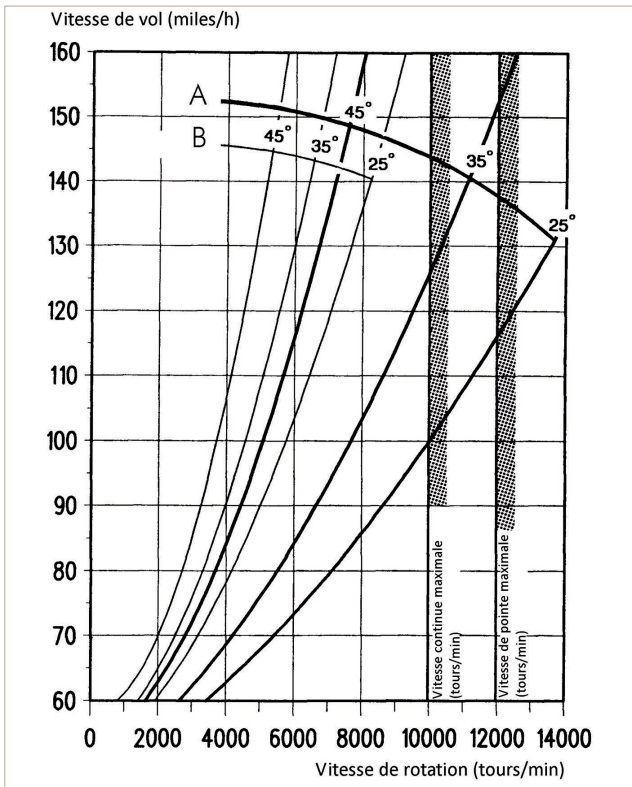
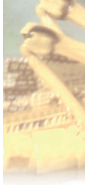
Pour calculer le débit moyen d'une tête, on divise le débit total d'un aéronef épandeur, en litres par minute, par le nombre de têtes émettrices qu'il porte.

Chaque VRU doit être inspecté et nettoyé régulièrement. Si l'un d'entre eux doit être démonté, veiller à bien suivre les instructions du fabricant.

Les pales de l'hélice et la taille des gouttelettes

Des hélices de différentes dimensions sont montées sur les dispositifs en fonction de la vitesse de travail de l'aéronef (fig. 71), entre 120 et 240 km/h (75-150 miles/h). Pour des appareils volant à une vitesse plus élevée, il peut être nécessaire de raccourcir les pales – en faisant bien attention à ce qu'elles gardent toutes le même poids et la même taille (une petite différence inférieure à 0,5 g est acceptable). À l'inverse, les appareils plus lents, dont les hélicoptères, exigent des pales plus longues. Elles peuvent être obtenues sur demande auprès du fabricant.

Les atomiseurs Micronair sont conçus pour produire un spectre de gouttelettes étroit, avec un DMV de moins de 100 microns. La taille moyenne des gouttelettes est déterminée par la vitesse de rotation de la cage grillagée. Pour une vitesse de vent relatif donnée, la rotation est d'autant plus rapide que l'angle d'incidence des pales est plus petit (fig. 73). La vitesse du vent relatif dépend de l'aéronef utilisé et de la manière de conduire le traitement. Il en découle que, dans la pratique, **la taille des gouttelettes est réglée en modifiant l'angle des pales de l'hélice.**



A : à sec ; B : eau à 20 l/min.

Figure 71. Vitesse de rotation en fonction de la vitesse du vent relatif sur une tête de pulvérisation AU4000 équipée de pales de série CBP289/2 de 95 mm (d'après Micronair, 1991).

Une fois déterminée la vitesse de rotation souhaitée, il faut trouver l'angle des pales qui la produira à la vitesse à laquelle l'aéronef se déplacera en vol (fig. 71 et 72). Sur l'atomiseur AU4000, l'angle des pales peut varier de 25 à 45 degrés, ce qui correspond à la plage normale d'utilisation. Les indications « *dry* » (à sec) et « 20 l/min » correspondent respectivement à des rotations à vide (ou presque) et à des rotations avec un débit de 20 l/min. Si l'on augmente le volume de liquide arrivant à l'atomiseur, la cage rotative ralentit parce qu'il faut plus de puissance pour fragmenter la veine de liquide en fines gouttelettes. Lorsque l'on doit pulvériser avec des débits importants, il faut donc ajuster les pales à un angle plus petit pour obtenir une vitesse de rotation plus élevée (fig. 74).

La viscosité du liquide pulvérisé a également une influence sur la vitesse de rotation des têtes rotatives. Les formulations visqueuses tendent à ralentir la rotation et donc à accroître la taille des gouttes. En général, à vitesse de rotation égale, les formulations pour traitements en UBV tendent à produire des gouttelettes

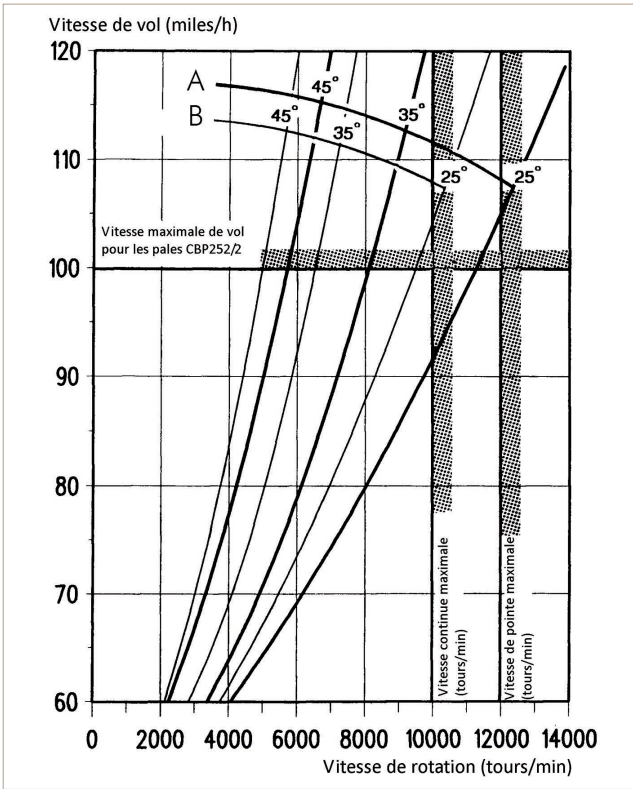


Figure 72. Vitesse de rotation en fonction de la vitesse du flux d'air environnant sur une tête de pulvérisation AU4000 équipée de pales longues CBP252/2 de 125 mm (d'après Micronair, 1991). A : à sec ; B : eau à 20 l/min.

plus grosses que les formulations aqueuses pour traitements en BV. Pour pulvériser avec des formulations visqueuses ou à des débits importants, il est donc nécessaire d'accroître la rotation des têtes pour garder une finesse de gouttelettes acceptable. Cependant, **il faut bien garder à l'esprit qu'il existe, pour chaque type d'atomiseur, une vitesse de rotation continue maximale à ne pas dépasser.**

Les accessoires complémentaires

Le dispositif de contrôle de l'application

Le moniteur d'application est un système de contrôle de la pulvérisation existant sur tous les aéronefs d'épandage (fig. 75). Le débit du produit est mesuré par la turbine d'un débitmètre, connectée à une unité de traitement à circuit intégré électronique (microprocesseur). L'unité centralise les données de débit, de largeur d'andain et de vitesse-sol de l'aéronef et calcule tous les paramètres de base du traitement.

L'unité de traitement électronique comprend un écran à cristaux liquides et un clavier permettant de sélectionner les fonctions apparaissant sur l'écran.

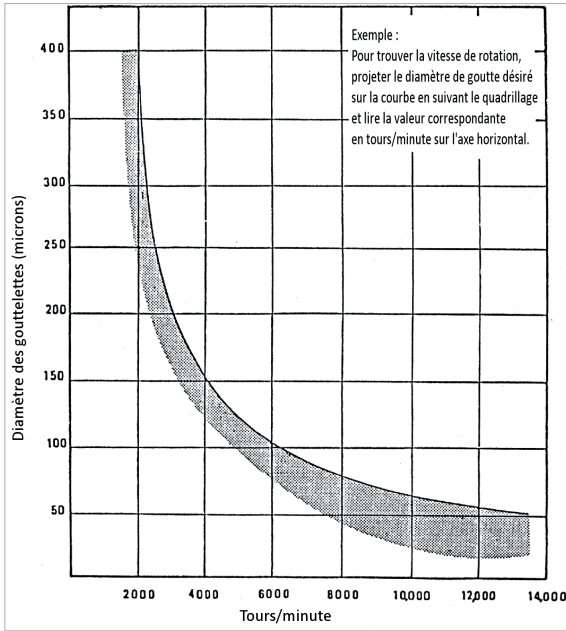
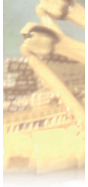


Figure 73. Taille des gouttelettes en fonction de la vitesse de rotation (d'après Micronair, 1986). La taille des gouttelettes peut varier ou diminuer avec beaucoup de formulations huileuses et pour UBV (bande grisée). Les valeurs réelles doivent être vérifiées avec le produit utilisé.

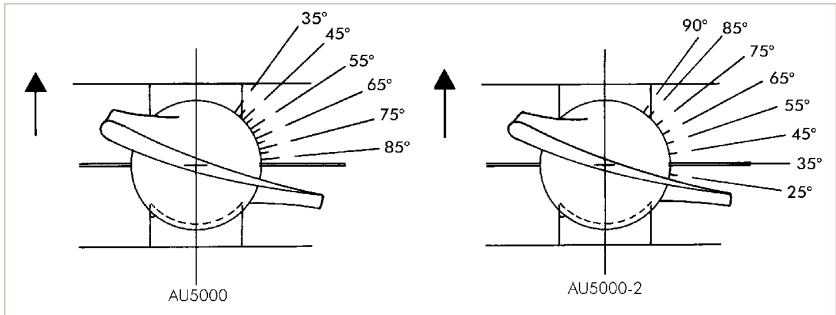


Figure 74. Réglage de l'angle des pales sur les dispositifs centrifuges AU5000 et AU5000-2 (d'après Micronair, 1987).

Le moniteur d'application peut être calibré pour fonctionner avec l'une ou l'autre des deux turbines du débitmètre. Il est programmé pour pouvoir exporter les données vers une imprimante, ce qui peut être utile pour tenir un registre des traitements.

Le tachymètre (compte-tours)

Étant donnée la relation étroite qui existe entre la vitesse de rotation de la cage rotative et la taille des gouttelettes, il est essentiel que le pilote soit à tout moment

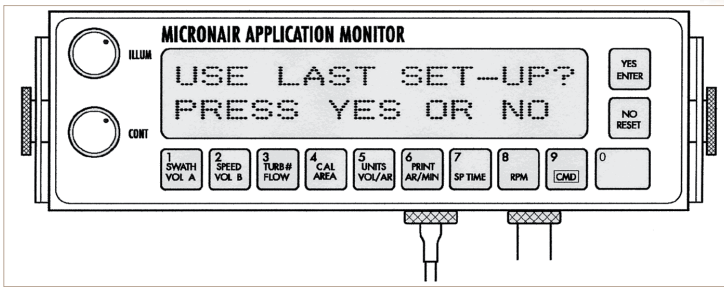


Figure 75. Panneau de contrôle du régulateur numérique des applications (d'après Micronair).

informé de ce paramètre. Le dispositif de contrôle de l'application peut être utilisé pour suivre la vitesse de rotation de jusqu'à 10 têtes de pulvérisation.

Les vérifications et l'entretien

En général, le fabricant fournit un manuel d'utilisation correspondant au système installé. Il est essentiel de lire ce manuel attentivement et en entier et d'en suivre les recommandations en matière d'installation, d'utilisation et d'entretien. Pendant les campagnes intensives, il devient impératif de bien vérifier tous les éléments du système de pulvérisation avant de commencer les opérations sur un nouveau site et de même quotidiennement après le dernier vol du matin. Les principaux points à contrôler régulièrement sont listés ci-dessous.

- Le fonctionnement des freins des têtes de pulvérisation et de tous les atomiseurs (avant chaque vol d'épandage).
- La fluidité du mouvement rotatif des cages de rotation. La seule source d'un léger frottement doit venir du joint *V-ring*. Si la cage ne tourne pas librement et régulièrement, déposer la tête de pulvérisation, démonter et vérifier le palier, notamment les deux entretoises assorties du palier, qui doivent être de même longueur. Si le problème ne peut être résolu, renvoyer l'élément chez le fabricant.
- Le serrage de l'écrou arrière maintenant la tête de pulvérisation en place sur la pince de montage et son verrouillage par liaison au fil de fer avec la rondelle. La tête de pulvérisation ne doit jamais être utilisée avec un écrou de fixation desserré, au risque certain d'endommager les roulements et/ou les entretoises.
- Le graissage régulier mais sans excès du palier, si des roulements graissés sont installés. Un excès de graisse peut entraîner des échauffements et endommager les roulements.
- L'absence de tout dépôt, concrétion, défaut ou irrégularité sur les cages grillagées qui serait susceptible d'entraîner un balourd déséquilibrant la rotation. Les grillages endommagés ne doivent jamais être réparés sur le terrain car les cages doivent être soumises à un équilibrage dynamique avant d'être utilisées à nouveau.
- L'état des pales de l'hélice et de leur angle, qui doit être adapté au travail prévu. Remplacer toute pale endommagée et s'assurer que les écrous de la collerette de fixation des pales ne sont pas trop serrés. Le serrage est correct lorsqu'il est tout juste possible de faire bouger chaque pale à la main. L'espace entre la collerette et le moyeu **ne doit pas** être complètement fermé.



- L'absence de fuites au niveau du clapet anti-retour anti-goutte à membrane. Toute fuite indique que la membrane est soit endommagée, soit mal positionnée.
- La fixation de tous les VRU, leur réglage sur l'orifice de restriction de diamètre adapté et l'absence de traces de fuite de produit.

- Le bon fonctionnement du dispositif de contrôle de l'application (si présent). Vérifier l'exactitude des mesures en mettant en regard le volume de produit épandu avec la surface effectivement traitée et la durée du traitement.

En cas de vibrations provenant de la rampe ou des têtes de pulvérisation pendant le vol, arrêter le traitement, réduire la vitesse, actionner les freins des atomiseurs et atterrir dès que possible. Vérifier les systèmes de fixation, l'état des roulements, l'équilibrage des cages et l'angle des pales des hélices. Vérifier sur chaque tête de pulvérisation que le moyeu, la collerette de fixation et la cage rotative sont correctement montés et bien alignés.

B. Le système Curtis Agri-Line ASC (de Curtis Dyna-Fog)

La tête de pulvérisation ASC-A10

Le ASC (*advanced spectrum controller*) a été conçu aux États-Unis pour pouvoir opérer à des vitesses au-delà de 360 km/h (sur des avions) tout en étant toujours capable d'être performant à seulement 55 km/h (sur de petits hélicoptères). Il peut pulvériser à des débits très variables, depuis les traitements en BV classique jusqu'aux traitements en UBV à moins de 1 l/ha. La tête de pulvérisation est équipée de pales renforcées orientables en fibre de carbone et d'un palier scellé hautement résistant (fig. 17).

Le système Agri-Line n'a pas encore été très utilisé en lutte antiacridienne. Toutefois, au vu de ses caractéristiques techniques, il a toutes les chances de convenir et mérite de figurer aux côtés des autres systèmes de pulvérisation aérienne proposés. Quatre modèles de dispositifs rotatifs ASC existent sur le marché : deux modèles éoliens, pour aéronefs à ailes fixes et pour hélicoptère et deux modèles actionnés par un moteur électrique, sous 12 V et 24 V continu.

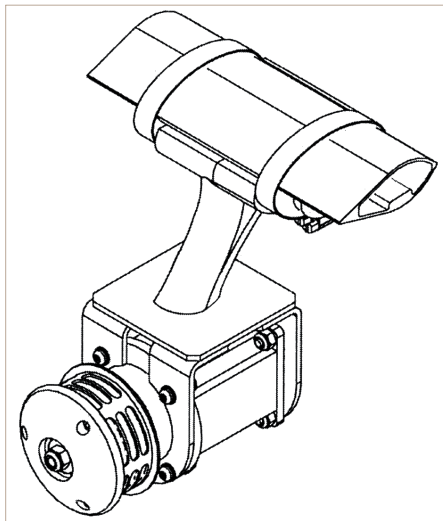


Figure 76. Tête de pulvérisation électrique Curtis Dyna-Fog ASC-A20.



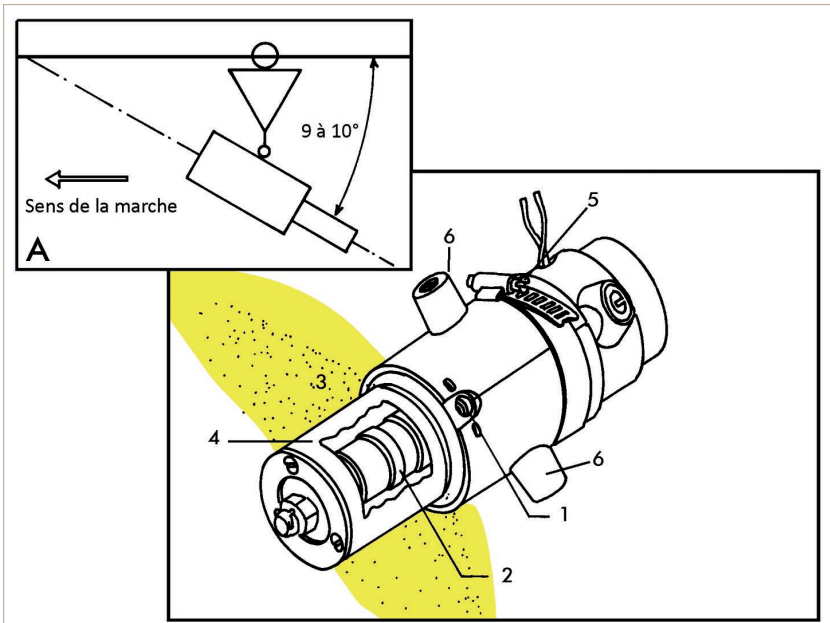
La tête de pulvérisation ASC-A20

Le dispositif centrifuge fonctionne à l'électricité, avec un moteur sans balais à courant continu, équilibré (sans vibrations), avec un palier scellé à roulement à billes renforcé. Le modèle est disponible en versions 12 V et 24 V. Le ASC-A20 est conçu pour être installé sur des hélicoptères (fig. 76). Chaque tête de pulvérisation pèse 1,7 kg.

L'atomiseur ASC-A20 produit un jet très homogène adapté aux traitements en dérive contrôlée. Comme il est monté sur un moteur sans balais, avec un système de commande en boucle fermée, la vitesse de la cage rotative peut être ajustée avec précision de manière à ce que les variations soient quasi inexistantes pendant l'opération. La vitesse de rotation de l'ASC-A20 est habituellement de 25 000 tours/min mais chaque tête de pulvérisation peut être contrôlée individuellement pour produire le spectre des gouttelettes recherché.

C. La tête de pulvérisation Beecomist

L'atomiseur Beecomist est fabriqué par l'entreprise Beeco Products Company (USA). Il est très répandu aux États-Unis et souvent monté sur des hélicoptères en Europe, en Afrique et au Proche-Orient.

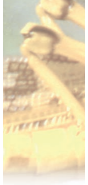


A : position de l'atomiseur par rapport à l'axe de déplacement de l'aéronef.

- 1 : orifice d'entrée du produit; 2 : déflecteur; 3 : jet (brouillard); 4 : cylindre rotatif;
5 : collier de serrage; 6 : pattes de fixation sur la rampe.

Figure 77. Tête de pulvérisation Beecomist (d'après Quantick, 1985).

La partie rotative de la tête est un cylindre poreux inoxydable (fig. 77) actionné soit par un moteur hydraulique, soit par un moteur électrique (12 V ou 24 V, 10 à 20 A) alimenté par le générateur de l'avion, qui doit alors pouvoir fournir un courant de 100 A en pleine charge.



La taille des gouttelettes varie en fonction de la vitesse de rotation de l'atomiseur. Un filtre et un clapet anti-retour doivent être installés en amont.

Les atomiseurs doivent être montés sur la rampe à un angle de 9 à 10 degrés par rapport à l'horizontale.

D. La tête de pulvérisation Airbi

La première version fabriquée par la société française Airbi comportait un cylindre rotatif à brosse métallique. Le spectre des gouttes était satisfaisant mais le système de brosse favorisait la cristallisation du produit. Aujourd'hui, la brosse est remplacée par un cylindre perforé (fig. 78). La tête de pulvérisation pèse 1 140 kg, moteur compris. Le produit arrive par l'intermédiaire d'un distributeur, puis est réparti de manière homogène à l'intérieur du cylindre par la force centrifuge. L'ensemble moteur et cylindre est compact, étanche et tropicalisé. La vitesse de rotation varie entre 2 000 et 12 000 tours/min et le débit entre 0,250 et 12 l/min.

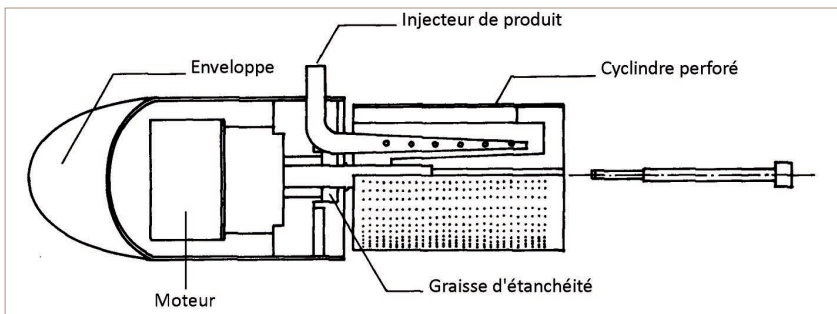
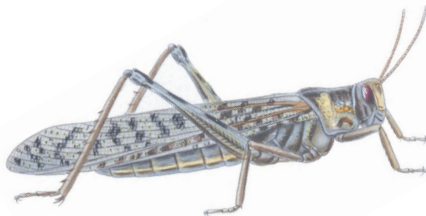


Figure 78. Tête de pulvérisation Airbi (d'après Airbi, 1988).





Les traitements antiacridiens

Les modes d'intervention

Les niveaux d'intervention

Le niveau d'intervention dépend de la nature et de la taille de la cible, de des superficies à traiter et du contexte local (qualité et praticabilité des pistes d'accès selon la saison, possibilité de recourir à une flotte aérienne, présence d'un aéroport, etc.).

On peut distinguer trois niveaux d'intervention en fonction du type de matériel adopté (tableau 28).

Le matériel portable par un agent

Cette catégorie comprend notamment les pulvérisateurs à piles et les pulvérisateurs motorisés à dos. Si la pulvérisation produite par les premiers est satisfaisante, celle produite par les pulvérisateurs motorisés à dos est de qualité irrégulière. Des améliorations significatives peuvent être apportées à ces appareils pour qu'ils deviennent réellement utiles en lutte antiacridienne, en les équipant de dispositifs rotatifs.

Pour des raisons d'ordre technique et social, les pulvérisateurs UBV à piles sont à privilégier pour une utilisation par les fermiers eux-mêmes, en particulier pendant les premiers stades de développement des céréales et autres cultures vivrières.

Pour ce qui est de la lutte antiacridienne préventive contre les locustes, chaque équipe de prospection devrait disposer, en sus de l'équipement monté sur véhicule, de plusieurs pulvérisateurs UBV à piles lui permettant de traiter les petites surfaces et les bandes larvaires peu étendues.

Le matériel porté par véhicules tout terrain

Jusque dans les années 1980, le PPE était le seul pulvérisateur porté par véhicule employé en lutte antiacridienne.

Il existe aujourd'hui plusieurs modèles de têtes de pulvérisation qui ont été adaptées, avec un succès variable, à partir de matériel aérien. Plusieurs tentatives sans suite ont montré que les dures conditions dans lesquelles se déroulent les opéra-



Superficie des zones infestées de manière continue	Opérateurs	
	Agriculteurs encadrés	Techniciens des services antiacridiens
Moins de 1 ha	Pulvérisateurs UBV à piles	Pulvérisateurs UBV à piles
1 – 10 ha	Pulvérisateurs UBV à piles	Pulvérisateurs UBV à piles Pulvérisateurs motorisés à dos
10 – 100 ha	Pulvérisateurs UBV à piles Pulvérisateurs motorisés à dos	Pulvérisateurs UBV à piles Pulvérisateurs motorisés à dos Pulvérisateurs portés par véhicule
100 – 1 000 ha		Pulvérisateurs par véhicule
1 000 – 10 000 ha		Pulvérisateurs portés par véhicule Aéronefs légers Hélicoptère avec appui terrestre
10 000 – 100 000 ha		Aéronefs légers Aéronefs de moyen tonnage Hélicoptères avec soutien terrestre
Plus de 100 000 ha		Aéronef gros porteur Aéronefs légers Aéronef de moyen tonnage Hélicoptères avec soutien terrestre

Tableau 28. Options de pulvérisation en fonction de la surface de la zone cible (d'après le « Cube Expert », Cirad-Prifas, 1988).

tions de lutte antiacridienne, en particulier dans les zones tropicales sèches, sont sans pitié pour tout défaut de conception. De fait, nombreux sont les entrepôts de matériel antiacridien qui sont encombrés de machines tombées en panne très vite après leur mise en service, soit parce qu'elles n'étaient pas adaptées, soit par manque de pièces de rechange.

Rappelons que **les qualités garantissant le succès sont la rusticité, la simplicité, la facilité d'emploi et la maniabilité.**

Les pulvérisateurs UBV portés par véhicule qui sont bien conçus peuvent être employés à tous les niveaux de l'intervention. Ils tiennent un rôle central en lutte préventive et curative parce qu'ils peuvent être utilisés pour réaliser des traitements aussi bien en couverture totale qu'en traitement en barrières.

Le matériel aérien

Les aéronefs jouent un rôle clé à tous les niveaux stratégiques de la lutte antiacridienne.

Les aéronefs en lutte préventive contre les locustes

Les avions légers à ailes hautes sont précieux pour les prospections extensives et pour localiser les biotopes favorables. Les vols de surveillance au-dessus des



zones à risque permettent aux équipes terrestres d'optimiser leurs déplacements. Ces vols de patrouille devraient être systématiques et faire partie des programmes de prospection et des stratégies de prévention.

Les aéronefs en lutte curative contre les locustes

Lorsque de vastes surfaces sont concernées par des recrudescences ou que de multiples foyers se manifestent sur une grande zone, il convient de faire face à la situation sans perdre de temps. Des moyens aériens comprenant des hélicoptères et des avions doivent alors être mobilisés pour les vols de reconnaissance et pour les traitements.

La recherche des bandes larvaires

Très souvent, au tout début d'une recrudescence, les infestations se matérialisent sous la forme de nombreuses bandes larvaires éparses. Les possibilités de localisation de ces bandes dépendent de la topographie, de la nature et de l'épaisseur de la végétation, du stade de développement des larves et de leur densité. La couleur jaune vif des larves *transiens* du Criquet pèlerin les rend visibles de loin lorsqu'elles se tiennent sur les buissons.

Il faut bien garder à l'esprit que lorsqu'une bande larvaire est découverte en un site donné, il est presque certain que d'autres bandes évoluent à proximité – et que ce n'est pas parce que l'on n'en trouve aucune qu'il faut en conclure qu'il n'y en a pas.

Des avions à ailes hautes ou, mieux, des hélicoptères peuvent être utilisés pour repérer les grandes bandes larvaires dans les secteurs d'herbe rase.

La recherche des ailés

La recherche aérienne des ailés est, au mieux, aléatoire. Il est parfois possible, au-dessus d'une zone où ils sont nombreux, d'apercevoir à contre-jour des individus en vol – mais la recherche des essaims avec des aéronefs à ailes fixes reste d'une efficacité très limitée. Les hélicoptères donnent de meilleurs résultats dans les zones pastorales, où les renseignements donnés par les populations nomades peuvent être d'un grand secours.

Les aéronefs en lutte palliative

Le pistage et la localisation des essaims

L'opération consiste à suivre les essaims jusqu'au moment où ils se posent pour la nuit, au crépuscule. Leur localisation permet alors aux équipes de pulvérisation d'intervenir immédiatement, si elles se trouvent à proximité ou le lendemain matin tôt. Du fait de leur grande mobilité, les hélicoptères sont mieux adaptés que les avions à ce type d'exercice, à condition d'avoir une longue autonomie.

La recherche et le repérage des essaims en vol est plus efficace en fin de matinée et en début d'après-midi, lorsque les locustes volent en tourbillonnant. Les aéronefs doivent se déplacer près du sol pour avoir une chance de voir les essaims se détacher contre le ciel bleu – cette méthode devient donc très peu efficace sous ciel couvert. Il faut également tenir compte du fait qu'on ne peut exiger d'un opérateur qu'il reste concentré plus de deux heures de suite. Quatre heures consécutives de prospection peuvent éventuellement être requises mais au prix d'une fatigue certaine.

Les essaims au sol sont difficiles à repérer sur les grandes étendues herbeuses que l'on trouve par exemple au Sahel. Les probabilités de réussite sont meilleures si l'on connaît à l'avance les sites où les locustes ont le plus de chances de se poser.



Le balisage

Le plus souvent, les équipes qui pistent les essaims balisent le terrain avec des fanions à l'attention des aéronefs qui viendront traiter la zone le lendemain matin. L'outil idéal est un hélicoptère équipé d'un GPS pouvant enregistrer avec exactitude la position et la taille de la cible.

Le traitement

Pendant les périodes d'invasion généralisée, l'essentiel des opérations est conduite par voie aérienne. À ce stade, les avions à voilure fixe sont les mieux adaptés, sauf en zone de montagne. Le choix du type d'aéronef dépend de la taille et de la mobilité des essaims mais il ne faut pas oublier que le soutien au sol reste un facteur déterminant du succès des opérations aériennes.

Le suivi post-traitement

L'hélicoptère est le moyen idéal pour s'acquitter de cette tâche indispensable. Vérifier sur le terrain si le traitement a été efficace est d'autant plus nécessaire que l'équipement et les produits investis sont importants.

Les aéronefs dans la lutte contre les sauteriaux

Une large gamme d'aéronefs a été utilisée pour lutter contre les sauteriaux, depuis de gros porteurs (Douglas DC7) jusqu'aux ultralégers motorisés (ULM).

Les avions cargo lourds peuvent se révéler utiles dans le cadre d'opérations intégrées, telles que les « Écoforces » françaises en 1989 mais, du fait de leur coût d'utilisation élevé, ils sont moins intéressants pour l'épandage proprement dit. Les ULM se sont avérés trop fragiles pour opérer dans les conditions du Sahel et du Sahara, où l'atmosphère est sujette à des changements brutaux.

Aujourd'hui, dans le domaine des aéronefs à ailes fixes, les avions légers sont ceux qui conviennent le mieux à la lutte contre les sauteriaux. Ils sont plus performants (pouvant traiter plus de 2 000 ha/jour) pour un coût d'opération inférieur.

Le principal atout des hélicoptères pour lutter contre les sauteriaux est leur polyvalence. Ces appareils peuvent servir à la fois pour la prospection, la pulvérisation et le suivi post-traitement. Leur coût d'opération varie en fonction des caractéristiques techniques des modèles utilisés, l'autonomie étant ici un critère important.

Les différents types de traitements antiacridiens

Le traitement en couverture totale

Le traitement en couverture totale consiste à traiter une zone infestée de manière à la couvrir de manière aussi uniforme que possible. Ce résultat est obtenu en respectant un espacement entre les passages parallèles successifs qui soit inférieur à la largeur de l'andain, afin qu'à chaque passage la pulvérisation vienne recouvrir en partie la bande aspergée par le passage précédent. Pour une bonne couverture, il faudrait qu'il y ait au moins trois recouvrements d'andains.

Le traitement des essaims de locustes

Les essaims posés sont traités tôt le matin, lorsque la température encore fraîche les maintient au sol. La pulvérisation d'essaims en vol est peu efficace et dangereuse (risque d'obstruction des filtres et de perte de visibilité à cause des impacts des insectes sur la vitre du cockpit).

Les produits chimiques utilisés contre les essaims tuent surtout par contact direct,



les gouttelettes doivent atteindre les insectes eux-mêmes. La qualité de la pulvérisation est donc essentielle pour l'efficacité du traitement. En fonction de la vitesse du vent latéral les espacements seront d'une largeur de 100 et 300 m.

Si l'insecticide utilisé est à effet de choc et sans persistance d'action, ce qui est souvent le cas, toute ré-infestation appelle un nouveau traitement, même si la zone cible est couverte de végétation :

- quelques heures après dans le cas de pyréthrinoïdes ;
- vingt-quatre heures après dans le cas de malathion ;
- quarante-huit heures après dans le cas de chlorpyrifos.

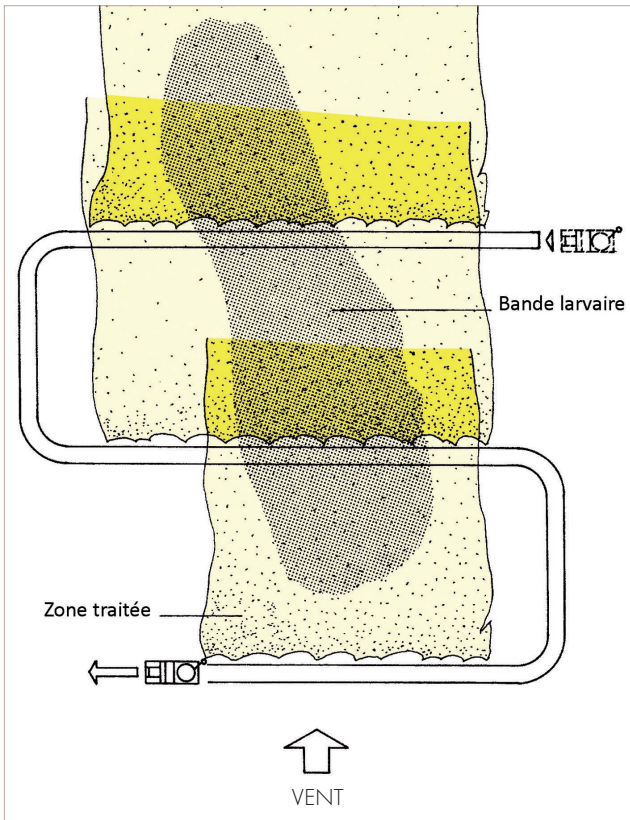


Figure 79. Principe d'une application en couverture totale sur une bande larvaire, à l'aide d'un pulvérisateur porté par véhicule.

Le traitement des bandes larvaires et des sauteriaux

Contre les bandes larvaires et les sauteriaux, il est préférable d'utiliser des insecticides agissant par ingestion. La persistance d'activité du produit et l'épaisseur du couvert végétal sont alors les deux paramètres qui régissent l'espacement, qui ne saurait dépasser 400 m (fig. 79). L'espacement serait par exemple :

- de 100 m au plus avec des insecticides de contact (pyréthrinoïdes, *Metarhizium*);



- de 200 m au plus avec des insecticides agissant par ingestion et par contact (chlorpyrifos, imidaclopride) ;
- de 300 m au plus avec des insecticides agissant par ingestion (dérégulateurs de croissance, fipronil).

Avec des pulvérisateurs portés par véhicule, il est recommandé de prendre en compte la direction du vent et la direction de déplacement de la bande larvaire (fig. 80 et 81).

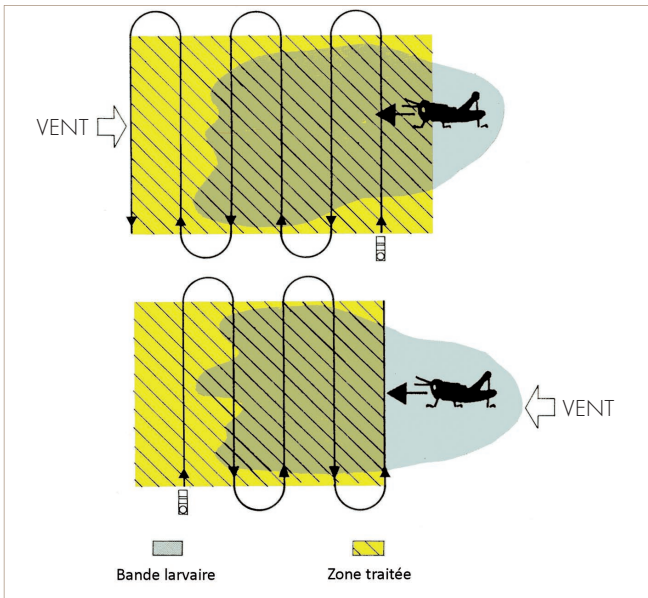


Figure 80. Traitement d'une bande larvaire se déplaçant contre le vent (en haut) et dans le sens du vent (en bas) (d'après Steedman, 1988).

Les traitements en barrières

Historique

Les traitements en barrières ont connu leurs premiers essais en Asie Centrale soviétique contre des bandes larvaires de Criquets pèlerins (Kortkih & Starostin, 1945). Les recommandations étaient alors de traiter par bandes de 25 à 30 m de largeur, en laissant entre elles des bandes non traitées de 45 à 50 m. Des essais à grande échelle ont ensuite été conduits en 1963 dans le désert indo-pakistanaï, par le Groupe aérien de recherche opérationnelle de la FAO dans le cadre d'un vaste programme international (FAO, 1968 ; Castel, 1982). Deux objectifs étaient alors visés : le premier était de traiter rapidement des bandes larvaires de Criquets pèlerins envahissant de très grandes superficies, afin de se donner les moyens de prendre de vitesse l'invasion. Le second objectif était d'y parvenir à un coût aussi modique que possible. L'idée était d'élargir l'espacement en augmentant progressivement la hauteur d'émission. La technique de la **dérive contrôlée** fut encore perfectionnée en optimisant l'exploitation des vents latéraux, de la hauteur d'émission et l'utilisation de la dieldrine, un insecticide organochloré à lon-



gue persistance d'activité. Par la suite, le **traitement en barrières** s'est révélé pour la lutte antiacridienne une arme stratégique déterminante. Cette méthode s'est progressivement généralisée et à permis de lutter avec succès contre les bandes larvaires au niveau des foyers de grégarisation, avant la dispersion des premiers essaims. Le traitement en barrières est donc devenu un outil précieux dans les stratégies de prévention des invasions acridiennes.

Cependant, en 1986, la dieldrine fut interdite en lutte antiacridienne du fait de sa haute toxicité, de sa persistance d'activité et de ses effets sur l'environnement. Les problèmes causés par ce pesticide en lutte antiacridienne étaient déjà un sujet de préoccupation longtemps avant son retrait. De 1971 à 1977, la FAO (fonds d'affectation spéciale suédois pour la FAO) avait mené un projet pour rechercher des insecticides de substitution efficaces, sans qu'aucun équivalent n'ait pu être trouvé pour les traitements en barrières (rapport FAO non publié). Après l'interdiction de la dieldrine, les insecticides utilisés contre les acridiens étaient surtout des substances agissant par contact et qui n'avaient qu'un ou deux jours de persistance d'activité. Comme ils devaient atteindre directement les insectes par

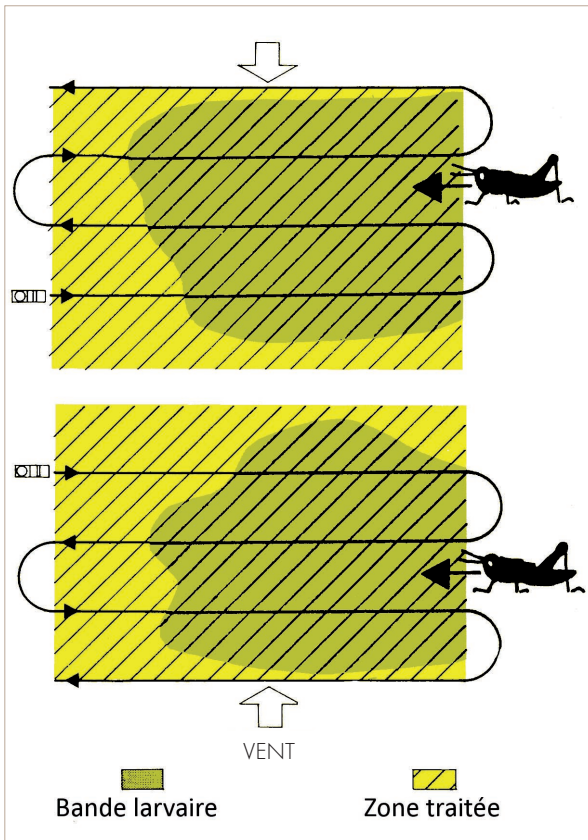


Figure 81. Traitement d'une bande larvaire se déplaçant, vent de travers (d'après Steedman, 1988).



agir, il fallait obligatoirement localiser et pulvériser toutes les bandes larvaires avec un traitement en couverture totale. Il était donc devenu presque impossible de prévenir les invasions de grande envergure (telles que les recrudescences de Criquets pèlerins de 1987 et de 1993).

En 1992 et 1993, des traitements expérimentaux « en barrières » ont été réalisés avec du diflubenzuron et du triflumuron (des substances de la famille des benzoyl-urée, c'est-à-dire de la famille des dérégulateurs de croissance : IGR en anglais) à Madagascar (Scherrer & Rakotonandrasan, 1993 ; Cooper *et al.*, 1995 ; Tingle, 1996). À la fin de 1993, le fipronil, un composé d'une nouvelle famille chimique (les phényl-pyrazoles) a été proposé par un fabricant comme substitut à la dieldrine. Les essais en laboratoire lui ont trouvé une action très efficace contre les locustes, avec une bonne persistance d'activité (Buttler & du Perez, 1994 ; Kriel, Buttler & du Perez, 1994 ; Megenasa & Muinamia, 1994). À la fin de 1994, des essais sur le terrain, de traitement en couverture totale, réalisés en Mauritanie contre le Criquet pèlerin dans les conditions du Sahara, ont pu mettre en évidence l'efficacité de ce composé par contact comme par ingestion, ainsi que sa bonne persistance d'activité (Rachadi *et al.*, 1995). En octobre et novembre 1995, la présence du Criquet pèlerin en Mauritanie fut l'occasion de conduire avec succès des expériences de traitement en barrières avec le fipronil (Rachadi & Foucart, 1999).

Définitions et principes

La technique du traitement en barrières adoptée en lutte antiacridienne depuis plusieurs décennies est basée sur le principe du traitement en dérive contrôlée, qui tire parti de l'effet de la vitesse du vent, de la hauteur d'émission et de la taille des gouttelettes sur la largeur et la forme de l'andain. Dans le traitement en barrières (fig. 82), **les espacements** sont tels qu'il n'y a pas superposition des andains successifs. En outre, la taille et la densité des gouttelettes au sol diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'axe du passage, progressivement dans la direction du vent. En outre, le dépôt obtenu n'est pas uniforme. Les changements brusques de direction et de vitesse du vent, les irrégularités dans l'espacement ou la hauteur d'émission et les effets d'ombre des buttes ou des dunes sont autant de facteurs de variabilité du dépôt et donc de la largeur de l'andain. S'il est facile de déterminer où commence l'andain côté au vent, il est plus difficile de savoir exactement où il se termine sous le vent. La largeur réelle de l'andain, c'est-à-dire la distance de dérive, est régie par la force du vent et par la durée pendant laquelle une goutte y est exposée, c'est-à-dire par la hauteur de l'émission et la taille de la goutte. Castel et Balmat (1979) ont mis au point une méthode pour appliquer de la dieldrine avec un espacement de 1500 m en volant à 50 m au-dessus du sol. Dans son « *Locust Handbook* » (1988), Steedman recommande de respecter un espacement prudent de 3000 m pour les traitements aériens par le pulvérisateur sur pot d'échappement (PPE). Avant d'être connu sous l'expression de « traitement en barrières », ce procédé a tout d'abord été appelé « appâtage de la végétation » (*vegetation baiting*), puis « empoisonnement de la végétation » (*poisoning the vegetation*).

Dans les années 1960 et 1970, dans leurs recommandations concernant les paramètres de pulvérisation, les agents de lutte contre le Criquet pèlerin ne spécifiaient ni la dose par hectare au sein des barrières ni la largeur des barrières. Castel conseillait en 1987 de pulvériser avec un vent relativement fort afin d'ob-

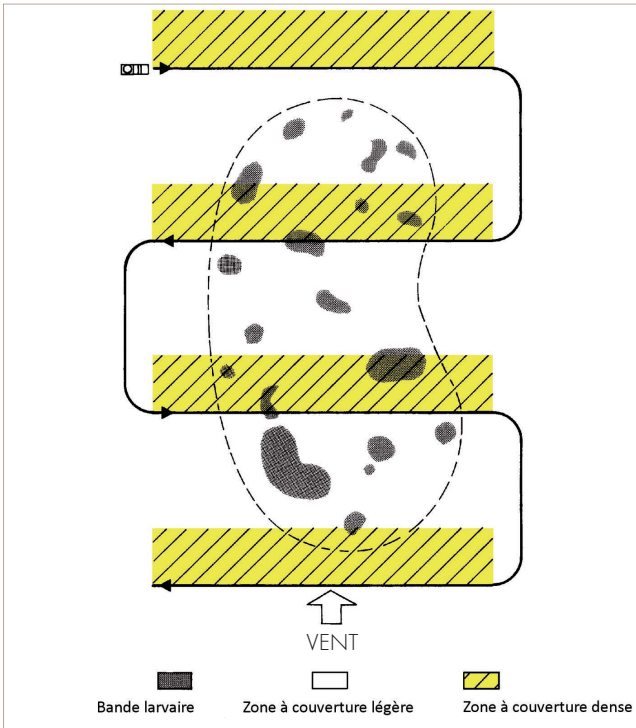


Figure 82. Principe du traitement en barrières (d'après Steedman, 1988).

tenir un andain aussi large que possible. Les paramètres recommandés étaient de 10 à 15 l/km de dieldrine (en fonction la vitesse d'avancement) pour un traitement avec le PPE comme pour un épandage aérien – dans ce dernier cas, avec une hauteur de vol de 20 à 50 m et un vent de 1 à 4 m/s.

Que la dieldrine soit appliquée en concentrant des doses élevées sur des bandes de végétation ou dispersée sur l'ensemble de la zone était alors sans importance. Comme la dieldrine s'accumule dans l'organisme des insectes, l'effet global reste pratiquement inchangé, que la locuste ingère la dose létale progressivement ou rapidement. Toutefois, Castel et Balmat (1987) recommandaient de pulvériser des andains aussi larges que possible pour éviter la formation de bandes à très haute dose susceptibles d'intoxiquer le bétail des nomades. Ainsi, les pulvérisations étaient-elles réalisées à une hauteur de 50 m et avec un vent de 5 à 7 m/s. Bien entendu, le résultat des traitements en couverture totale ne dépendait en aucune façon de la mobilité des bandes et affectait les jeunes larves, qui étaient détruites facilement, autant que les plus âgées évoluant au sein de bandes en déplacement. Cet aspect était particulièrement important en ce qui concerne les éclosions qui pouvaient avoir lieu après le traitement. La clé du traitement en barrières à la dieldrine était dans la persistance d'activité du produit, qui permettait une couverture irrégulière, de très larges espacements et un traitement unique.

À la fin des années 1990, avec l'arrivée des dérégulateurs de croissance et des phényl-pyrazoles, les traitements en barrières furent à nouveau possibles.



Malheureusement, les opérateurs qui s'étaient auparavant spécialisés dans ce type de traitement avaient quitté la scène depuis plusieurs années et le principe de la méthode n'était plus très bien compris par les techniciens nouvellement en poste. Une variante fut ainsi mise au point, qui ne correspondait plus entièrement à la méthode d'origine mais qui était néanmoins désignée sous le même nom. Au cours d'essais réalisés à Madagascar avec des dérégulateurs de croissance (Scherrer & Rakotonandrasana, 1993 ; Cooper *et al.*, 1995 ; Tingle, 1996), la pulvérisation en bandes fut adoptée comme technique de barrière. Dans le Wyoming, aux États-Unis, une autre approche fut testée contre les sauteriaux, sous le nom de RAAT (*Reduced Agent Area Treatment*), qui consistait à appliquer des doses faibles d'insecticide dans des andains disjoints. Le but était de parvenir à une stratégie de gestion des ravageurs qui fusse plus raisonnée, sur le plan économique et environnemental, que les applications conventionnelles en couverture totale à haute dose.

Étant donné que les invasions généralisées d'acridiens causaient d'énormes ravages, les concepteurs des traitements en barrières étaient essentiellement motivés par l'atténuation puis la prévention de ces pullulations. Les avantages environnementaux des traitements en barrières étaient certes remarquables et appréciés, sans être particulièrement recherchés.

Les traitements en barrières avec les nouveaux produits et les équipements modernes

Le traitement en barrières, pendant les années 1960, était appliqué avec les paramètres suivants en aérien (Courshee & MacDonalds, 1963 ; FAO, 1968 ; Castel & Balmat, 1982 ; Steedman, 1988) :

- hauteur d'émission de 10 à 50 m ;
- espacement de 1 000 à 3 000 m, voire plus ;
- vitesse du vent de 1 à 4 m/s.

Lorsque les traitements étaient effectués avec le PPE, l'espacement pouvait atteindre 1 000 m (Castel, 1987) avec un vent relativement fort de 5 à 7 m/s. Avec des vents plus faibles, l'espacement était réduit mais ne tombait jamais en dessous de 500 m. La couverture obtenue était alors plus irrégulière que lors des traitements en barrières classiques.

Il convient de souligner que les caractéristiques chimiques du produit et la performance du matériel utilisé sont importantes pour la réalisation d'un traitement en barrières conforme.

A. Les problèmes liés aux caractéristiques chimiques des nouveaux composés

Les produits modernes susceptibles d'être employés en barrières appartiennent à deux familles chimiques : les phényl-pyrazoles d'une part (le fipronil) et les benzoyl-urée d'autre part (inhibiteurs de croissance tels que le diflubenzuron, le teflubenzuron ou l'hexaflumuron). Un insecticide doit remplir quatre conditions pour pouvoir être utilisé en barrières : être **hautement toxique** pour les acridiens, présenter une **persistance d'activité d'au moins 3 semaines**, agir surtout par **ingestion**. Chacune de ces conditions est nécessaire sans être suffisante. La première garantit l'efficacité du composé à faible dose et les autres la destruction des larves qui y sont exposées.

Les inhibiteurs de croissance

Les inhibiteurs de croissance inhibent la synthèse intracellulaire de la chitine, un composant fondamental du squelette externe. Ils entraînent la mort des insectes



au moment de la mue. Il en découle que ces composés n'affectent que les larves et, qui plus est, uniquement par ingestion. Si leur persistance d'activité est considérée supérieure à quatre semaines, ils semblent toutefois ne pas d'avoir d'effet cumulatif (Cooper *et al.*, 1995), ce qui pourrait se révéler assez gênant dans la mesure où les insectes semblent capables de métaboliser les doses sub-létales (Neuman & Guyer *in* Cooper *et al.*; Sherrer & Rakotonandrasana, 1993). Ce problème pourrait être en partie contrebalancé par une baisse de la mobilité chez les nymphes ayant ingéré la matière active. Les inhibiteurs de croissance présentent par ailleurs la particularité d'une grande disparité entre les différents composés en ce qui concerne la dose efficace, c'est-à-dire la puissance de l'effet toxique sur les locustes (FAO, 1995).

Au nombre des inhibiteurs de croissance, le diflubenzuron, le triflumuron et le teflubenzuron ont été testés de manière plus ou moins poussée en vue de traitements en barrières mais tous n'ont pas encore été testés dans les conditions de terrain. Cependant, même ceux qui se sont avérés efficaces jusqu'ici ne permettront vraisemblablement pas des applications en barrières espacées de 1 000 m. L'espacement maximal pour chaque composé devra être déterminé par des essais en conditions réelles.

Le **fipronil** est un insecticide de la nouvelle famille des phényl-pyrazoles. Son efficacité dans les traitements en barrières a été démontrée sur des bandes larvaires de Criquet pèlerin. Un essai de traitement en barrières en conditions opérationnelles a pu montrer que des espacements de 2 000 m peuvent se révéler hautement efficace contre les bandes larvaires (Rachadi & Foucart, 1996) sans nécessiter de modification du système de pulvérisation des aéronefs déjà équipés pour la lutte antiacridienne conventionnelle. Le produit a fait preuve d'un effet de choc important et d'une action prolongée par voie d'ingestion. Une persistance d'activité de plus de trois semaines a été mise en évidence dans les conditions du terrain (Rachadi *et al.*, 1995). **D'un point de vue strictement technique, le fipronil satisfait parfaitement aux critères d'une matière active pour les traitements en barrières.**

B. Les problèmes liés au matériel de pulvérisation

Les traitements en barrières utilisent un volume d'application par unité de surface significativement inférieur à celui utilisé pour les traitements en couverture totale (0,075-0,150 l/ha contre 0,5 à 1 l/ha). Toutefois, le volume appliqué par unité de distance parcourue, varie peu et oscille généralement entre **10 et 15 l/km**, indépendamment de la vitesse du véhicule terrestre ou de l'aéronef. Le matériel de pulvérisation, terrestre et aérien, doit être adapté en conséquence, chacun selon une approche différente.

Le matériel aérien

Pour les traitements en couverture totale, un appareil volant à 130 km/h doit pulvériser à 16,66 l/min pour appliquer 1 l/ha à raison d'un passage tous les 100 m. Dans le cas de traitements en barrières, à vitesse identique, le débit doit monter à 32,5 l/min (soit 15 l/km) pour des passages espacés de 2 000 m. Dans le premier cas de figure, deux têtes de pulvérisation peuvent assurer un spectre de gouttes correct tandis que quatre têtes de pulvérisation sont nécessaires dans le second. Une cuve de 600 l est vidée en 36 min dans le premier cas et en 18 min seulement dans le second. Il ne faut pas sous-estimer cet aspect car il est impératif d'avoir un **bon spectre des gouttelettes** pour que le traitement en barrières soit efficace.



Le matériel terrestre

Les traitements en barrières à partir du sol sont soumis aux mêmes exigences que les traitements en barrières aériens. Toutefois, étant donné les risques de surdosage, il est préférable d'utiliser des formulations moins concentrées. En outre, la hauteur d'émission est inférieure, ce qui oblige à ne pas dépasser 1 500 m entre chaque passage. À une vitesse d'avancement de 10 km/h et pour obtenir une pulvérisation de 10 à 15 l/km, **le débit oscille entre 1,5 et 2,5 l/min.**

Depuis presque trente ans, le PPE a beaucoup été utilisé en barrières, avec succès, dans le cadre d'opérations antiacridiennes préventives et curatives. D'après Castel (1987), le DMV des gouttelettes est très bon (de 50 à 120 microns) lorsque le calibrage mécanique et le calibrage de la pulvérisation sont correctement effectués et ce, même avec un débit relativement élevé (de 0,4 à 4,5 l/min mais le plus souvent de 1,5 à 3 l/min). En dépit des dires de certains, les inconvénients du PPE ne tiennent pas à un problème de spectre de gouttelettes mais à la difficulté de maintenir sur la durée les calibrages mécaniques et de débit. Le principal défaut du PPE c'est que seuls des agents très qualifiés et bien encadrés peuvent l'utiliser au mieux de ses capacités.

Aujourd'hui, les **pulvérisateurs portés électriques** remplacent avantageusement le PPE. Ces appareils sont capables de fournir des débits adaptés aux traitements en barrières avec des spectres de gouttelettes de bonne qualité. Cependant, compte-tenu de la faible hauteur d'émission et des caractéristiques des pesticides modernes, les espacements ne doivent pas dépasser 1 000 m.

C. Les problèmes concernant la couverture réelle d'un traitement en barrières

La dispersion des gouttelettes, c'est-à-dire la couverture, dépend de plusieurs facteurs liés aux paramètres de la pulvérisation et aux conditions atmosphériques. Ainsi la taille des gouttelettes, la hauteur d'émission et la vitesse du vent influencent-elles la largeur de l'andain. Même lorsque les paramètres de base tels que le débit, la vitesse d'avancement, l'espacement, la genèse des gouttelettes et la hauteur d'émission sont correctement calibrés, un certain nombre de facteurs non maîtrisables sont susceptibles de perturber le dépôt.

- Le **vent**, dont la force et la direction ne sont jamais totalement stables : la vitesse peut varier d'un facteur 1 à 4 au cours d'une opération de traitement.
- La **topographie** : le dépôt des gouttes est affecté par des éléments du relief tels que les replis du terrain, le sol nu, les pentes, etc.
- La **couverture végétale** : arbres, arbustes et buissons interceptent les gouttelettes et laissent dans leur ombre des zones herbeuses non traitées, ce qui accentue l'irrégularité de la couverture.
- Les **courants thermiques** provoqués par l'échauffement du sol, par des advections ou par une combinaison des deux : l'air chauffé par le sol ne s'élève pas de manière continue et régulière mais par successions de « bulles ».
- Les **traitements terrestres** sont également affectés par les variations de la vitesse d'avancement qu'entraîne le franchissement des obstacles et de la végétation, en général le long des axes de passage.

D. Les problèmes liés à préservation de l'environnement

Il doit être souligné que la largeur réelle de l'andain est presque toujours supérieure à 1 000 m. Il est très rare de trouver des zones sans la moindre trace de matière active. L'objectif des concepteurs de cette méthode était précisément de couvrir, en utilisant de petites quantités de pesticides, une superficie aussi grande



que possible. Il en résulte que les secteurs ayant reçu une dose susceptible de tuer un insecte au premier contact ne représentent qu'une faible proportion de la surface totale, le plus souvent entre 15 et 30 % (Van der Valk, 1988; Rachadi & Foucart, 1996). La dieldrine était ainsi appliquée en couverture sub-létale sur la plus grande partie des zones à protéger, une stratégie rendue possible par la persistance d'activité et l'effet cumulatif de ce composé.

Les préoccupations concernant la préservation de la faune non cible et les caractéristiques des composés modernes (inhibiteurs de croissance et phényl-pyrazoles) pèsent en faveur d'une nouvelle approche du traitement en barrières qui éviterait de contaminer une partie de la zone cible. Le principe est de laisser suffisamment de distance entre les andains pour limiter le nombre d'impacts sur des organismes non cibles. Appliquer un insecticide avec une persistance d'activité de trois semaines sur un tiers ou sur la moitié seulement d'une surface donnée serait vraisemblablement moins nocif pour l'environnement que de l'appliquer en couverture totale (sur l'ensemble de la surface) avec une persistance d'activité de trois jours (Lockwood *et al.*, 2000).

La pratique des traitements

Les réglages de base

Nécessité des réglages (calibrages)

Les opérateurs antiacridiens expérimentés aiment dire que l'inefficacité d'un traitement est presque toujours due à un calibrage non ou mal effectué plutôt qu'à un mauvais produit (fig. 83). Même si cette possibilité ne devrait pas être écartée *a priori*, il faut admettre que les défauts d'information et de formation du personnel sont des problèmes récurrents. Il n'est pas rare de rencontrer des opérateurs et des techniciens ayant reçu du matériel sans les notices concernant l'entretien ou le calibrage. Parfois les notices sont disponibles mais en langue étrangère à l'utilisateur ou si mal rédigées qu'elles sont inutilisables. L'apprentissage se fait alors par imitation et tâtonnements.

Cet ouvrage met explicitement l'accent sur le matériel de pulvérisation en TBV et UBV parce que les autres méthodes sont rarement employées en lutte antiacridienne. En outre, les aspects strictement mécaniques ont été quelque peu laissés de côté par rapport au calibrage et à l'entretien de routine, qui méritent d'être abordés plus en détail.

Avant de commencer à pulvériser, tout matériel, qu'il soit aérien, manuel, à dos ou porté par véhicule, doit être soumis aux calibrages de base. **Négliger le calibrage compromet gravement l'efficacité du traitement tout en polluant l'environnement et en mettant en danger le personnel.** Le coordinateur de l'opération de pulvérisation doit s'assurer que tous les calibrages ont été effectués correctement.

Les trois paramètres interdépendants qui régissent la quantité ou le volume d'application par hectare sont :

- le **débit** : il est contrôlé par une plaque à orifice de restriction, un gicleur d'alimentation, une combinaison des deux ou encore un régulateur de débit.

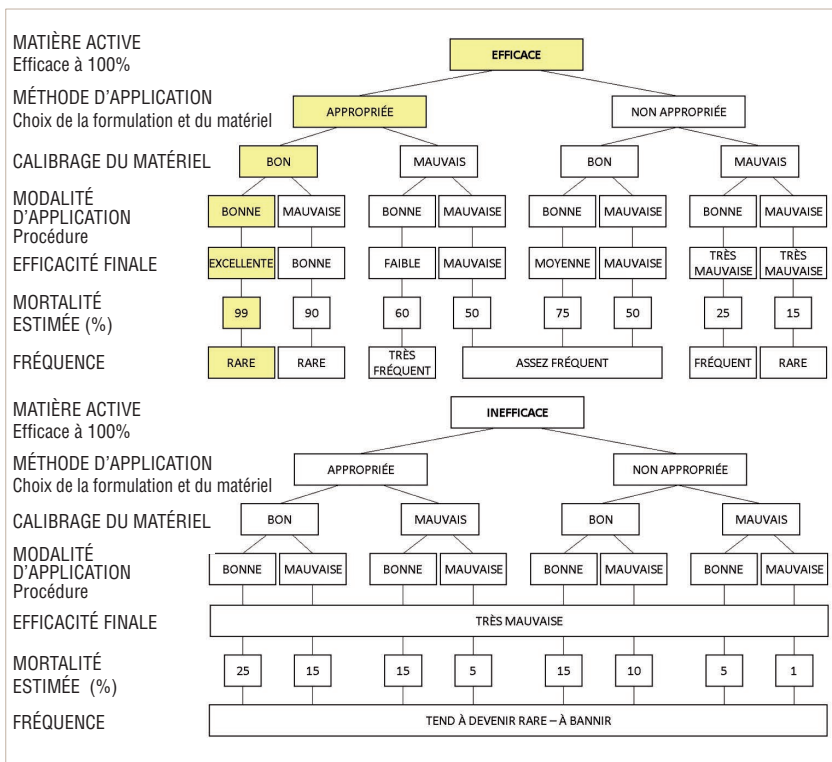


Figure 83. Estimation des fréquences des calibrages incorrects du matériel terrestre en lutte antiacridienne (d'après Cirad-Prifas, 1989). Les traitements inefficaces le sont surtout à cause de problèmes de calibrage.

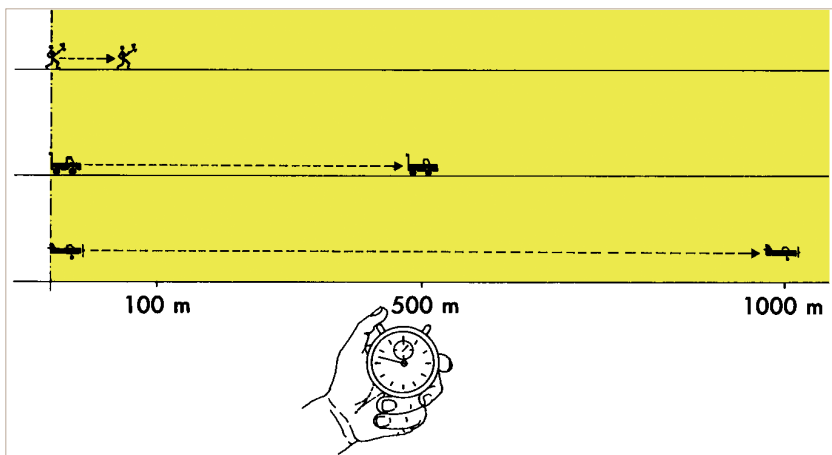


Figure 84. Distances nécessaires pour le calibrage de la vitesse d'avancement des différents types de matériel de pulvérisation.



- la **vitesse d'avancement** : il existe trois échelles de vitesse, autour de 3,5 km/h pour les pulvérisateurs manuels ou à dos, de 5 à 15 km/h pour les pulvérisateurs portés par véhicule et de 90 à 250 km/h pour les pulvérisateurs aéroportés. Le calibrage de la vitesse d'avancement se fera donc sur des distances minimales de 60, 500 et 1 000 m respectivement (fig. 84).
- l'**espacement** : il dépend de la taille des gouttelettes, de la hauteur d'émission et de la vitesse du vent.

Ces trois paramètres sont étroitement liés dans la mesure où si l'un est modifié, l'un et/ou l'autre des deux autres doivent être réajustés en conséquence pour que le volume d'application reste le même.

Même avec un pulvérisateur équipé d'un régulateur de débit sophistiqué, il est toujours utile procéder à une vérification effective du débit. Cette opération est essentielle chaque jour avant la première pulvérisation, à chaque changement de formulation (même si cette dernière contient la même matière active à la même concentration) et à chaque changement de matériel (même s'il s'agit du même modèle que celui utilisé précédemment). Qui plus est, **le calibrage et les contrôles de débit doivent être effectués ou tout au moins vérifiés avec un liquide de viscosité comparable à celui de la formulation que l'on se propose d'utiliser.**

Les constructeurs établissent un document avec chaque modèle d'équipement détaillant les procédures spécifiques de calibrage et de maintenance. Malheureusement, il arrive souvent que des documents manquent au moment où l'on en a besoin. Toutefois, avec un peu d'expérience et d'ingéniosité, il est possible de mener à bien un calibrage sans la notice du fabricant.

En général, en lutte antiacridienne, le volume à appliquer est fixé à l'avance parce qu'il dépend de la dose requise et de la formulation disponible. Pour respecter au mieux ce volume d'application, il est nécessaire de jouer sur les trois paramètres mentionnés plus haut.

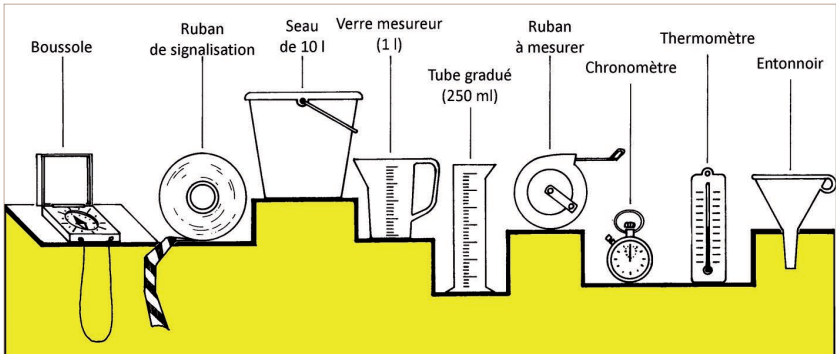


Figure 85. Petit matériel nécessaire aux calibrages et aux contrôles.

Le matériel de calibrage

Pour mener à bien le calibrage de base des pulvérisateurs et les autres contrôles nécessaires, il faut (fig. 85) :

- un seau de 10 l en plastique, si possible avec un bec verseur (pour contrôler le système de pulvérisation d'un aéronef; prévoir un seau par tête de pulvérisation) ;



- un verre mesureur, d'une contenance de 1 l ;
- deux éprouvettes graduées de 250 et 500 ml ;
- deux entonnoirs, un grand et un petit ;
- un chronomètre ;
- un thermomètre pour mesurer la température de l'air ;
- l'outillage pour l'entretien spécifique du matériel à calibrer ;
- des chiffons propres et secs, du papier hygiénique, un petit pinceau, du ruban de signalisation, des fanions colorés, etc. ;
- un GPS et un compas de relèvement ;
- un ruban à mesurer de grande longueur ou, de préférence, un odomètre (fig. 86).

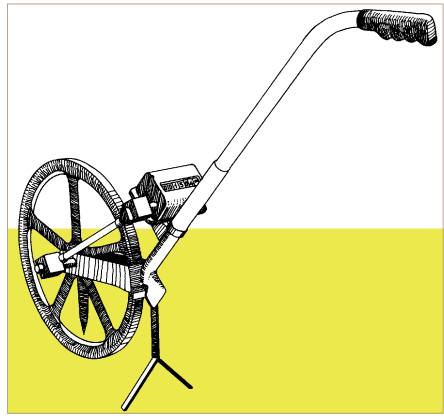


Figure 86. Odomètre.

Les calculs préliminaires

Avant de calibrer, il est nécessaire de déterminer les réglages objectifs à atteindre. Les exemples de calcul ci-dessous expliquent comment y parvenir.

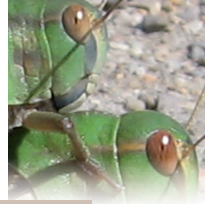
Rappels

Les paramètres de base à appliquer doivent être déterminés avant toute pulvérisation (tableau 34).

- Le volume à appliquer **Q** est exprimé en litres par hectare.
- Le débit **Dbt** est exprimé en litres par minute.
- La vitesse d'avancement **V** est exprimée en kilomètres par heure.
- L'espacement entre les passages **A** est exprimé en mètres.
- La hauteur d'émission des gouttelettes **H** est exprimée en mètres.
- La vitesse du vent latéral **U** est exprimée en mètres par seconde.
- La distance **D** sur laquelle les gouttelettes dérivent avant de parvenir au sol.
- La vitesse de sédimentation **Vs** des gouttelettes.

Paramètres de base	Unités	Calcul des paramètres
1 – Volume d'application (Q)	litres par hectare	$Q = 600 \times \text{Dbt} / A \times V$
2 – Débit (Dbt)	litres par minute	$\text{Dbt} = V \times A \times Q / 600$
3 – Vitesse d'avancement (V)	kilomètres par heure	$V = 600 \times \text{Dbt} / A \times Q$
4 – Espacement (A)	mètres	$A = 600 \times \text{Dbt} / V \times Q$
5 – Hauteur d'émission (H)	mètres	$H = D \times V_s / U$
6 – Distance de dérive (D)	mètres	$D = H \times U / V_s$
7 – Vitesse du vent (U)	mètres par seconde	Anémomètre ou échelle de Beaufort

Tableau 29. Récapitulation des paramètres de base d'un traitement par dérive contrôlée.



3. Comment calculer la vitesse d'espacement

Les paramètres de base :

V = vitesse d'avancement (km/h)

Dbt = débit (l/min)

A = espacement (m)

Q = volume par hectare

(l/ha)

Si l'on connaît le débit et l'espacement, la vitesse d'avancement s'obtient avec la formule suivante :

$$V = 600 \times \text{Dbt} / A \times Q$$

Exemple 1 : on veut appliquer une formulation de féntrothion à raison d'un litre par hectare (Q) à l'aide d'un pulvérisateur UBV porté manuellement, à un débit Dbt de 0,06 l/min et avec un espacement A entre les passages de 12 m. Quelle devra être la vitesse d'avancement V de l'opérateur? On obtient la réponse en appliquant la formule ci-dessus :

$$V = 600 \times 0,06 / 12 \times 1 = 3 \text{ km/h}$$

Exemple 2 : on se propose d'appliquer le même volume par hectare Q (l/ha) à l'aide d'un pulvérisateur porté dont le débit Dbt est de 1,4 l/min avec un espacement A de 70 m. Quelle devra être la vitesse d'avancement V du véhicule?

$$V = 600 \times 1,4 / 70 \times 1 = 12 \text{ km/h}$$

Exemple 3 : une zone infestée de même type doit être pulvérisée avec le même volume par hectare Q à l'aide d'un avion dont le débit cumulé Dbt des têtes de pulvérisation est de 25 l/min, avec un espacement A de 120 m. À quelle vitesse V doit voler l'avion?

$$V = 600 \times 25 / 120 \times 1 = 125 \text{ km/h}$$

Les traitements avec pulvérisateurs portatifs

Les pulvérisateurs portatifs regroupent les pulvérisateurs motorisés à dos et les pulvérisateurs UBV à piles.

Les pulvérisateurs portatifs sont habituellement adaptés aux capacités physiques d'une personne adulte. Leur poids avec réservoirs pleins ne doit pas dépasser 14 kg pour pouvoir être transportés sans problème par une personne travaillant la plupart du temps sous des températures relativement élevées. Le débit doit être réglé de manière à ce qu'il soit adapté à l'allure d'une personne marchant sans hâte (un mètre par seconde). Ainsi le problème est-il différent selon qu'il s'agisse d'un pulvérisateur UBV à piles ou d'un appareil motorisé à dos. En effet, le poids constitue un facteur supplémentaire d'hétérogénéité de la couverture, car il engendre la fatigue, et induit l'irrégularité de la cadence de l'opérateur.



Les calibrages de base

Le calibrage et le contrôle du débit

Bien que le principe de base du calibrage du débit reste toujours le même, les procédures varient quelque peu d'un modèle à l'autre. Les spécificités de chacun seront abordées.

Le calibrage de la vitesse d'avancement

La constance de la vitesse d'avancement dépend entre autres choses de la capacité de chaque opérateur à surveiller son allure. Il est bien évident que la vitesse de la marche est difficile à maîtriser lorsque le pulvérisateur est lourd, ce qui est le cas des pulvérisateurs motorisés à dos. Les pulvérisateurs portatifs sont conçus pour un opérateur adulte se déplaçant lentement, à environ un mètre par seconde. Chaque opérateur doit régler ses pas pour se conformer à cette vitesse de marche.

Il existe deux manières d'opérer : **soit l'opérateur règle ses pas sur une certaine vitesse et maintient ce rythme, soit il estime sa vitesse habituelle de marche, sachant qu'il doit ensuite la maintenir et règle ensuite le débit en conséquence. Mais en général, il vaut mieux s'entraîner à marcher à la vitesse de 1 m/s.**

Dans tous les cas, les mesures et les calibrages doivent être réalisés avec l'opérateur portant son équipement avec le réservoir à moitié plein.

4. Comment calculer le débit

Lorsque le volume d'application Q , la vitesse d'avancement V et l'espacement entre les passages A sont connus, le débit Dbt s'obtient avec la formule suivante :

$$Dbt = V \times A \times Q / 600$$

Exemple 1 : une formulation à base de malathion doit être appliquée à 5 l/ha à l'aide d'un pulvérisateur pneumatique à dos. Sachant que la vitesse d'avancement V de l'opérateur à pied est de 3,5 km/h et que l'espacement A est de 30 m, quelle doit être la valeur du débit Dbt ?

$$Dbt = 3,5 \times 30 \times 5 / 600 = 0,875 \text{ l/min}$$

Exemple 2 : la même formulation est utilisée sur la même cible mais appliquée à l'aide d'un pulvérisateur porté par véhicule dont la vitesse d'avancement V est de 12 km/h. Quelle doit être le débit Dbt si l'espacement A est de 75 m?

$$Dbt = 12 \times 75 \times 5 / 600 = 7,5 \text{ l/min}$$

Exemple 3 : la même cible doit être traitée par hélicoptère avec le même volume de produit par hectare Q . Sachant que la vitesse de vol V pendant le traitement est de 140 km/h et que l'espacement A est de 100 m, quel doit être le débit global Dbt ?

$$Dbt = 140 \times 100 \times 5 / 600 = 116,67 \text{ l/min}$$



Premier cas : la vitesse de la marche est fixée à l'avance (en général à 1 m/s, c'est-à-dire à 3,6 km/h).

- Dans un espace de topographie similaire au terrain à traiter, mesurer et marquer aux deux extrémités une ligne droite de 60 m de longueur.
- Mesurer le temps pris pour franchir la distance en marchant. Commencer à marcher dix mètres avant la ligne de départ pour pouvoir la franchir d'un pas régulier. Mettre le chronomètre en route au moment de la franchir. Ne pas ralentir en arrivant à la ligne d'arrivée mais arrêter le chronomètre en la franchissant et continuer pour s'arrêter un peu plus loin.
- Lire le résultat sur le chronomètre, qui doit être de 60 secondes. S'il est différent de 60 secondes, recommencer l'opération en ajustant son pas jusqu'à ce que le temps soit de 60 secondes.
- Une fois la bonne allure acquise, s'entraîner pour pouvoir la reproduire et la maintenir.

Second cas : la vitesse habituelle de marche de l'opérateur est calibrée. Les préparatifs sont les mêmes que précédemment.

- Dans un espace de topographie similaire au terrain à traiter, mesurer et marquer une ligne droite de 100 m de longueur.
- Commencer à marcher une dizaine de mètres avant la ligne de départ. Marcher régulièrement, sans hâte. Le chronomètre est mis en route et arrêté comme précédemment.
- Lire sur le chronomètre et noter le temps pris pour franchir la distance.
- Répéter cette opération cinq fois et calculer le temps moyen nécessaire pour franchir 100 m.
- En déduire la vitesse moyenne d'avancement : il s'agit de la **vitesse d'avancement calibrée de l'opérateur**.

Comment calculer l'espacement

Avec les appareils UBV à piles, l'espacement dépend de la portée du flux d'air, c'est-à-dire de la puissance du moteur. Dans le cas de traitements par dérive contrôlée avec ce type de matériel, l'espacement dépend de la hauteur d'émission et de la vitesse du vent au moment de l'application (voir § *La hauteur d'émission des gouttelettes*).



5. Comment calculer l'espacement

Lorsque la vitesse d'avancement V , le débit Dbt et le volume par hectare Q sont connus, la formule suivante permet d'en déduire l'espacement A :

$$A = 600 \times Dbt / V \times Q$$

Exemple 1 : un pulvérisateur UBV à piles est utilisé pour appliquer une formulation de chlorpyrifos-éthyl à un volume d'application Q de 3 l/ha. Sachant que le débit Dbt est de 0,160 l/min et que la vitesse d'avancement V est de 3,8 km/h, quel devrait être l'espacement A ?

$$A = 600 \times 0,16 / 3,8 \times 3 = 8,42 \text{ m, arrondi à } 8,5 \text{ m}$$

Exemple 2 : on se prépare à appliquer une formulation à 1l/ha (Q) à l'aide d'un pulvérisateur porté par véhicule. Sachant que le débit Dbt est de 1,15 l/min et que la vitesse d'avancement V du véhicule est de 11,5 km/h, quel doit être l'espacement A ?

$$A = 600 \times 1,15 / 11,5 \times 1 = 60 \text{ m}$$

Exemple 3 : un aéronef est employé pour appliquer une formulation d'un inhibiteur de croissance à 0,5 l/ha (Q). Sachant que le débit global Dbt des quatre têtes de pulvérisation est de 16 l/min et que la vitesse V de l'appareil est de 145 km/h, quel doit être l'espacement A ?

$$A = 600 \times 16 / 145 \times 0,5 = 132 \text{ m}$$

La **hauteur minimale d'émission** pour un traitement par dérive contrôlée est de 1 m au-dessus de la végétation. La **hauteur maximale d'émission** dépend des caractéristiques techniques du matériel. Elle est de 2,5 m pour les pulvérisateurs UBV à piles (fig. 87) et de 3 à 4 m pour les pulvérisateurs pneumatiques équipés d'une buse appropiée.

Temps sur 100 m (s)	Vitesse (km/h)	Temps sur 100 m (s)	Vitesse (km/h)
120,0	3,0	90,0	4,0
116,0	3,1	87,0	4,1
112,5	3,2	85,7	4,2
109,0	3,3	83,7	4,3
106,0	3,4	81,8	4,4
102,0	3,5	80,0	4,5
100,0	3,6	78,2	4,6
97,3	3,7	76,5	4,7
94,4	3,8	75,0	4,8
92,4	3,9	73,4	4,9
90,0	4,0	72,0	5,0

Tableau 30. Conversion en vitesse du temps mis pour parcourir 100 m en marchant.



Avec les UBV à piles, la hauteur d'émission varie habituellement de 1 m au-dessus de la végétation à 7 m (avec des pulvérisateurs motorisés tuyère dirigée vers le haut). L'espacement varie de 5 à 60 m en fonction de la hauteur d'émission et de la force du vent latéral (fig. 88 et tableau 31).

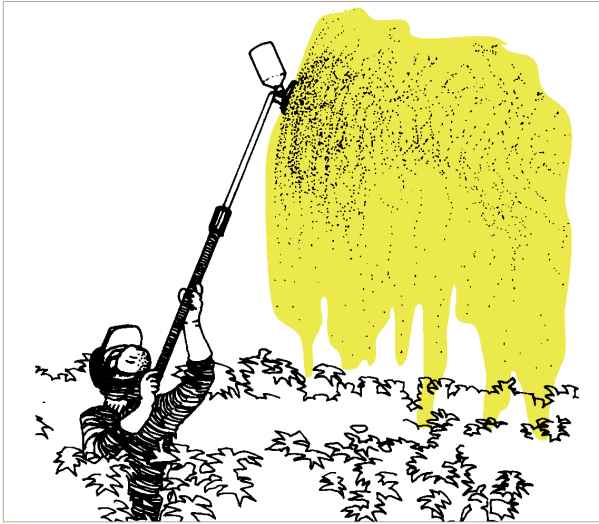


Figure 87. Hauteur d'émission maximale avec un pulvérisateur UBV à piles (d'après Matthews, 1985).

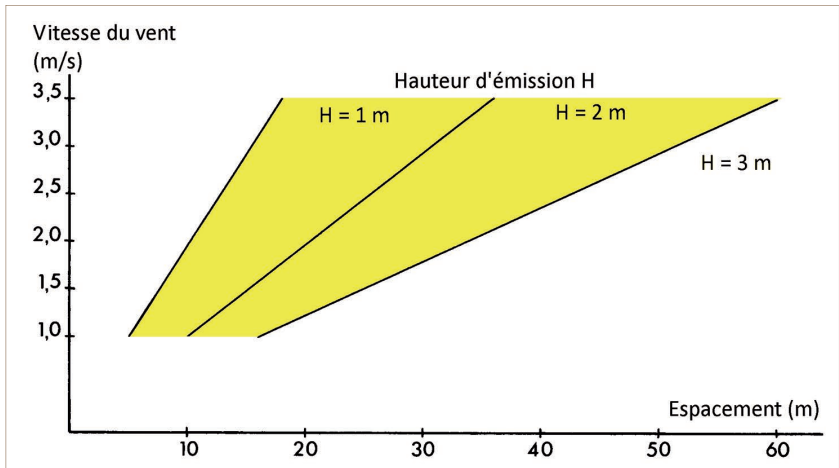


Figure 88. Espacement maximal en fonction de la vitesse du vent et de la hauteur d'émission dans le cas d'un traitement à l'aide de pulvérisateurs UBV à piles.



Hauteur d'émission H (m)	Vitesse du vent U (m/s)	Diamètre des gouttes (microns)								Espacement maximal A (m)
		40	50	60	70	80	90	100	120	
1*	1,0	21,0	13,0	9,5	7,0	5,5	4,0	3,5	3,0	5,0
	1,5	32,0	20,5	14,0	10,5	8,0	6,5	4,5	4,0	8,0
	2,0	42,5	27,0	19,0	14,0	11,0	8,0	7,0	6,0	10,0
	2,5	53,0	34,0	23,0	17,5	13,5	11,0	9,0	7,0	14,0
	3,0	63,5	41,0	28,5	21,0	16,0	13,0	10,0	8,0	16,5
	3,5	74,0	48,0	33,0	24,5	19,0	15,0	12,5	10,0	20,0
2*	1,0	42,5	27,0	19,0	14,0	11,0	9,0	7,0	5,5	10,0
	1,5	63,5	41,0	28,5	21,0	16,0	13,0	11,0	8,5	16,0
	2,0	85,0	54,5	38,0	28,0	22,0	17,0	14,0	11,0	21,0
	2,5	106,5	68,0	48,0	35,0	27,0	22,0	18,0	14,0	27,0
	3,0	127,0	82,0	57,0	42,0	33,0	26,0	21,5	17,0	32,0
	3,5	149,0	95,5	67,0	50,0	38,0	31,0	25,0	20,0	38,0
3**	1,0	63,5	41,0	28,5	21,0	16,0	13,0	11,0	8,5	16,0
	1,5	95,5	61,5	43,0	32,0	24,5	19,5	16,0	12,5	24,0
	2,0	127,0	82,0	57,0	43,0	33,0	26,0	21,5	17,0	32,0
	2,5	149,0	95,5	71,5	53,0	41,0	33,0	27,0	21,0	37,0
	3,0	191,0	132,0	85,5	64,0	49,0	39,0	32,5	25,5	48,0
	3,5	233,0	143,0	100,0	74,5	57,5	46,0	37,5	29,5	60,0

* Pulvérisateurs UBV à piles. ** Pulvérisateurs motorisés à dos.

Tableau 31. Distance de dérive des gouttelettes et espacement maximal conseillé en fonction de la hauteur d'émission, de la vitesse du vent latéral et de la taille des gouttelettes avec un pulvérisateur portable (Rachadi, 1989).

Les pulvérisateurs motorisés à dos

Le calibrage et le contrôle du débit

Deux possibilités existent selon qu'il est possible ou non de déconnecter le flexible amenant le produit à la buse et de récolter le liquide dans un récipient séparé.

Premier cas : le flexible d'arrivée du produit ne peut pas être déconnecté.

- Installer le pulvérisateur sur une surface stable de manière à ce que l'orifice du réservoir de produit soit à l'horizontale.
- Remplir le réservoir de formulation jusqu'au goulot ou jusqu'à la base du filtre.
- Régler le régulateur de débit sur la position appropriée ou monter la buse désirée.
- Démarrer le moteur et accélérer jusqu'à ce que le ventilateur parvienne à sa vitesse de travail.
- Ouvrir la vanne d'arrivée du produit et laisser le liquide couler jusqu'à remplir tout le circuit.
- Fermer la vanne d'arrivée du produit, couper le moteur et remplir à nouveau le réservoir de produit jusqu'au goulot.
- Redémarrer le moteur et accélérer jusqu'à ce qu'il atteigne son régime de travail.



- Ouvrir la vanne d'arrivée du produit et, en même temps, mettre en route le chronomètre. Laisser la pulvérisation se dérouler pendant une minute. Fermer la vanne d'arrivée du produit lorsque le chronomètre indique 60 secondes.
- Couper le moteur.
- Remettre le pulvérisateur dans sa position initiale.
- Remettre le réservoir de produit à niveau en mesurant soigneusement la quantité de liquide ajoutée.
- Si la quantité de liquide ajoutée est significativement différente de la quantité attendue, ajuster le système de régulation du débit en conséquence et recommencer l'opération.
- Lorsque le résultat est proche de celui recherché (plus ou moins 5 %), refaire quelques essais supplémentaires et noter la moyenne obtenue.

Second cas : il est possible de déconnecter le flexible d'arrivée du liquide à la buse.

- Verser quelques litres de formulation dans le réservoir à produit.
- Déconnecter le flexible d'alimentation en produit de la buse et le placer de manière à ce que le liquide puisse s'écouler dans un seau ou dans un verre gradué.
- Démarrer le moteur et accélérer jusqu'à ce que le ventilateur tourne à sa vitesse de travail.
- Régler le régulateur de débit sur la position correspondant au débit souhaité.
- Ouvrir la vanne d'arrivée du produit et laisser le liquide s'écouler jusqu'au remplissage complet du circuit.
- Fermer la vanne d'arrivée du produit et, sans couper le moteur, verser dans le réservoir de produit le liquide qui s'est écoulé dans le verre gradué ou le seau.
- Replacer le bout du flexible d'alimentation en produit dans le verre mesureur ou le seau vide.
- Ouvrir à nouveau la vanne d'arrivée du produit en mettant en route le chronomètre.
- Laisser le liquide s'écouler une minute et, au moment précis où le chronomètre indique 60 secondes, refermer la vanne d'arrivée du produit.
- Mesurer la quantité de liquide qui s'est écoulée dans le seau ou le verre gradué.
- Si cette quantité s'écarte significativement de la quantité attendue, ajuster le système de régulation du débit en conséquence et recommencer l'opération.
- Lorsque la quantité de liquide récoltée dans le récipient est proche de celle qui était attendue (plus ou moins 5 %), recommencer trois fois l'opération pour s'assurer de la régularité du débit.

La pulvérisation

La pulvérisation ne doit pas commencer avant d'avoir déterminé tous les paramètres de base et effectué les calibrages.

- Délimiter la zone à traiter à l'aide de fanions.
- Commencer à traiter par le côté sous le vent de la zone cible.
- Dans l'idéal, le sens du vent doit être perpendiculaire à la direction des passages (fig. 22). Pour surveiller en permanence la direction, il est utile de disposer d'une source continue de fumée ou d'un ruban en plastique léger flottant sous l'effet du vent.

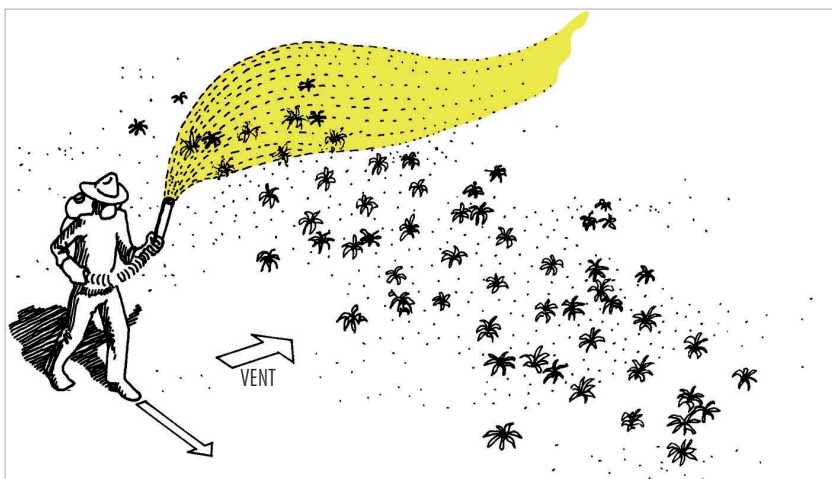
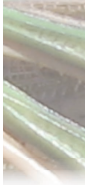


Figure 89. Mode de déplacement pour les traitements en dérive contrôlée avec un pulvérisateur pneumatique à dos. L'opérateur marche en ligne droite à une allure régulière.

- Marcher droit devant à une vitesse constante la plus proche possible de la vitesse calibrée (fig. 89). Bien veiller à ne pas céder à la tentation naturelle de pulvériser en se balançant d'un côté et de l'autre. Si possible, diriger la tuyère vers le haut (fig. 36).
- Ne jamais continuer à pulvériser pendant les arrêts mais fermer la vanne d'arrivée du produit, même si le moteur est marche.

Les pulvérisateurs UBV à piles

Le calibrage du débit

Le débit dépend de la taille de l'orifice du gicleur en place et de la viscosité de la formulation. La température a également une influence, puisque les températures élevées peuvent baisser la viscosité et donc accroître le débit et *vice versa*. Le débit doit donc être contrôlé à chaque fois qu'un paramètre a été modifié (formulation, vitesse d'avancement, volume d'application ou espacement) ou que la température a changé de manière significative. De toute manière, le débit doit être contrôlé dans les conditions réelles du terrain, au moins une fois avant de commencer à traiter un site particulier. En ce qui concerne le calibrage du débit, la procédure suivante peut être appliquée.

- S'assurer que le pulvérisateur fonctionne normalement.
- Choisir et monter la buse de restriction ou d'alimentation appropriée.
- À l'aide d'un entonnoir, verser environ un demi-litre de formulation dans la bouteille.
- Placer un verre mesureur ou un autre récipient sur une surface stable.
- Ôter le disque rotatif et retourner le pulvérisateur.
- Attendre que le débit se stabilise, puis, en faisant bien attention de mettre en route le chronomètre au même moment, faire couler le liquide dans le récipient vide pendant exactement une minute.
- Mesurer le liquide qui s'est écoulé dans le récipient au cours de cette minute.



Si la quantité est significativement différente (au-delà de plus ou moins 5 %) de la quantité attendue, changer de buse et recommencer.

- Si la quantité de liquide est proche de la quantité attendue (plus ou moins 5 %), répéter l'opération encore deux fois et noter la moyenne des trois résultats.

La hauteur d'émission

La hauteur d'émission minimale à respecter est de un mètre au-dessus de la végétation. Lorsque le temps est calme ou que la couverture végétale est dense, le pulvérisateur peut être positionné de manière à ce que la tête de pulvérisation se trouve à 2,5 m au-dessus de la végétation (fig. 87).

Les espacements

L'**espacement optimal** dépend tout d'abord du comportement de la cible (voir § *Cible et matière active*) et du mode d'action de la matière active. Dans la pratique, il est souvent dicté par des facteurs variables tels que les contours du couvert végétal, la formulation, la vitesse du vent, la hauteur d'émission possible et la taille des gouttelettes.

La vitesse du vent idéale est de 1 à 3,5 m/s. En dessous de 1 m/s, la dérive est trop faible et au-dessus de 3,5 m/s, des gouttelettes sont susceptibles de dériver trop loin, entraînant une insuffisance de dépôt sur la zone cible.

Toutefois, avec ces pulvérisateurs UBV à piles, presque tous les paramètres sont fixés à l'avance et la seule flexibilité laissée à l'opérateur est celle de l'espacement. Les recommandations qui figurent dans le tableau 31 prennent en compte un certain chevauchement des andains (fig. 90) pour les traitements en couverture totale. Lorsque le produit utilisé a une longue persistance d'activité, l'espacement peut être doublé par rapport aux valeurs données dans ce tableau.

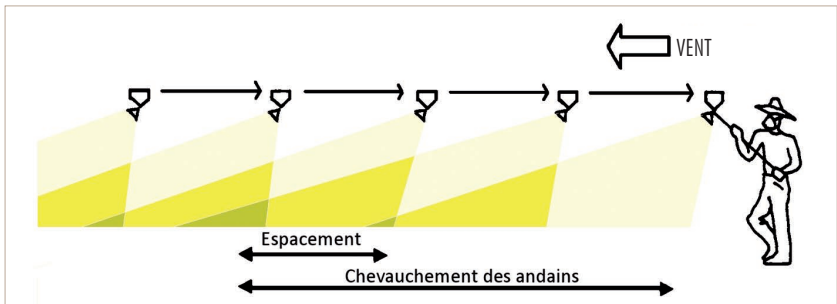


Figure 90. Espacement et chevauchement des andains (d'après Matthews, 1985).

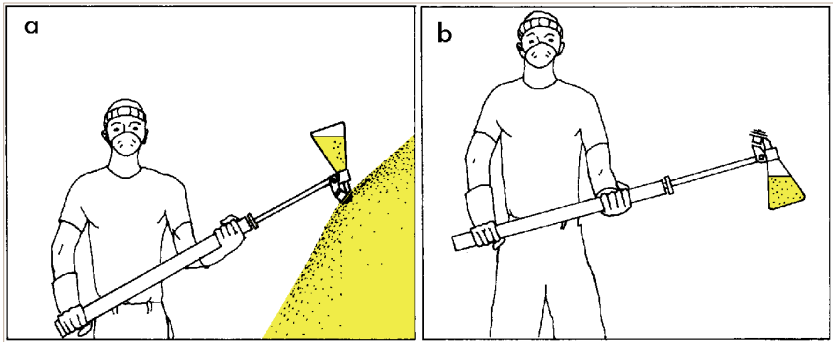
La pulvérisation

La marche à suivre est globalement la même que celle décrite au paragraphe *Les pulvérisateurs motorisés et à dos*. Une fois les calibrages de base réalisés, suivre attentivement la procédure suivante.

- Vérifier qu'il y a le bon nombre de piles dans le magasin pour une pulvérisation en UBV.
- Régler la position de la tête (pivotante) de pulvérisation à la hauteur d'émission appropriée, avec le gicleur en position proche de la verticale.
- Contrôler la vitesse et la direction du vent.



- Remplir la bouteille et la refermer hermétiquement. Tenir le pulvérisateur en position de repos (fig. 91).
- Avant de commencer, enlever le capuchon de protection du disque rotatif et le déposer en lieu sûr.



a : position de pulvérisation, avec la bouteille tenue verticalement vers le haut ; b : position de repos.
Figure 91. Tenue en main d'un pulvérisateur UBV à piles.

- Se positionner sur le côté de la zone cible, à une distance de la limite de la parcelle, sous le vent, équivalente à un espacement et se préparer à pulvériser en progressant avec le vent de travers.
- Tenir le pulvérisateur sous le vent de sorte que le vent éloigne le jet de gouttelettes de soi pendant le traitement.
- Mettre le pulvérisateur en route et vérifier que le disque rotatif tourne correctement (avec l'expérience, l'opérateur apprend à le vérifier à l'oreille). La vitesse de rotation peut également être contrôlée au tachymètre.
- Attendre que le moteur ait atteint sa vitesse maximale. Veiller à ne jamais toucher le disque lorsqu'il est en rotation et à toujours le maintenir suffisamment à distance par rapport à soi.
- Retourner le pulvérisateur de manière à ce que la bouteille se retrouve en haut, à l'envers (fig. 91) et commencer immédiatement à marcher à la vitesse fixée au cours des opérations de calibrage. Le gicleur d'alimentation doit être maintenu en position verticale. Tenir la tête de pulvérisation légèrement derrière soi de manière à marcher devant le brouillard de gouttelettes. **Bien veiller à ne pas laisser la tête de pulvérisation s'abaisser et à ne pas ralentir l'allure en traversant des poches de concentration d'acridiens.**
- Marcher en ligne droite dans la direction du fanion, qui doit être installé dans un endroit à portée constante du regard ou en suivant le guide portant le GPS
- À la fin du passage, retourner le pulvérisateur en position de repos (fig. 91), bouteille en bas et couper le moteur.
- Marcher contre le vent jusqu'au point de départ du passage suivant. **Bien compter le nombre de pas correspondant à l'espacement ou mesurer avec le GPS.**
- Marcher en pulvérisant jusqu'à la fin du passage et ainsi de suite, en continuant comme décrit ci-dessus.
- Lorsque la zone est traitée par plusieurs opérateurs simultanément, chacun doit se trouver en dehors des nuages de gouttelettes produits par les autres et veiller à ne jamais traverser un secteur qui a déjà été pulvérisé (fig. 92).

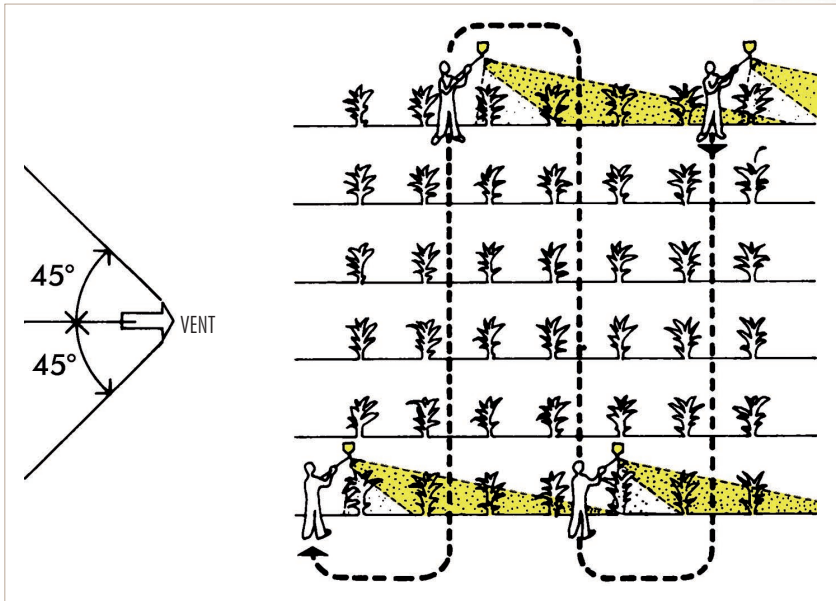


Figure 92. Progression de l'opérateur au cours d'un traitement avec un pulvérisateur UBV à piles (d'après Matthews, 1985).

L'entretien

Un entretien soigné et régulier permet de prolonger la durée de vie du matériel et de maintenir la précision de la pulvérisation. Un outillage de base est nécessaire pour assurer ces opérations.

Petit outillage pour l'entretien du matériel (d'après Ciba-Geigy, 1984) :

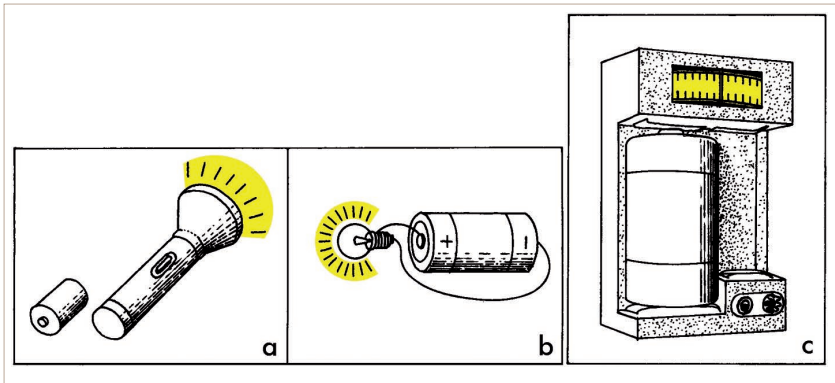
- deux tournevis (de taille moyenne et petite) ;
- un tournevis Philips ou cruciforme (de taille moyenne) ;
- une brosse métallique ou de la toile émeri ;
- un petit pinceau ;
- une petite pince de type Bruxelles ;
- une pince à dénuder ;
- une pince plate à becs longs ;
- un tachymètre (tachymètre à roseau vibrant de type « Vibra-Tak ») ;
- un dispositif pour estimer le niveau des piles (voltmètre, lampe-torche électrique ou ampoule de lampe électrique et un peu de fil électrique (fig. 93).

Le petit matériel pour les contrôles

- la trousse à outils décrite ci-dessus ;
- des chiffons propres ;
- un rouleau de papier essuie-tout ou de papier toilette ;
- du savon ;
- du gasoil ou du solvant.

La vérification du bon état de marche du pulvérisateur

Plusieurs points doivent être contrôlés à intervalles réguliers pour s'assurer que le pulvérisateur demeure en bon état de marche.



a : à l'aide d'une lampe-torche électrique; b : à l'aide d'une ampoule de lampe électrique; c : à l'aide d'un voltmètre.

Figure 93. Vérification du niveau des piles d'un pulvérisateur UBV à piles (d'après Ciba-Geigy, 1984).

- Contrôler fréquemment le débit. Vérifier que l'orifice du gicleur ne s'est pas obstrué. Si nécessaire, enlever les impuretés avec une petite tige. **Ne jamais souffler dans le gicleur avec la bouche.**
- **Contrôler périodiquement la vitesse de rotation du disque de pulvérisation.** Il devrait tourner à la vitesse indiquée dans les caractéristiques techniques. Utiliser si possible le tachymètre de poche à roseau vibrant «Vibra-Tak». Avec un peu d'expérience on arrive à diagnostiquer une baisse de rotation du disque. En cas de dysfonctionnement, en rechercher la cause et régler le problème (tableau 32).
- Dès qu'un certain ralentissement de la vitesse de rotation devient apparent, commencer par vérifier l'**état des piles** (fig. 93). Un jeu de piles permet en général entre trois et quatre heures de fonctionnement intermittent.

L'entretien de routine des pulvérisateurs UBV à piles

- De manière générale, les recommandations du fabricant doivent être respectées, notamment celles qui ont trait à l'entretien, aux éventuels dysfonctionnements et à leur résolution (tableau 32).
- Il est conseillé, avant de commencer à pulvériser, d'effectuer tous les contrôles détaillés plus haut.
- Bien s'assurer que le produit n'entre jamais en contact avec l'arbre du moteur : en ce sens, toujours mettre le moteur en marche avant de retourner la tête de pulvérisation vers le bas et, inversement, toujours retourner la tête de pulvérisation vers le haut avant de couper le moteur.
- Bien suivre la procédure indiquée par le fabricant pour insérer ou enlever le jeu de piles. Lorsque celles-ci sont épuisées, il est important de changer le jeu complet et d'utiliser des piles identiques. Bien faire attention de ne jamais mélanger des piles neuves et des piles usagées car cela pourrait endommager le moteur.
- À la fin de chaque journée de travail, verser dans le bidon d'origine l'excédent de produit restant dans la bouteille et rincer le circuit du pulvérisateur avec du pétrole lampant ou du gazole.
- Nettoyer méticuleusement la bouteille, le disque et l'arbre moteur à l'aide ou d'un papier essuie-tout propre ou plus simple, du papier toilette (disponible partout).



- Avant de ranger le pulvérisateur pour une période prolongée, la tête de pulvérisation doit être déposée, démontée et nettoyée, puis remontée en suivant les instructions du fabricant.

Les traitements avec pulvérisateurs portés par véhicule

Les véhicules portant les pulvérisateurs antiacridiens doivent être adaptés à cet usage et notamment fonctionner au gasoil car la boîte de vitesses des véhicules à essence n'autorise pas le travail dans la plage de vitesse d'avancement requise.

Les calibrages de base

Le calibrage du débit

Bien que les fabricants précisent dans la notice la procédure à suivre pour chaque modèle, il peut être utile d'insister sur quelques principes généraux qui permettront aux opérateurs de mener à bien le calibrage même si le document a été perdu. Deux cas peuvent se présenter.

Premier cas : le produit peut être recueilli au niveau de la tête de pulvérisation (Dyna-Jet et Ulvamast). La procédure à suivre est présentée ci-dessous.

- Garer le véhicule sur un endroit stable et plat; serrer le frein à main.
- Bien s'assurer que le robinet de vidange est fermé.
- Verser quelques litres de formulation dans la cuve à produit.
- Placer un seau propre sous la tête de pulvérisation.
- Choisir et insérer la plaque à orifice de restriction et/ou régler le variateur de débit en fonction du débit souhaité.
- Si l'énergie motrice provient du véhicule, mettre le moteur de ce dernier en route, sinon, mettre en route le moteur du pulvérisateur.
- Dans le cas des têtes de pulvérisation centrifuge, **ne mettre en route que la pompe à produit** de manière à ce que le produit tourne en circuit fermé. Régler ensuite la pression en fonction des indications du fabricant.
- Ouvrir la vanne d'arrivée du produit (ou mettre la pompe en route) de manière à laisser le liquide s'écouler pendant quelques secondes dans le seau pour chasser l'air du circuit.
- Refermer la vanne (ou couper la pompe), puis reverser le liquide du seau dans la cuve à produit.
- Placer à nouveau le seau sous la tête de pulvérisation et ouvrir la vanne d'arrivée du produit (ou démarrer la pompe mais **ne pas mettre en route la tête de pulvérisation!**). **Démarrer le chronomètre** au moment où le liquide commence à s'écouler de la tête de pulvérisation. Laisser le liquide s'écouler pendant exactement soixante secondes puis fermer la vanne (ou couper la pompe).
- Mesurer la quantité de liquide recueillie dans le seau.
- Comparer le volume récolté avec le débit recherché et ajuster en conséquence le dispositif de régulation du débit.
- Répéter l'opération jusqu'à ce que le volume obtenu soit proche (plus ou moins 5 %) du volume attendu. Lorsque le débit est acceptable, répéter trois fois l'opération pour confirmer le résultat.



Symptômes	Causes possibles	Solutions
Le disque rotatif ne tourne pas ou seulement de façon intermittente	Les piles sont vides	Remplacer les piles
	Les piles ne sont pas insérées correctement	Replacer les piles correctement
	Le disque rotatif frotte contre le devant du caisson moteur ou l'arbre moteur est tordu.	Remplacer le disque ou le moteur si nécessaire
	Les contacts électriques sont rompus ou corrodés	Remplacer si nécessaire
	Les connexions et les contacts électriques sont encroûtés	Nettoyer soigneusement les connexions et les contacts
	Le moteur est bloqué ou l'appareil est trop utilisé	Rendre le pulvérisateur au coordinateur ou remplacer le moteur
Le disque rotatif tourne lentement	Les piles sont presque vides	Remplacer les piles
	Le disque rotatif frotte contre le devant du caisson moteur ou l'arbre moteur est tordu.	Remplacer le disque ou le moteur si nécessaire
	Le disque rotatif ou le devant du caisson moteur sont encroûtés	Nettoyer à l'aide d'un solvant et d'un tissu sec
L'insecticide ne s'écoule pas ou s'écoule irrégulièrement	Le gicleur d'alimentation n'est pas monté correctement	Déposer et remonter correctement le gicleur
	Le gicleur est obstrué	Déboucher l'orifice du gicleur avec une tige effilée et faire tremper le gicleur de l'eau savonneuse - ne jamais souffler dedans avec la bouche
	La tête de pulvérisation n'est pas dans la bonne position	Corriger la position de la tête de pulvérisation
		Vérifier l'état et la position du joint de la tête
De grosses gouttes sourdent du disque rotatif	Le disque rotatif est encroûté ou endommagé	Nettoyer ou changer le disque rotatif
	Le disque n'est pas monté correctement	Déposer le disque et le remonter correctement
	Le gicleur d'alimentation n'est pas monté correctement	Déposer le gicleur d'alimentation et le remonter correctement
Du liquide s'échappe du porte-bouteille	Le bouchon de la bouteille n'est pas vissé correctement ou est endommagé	Visser le bouchon correctement ou le changer
	Le gicleur d'alimentation n'est pas monté correctement	Déposer le gicleur d'alimentation et le remonter correctement

Tableau 32. Dépistage et traitement des pannes des pulvérisateurs UBV portés manuellement.



Second cas : le liquide ne peut pas être recueilli au niveau de la tête de pulvérisation (cas des pulvérisateurs pneumatiques portés autonomes). La procédure est alors la suivante.

- Garer le véhicule sur une surface horizontale et stable où les risques de pollution sont les plus réduits possible (notamment en cas d'éclaboussures accidentelles de produit). La tête de pulvérisation doit être installée sous le vent et dirigée dos au vent afin que les gouttelettes ne contaminent pas la zone de travail.
- Vérifier que le robinet vidange est bien fermé.
- Remplir entièrement la cuve à produit.
- Démarrer le moteur du pulvérisateur.
- Mettre la pompe à produit en route et laisser le liquide remplir son circuit interne. Régler la pression en fonction des indications du fabricant.
- Ouvrir la vanne d'arrivée du produit et pulvériser pendant quelques secondes, le temps que le liquide chasse tout l'air du circuit.
- Refermer la vanne d'arrivée.
- Remplir à nouveau entièrement la cuve à produit. Bien prendre note du niveau exact atteint par le liquide dans le goulot.
- Ouvrir à nouveau la vanne d'arrivée du produit et, en même temps, mettre le chronomètre en route. Laisser le liquide s'écouler pendant exactement soixante secondes, puis refermer la vanne et couper le moteur.
- Remettre exactement au niveau précédent la cuve à produit en mesurant soigneusement la quantité de produit qui doit être versée pour y arriver.
- Comparer cette quantité avec la quantité de produit qui aurait dû s'écouler de la tête de pulvérisation en soixante secondes et ajuster en conséquence le dispositif de régulation du débit.
- Répéter l'opération jusqu'à ce que le débit soit suffisamment proche du débit recherché. Lorsque le débit est acceptable, recommencer l'opération pour confirmer ce résultat, puis noter la moyenne obtenue, correspondant au débit réel.

Le calibrage de la vitesse d'avancement

La grande diversité des véhicules tout-terrain et leur gamme de rapports (tableau 33) impose de calibrer chaque véhicule séparément. L'opération est rendue plus difficile par l'absence, chez la plupart des modèles, d'un compte-tours moteur et d'un accélérateur à main. Une procédure de calibrage est décrite plus loin mais les résultats ne sont suffisamment précis que sur les véhicules dotés de ces équipements. Il doit être souligné que, en dessous de 20 km/h, l'indicateur de vitesse du véhicule n'est pas suffisamment précis pour être utilisé. L'utilisation du GPS résout le problème grâce à la précision de ses indications. **La procédure d'étalonnage ci-dessous n'est donc nécessaire qu'en cas d'absence de GPS.**

Deux personnes, un conducteur et le coordinateur, sont nécessaires pour calibrer la vitesse d'avancement. Ils doivent disposer d'un chronomètre et un odomètre ou d'un ruban à mesurer de grande longueur (fig. 85 et 86). Le coordinateur est assis sur le siège passager du véhicule et tient en main le chronomètre (fig. 84). La procédure de calibrage se déroule de la manière suivante.

- **Choisir un endroit plat** dans lequel une ligne droite de 200 m de longueur peut être facilement délimitée. Une piste de brousse carrossable ordinaire peut faire l'affaire mais éviter les chemins trop difficiles.
- **Délimiter une ligne droite de 200 m** de longueur en plantant un piquet à chaque bout. **Mesurer soigneusement** cette distance : ne pas utiliser le véhicule car,



Type de véhicule	Vitesse d'avancement du véhicule (km/h)				
	1 ^{re} vitesse + réducteur	2 ^e vitesse + réducteur	3 ^e vitesse + réducteur	1 ^{re} vitesse	2 ^e vitesse
Land Rover 110 (diesel)	4,77	7,91	11,39	10,81	14,06
Mitsubishi L200 (diesel)	4,70	7,12	11,32	7,54	13,74
Toyota Land Cruiser (essence)	7,82	13,53	–	14,06	–
Toyota Land Cruiser (diesel)	3,53	6,45	11,80	6,86	12,63

Tableau 33. Vitesse moyenne d'avancement de divers véhicules (Rachadi, 1989).

à cette échelle, l'indicateur de vitesse n'est pas assez précis et donnerait un résultat qui invaliderait tout le calibrage.

- **Placer le véhicule environ 50 m avant le premier piquet** pour pouvoir avancer à une vitesse régulière au moment d'entrer dans le tronçon délimité.
- **Régler l'accélération** afin que le moteur tourne à son régime normal ni trop élevé ni trop bas. Si le véhicule est équipé d'un compte-tours moteur, il est possible de noter le régime adéquat. Une fois le régime correct adopté, il doit être maintenu tout au long des essais et de toutes les opérations de pulvérisation. L'exercice est facile lorsque le véhicule est équipé d'un accélérateur à main mais assez difficile dans le cas contraire. Une solution à ce problème peut consister à placer une cale sous la pédale de l'accélérateur.
- **Commencer à rouler** et enclencher la vitesse convenue.
- **Ajuster le régime moteur** au niveau sélectionné auparavant. Le véhicule doit rouler régulièrement en passant devant le premier piquet, sans variation de l'accélération.
- **Le passager met en route le chronomètre** au moment exact où il passe devant le premier piquet.
- **Le véhicule parcourt les 200 m** en ne modifiant ni sa vitesse d'avancement ni son régime moteur ni le rapport utilisé.
- **Ne pas ralentir** en approchant du second piquet; le dépasser en restant à la même vitesse.
- **Le passager arrête le chronomètre** au moment même où il passe devant le second piquet.
- **Arrêter le véhicule**, lire le temps affiché sur le chronomètre et comparer avec les données de référence (tableau 34).
- **Recommencer l'opération** trois fois et noter la moyenne des temps obtenus (fig. 94).
- **En déduire la vitesse correspondante** en km/h.

Il apparaît clairement que seuls les véhicules dotés d'une boîte de réduction peuvent être employés en lutte antiacridienne, les autres modèles avançant à une vitesse trop élevée pour être utilisables.



Marque du véhicule :

Type :

Modèle :

Distance de calibrage (D) (km) :

Rapport utilisé	Temps (s) [min x 60 + sec]			Temps moyen (t) (s)	Vitesse (km/h) [V = D x 3 600/t]
	1 ^{er} essai	2 ^e essai	3 ^e essai		
1 ^{re} vitesse + réduction					
2 ^e vitesse + réduction					
3 ^e vitesse + réduction					
1 ^{re} vitesse					
2 ^e vitesse					

Figure 94. Formulaire pour le calibrage de la vitesse d'avancement des véhicules porteurs.

L'espacement

L'espacement sera toujours, dans la pratique, le résultat d'un compromis entre les possibilités et les contraintes. Les possibilités sont déterminées et contraintes par des facteurs environnementaux (vitesse du vent, température) et des facteurs techniques (hauteur d'émission, spectre des gouttes, etc.). Ces contraintes imposent certaines limites aux possibilités théoriques. Enfin, si le mode d'action de la matière active et le volume d'application sont très importants, la nature et l'épaisseur de la couverture végétale ainsi que les possibilités de rapports du véhicule porteur sont également à prendre en compte.

La hauteur d'émission varie généralement entre deux et dix mètres. Elle doit être déterminée au début de chaque journée de travail et lors de tout changement des paramètres fondamentaux (vitesse du vent, véhicule porteur, etc.). Si le vent faiblit, il est toujours préférable, lorsque la chose est possible, de relever la hauteur d'émission plutôt que de resserrer l'espacement (fig. 95).

Dans un souci d'optimisation, tout en restant dans les limites des caractéristiques techniques des pulvérisateurs, l'espacement varie le plus souvent entre 100 et 400 m pour les traitements en couverture totale, entre 400 et 1 000 m pour les traitements en couverture irrégulière et entre 1 000 et 1 500 m pour les traitements en barrières (tableau 36).

Le traitement

Les principes généraux

Avant toute pulvérisation, la cible doit être clairement définie en termes de taille, de mobilité, de nocivité et de vulnérabilité et les paramètres fondamentaux du traitement doivent être déterminés.

Pour les appareils portés par véhicule, la vitesse de rotation (régime) du moteur doit rester constante tout au long de la pulvérisation pour tous les pulvérisateurs mentionnés plus haut, à l'exception du véhicule portant le pulvérisateur L15 de



Temps	Vitesse (km/h)	Temps	Vitesse (km/h)
6 min 00 s	5,00	2 min 56 s	10,20
5 min 46 s	5,20	2 min 53 s	10,40
5 min 33 s	5,40	2 min 50 s	10,60
5 min 21 s	5,60	2 min 47 s	10,80
5 min 10 s	5,80	2 min 44 s	11,00
5 min 00 s	6,00	2 min 41 s	11,20
4 min 50 s	6,20	2 min 38 s	11,40
4 min 41 s	6,40	2 min 35 s	11,60
4 min 33 s	6,60	2 min 33 s	11,80
4 min 25 s	6,80	2 min 30 s	12,00
4 min 17 s	7,00	2 min 28 s	12,20
4 min 10 s	7,20	2 min 25 s	12,40
4 min 03 s	7,40	2 min 23 s	12,60
3 min 57 s	7,60	2 min 21 s	12,80
3 min 51 s	7,80	2 min 18 s	13,00
3 min 45 s	8,00	2 min 16 s	13,20
3 min 40 s	8,20	2 min 14 s	13,40
3 min 34 s	8,40	2 min 12 s	13,60
3 min 29 s	8,60	2 min 10 s	13,80
3 min 25 s	8,80	2 min 09 s	14,00
3 min 20 s	9,00	2 min 07 s	14,20
3 min 16 s	9,20	2 min 05 s	14,40
3 min 11 s	9,40	2 min 03 s	14,60
3 min 07 s	9,60	2 min 02 s	14,80
3 min 04 s	9,80	2 min 00 s	15,00
3 min 00 s	10,00		

Tableau 34. Tableau de conversion en kilomètres par heure du temps mis pour franchir 500 m pour le calibrage de la vitesse d'avancement de véhicules tout-terrain.

Curtis Dyna-Fog qui dispose d'un système radar. De même, on ne doit changer de rapport que si un ou plusieurs autres paramètres sont modifiés (débit ou espacement).

Bien noter par écrit la distance parcourue à la fin de chaque passage afin de pouvoir ensuite calculer la superficie de la zone traitée.

La direction est de préférence perpendiculaire à la direction du vent mais il arrive souvent que cette dernière change après que l'orientation des passages ait été décidée. Qui plus est, la topographie du site peut imposer un angle différent. Toutefois, le résultat final reste satisfaisant du moment que l'angle entre l'axe des passages et le vent demeure supérieur à 25°. Bien que relativement stable par rapport à la direction du vent, l'espacement doit parfois être adapté en cours de traitement dans le cas de bandes larvaires en mouvement.

La pulvérisation

- Commencer à pulvériser en suivant l'azimut convenu à l'aide d'un compas de route ou d'une boussole ou mieux d'un GPS.
- Arrêter de pulvériser à la fin du passage (ce qui est facile avec les pulvérisateurs électriques).

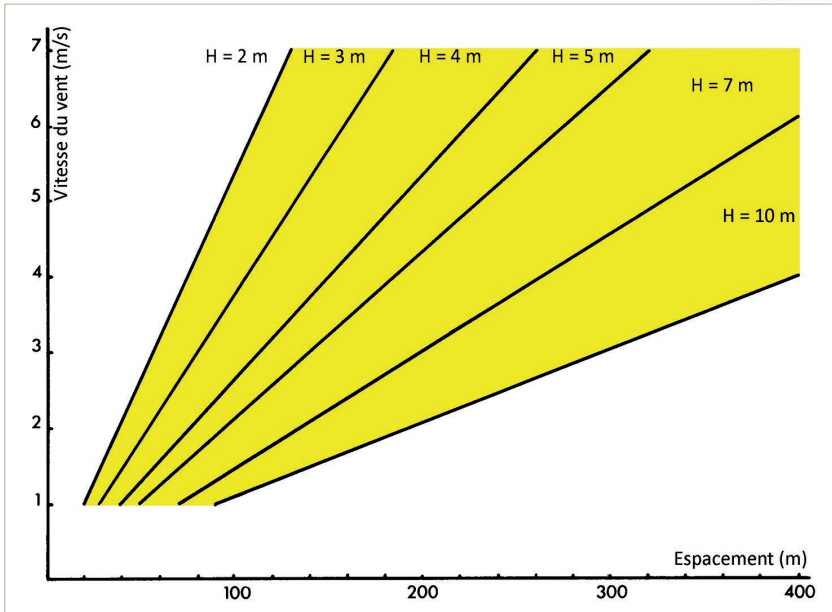


Figure 95. Relation entre l'espacement maximal, la vitesse du vent et la hauteur d'émission pour les traitements avec pulvérisateur porté par véhicule.

6. Comment calculer la vitesse d'avancement

Avant toute chose : convertir toutes les durées en secondes. Pour ce faire, multiplier les minutes par 60 et y ajouter le nombre de secondes restantes.

Exemple : trois véhicules ont franchi 500 m en 6 min et 46 s, 4 min et 15 s et 2 min et 48 s respectivement. Les conversions se font comme suit :

$$6 \text{ min } 46 \text{ s} = (6 \times 60) + 46 = 406 \text{ secondes}$$

$$4 \text{ min } 15 \text{ s} = (4 \times 60) + 15 = 255 \text{ secondes}$$

$$2 \text{ min } 48 \text{ s} = (2 \times 60) + 48 = 168 \text{ secondes}$$

Ensuite, **calculer la vitesse d'avancement en km/h** en utilisant la formule :

$$V = D \times 3\,600 / T$$

où : **V** = vitesse d'avancement en km/h

D = distance couverte en km

T = temps mis pour couvrir cette distance (en secondes)

Dans le cas de l'exemple ci-dessus, on obtient :

Premier véhicule : $V = 0,5 \times 3\,600 / 406 = 4,53 \text{ km/h}$

Deuxième véhicule : $V = 0,5 \times 3\,600 / 255 = 7,06 \text{ km/h}$

Troisième véhicule : $V = 0,5 \times 3\,600 / 168 = 10,71 \text{ km/h}$



Hauteur d'émission (m)	Vitesse du vent (m/s)	Diamètre des gouttelettes (microns)								Espacement maximal (m)
		40	50	60	70	80	90	100	120	
2	1	42	27	19	14	11	9	7	5	20
	2	85	54	38	28	22	17	14	11	40
	3	127	82	57	42	33	26	22	17	55
	4	170	110	76	56	44	35	28	22	75
	5	213	137	95	71	55	44	34	28	90
	6	255	164	114	85	66	53	43	34	110
	7	298	199	133	100	76	61	50	39	130
3	1	64	41	29	21	16	13	11	9	28
	2	127	82	57	43	33	26	22	17	55
	3	191	123	86	64	49	39	33	25	80
	4	255	164	114	84	66	52	43	34	110
	5	320	205	145	106	82	66	54	42	140
	6	384	246	174	128	98	79	65	51	165
	7	448	287	203	149	115	92	76	59	200
4	1	85	54	38	28	22	17	14	11	40
	2	170	110	76	56	44	35	28	22	75
	3	255	164	114	85	66	53	43	34	110
	4	340	219	152	113	87	70	58	45	145
	5	426	274	190	149	109	88	72	56	180
	6	510	329	229	170	131	105	86	68	220
	7	596	384	266	200	152	122	100	78	260
5	1	106	68	48	35	27	22	18	14	45
	2	213	137	95	71	55	44	34	28	90
	3	319	205	145	106	82	66	54	42	140
	4	426	274	190	149	109	88	72	56	185
	5	532	342	238	177	137	110	90	70	230
	6	638	411	286	213	164	132	108	85	275
	7	745	479	333	248	191	154	126	99	320
7	1	149	96	67	55	38	31	25	20	65
	2	298	192	133	99	77	61	50	39	130
	3	448	287	203	149	115	92	76	59	195
	4	596	384	266	200	152	122	100	78	260
	5	745	479	333	248	191	154	126	99	320
	6	894	575	400	298	230	184	151	118	390
	7	1042	671	467	348	268	215	176	138	400
10	1	213	137	95	71	55	44	34	28	90
	2	426	274	190	149	109	88	72	56	185
	3	638	411	286	213	164	132	108	85	275
	4	851	548	381	284	224	175	144	113	370
	5	1064	685	485	355	273	219	180	141	400
	6	1277	822	571	426	328	263	216	169	400
	7	1489	958	667	496	383	307	251	197	400

Tableau 35. Dérive des gouttelettes et espacement maximal des passages en fonction de la hauteur d'émission et de la vitesse du vent avec un pulvérisateur porté par véhicule.



- À l'aide de la boussole ou du compas de route ou du GPS, tourner de 90° pour se mettre face au vent.
- Remonter face au vent sur la distance convenue de séparation des passages, en s'aidant du tachymètre du véhicule ou du GPS.
- Tourner de 90° dans le même sens de manière à repartir en sens inverse du passage précédent, selon un axe parallèle au premier.
- Remettre la pulvérisation en route au début du passage et pulvériser jusqu'au bout. Répéter la procédure à chaque passage et continuer jusqu'à ce que la zone cible soit entièrement traitée.

Rapport utilisé	Vitesse d'avancement (km/h)	Espacement					
		50 m		75 m		100 m	
		Buse d'alimentation (mm)					
		2,5	3	2,5	3	2,5	3
1 ^{re} + réduction	4,77	2,04	2,30	1,53	1,72	1,02	1,15
2 ^e + réduction	7,91	1,24	1,36	0,93	1,02	0,62	0,68
1 ^{re} sans réduction	10,81	0,91	1,01	0,60	0,75	0,45	0,50

Tableau 36. Volume appliqué par hectare avec un PPE sur un Land Rover 110 diesel. Volume (l) de malathion de qualité technique en fonction du rapport utilisé, de l'espacement et de la buse (Rachadi, 1989).

Rapport utilisé	Vitesse d'avancement (km/h)	Espacement					
		50 m		75 m		100 m	
		Buse d'alimentation (mm)					
		2,5	3	2,5	3	2,5	3
1 ^{re} + réduction	4,70	2,06	2,25	1,54	1,72	1,03	1,15
2 ^e + réduction	7,12	1,38	1,54	1,03	1,15	0,69	0,77
1 ^{re} sans réduction	10,81	1,30	1,46	0,97	1,09	0,65	0,73
3 ^e + réduction	11,32	0,86	0,98	0,65	0,74	0,43	0,49

Tableau 37. Volume appliqué par hectare avec un PPE sur un Mitsubishi L200 diesel. Volume (l) de malathion de qualité technique en fonction du rapport utilisé, de l'espacement et de la buse (Rachadi, 1989).



Rapport utilisé	Vitesse d'avancement (km/h)	Espacement					
		50 m		75 m		100 m	
		Buse d'alimentation (mm)					
		2,5	3	2,5	3	2,5	3
1 ^{re} + réduction	7,82	1,24	1,40	0,93	1,05	0,62	0,70
2 ^e + réduction	13,53	0,72	0,80	0,54	0,60	0,36	0,40

Tableau 38. Volume appliqué par hectare avec un PPE sur un Toyota Land Cruiser essence. Volume (l) de malathion de qualité technique en fonction du rapport utilisé, de l'espacement et de la buse (Rachadi, 1989).

Rapport utilisé	Vitesse d'avancement (km/h)	Espacement					
		50 m		75 m		100 m	
		Buse d'alimentation (mm)					
		2,5	3	2,5	3	2,5	3
1 ^{ère} + réduction	3,53	2,76	3,08	2,08	2,31	1,38	1,54
2 ^e + réduction	6,45	1,52	1,70	1,14	1,27	0,76	0,85
1 ^{ère} sans réduction	6,86	1,42	1,60	1,06	1,20	0,71	0,80
3 ^e + réduction	11,80	0,82	0,94	0,61	0,70	0,41	0,47
2 ^e sans réduction	12,63	0,78	0,86	0,58	0,64	0,39	0,43

Tableau 39. Volume appliqué par hectare avec un PPE sur un Toyota Land Cruiser diesel. Volume (l) de malathion de qualité technique en fonction du rapport utilisé, de l'espacement et de la buse (Rachadi, 1989).

Les traitements avec matériel aérien

Le calibrage du débit

Théoriquement, les épandages aériens ne devraient pas être réalisés sans un calibrage minutieux du débit. Étant donné les petits volumes mis en jeu et la concentration élevée des formulations utilisées en lutte antiacridienne, les erreurs de calibrage sont susceptibles d'avoir un impact négatif sur l'efficacité du traitement



comme sur l'environnement et de coûter cher aux pays affectés et à la communauté internationale des donateurs.

Pour les mêmes raisons, le calibrage des formulations pour UBV doit être effectué avec un liquide neutre de même viscosité.

Les systèmes de pulvérisation aérienne équipés de pompes électriques ou hydrauliques peuvent être réglés au sol. Dans ce cas, le calibrage peut être directement réalisé avec la formulation pourvu que le liquide soit soigneusement recueilli. Lorsque le système de pulvérisation comporte une pompe éolienne, le calibrage se fait en vol.

Le calcul préalable du débit

Une section a déjà été consacrée au calcul des paramètres fondamentaux et aux calibrages (voir § *Les calculs préliminaires*). La démarche reste la même avec le matériel aérien. Le débit moyen par tête de pulvérisation est obtenu en divisant le débit global par le nombre de têtes de pulvérisation utilisées.

La formule pour calculer le débit d'un avion épandeur est la suivante :

$$\text{Débit} = V \times A \times Q / 600 \times n$$

où « n » est le nombre de têtes de pulvérisation (atomiseurs, buses).

7. Comment calculer le débit en épandage aérien

Exemple 1 : sachant que le volume d'application est de 12 l/ha, la vitesse de vol de 160 km/h et l'espacement de 25 m, quel doit être le débit de chacune des 32 buses de la rampe de pulvérisation de l'avion ?

On obtient la réponse suivante :

$$\text{Débit} = 160 \times 25 \times 12 / 600 \times 32 = 2,5 \text{ l/min par buse}$$

Exemple 2 : calculer le débit de chaque tête de pulvérisation d'un Cessna Ag Truck volant à 166 km/h, équipé de six atomiseurs, utilisant 1 litre de formulation par hectare et espaçant ses passages de 110 m.

$$\text{Débit} = 166 \times 110 \times 1 / 600 \times 6 = 5,07 \text{ l/min par atomiseur}$$

Application du calcul aux atomiseurs Micronair : à partir de l'exemple 2, trouver la pression de service et la position du variateur de débit de type VRU pour des atomiseurs AU4000.

Le calibrage en vol (d'après Castel, 1986)

Sur les avions équipés d'une pompe éolienne (avec turbine) sans régulateur de débit électronique, le calibrage du débit doit être effectué en vol. La marche à suivre est décrite ci-dessous.

- Verser dans la cuve entre 10 et 15 litres de formulation pour traitement en UBV (ou de 60 à 80 l d'eau).
- En suivant les indications du fabricant, sélectionner la position du VRU ou la plaque à orifice de restriction correspondant au débit recherché.
- Décoller, adopter la hauteur d'émission et la vitesse de vol convenues pour le traitement; commencer à pulvériser et maintenir la pression de service convenue.
- Poursuivre la pulvérisation jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre commence à baisser; fermer alors immédiatement la vanne d'arrivée du produit. Le système de pulvérisation est désormais rempli de produit.



- Atterrir, puis verser suffisamment de liquide dans la cuve pour pouvoir pulvériser encore une, deux ou trois minutes. **Pour les traitements en UBV, le débit obtenu avec des essais préliminaires à l'eau doivent être multipliés par 1,2.**
- Décoller à nouveau et pulvériser en comptant le temps qui s'écoule depuis le début de la pulvérisation jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre commence à baisser. Refermer la vanne et atterrir.
- Faire les ajustements nécessaires en changeant la pression, l'espacement ou les plaques à orifice de restriction des buses.
- Verser dans la cuve la quantité exacte de formulation pour une ou deux minutes de pulvérisation. Refaire un dernier vol d'essai de pulvérisation au-dessus de la zone cible tout en comptabilisant le temps que dure effectivement la pulvérisation.
- Une fois au sol, effectuer si nécessaire les derniers ajustements de la pression.

Le calibrage au sol

- Verser dans la cuve entre 10 et 15 litres de formulation (ou d'un liquide quelconque de même viscosité).
- Régler le VRU sur le débit souhaité.
- Démarrer le moteur de l'aéronef et la pompe de manière à mettre le système de pulvérisation sous pression.
- Placer un seau propre sous chaque tête de pulvérisation, puis ouvrir la vanne et laisser le liquide s'écouler pour chasser tout l'air du système.
- Refermer la vanne. Reverser dans la cuve le liquide recueilli dans les seaux et replacer ses derniers sous les têtes de pulvérisation.
- Ouvrir à nouveau la vanne, recueillir le liquide s'écoulant des têtes de pulvérisation pendant une ou deux minutes exactement, puis refermer la vanne.
- Mesurer les quantités de liquide récoltées sous chaque tête de pulvérisation, diviser le résultat par le temps pendant lequel le liquide s'est écoulé et comparer avec le débit attendu. Régler la pression ou changer l'orifice de restriction en conséquence si nécessaire.
- Une fois trouvés l'orifice de restriction et la pression de service donnant le résultat escompté, un dernier vol d'essai est conseillé, qui peut éventuellement donner lieu à un dernier ajustement de la pression.

L'espacement des passages

Tableau 40. Dérive des gouttelettes et espacement maximal en fonction de la hauteur d'émission et de la vitesse du vent dans le cas de traitements antiacridiens aériens en couverture totale.

Dans une optique d'optimisation des coûts, l'espacement adopté est le plus large possible qui permette une pulvérisation correcte. Choisir le bon espacement revient à trouver un compromis acceptable entre les impératifs de la lutte antiacridienne (rapidité d'intervention et efficacité maximale) et un ensemble de contraintes, à savoir :

- **la couverture végétale** : l'espacement ne doit pas être trop large lorsque la végétation est haute et dense ;
- **le type de formulation** : les formulations aqueuses ne sont pas adaptées aux traitements en UBV. En effet, avec ces formulations, il faut produire de grosses gouttes pour être sûr d'atteindre la cible avant qu'elles ne s'évaporent. De par leur poids, ces gouttes sédimentent rapidement et sont peu sensibles à la dérive ;



– **le mode d'action de la matière active** : l'espacement doit être d'autant plus étroit que l'effet de choc et la persistance d'activité de l'insecticide sont de courte durée;

– **l'effet combiné de la vitesse du vent et la hauteur d'émission** doit également être pris en compte (tableau 40).

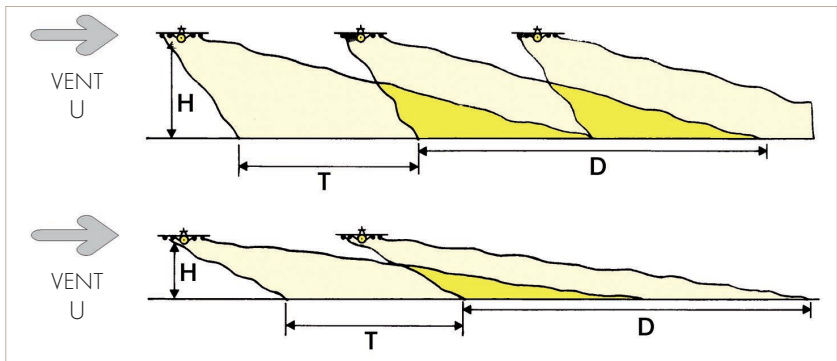
Selon l'insecticide et la nature de la cible, l'espacement est souvent de 100 à 400 m pour les traitements en couverture totale, de 400 à 1 000 m pour les traitements en couverture irrégulière et de 1 000 à 2 000 m pour les traitements en barrières. En général, pour les traitements en couverture totale, l'espacement oscille entre 100 et 150 m.

Pour les traitements en couverture totale, le principe est de veiller à ce que les andains se chevauchent (fig. 96).

La hauteur d'émission

La hauteur d'émission est fixée en fonction des facteurs suivants :

- **La vitesse du vent** (voir § *L'impact des conditions atmosphériques*).



D : dérive des gouttelettes (largeur de l'andain); H : hauteur d'émission; A : espacement.

Figure 96. Ajustement de la hauteur d'émission en fonction de la vitesse du vent (d'après Ciba Agrochemicals, 1969). Le produit $H \times U$ doit rester constant. Si la vitesse du vent double, la hauteur d'émission doit être divisée par deux.

- **Les caractéristiques techniques de l'aéronef** : les appareils conçus pour les épandages phytosanitaires peuvent facilement voler très près du sol mais les avions plus gros porteurs ne peuvent évoluer qu'à des hauteurs relativement élevées, ce qui les rend difficilement utilisables pour les pulvérisations antiacridiennes sous climat chaud.

- **Le DMV des gouttelettes** : des gouttes de taille plus élevée doivent être émises à une plus grande hauteur.

- **La volatilité des gouttelettes** : les gouttelettes des formulations aqueuses ont un indice d'évaporation élevé. Elles ne doivent pas rester en suspension dans l'air trop longtemps et doivent donc être émises juste au-dessus de la végétation.

Certains de ces facteurs sont susceptibles de varier d'un vol à l'autre, voire même au cours d'un même vol. Rappelons la relation entre la hauteur d'émission H, la distance de dérive D, la vitesse du vent U et la vitesse de sédimentation V_s des gouttelettes (voir § *L'impact des conditions atmosphériques*) :

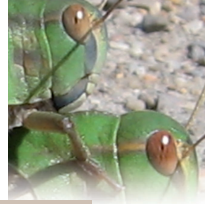
$$D = H \times U / V_s$$



$H \times U$ est le produit qui doit rester constant et qui permet d'estimer la hauteur d'émission. Dans la pratique, on peut considérer que la hauteur d'émission maximale est atteinte lorsque la largeur de l'andain dépasse un peu la valeur prévue. Si l'appareil vole trop bas, la couverture de la pulvérisation se fragmente en bandes. S'il vole trop haut, la dérive devient excessive et des gouttelettes vont se déposer en-dehors de la zone cible. Pour une valeur constante donnée de $H \times U$, il est recommandé d'ajuster l'espacement de sorte qu'il reste dans la plage optimale (tableau 40).

Hauteur d'émission (m)	Vitesse du vent (m/s)	Diamètre des gouttelettes (microns)								Espacement maximal (m)
		40	50	60	70	80	90	100	120	
5	1	106	68	48	35	27	22	18	14	46
	2	213	137	94	70	54	44	38	24	90
	3	319	205	143	106	82	66	54	42	140
	4	426	274	188	140	109	88	72	56	180
	5	532	411	238	177	136	110	90	70	220
	6	638	432	286	212	164	132	108	84	270
10	1	213	137	95	71	54	43	35	28	90
	2	426	274	188	140	109	88	72	56	180
	3	638	411	286	212	164	132	108	84	220
	4	851	548	381	283	218	175	143	112	370
	5	1064	685	476	355	273	219	179	140	400
	6	1277	822	571	425	328	263	216	169	400
15	1	213	137	143	106	82	66	54	42	200
	2	638	411	286	212	164	132	108	84	270
	3	937	616	428	319	246	197	161	126	400
	4	1277	822	571	426	328	263	216	169	400
	5	1595	1027	714	532	410	328	269	211	400
	6	1915	1233	857	638	492	395	324	254	400
20	1	426	274	190	142	109	87	72	56	180
	2	851	584	381	283	219	175	144	113	350
	3	1277	822	571	425	328	263	216	169	400
	4	1702	1096	762	567	437	351	288	225	400
30	1	638	411	286	213	164	132	108	84	220
	2	1277	822	571	426	328	263	216	169	400
	3	1915	1233	857	638	492	395	324	254	400
40	1	851	548	286	213	164	132	108	84	400
	2	1702	1096	571	426	328	263	216	169	400

Tableau 40. Dérive des gouttelettes et espacement maximal en fonction de la hauteur d'émission et de la vitesse du vent dans le cas de traitements antiacridiens aériens en couverture totale.



8. Comment calculer la hauteur d'émission

Déterminer la hauteur d'émission permettant un espacement de 180 m pour un traitement en couverture totale avec une vitesse du vent de 4 m/s :

On peut lire dans le tableau 40 qu'avec un vent de 4 m/s, un espacement de 180 m est possible avec une hauteur d'émission de 5 m.

Déterminer la hauteur d'émission permettant un espacement de 150 m pour un traitement en couverture totale avec une vitesse du vent de 2 m/s.

D'après le tableau 40, un espacement de 150 m est possible avec un vent de 2 m/s si l'avion vole à 10 m de hauteur.

Dans la plupart des cas, en lutte antiacridienne, la hauteur d'émission oscille entre 5 et 20 m au-dessus de la végétation pour une vitesse du vent variant entre 1 et 6 m/s. Les hauteurs les plus élevées sont utilisées pour les espacements les plus larges, tels que ceux recommandés pour les traitements en barrières.

Récapitulation des paramètres du traitement

Le volume appliqué par hectare

Ce paramètre est prédéterminé car il ne dépend que de la dose à appliquer et de la nature de la formulation.

La vitesse de vol

Celle-ci dépend des caractéristiques techniques de l'aéronef. Elle est généralement assez stable sur un avion donné (tableaux 24 et 25).

L'espacement et la hauteur d'émission

Ces deux paramètres sont liés. Consulter le tableau 40 pour leur détermination.

Le débit global

Le débit global doit être ajusté en fonction du volume à appliquer, de la vitesse de vol et de l'espacement. Il peut être calculé à l'aide la formule :

$$Dbt = V \times A \times Q / 600$$

Le débit moyen par tête de pulvérisation

Il est égal au débit global Dbt divisé par le nombre n de têtes de pulvérisation :

$$\text{Débit par tête de pulvérisation} = Dbt / n$$

Les réglages sur Micronair

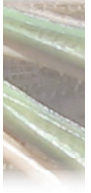
Se reporter au tableau 26 et, selon le modèle, choisir l'orifice de restriction (du variateur de débit de type VRU) et la pression correspondante. Changer de type de plaque à orifices du VRU si nécessaire.

Le calibrage de la taille des gouttelettes

Se reporter au graphique du diamètre des gouttelettes en fonction de la vitesse de rotation (fig. 73) puis à celui concernant l'angle des pales de tête rotative (fig. 72).

Le traitement

Le pilote commence par survoler le site et s'aligne sur les deux fanions positionnés de part et d'autre de la zone cible. Il descend à la hauteur d'émission convenue



pour le premier passage et commence à pulvériser juste au-dessus du premier fanion. Il réalise une série de plusieurs passages en remontant progressivement au vent au-dessus de la zone cible (fig. 97). À la fin de chaque passage, le pilote doit faire demi-tour : arrivé près de la fin du passage, il augmente la puissance, arrête la pulvérisation, remonte vivement au-dessus de 15 m, s'écarte vers l'extérieur d'environ 45° et amène l'avion en face du prochain passage. La puissance nécessaire dépend du chargement et de la hauteur des obstacles, mais il est important de garder une vitesse et une puissance suffisamment élevées pour prévenir les décrochages et les vrilles. Il est parfois possible de traiter « en hippodrome » plutôt qu'en « allers-retours » (fig. 98), ce qui évite d'avoir à faire des virages serrés mais exige plus de porte-fanions, un surcroît de main d'œuvre pas toujours envisageable dans les zones reculées ou désertiques. Cette méthode permet cependant d'obtenir une couverture plus homogène, puisque plusieurs passages successifs se font dans le même sens. S'il y a des obstacles en limite de zone, le pilote ter-

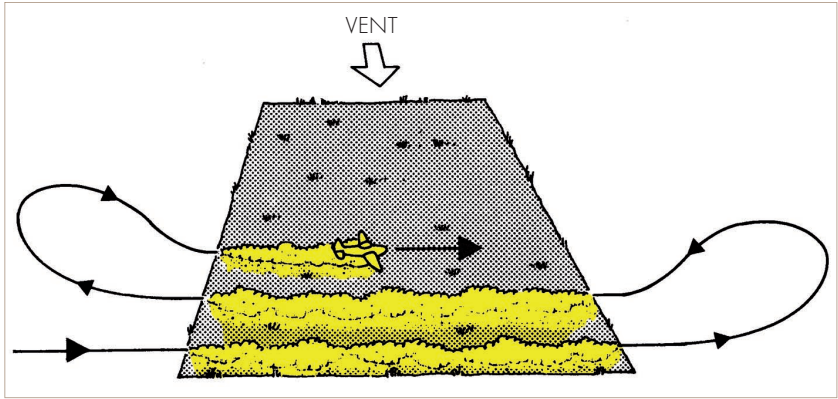


Figure 97. Trajectoire d'épandage en allers-retours (d'après Matthews, 1985).

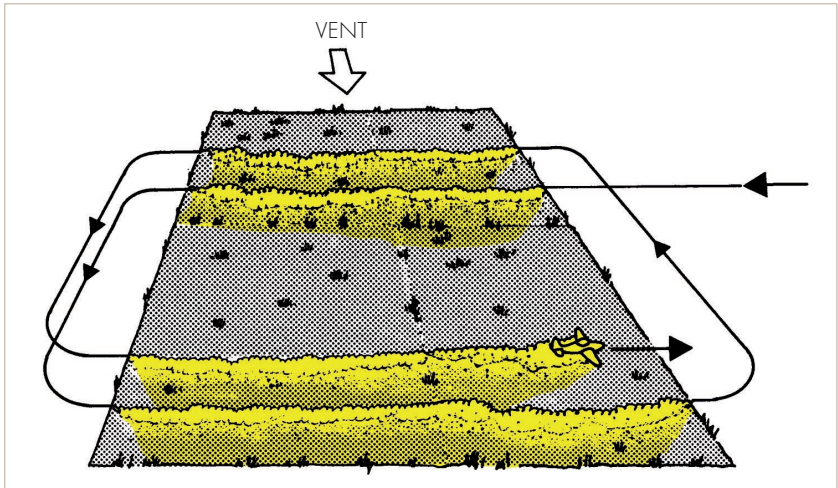


Figure 98. Trajectoire d'épandage en hippodrome (d'après Matthews, 1985).



mine en général le traitement par un ou deux passages le long des bordures pour compléter « proprement » la couverture de la zone cible (Matthews, 1979).

Les contrôles des traitements et l'optimisation des opérations de lutte

L'utilisation la technologie GPS

La constellation des satellites

Le **GPS** (*Global Positioning System*) est un **système de positionnement universel** créé et géré par le ministère de la Défense des États-Unis. Initialement conçu uniquement pour renforcer les capacités de défense militaire de ce pays, le GPS a ensuite été étendu pour fournir des informations très précises en matière de positionnement dans l'espace et dans le temps utilisables dans le cadre de nombreuses applications civiles.

Le GPS est constitué d'une constellation de 24 satellites disposés sur six trajectoires orbitales circulaires qui font deux fois le tour de la terre en une journée selon un angle d'inclinaison d'environ 55 degrés par rapport au plan de l'équateur. Les satellites se déplacent à une vitesse d'environ 12 000 km/h, ce qui leur permet de faire le tour de la terre en approximativement 12 h. Ils sont alimentés par des panneaux solaires. En cas d'interruption du rayonnement solaire (éclipse, par exemple), ils disposent de batteries de secours pour pouvoir continuer à fonctionner. Ils sont également équipés d'un petit propulseur qui leur permet de se maintenir sur la bonne trajectoire.

Cette **constellation de satellites** transmet en permanence des informations de position spatio-temporelle codées en hautes fréquences. Une des fréquences est attribuée aux usagers civils du système. Les signaux sont à portée optique, ce qui signifie qu'ils peuvent traverser les nuages, le verre et le plastique mais pas la plupart des objets massifs tels que les bâtiments et les montagnes. Les récepteurs GPS dont les antennes sont placées de manière à avoir une bonne visibilité sur les satellites reçoivent ces signaux et utilisent l'information codée pour calculer une position dans le système de coordonnées terrestre.

Lorsqu'il a été introduit en 1993, le GPS ouvert aux usagers civils incorporait une dégradation volontaire de sa précision par une méthode appelée « accessibilité sélective » mais permettait tout de même une précision de 100 m pour les positions horizontales. Le 1^{er} mai 2000, le ministère de la Défense des États-Unis a levé l'accessibilité sélective et a ainsi rendu possible un degré de précision encore bien supérieur. Les nouvelles normes de précision horizontale dérivent des marges d'erreur des signaux dans l'espace et estiment à moins de 13 mètres l'erreur moyenne globale.

Le système GPS en mode différentiel (DGPS : *Differential Global Positioning System*) permet d'éliminer cette erreur due aux satellites ainsi que d'autres causées par les délais ionosphériques ou encore par les chemins multiples que décrivent les signaux des satellites qui se réfléchissent sur divers obstacles avant de parvenir au récepteur. Les données de DGPS peuvent être précises au mètre près.



Les systèmes de navigation par GPS deviennent aujourd'hui incontournables en lutte antiacridienne. Ils permettent à l'équipe opérationnelle de délimiter les zones cibles en important les informations positionnelles du système d'informations géographiques (SIG) dans le système de l'aéronef. Le pilote peut alors naviguer directement de l'aérodrome jusqu'au site du traitement et revenir. Il dispose des informations nécessaires pour s'aligner sur chaque passage en travers de la zone cible tout en enregistrant sa propre trajectoire sur la cible. Ces informations peuvent être visualisées en temps réel sur un écran dans le cockpit pour permettre d'éventuelles corrections immédiates et peuvent être enregistrées sur un ordinateur. Les informations numériques concernant le traitement effectué peuvent être archivées et importées ultérieurement dans un SIG pour leur analyse à l'aide de modèles de dépôt des gouttelettes. Des récepteurs portables sont utilisés avec succès pour les traitements terrestres.

Le récepteur GPS

Les récepteurs ont entre cinq et douze canaux qui peuvent être dédiés aux signaux d'un satellite chacun, permettant ainsi de suivre de nombreux satellites simultanément. Les récepteurs des canaux parallèles acquièrent rapidement les satellites lors de la mise en route « à froid » de l'appareil et sont remarquables pour leur capacité à continuer à recevoir les signaux même dans des conditions difficiles. Les récepteurs ont été miniaturisés jusqu'à ne comporter que quelques circuits intégrés et leur prix est désormais tout à fait modique, ce qui rend cette technologie accessible à tous et de plus en plus répandue.

Le GPS est encore le seul système de ce type ouvert à l'usage civil mais plus pour très longtemps. D'ici quelques années, le système européen **Galileo** sera mis en place et concurrencera le GPS des États-Unis tout en le complétant au sein du **système mondial de satellites de navigation (GNSS : Global Navigation Satellite System)**. Avec Galileo, la présence de deux (voire plus) constellations de satellites permettra de plus que doubler le nombre de satellites disponibles et d'obtenir une qualité de service encore meilleure, ce qui accroîtra encore le nombre des applications et des usagers potentiels.

La coexistence de deux systèmes indépendants bénéficiera à tous les usagers dans la mesure où ils pourront utiliser le même récepteur pour recevoir les signaux des deux systèmes, GPS et Galileo. Le système global GNSS autorisera la mise au point d'algorithmes permettant une précision qui sera le plus souvent **au centimètre près**.

Le choix d'un récepteur

Le prix est bien entendu un critère qui a son importance. Cependant, les récepteurs trop bas de gamme sont à rejeter car trop limités dans leurs capacités. Il arrive par ailleurs que des accessoires pourtant indispensables s'avèrent très coûteux. La possibilité d'une connexion à un ordinateur et d'une antenne extérieure sont à examiner sérieusement. De même, la taille de l'écran, la simplicité d'utilisation et la possibilité d'un branchement sur la batterie du véhicule sont des avantages à ne pas sous-estimer. Les modèles récents tout en intégrant ces avantages, fonctionnent avec seulement deux piles et peuvent fonctionner une vingtaine d'heures sans interruption.



Les apports de la technologie GPS

La technologie GPS a permis un gain d'efficacité considérable dans les opérations antiacridiennes et devrait être adoptée partout où cela est possible, pour les traitements aériens autant que terrestres. Elle apporte en particulier une grande précision pour la délimitation des zones cibles et pour la navigation sur les passages.

La délimitation des zones cibles

Le GPS permet un gain de temps significatif en réduisant la durée de la phase pré-traitement sur le site prospecté. Il donne par ailleurs la possibilité de travailler à une précision souvent inférieure à dix mètres, ce qui est suffisant pour une bonne délimitation des zones cibles. Cet aspect est particulièrement intéressant lorsque le secteur infesté englobe des zones à exclure du traitement, telles que des villages ou des points d'eau. Un tel niveau de précision présente des avantages considérables, à la fois en termes d'économie de produit et sur le plan de la préservation de l'environnement.

Une installation GPS classique embarquée dans un aéronef d'épandage comporte un dispositif de visualisation cartographique mobile, un clavier inséré dans le tableau de bord et un indicateur de position lumineux installé tout en haut du tableau de bord ou à l'extérieur de la cabine, sur le nez de l'appareil. L'indicateur de position lumineux doit se trouver dans l'axe de vision du pilote lorsqu'il regarde devant lui : la série de points lumineux qu'il comporte aide le pilote à bien aligner son appareil sur l'axe de passage. Avec certains modèles, cet indicateur donne d'autres informations, comme par exemple, le système de pulvérisation s'il est en marche ou à l'arrêt. Avant de programmer le traitement, le coordinateur de l'opération et le pilote doivent entrer les coordonnées des points correspondant aux limites de la zone à traiter. Ces coordonnées peuvent être relevées sur le terrain par une équipe au sol utilisant des récepteurs GPS de poche. Lorsque ces coordonnées sont transférées sur le récepteur GPS de l'aéronef, elles apparaissent à l'écran sous forme d'un polygone représentant la zone cible à traiter. Le coordinateur doit alors faire de même pour les éventuels secteurs à exclure de la pulvérisation tels que points d'eau, habitations, etc.

Le récepteur GPS de l'aéronef donne au pilote le cap à suivre pour se rendre sur la zone cible représentée par le polygone. Une fois sur place, le pilote peut, sur certains modèles, laisser le système de navigation choisir l'axe de passage ou le côté du polygone le mieux indiqué compte-tenu de la direction du vent.

Lorsque la cuve est vide, l'unité GPS enregistre les coordonnées de l'endroit où la pulvérisation s'est interrompue et guide le pilote pour revenir à l'aérodrome où l'aéronef a reçu son chargement. L'avitaillement effectué, le récepteur GPS dirige le pilote à nouveau vers sa zone d'épandage et vers l'endroit précis où la pulvérisation s'était interrompue, pour reprendre le passage et continuer sans laisser de lacune dans la couverture.

La capacité du récepteur GPS embarqué à aligner correctement chaque passage permet une application plus uniforme du produit sur l'ensemble de la zone cible désignée. Le dispositif mémorise la trajectoire de l'avion, les erreurs latérales de route, l'activité du système de pulvérisation et le débit exact de produit. Les informations concernant le débit peuvent être importées d'un système compatible de contrôle du débit.



Il est préférable que l'unité GPS comprenne un écran permettant de visualiser une carte mobile indiquant le contour de la zone cible et la trajectoire de l'appareil qui la survole. Ces informations permettent au pilote de rectifier immédiatement toute déviation. À la fin du dernier passage, le pilote peut gagner de l'altitude pour se mettre en sûreté et examiner soigneusement l'écran pour rechercher d'éventuelles lacunes entre les passages ou d'éventuels secteurs oubliés, qui seraient à traiter avant de quitter la zone.

Après l'atterrissage, le pilote transfère les données, enregistrées dans l'unité GPS de son appareil, sur un support de mémoire quelconque, par lequel elles pourront être introduites dans un ordinateur. La trajectoire de l'aéronef au-dessus de la zone cible peut ensuite être étudiée par l'équipe au sol pour qu'elle détermine si la couverture a été satisfaisante. Le coordinateur peut alors éventuellement demander un traitement complémentaire, qui pourra être exécuté sur-le-champ, pendant que l'appareil est encore disponible.

La navigation de précision sur les passages

Le système de navigation qu'offre la technologie GPS est un atout formidable pour améliorer la précision de l'espacement sans le secours de repères dans le paysage. Il est possible de se déplacer par voie terrestre ou aérienne sans dévier de

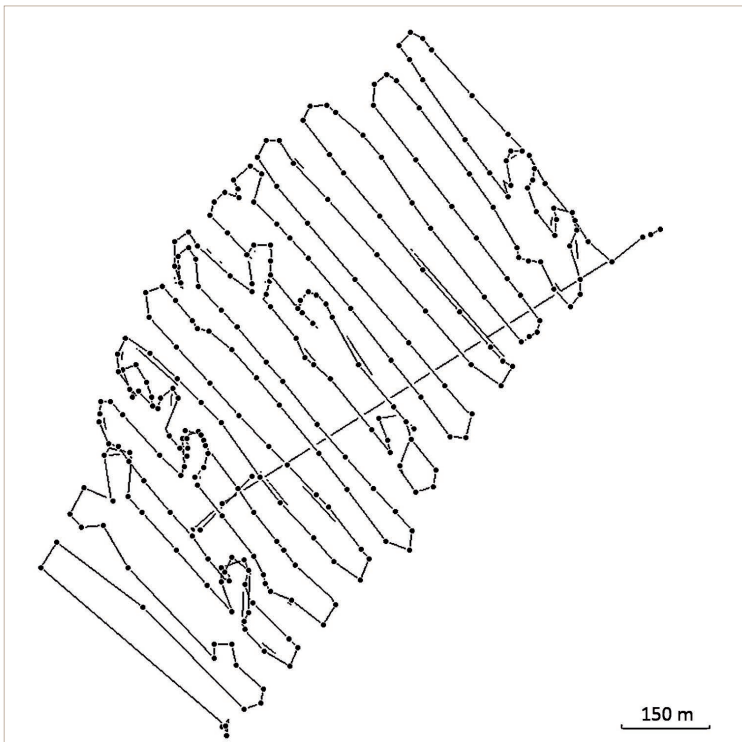


Figure 99. Relevé par GPS d'un traitement aux pyréthrinoides. Les irrégularités du tracé sont dues à des dunes se trouvant dans l'axe des passages, pendant le contournement desquelles la pulvérisation a été interrompue.

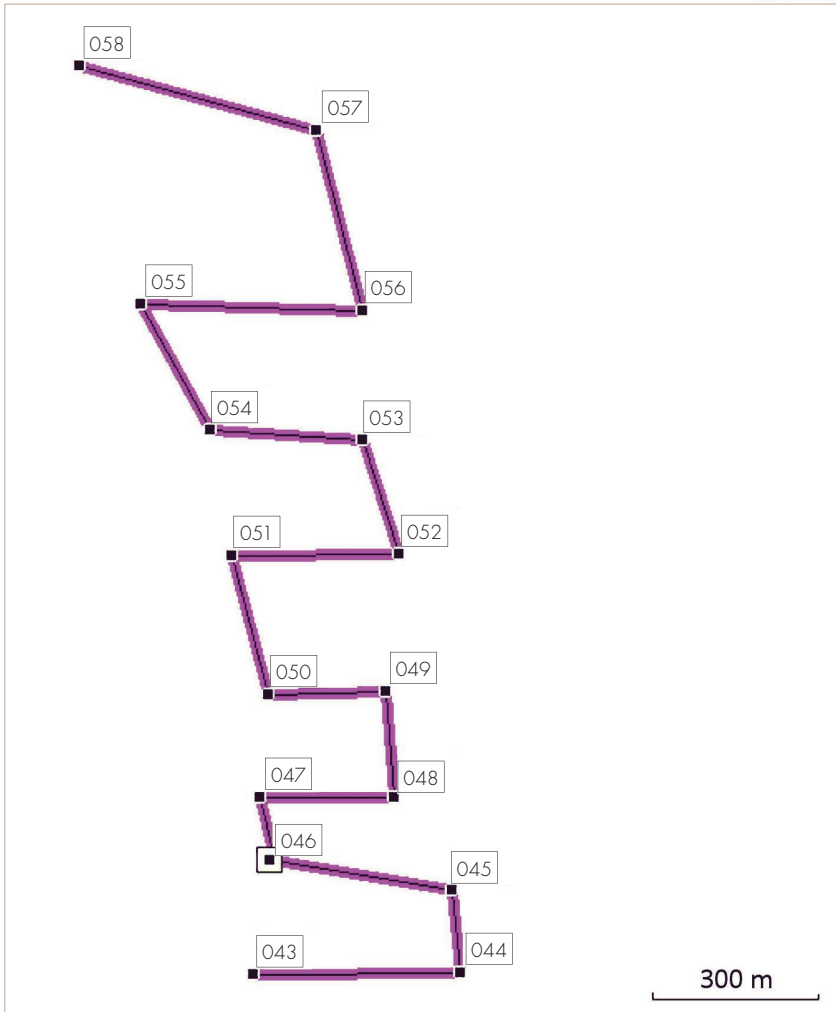


Figure 100. Relevé par GPS de la trajectoire suivie par un véhicule effectuant une démonstration de traitement en barrières dans la région de Guzor, en Ouzbékistan, dans un paysage ondulé avec de fortes pentes.

manière significative de la trajectoire convenue et ce, sans recourir à une quelconque signalisation au sol, devenue superflue.

Le récepteur GPS mobile peut servir à guider avec précision le véhicule lors des traitements par voie terrestre (fig. 99 et 100). Il devient ainsi possible de traiter en suivant les différents passages parallèles visualisés sur l'écran du récepteur GPS et de contourner les obstacles tels que dunes, buissons, monticules ou collines pour retrouver ensuite le tracé exact du passage prévu. Lorsque par ailleurs l'indicateur de vitesse du véhicule fonctionne de manière fiable à 0,1 km/h près, il devient inutile d'employer des porte-fanions.



Les GPS qui enregistrent la trajectoire suivie par le véhicule permettent de calculer très exactement la superficie de la zone traitée et la dose de matière active qui a été appliquée par hectare.

L'intérêt du récepteur GPS est encore plus grand lorsqu'il est couplé à un système de contrôle de la pulvérisation qui tient compte de la vitesse d'avancement du véhicule (radar).

Les inspections post-traitement

L'objectif des opérations antiacridiennes est de lutter contre les infestations acridiennes en en réduisant les effectifs. La poursuite de cet objectif (un niveau satisfaisant de mortalité des acridiens) peut accrocher sur de nombreux facteurs non maîtrisables : incidents techniques, erreurs de calibrage, problèmes logistiques, etc. Il ne suffit pas d'être certain de ne pas s'être trompé dans les calibrages et que le produit utilisé soit adapté et appliqué à la bonne dose. **L'effet biologique réel constaté sur le terrain est le seul à même de montrer la réussite ou l'échec d'un traitement.**

Les contrôles destinés à vérifier l'efficacité du traitement sont essentiels pour des raisons économiques et environnementales. Tout traitement qui n'a pas atteint sa cible est synonyme de pollution d'une part, et d'obligation de recommencer le traitement, parfois sur de grandes surfaces, d'autre part. En outre, le risque de perdre le contrôle de la situation s'en trouve accru. Il est absurde de traiter des dizaines de milliers d'hectares pour s'apercevoir, en fin de campagne, que le produit utilisé n'était pas efficace ou que la dose était inadaptée. Les erreurs peuvent être admises dans ce type de situation complexe mais il n'est pas acceptable de négliger de se donner les moyens de les détecter et de les corriger avant que leurs conséquences ne deviennent irrémédiables.

Il est donc extrêmement important de prévoir des contrôles de l'efficacité des traitements dans le cadre des stratégies de lutte antiacridienne et de donner aux équipes d'intervention les moyens d'évaluer la qualité de la pulvérisation.

Pendant les interventions de grande envergure, il n'est pas nécessaire de mener des contrôles détaillés après chaque pulvérisation. Toutefois, pour être à même de détecter un éventuel problème d'efficacité dès le début, il faut appliquer des mesures préventives et conduire périodiquement des inspections post-traitement en cours de campagne.

Les mesures préventives

La première mesure de prévention des problèmes d'efficacité est de s'acquitter méticuleusement des calibrages de base. La qualité de la pulvérisation doit ensuite être évaluée en vérifiant visuellement la densité et la taille des gouttelettes ainsi que la largeur de l'andain et ce, avant le début du traitement proprement dit.

Les inspections post-traitement

Le mieux est de contrôler systématiquement l'efficacité de chaque traitement. Pendant les opérations aériennes de petite envergure, les inspections peuvent être réalisées par les équipes au sol. Mais dès lors que l'ampleur des opérations devient plus importante, ces inspections, tout comme le balisage, devront être confiées à des équipes mobiles hélicoptées.



Les inspections de routine

La mise en place d'inspections de routine permet aux équipes antiacridiennes de détecter les dysfonctionnements dès leur apparition. Dès que le traitement semble manquer d'efficacité, des échantillons peuvent être prélevés pour évaluer la qualité de la pulvérisation, avant de commencer à soupçonner la formulation utilisée. Les causes d'inefficacité peuvent comprendre :

- le calibrage défectueux d'un ou plusieurs des paramètres fondamentaux. La vérification des paramètres de base permet alors d'identifier la source du problème;
- des conditions atmosphériques défavorables; en ce cas, les traitements doivent être repoussés jusqu'à ce que la situation s'améliore;
- si rien d'anormal n'a été relevé en ce qui concerne la précision des calibrages, les conditions atmosphériques et la qualité de la pulvérisation (les gouttelettes ayant effectivement atteint leur cible), après seulement on peut commencer à mettre en doute l'efficacité de la formulation elle-même. Dans ce cas, il faut immédiatement arrêter les traitements et avertir la hiérarchie, avant de reprendre éventuellement les opérations avec une autre formulation recommandée.

L'optimisation des opérations terrestres

La lutte antiacridienne consiste à mener à bien diverses tâches interdépendantes qui vont du signalement des infestations aux inspections post-traitement. Tout facteur interrompant le cours prévu d'une de ces tâches pourrait avoir un effet néfaste sur le résultat final escompté, c'est-à-dire sur la neutralisation des pullulations acridiennes. Comme les opérations aériennes dépendent du soutien terrestre, il est très important d'optimiser l'ensemble des facteurs à chacun des niveaux de la chaîne. L'exploitation optimale des moyens terrestres dépend des facteurs humains et matériels.

Le matériel d'intervention

La réalité du terrain

Dans les infestations de locustes et de sauteriaux, notamment pendant la saison des pluies, les déplacements au sol sont très difficiles et les véhicules souvent traités sans ménagement. Les pannes sont fréquentes, parfois irréparables. La fréquence des pannes dépend de la solidité du matériel et de l'entretien mais la durée de l'immobilisation du véhicule est fonction de la disponibilité des pièces de rechange, du savoir-faire de l'équipe et de l'importance des dégâts.

Le fonctionnement du matériel terrestre dépend par-dessus tout de l'état des véhicules, de leurs limites et de leurs points faibles. Ainsi la vitesse d'avancement varie-t-elle de 2 à 15 km/h (au maximum) et la hauteur d'émission de deux à dix mètres. En outre, l'équipement technique des véhicules compte pour beaucoup dans la précision de la pulvérisation et sa remise à niveau a des répercussions positives immédiates : travailler avec un véhicule doté d'un tachymètre, d'un accélérateur manuel et d'un GPS, par exemple, permet d'être beaucoup plus rigoureux. Malheureusement, à ce jour, la quasi-totalité des véhicules employés en lutte antiacridienne sont dépourvus de certains de ces précieux équipements. Beaucoup de marques et de modèles de véhicules tout-terrain ont été utilisés ces dernières années pour porter des pulvérisateurs, en particulier les versions essence ou diesel de Land Rover, Toyota Land Cruiser, Mitsubishi Pajero, Mercedes et autres types de camions.



La grande diversité des marques et des modèles utilisés entraîne inévitablement un accroissement des pannes et un élargissement de la gamme des performances sur le plan à la fois qualitatif et quantitatif. Une position donnée des leviers de vitesses et de réduction ne correspond pas à la même vitesse d'avancement sur tous les véhicules. Or, de nombreux opérateurs, pensant à tort travailler à paramètres constants, gardent la même position des leviers lorsqu'ils passent d'un véhicule à un autre.

Les possibilités d'amélioration

Il est possible de pallier quelque peu les inconvénients mentionnés ci-dessus en consacrant plus d'attention au volet technique lors de l'acquisition de nouveau matériel.

- **Le choix des véhicules et du matériel de pulvérisation** : les véhicules destinés au convoyage et aux traitements doivent être choisis en fonction de critères techniques parmi des modèles et des types qui ont déjà fait leurs preuves dans les conditions qui sont celles de la lutte antiacridienne.
- **L'uniformisation des véhicules et du matériel de pulvérisation** : la diversité des marques et des modèles utilisés multiplie les quantités de pièces détachées qui doivent être gardées en réserve, ce qui coûte cher et complique la gestion du matériel.
- **Les équipements et accessoires permettant d'améliorer l'efficacité du traitement** : il est vivement conseillé de choisir (ou de faire équiper) les véhicules porteurs avec un minimum d'accessoires qui s'avèrent particulièrement utiles, notamment un accélérateur manuel à crans, un compteur hectométrique et un gyrocompas (boussole gyroscopique). Ces accessoires sont d'importants facteurs d'optimisation. Les surcroûts de précision, d'uniformité et de rapidité ainsi obtenus permettent des économies de produit et de temps qui compensent très largement le coût de l'achat et de l'installation.

Les nouvelles technologies ont permis la mise au point d'outils modernes plus ou moins sophistiqués, tels que les récepteurs GPS et les systèmes de contrôle de la pulvérisation.

Les moyens de communication

Grâce aux nouvelles technologies, des améliorations significatives ont été réalisées dans le domaine des communications téléphoniques : on peut maintenant communiquer avec des téléphones cellulaires dans de nombreuses zones mais pas partout. Le téléphone par satellite est encore cher pour être utilisé pour les transmissions de données quotidiennes. Le radiotéléphone demeure de ce fait le moyen de communication le plus répandu entre les équipes sur le terrain et les différents niveaux de coordination, locaux ou régionaux.

Pour une utilisation optimale du radiotéléphone, il est conseillé de :

- fournir un radiotéléphone à **chaque équipe** ;
- prévoir pour chaque station radiotéléphonique un **créneau horaire quotidien pour la transmission des données** ;
- utiliser des messages clairs et concis en suivant une procédure standardisée. Les messages des différentes équipes doivent être tous consignés dans un même registre, faciles à consulter et à tenir à jour ;
- **la station radiotéléphonique du site de coordination doit toujours être allumée et branchée sur la bonne fréquence.**



Le facteur humain

Étant donné que les sites des opérations antiacridiennes sont souvent très isolés et que les conditions climatiques y sont souvent fatigantes, une attention particulière doit être accordée à l'organisation matérielle des opérations et à la compétence du personnel.

Les problèmes matériels

Le moral de l'équipe ne doit pas être entamé par une mauvaise préparation de la mission. Les véhicules et le matériel de pulvérisation doivent être vérifiés avant le départ pour les sites opérationnels. Il est capital de fournir aux équipes les outils et les pièces de rechange dont elles pourraient avoir besoin. Le matériel propre au camp lui-même – notamment les tentes et le couchage – doit être choisi avec soin pour que chacun puisse se reposer dans des conditions acceptables.

Le niveau de formation du personnel

Chaque membre du personnel, quel que soit son rang ou son rôle, doit être en mesure de mener à bien sa tâche. Chacun doit donc avoir été formé au travail qui lui est demandé.

Le coordinateur

Le coordinateur doit être au fait des aspects bioécologiques des acridiens. Il doit maîtriser l'utilisation des radiotéléphones, la navigation en zone désertique (avec et sans récepteur GPS), les pratiques d'applications antiacridiennes et les inspections post-traitement. Il doit par ailleurs avoir reçu une formation sur les risques des traitements chimiques pour les êtres humains et pour l'environnement.

Les chauffeurs

Les chauffeurs doivent avoir les connaissances de base en mécanique nécessaires pour bien comprendre le fonctionnement des véhicules. Ils doivent être capables de réparer sur place les pannes les plus courantes. Aucun chauffeur ne doit être envoyé en mission de reconnaissance ou de traitement sans avoir été formé comme il se doit à la conduite tout-terrain sur boue et sur sable.

Les opérateurs de base

Chaque opérateur doit avoir été formé de manière à pouvoir mener à bien les tâches qui lui sont assignées, y compris celles qui peuvent paraître très simples. Il est particulièrement important de veiller à ce que le personnel manipulant les produits chimiques respecte les mesures de sécurité prévues.

L'optimisation des interventions aériennes

L'utilisation optimale de la flotte aérienne dépend de deux facteurs principaux, le premier de nature stratégique et le second plus organisationnel : les infrastructures et la logistique.

Les infrastructures

Tous les pays susceptibles d'être gravement affectés par les acridiens (locustes ou sauteriaux) devraient faire ouvrir un certain nombre de pistes d'atterrissage, au sein d'un réseau éventuellement intégré à une stratégie de lutte antiacridienne (Duranton *et al.*, 1989). Ce réseau doit comporter une base aérienne principale, quelques aérodromes secondaires (bases secondaires) et plusieurs pistes d'atterrissage d'appoint (bases temporaires). Ces infrastructures peuvent également faire partie d'un dispositif global de prévention (fig. 101).

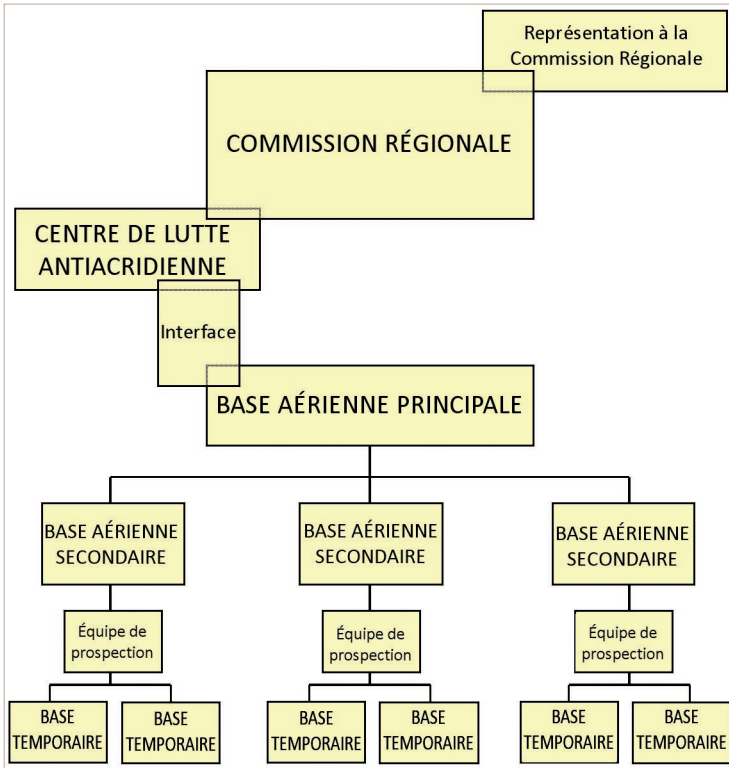


Figure 101. Organigramme du dispositif de lutte préventive contre le Criquet pèlerin (d'après Duranton *et al.*, 1989).

La base aérienne principale

Il s'agit dans la plupart des cas d'un aéroport accueillant par ailleurs une activité aérienne civile régulière. On y trouve une réserve permanente de carburant, de lubrifiants et d'insecticides, ainsi que les pièces de rechange nécessaires à l'entretien réglementaire et habituel des aéronefs.

Les bases aériennes secondaires

Les bases secondaires sont en contact avec la base aérienne principale. Leur piste d'atterrissage doit pouvoir être utilisée en toute saison et doit donc être entretenue régulièrement et maintenue en état de fonctionnement. Pour parer aux interventions d'urgence sur des foyers acridiens, les bases aériennes secondaires doivent maintenir des réserves supplémentaires de carburant et de lubrifiants, ainsi que tout le nécessaire et la logistique pour l'entretien des aéronefs. Elles abritent par ailleurs les bureaux des équipes de lutte préventive, qui constituent la clé de voûte de la stratégie de lutte antiacridienne, en particulier dans le cas du Criquet pèlerin.

Les bases temporaires

Les bases temporaires sont généralement installées à proximité des villages accueillant les équipes de prospection des dispositifs de lutte préventive. La piste



d'atterrissage est le plus souvent réduite à une simple bande de terre nue. Les bases temporaires sont utilisées de manière périodique, pendant les périodes d'infestation ou d'invasion généralisée, lorsque les activités de prospection et de lutte sont très soutenues. Dans les régions où les pistes cessent d'être carrossables en saison des pluies, une réserve stratégique de carburant et de lubrifiants doit y être entreposée.

Le soutien au sol

Les opérations aériennes ne peuvent réussir sans un soutien au sol performant. Il est donc capital, avant de commencer une opération, de s'assurer que tous les aspects du soutien au sol ont été étudiés en détail. Il s'agit là d'une condition clé du succès des interventions aériennes.

Le soutien au sol est fondamental car il détermine le succès ou l'échec des opérations antiacridiennes. Toute erreur de signalisation ou de localisation d'une infestation ou tout défaut dans la gestion de l'approvisionnement se traduit par des contretemps à même d'entraîner la suspension des opérations. Si le coût des épandages aériens peut être supportable lorsque le travail est bien organisé, il devient rapidement prohibitif lorsque les appareils sont obligés d'effectuer de longs vols de convoyage ou s'ils sont trop souvent cloués au sol par d'anticipation. Si la logistique n'est pas à la hauteur, les moyens aériens sont même susceptibles de compromettre l'efficacité de la campagne antiacridienne dans son ensemble.

Le coordinateur de l'équipe au sol est celui qui définit les paramètres de la pulvérisation, c'est-à-dire le volume à appliquer, la taille des gouttelettes, l'espacement et la zone à traiter. Le pilote est quant à lui responsable de la sécurité du vol et de la qualité de la pulvérisation (Muller, 1985).

Le plan de traitement et le calibrage du système de pulvérisation sont organisés par le pilote, en collaboration avec l'équipe au sol.

Il est essentiel qu'une bonne entente règne entre le pilote et son équipe de soutien au sol. Les pilotes doivent être conscients des contraintes qui pèsent sur elle et inversement. L'équipe au sol doit veiller au bon fonctionnement des aéronefs. C'est la condition sine qua non du succès des opérations aériennes.

La localisation des zones cibles

Avant de décoller, le pilote doit savoir exactement où se trouve la zone à traiter. Il ne doit pas perdre de temps à rechercher la zone cible. Une description imprécise du site entraîne souvent la pulvérisation de secteurs non visés, ce qui peut heureusement être évité aujourd'hui grâce au GPS. Les pilotes et le personnel au sol doivent disposer des mêmes cartes, à une échelle adaptée à la topographie locale (au 200 000^e ou éventuellement au 500 000^e).

Il est parfois utile de s'appuyer sur des particularités du terrain pour délimiter les zones à traiter. Il arrive également que les bandes larvaires de Criquets pèlerins, jaune vif, soient visibles contre le vert de la végétation, mais à la fin de la saison des pluies leur coloration tend à se confondre avec les parties sèches des plantes déjà attaquées (Monard-Jahiel, 1989).

Le balisage des zones cibles

Les pilotes peuvent souvent reconnaître les caractéristiques du terrain qui figurent sur leur carte. Cependant, en zone sahélienne, parce que peu de cartes récentes



sont disponibles de ces régions, il est conseillé de ne pas se fier uniquement à la position des villages indiqués sur les cartes. En effet, beaucoup de villages ont disparu ou ont été déplacés, tandis que d'autres sont apparus depuis la date de remise à jour de la carte. Dans tous les cas, les récepteurs GPS sont désormais les outils les plus fiables pour la localisation précise des zones et, **avec le système GPS de guidage sur la trajectoire, il n'est plus nécessaire de baliser le terrain.**

En l'absence de GPS, plusieurs méthodes de balisage peuvent être utilisées en fonction des circonstances. Les plus courantes sont les suivantes :

L'utilisation de la topographie

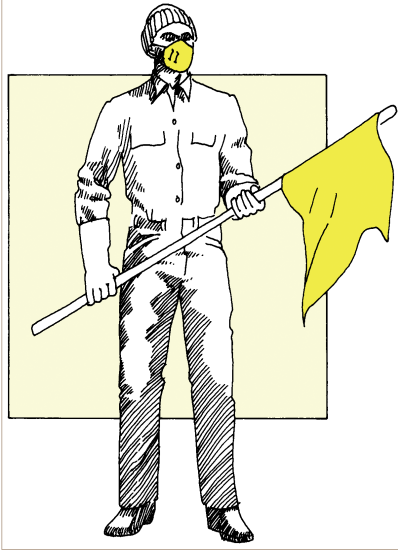


Figure 102. Porte-fanion avec ses vêtements de protection (d'après Ciba-Geigy).

Cette méthode est envisageable lorsque la zone cible est suffisamment grande et bien délimitée par des obstacles clairement visibles tels que des éléments du relief, des pistes, des canaux ou des rivières à partir desquels le pilote peut se repérer.

L'utilisation de fanions

Cette méthode est plus précise, lorsque du personnel porte-fanion est disponible, en particulier pour le traitement de grandes superficies. Les fanions, d'environ un mètre de longueur, sont de couleur blanche, jaune ou orange. Les porte-fanions (fig. 102) se déplacent rapidement d'un axe de passage au suivant au fur et à mesure de la progression du traitement aérien. Ils doivent partir contre le vent dès qu'ils voient l'aéronef se déplacer en leur direction, avant

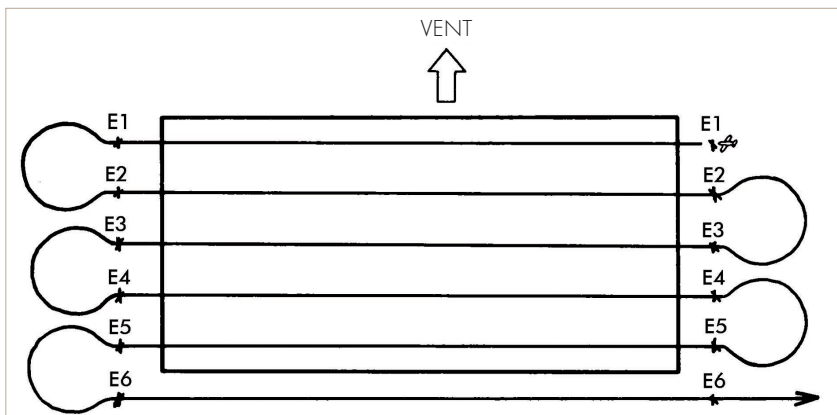


Figure 103. Positions successives (E1 à E6) des porte-fanions situés de part et d'autre de la zone cible (d'après Lancon *et al.*, 1986).



qu'il ne les survole et s'arrêtent après avoir parcouru la distance correspondant à l'espacement convenu, près d'un jalon planté à l'avance à cet effet (fig. 103).

L'utilisation de fumée

Lorsque l'on peut se procurer des pneus usagés, il est possible de créer une source de fumée pour que le pilote puisse facilement repérer la zone cible. Cette méthode n'est toutefois pas adaptée pour le guidage de l'aéronef le long de la série de passages.

L'approvisionnement

L'approvisionnement des opérations antiacridiennes tient souvent de la gageure du fait qu'elles se tiennent presque toujours dans des lieux isolés, éloignés des centres urbains. Il reste que ces difficultés ne doivent jamais servir de prétexte à l'interruption d'un traitement. Tomber en panne de carburant, de lubrifiants ou de produit peut avoir des conséquences graves sur la suite de la campagne antiacridienne.

Dans les régions exposées aux infestations, il est conseillé de faire venir des réserves stratégiques de carburant et d'insecticides long-temps avant que le besoin ne s'en fasse brutalement ressentir.

Pendant les campagnes antiacridiennes, chaque unité doit disposer de moyens de communication et de transport suffisants pour s'assurer une autonomie de mouvement aussi étendue que la zone affectée, notamment lorsque la source d'approvisionnement est éloignée et/ou lorsque les pistes sont de mauvaise qualité.

Le suivi et l'entretien journalier des aéronefs

Ces tâches comprennent le ravitaillement en carburant, le remplissage de la cuve à produit et l'entretien quotidien habituel des aéronefs. Elles exigent d'avoir une conscience aiguë des risques et de la sécurité alliée à une certaine rapidité d'exécution, le tout dans le strict respect des procédures convenues d'avitaillement en carburant et de chargement en produit. Elles doivent de ce fait être confiées à des personnes compétentes et rigoureuses.

Les besoins en matière de ravitaillement en carburant

- Les fûts de carburant pour avion doivent être d'origine. Tout fût non scellé doit être refusé.
- Vérifier l'absence de signes d'humidité dès l'ouverture des fûts.
- Le ravitaillement doit être effectué après chaque atterrissage, même le soir, avec le matériel approprié : peau de chamois et grand entonnoir avec robinet et filtre à tamis fin.

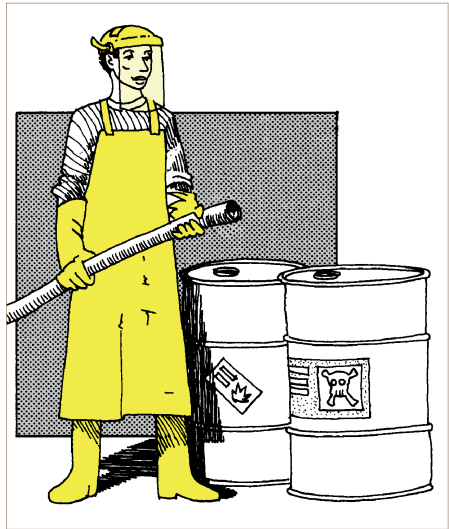


Figure 104. Opérateur préposé à la manipulation des insecticides, revêtu de ses vêtements de protection (d'après Ciba-Geigy).



Les besoins en matière de chargement des insecticides

- Les opérateurs et notamment les personnes chargées de la manipulation des pesticides, doivent porter des vêtements de protection adaptés, légers et efficaces (fig. 104).
- Le remplissage des cuves de pesticide doit se faire à un débit de 400 l/min, juste avant le décollage. Cette tâche doit être réalisée **rapidement mais sans précipitation**.
- Les formulations doivent être filtrées. Utiliser à cette fin un récipient de décantation et un filtre à tamis fin fixé à l'extrémité du flexible d'avitaillement.

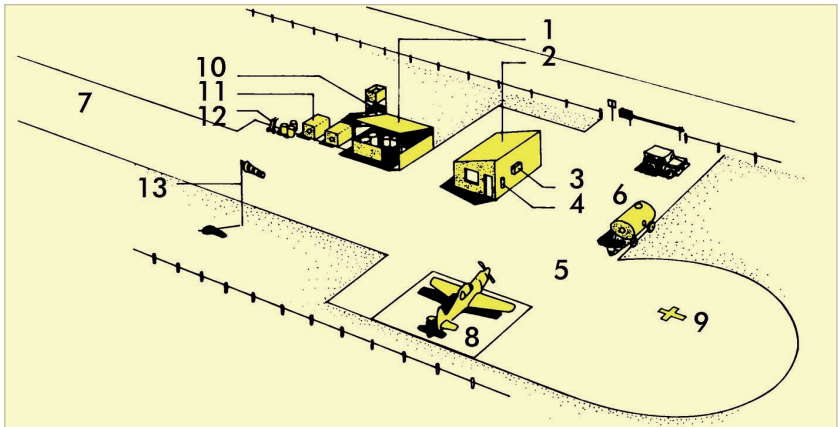
L'organisation et la gestion d'une base aérienne antiacridienne temporaire

Le site du stand de ravitaillement en carburant doit être consciencieusement dés-herbé pour prévenir tout risque d'incendie. Les fûts doivent être rangés à une dizaine de mètres de la bande d'atterrissage. Un extincteur à mousse de grande capacité doit être maintenu en parfait état de marche et fixé sur un chariot près de la fosse d'avitaillement, avec une pelle et une pioche. Un manche à air installé au même endroit permet aux pilotes de pouvoir à tout moment connaître la force et la direction du vent avant le décollage et l'atterrissage (Castel, 1982).

La localisation du stand de ravitaillement

Un poste de chargement est prévu à chaque extrémité de la bande d'atterrissage (fig. 105), ce qui permet aux aéronefs de décoller contre le vent quelle que soit sa direction (les aéronefs ne doivent pas tourner en pleine charge).

Lorsque la piste fait moins de 500 m de longueur, un seul stand de ravitaillement est installé, à l'extrémité située sous le vent dominant, de manière à ce que l'aéro-



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 : hangar pour carburants et lubrifiants | 8 : espace cimenté pour les services |
| 2 : réserves d'insecticides | 9 : espace de manœuvre au sol |
| 3 : armoire à pharmacie | 10 : douche |
| 4 : extincteur | 11 : réservoirs et pompes à carburant |
| 5 : espace dégagé pour le chargement | 12 : extincteur mobile |
| 6 : réservoir d'eau | 13 : manche à air |
| 7 : piste de décollage et d'atterrissage | |

Figure 105. Disposition des divers postes de travail sur une base aérienne antiacridienne temporaire (d'après Shell, 1983).



nef puisse décoller contre le vent, immédiatement après son chargement. Dans la région sahélienne, comme les vents dominants sont des vents d'ouest à sud-ouest pendant la saison des pluies, le stand sera localisé à l'extrémité est de la piste.

La pompe de ravitaillement en carburant et la pompe à produit

Il convient de bien distinguer la pompe d'avitaillement en carburant et la pompe servant à remplir la cuve de produit. Même lorsqu'il n'y a qu'un seul aéronef en opération, il est toujours préférable d'utiliser deux pompes séparées. Elles doivent pouvoir s'amorcer automatiquement et produire un débit de 400 l/min à basse pression. Il est bon de disposer par ailleurs de pompes manuelles de secours en cas de défaillance des pompes principales.

L'entretien

L'entretien particulier des aéronefs se fait sous la responsabilité du pilote ou du mécanicien. Il doit être pris en compte dans la planification des programmes de lutte antiacridienne. Certains actes sont soumis à des contrôles officiels de type Veritas et d'autres doivent être réalisés par des ateliers agréés qui se trouvent parfois loin du terrain des opérations; certains pays pourtant régulièrement affectés par les acridiens sont même dépourvus de ce type d'ateliers.

Le matériel utilisé en lutte antiacridienne souffre des conditions difficiles et du rythme soutenu du travail.

- **Les conditions climatiques et atmosphériques** sont fatigantes pour le personnel comme pour le matériel (chaleur oppressante, tempêtes de sable, turbulences) ;
- **Les formulations de pesticides très concentrées** sont souvent corrosives pour les joints en caoutchouc, les métaux et les peintures ;
- La lutte contre les pullulations de sauteriaux ou les recrudescences de locustes impose **un rythme de travail soutenu**.

Les opérations d'entretien courant du matériel prennent de ce fait une importance toute particulière :

- En fin de journée, aucun produit ne doit rester ni dans les systèmes de pulvérisation ni dans les cuves ;
- Les cuves et les circuits de produit doivent être vidangés et rincés sans être démontés ;
- Les aéronefs doivent être régulièrement nettoyés à l'eau savonneuse sous le contrôle du pilote ou du mécanicien.

Les communications

Les invasions généralisées de locustes et les pullulations de sauteriaux sont susceptibles d'affecter des territoires entiers. Les équipes de lutte aérienne peuvent avoir à opérer dans des zones éloignées de tout où les possibilités de communication téléphonique habituelle sont rares ou inexistantes. Munir l'ensemble des équipes opérationnelles de téléphones par satellite étant encore trop coûteux, c'est par liaisons radio que sont assurés :

- le lien avec les autorités locales civiles et les autorités militaires ;
- la sécurité des vols ;
- la coordination entre les différentes unités de lutte antiacridienne ;
- le lien avec le quartier général de la lutte antiacridienne ;
- le lien avec les bureaux régionaux et nationaux de la protection des végétaux.

Les vacations radio doivent être prévues à heure fixe au moins une fois par jour (sauf en cas d'urgence). Les messages doivent être enregistrés et archivés par le responsable de l'unité aérienne.



C'est le rôle du responsable de l'unité aérienne de maintenir un contact permanent avec les autorités locales pour que les populations voisines soient tenues informées des activités et puissent suivre les consignes de sécurité prévues lorsqu'un produit dangereux est employé. L'attention doit notamment être attirée sur l'importance de protéger les puits et les réservoirs privés et de ne pas laisser les enfants à l'air libre. Le bétail ne doit pas être laissé sur les terres où des traitements sont prévus.

L'hébergement et l'entretien du personnel

Les conditions pénibles que le personnel doit endurer sur le terrain doivent être prises sérieusement en considération. Il est important de fournir tous les moyens matériels possibles pour en atténuer les effets. Le personnel navigant doit recevoir une attention particulière et bénéficier de bonnes conditions de repos.

Les exigences minimales requises pour l'ensemble du personnel œuvrant sur le terrain sont notamment :

- Une alimentation saine, variée et suffisamment copieuse servie à heures fixes ;
- Le respect des besoins élémentaires en matière de confort, d'intimité et de pratique religieuse (des tentes spacieuses en nombre suffisant) ;
- Un emploi du temps régulier ;
- Une discipline collective et stricte et la prise en compte attentive des problèmes individuels.

Les problèmes de gestion

Une bonne gestion est un facteur d'optimisation important. Le plan de gestion doit être conçu de manière à ce que les opérations soient considérées sous un angle positif plutôt que comme une corvée. Les formulaires doivent être clairs et simples à remplir et les données collectées exactes et précises. La gestion comporte deux volets :

La conduite des opérations

Le responsable de l'unité doit être capable de prendre les décisions qu'exige la gestion quotidienne du personnel qui lui est affecté sans se tourner sans cesse vers sa hiérarchie. Il doit être suffisamment compétent pour prendre en charge et superviser les opérations techniques listées ci-dessous.

- **Calibrer les systèmes de pulvérisation** en fonction des besoins et des conditions atmosphériques, en collaboration avec le pilote ou le mécanicien.
- **Se tenir informé des propriétés physico-chimiques des produits** utilisés et des consignes de sécurité qui y sont associées.
- **Veiller**, en collaboration avec le pilote et le logisticien, s'il y en a un, à ce que **les opérations de balisage** soient effectuées correctement et en conformité avec la réglementation aérienne.
- **Veiller** à ce que **les opérations d'approvisionnement et d'entretien** soient exécutées correctement et rapidement dans le respect des consignes de sécurité.
- **Vérifier régulièrement l'efficacité et la qualité de la pulvérisation** ; prendre immédiatement les mesures qui s'imposent en cas de problème.
- **Coordonner et superviser** les activités de prospection et de signalement, ainsi que le camp de base.
- **Rendre compte à la hiérarchie** quant à l'état d'avancement des opérations et à l'évolution des infestations acridiennes.



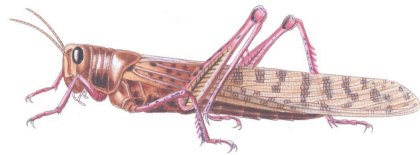
La tenue à jour du registre de campagne

Ce document très important doit être tenu à jour par le responsable de l'unité; il comporte notamment les informations suivantes :

- Les **faits marquants**, tels que les incidents, les accidents, les résultats des traitements, les signalisations, etc.;
- Les **entrées et sorties de consommables** tels que carburants, lubrifiants, pièces de rechange, produits chimiques, denrées alimentaires, etc.;
- **Le déroulement détaillé des opérations techniques.**

Laisser une trace écrite précise et complète est fondamental pour pouvoir faire plus tard l'évaluation exhaustive de chaque campagne de lutte et fournir aux opérateurs antiacridiens les informations qui leur permettront d'améliorer les campagnes futures.

En outre, les pilotes des aéronefs tiennent leur journal de bord dans lequel ils doivent consigner toutes les données techniques concernant les traitements effectués. Lorsque ce document est correctement tenu, il constitue une source précieuse de données pour optimiser les interventions aériennes ultérieures et permettre l'évaluation des coûts réels des opérations aériennes.





Conclusion

Pour pouvoir enrayer une invasion acridienne généralisée, il faut être en mesure de traiter de vastes territoires dans l'urgence. Par conséquent, une grande réactivité et une coordination étroite entre des équipes intervenant loin les unes des autres – autrement dit, une mobilisation rapide de moyens logistiques très importants – s'imposent. Pour relever ce défi, la recherche opérationnelle s'est concentrée sur la diminution des volumes d'application. Il n'est donc pas surprenant que la technique du traitement en UBV ait été inventée pour les besoins particuliers de la lutte antiacridienne avant d'être adoptée et développée par les forestiers et les autres acteurs de la protection des végétaux. Un tel succès peut se comprendre si l'on considère les points suivants :

- **l'efficacité d'une pulvérisation est améliorée** lorsque la taille des gouttelettes diminue et que le nombre des gouttelettes augmente ;
- **une couverture de 20 gouttelettes par cm²** suffit pour lutter efficacement contre les infestations acridiennes ;
- ces résultats autorisent **une réduction considérable des volumes** de produit appliqué par hectare et par là une diminution des dépenses logistiques et une optimisation de l'utilisation du matériel de pulvérisation ;
- les **gouttelettes huileuses** adhèrent mieux que les gouttelettes aqueuses aux végétaux et aux insectes et sont donc **plus efficaces à dose identique** ;
- **la simplicité et la fiabilité de cette méthode** rend possible la mise au point de pulvérisateurs simples, légers et solides dont certains peuvent être utilisés par les agriculteurs eux-mêmes et par tout un chacun.

Depuis la mise au point de la technique UBV, des progrès substantiels ont été accomplis en ce qui concerne la fiabilité du matériel. L'arrivée du pulvérisateur à piles chez les petits agriculteurs leur a permis de prendre eux-mêmes en main la protection de leur récolte. Les nouveaux pulvérisateurs électriques portés par véhicule sont considérés par les équipes de lutte préventive comme une alternative sûre au PPE.

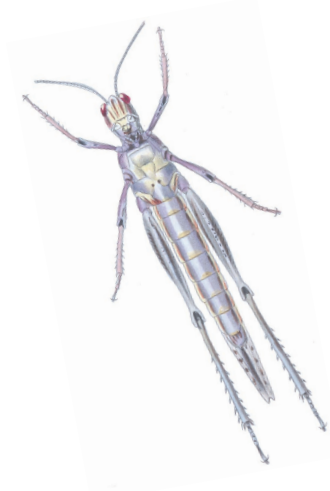
L'introduction des micro-ordinateurs, du GPS et du radar pour le contrôle des paramètres de la pulvérisation constitue une avancée remarquable pour l'optimisation des opérations terrestres et aériennes.

Cependant, ces équipements de pointe ne se généraliseront sur le terrain que si leur capacité de résistance aux conditions difficiles sont dûment renforcées. En outre, il serait souhaitable que les fabricants réduisent autant que possible le nombre des pièces d'usure et qu'ils adoptent une certaine harmonisation pour les pièces les plus courantes. Une innovation particulièrement pertinente serait de rendre les connexions électriques compatibles.



En ce qui concerne les applications, on ne saurait trop insister sur l'importance d'accorder la plus grande attention à l'évaluation de la qualité de la pulvérisation, car bien des facteurs, atmosphériques et autres, sont susceptibles de compromettre le bon déroulement du traitement. Il est donc conseillé de fournir systématiquement aux équipes le matériel nécessaire pour conduire ces évaluations. L'analyse automatique d'images ne s'impose que lorsqu'une étude détaillée est requise.

Produire une bonne pulvérisation ne tient pas seulement à la qualité et au bon usage du matériel. Les propriétés physico-chimiques des insecticides sont également à prendre en considération. L'absence de normes fait obstacle à une éventuelle harmonisation des caractéristiques physiques des formulations et complique la mise au point des abaques, qui sont encore aujourd'hui des outils remarquables pour simplifier l'utilisation du matériel de pulvérisation.



CRÉDITS PHOTOS

Schistocerca gregaria (Forskål, 1758). Dessins des pages 100, 161 et 164 extraits d'*Invasion des acridiens, vulgo sauterelles, en Algérie (1893-1905)*, Jules Künckel d'Hercule, 1905. Imprimerie administrative et commerciale Giralt, Alger. 3 Vols.

p. 5 : *Calliptamus italicus*, (Linné, 1758) © Antoine Foucart, Cirad.

p. 7 : *Bryophyma debilis* (Karsch, 1896), © My-Hanh Luong-Skovmand, Burkina Faso, Cirad.

p. 49 : Criquet pèlerin mâle grégaire, Niger 1988, © Annie Monard, Cirad.

p. 101 : Accouplement de Criquets migrants, *Locusta migratoria* (Linné, 1758), 2006, © Michel Lecoq.

p. 163 : Essaim de Criquets pèlerins, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1758), survolant les îles du Cap-Vert, © Maurice Balmat, FAO.

Références bibliographiques

- ACTA, 1990. *Index phytosanitaire* (2^e édition). Association de coordination technique agricole, Paris, 488 p.
- Adama A.V., 1977. Importance of Pesticide Application Equipment and Related Field Practices in Developing Countries. In Watson D.L. & Brown A.W.A. (eds). *Pesticide management and insecticide resistance*. Academic Press, London, 217-225.
- Afras A. & Mosich L., 1980. *Manuel des matériels de traitement des cultures*. Inra/ GTZ, Rabat, 70 p.
- Agrishell, 1987. *Les traitements aériens en UBV par Agrishell*. Agrishell, Tassin-la-Demi-Lune, France, 15 p.
- Airbi, 1987. *Buses aériennes UBV-ULV*. Airbi SA, Château-Thierry, France.
- Airbi, 1988. *Manuel hélico-aérien*. Airbi SA, Château-Thierry, France, 12 p.
- Airbi, 1988. *Manuel d'utilisation. Épandage aérien, avions/hélicoptères. Principes de fonctionnement du système Airbi*. Airbi SA, Château-Thierry, France, 11 p.
- Airbi, 1988. *Drift'air*. Airbi SA, Château-Thierry, France, 10 p.
- Akeson N.B., Yates W.E. & Wilce S.E., 1969. Performance of atomizer for aircraft chemical application. In Southwell P.H. (Eds). *Proceeding of the IVth International Agricultural Aviation Congress, Kingston, Ont., Canada, 25-26 August 1969*, Agricultural Aviation, The Hague, The Netherlands, 254-264.
- Amsden R.C., 1975. Wind Velocity in Relation to Aerial Spraying of Crops. *Agricultural Aviation*, 14(4): 103-107.
- Amsden R.C., 1975. A Graphical M of estimating the Volume Median Diameter of a Spray Spectrum. *PANS*, 21(1): 103-108.
- Appert J. & Deuse J., 1982. *Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. Coll. Techniques agricoles et production tropicales. XXXI Maisonneuve & Larose/Agence de coopération culturelle et technique, Paris, 240 p.
- Bache D.H., 1985. Prediction and analysis of spray penetration into plant canopies. In Southcombe E.S. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a Symposium held at The University of Reading, Berkshire England 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 183-190.
- Bache H.D. & Sayer W.J.D., 1975. Transport of aerial spray. I. A model of aerial dispersion. *Agricultural Meteorology*, 15: 257-271.
- Bache D.H. & Uk S., 1975. Transport of aerial spray. II. Transport within a crop canopy. *Agricultural Meteorology*, 15: 371-377.

- Balança G. & De Visscher M.N., 1989. *Efficacité comparée des traitements antiacridiens au Sahel. Effets sur les sauteriaux et sur la faune non-cible (Sénégal, août-septembre 1989)*. D.360, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 72 p.
- Bals E.J., 1970. Ultra low volume and ultra low dosage spraying. *Cott. Gr. Rev.*, 47: 271-221.
- Bals E.J., 1970. Rotary atomisation. *Agricultural Aviation*, 12(3): 85-90.
- Bals E.J., 1975. The Importance of Controlled Droplet Application (CDA) in Pesticide Application. *In Proceeding of the VIIIth British Insecticide and Fungicide Conference*, 153-160.
- Bals E.J., 1978. The reason for CDA (Controlled Droplet Application). *In British Crop Protection Conference-Weeds*, 2: 659-666.
- Bals E.J., n.d. *Efficiency in spraying: the reason for CDA (controlled droplet application)*. 12 Micron Sprayers, Bromyard, UK, 6 p.
- BDPA-SCETAGRI, 1989. *L'aide française à la lutte anti-acridienne dans les pays du Sahel ouest-africain. Opération Écoforces. Rapport de campagne 1989*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, 44 p.
- Bell Helicopter Textron, 1978. *Aerial application dealing with rotor wake*. Bell Helicopter Textron, Fort Worth (TX, USA), 11 p.
- Berthoud, 1989. *Groupe PUMA autonome*. Berthoud, Belleville, France, 2 p.
- Berthoud, 1990 *Mise en service, fonctionnement, entretien. Groupe Canon Pneumatique autonome "PUMA"*. Réf. 377.158, Berthoud, Belleville, France, 7 p.
- Berthoud, n.d. *Traitement ULV sur cotonnier. Manuel d'utilisation de l'appareil Berthoud C8*. Berthoud, Belleville, France, 14 p.
- Bourasset A.X. & Launois M., 1988. *La logique d'organisation d'un service de la protection des végétaux au Sahel, devant consacrer une partie de ses moyens à la lutte antiacridienne*. D.310, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 40 p.
- Bryant J.M & Courshee R., 1985. The effect of volume application from hydraulic nozzle on the partitioning of a pesticide spray in a cereal canopy. *In Southcombe E.S.E. (Eds.), Application and Biology. Proceeding of a Symposium held at The University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 201-210.
- Castel J.M., 1982. *Utilisation du pulvérisateur sur pot d'échappement (Exhaust Nozzle Sprayer ou ENS) en lutte antiacridienne*. CNEARC, Montpellier, France, 22 p.
- Castel J.M., 1982. *Pulvérisations aériennes*. CNEARC, Montpellier, France, 69 p.
- Castel J.M., 1986. *Données de base pour mieux comprendre et exécuter les pulvérisations*. CNEARC, Montpellier, France, 26 p.
- Castel J.M. & Balmat M., 1965. *Organisation des campagnes aériennes*. OCLALAV, Dakar, 5 p.
- Cauquil J., 1987. Cotton-pest control: a review of the introduction of ultra low volume (ULV) spraying in sub-Saharan French-speaking Africa. *Crop Protection*, 6(1): 38-42.

- Cayley G.R., Etheridge P.E., Goodchild R.E., Griffiths D.C., Hulme P.J., Lewthwaite R.J., Pye B.J. & Scott G.C., 1985. Review of the relationship between chemical deposits achieved with electrostatically charged rotary atomisers and their biological effects. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a Symposium held at the University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*, Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 87-96.
- Cheroux M., 1988. Les traitements aériens en France. Les aéronefs et le matériel d'application. In *Symposium international sur les techniques d'application des produits phytosanitaires*. Annales ANPP, 1(1) : 399-405.
- Chiffaud J., Launois-Luong M.H., Mestre J. & Rachadi T., 1988. *Tests dynamiques d'insecticides sur les acridiens du Sahel en conditions naturelles. Tchad 1998*, D.307, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 89 p.
- Ciba Agrochemicals (eds.), 1969. *Waterless spraying from the air*. Coll. Technical Monograph, n° 2, CIBA-Agrochemicals Division. Basel, Switzerland, 28 p.
- Ciba-Geigy, 1983. *Oil sensitive paper CF1 for monitoring spray distribution*. CIBA-GEIGY: Basel, Switzerland, 15 p.
- Ciba-Geigy, 1984. Le pulvérisateur MICRO ULVA+ avec buse orange. Ciba-Geigy, Division agriculture, Bâle, Suisse, 35 p.
- Ciba-Geigy, n.d. *Application aérienne efficace et sûre*. CIBA-GEIGY, Département protection des plantes, Bâle, Suisse, 43 p.
- Coopération Nigéro-Canadienne, 1987. Guide d'utilisation des appareils de traitement (2^e éd.). Projet Nigéro-Canadien de protection des végétaux, phase IV, Niamey, 74 p.
- Courchee R.J., 1990. Desert locusts and their control. *International Pest Control*, 32(1): 16-18.
- Courchee R.J., Coutts H.H. & Heys G., 1971. Experiences with ULV spraying. In Southwell P.H. (eds.). *Proceeding of the IVth International Agricultural Aviation Congress, Kingston, Ont., Canada, 25-26 August 1969*. Agricultural Aviation, The Hague, The Netherlands, 288-296.
- Coutts H.H. & Speight B., 1979. Formulation of pesticides for aerial applications. *Agricultural Aviation*, 20(2): 88-98.
- Crease G.J., Ford M.G. & Salt D.W., 1985. Studies of relationships between the properties of carrier solvent and the biological efficacy of ULV applied drops of the insecticides Cypermethrin. In Southcombe E.S.E. (eds.). *Application and Biology. Proceeding of a Symposium held at The University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 251-258.
- Curtis Dyna-Fog, 2005. *DYNA-FOG® L15, Series 2. Condensed Instructions for Operation and Maintenance*, 52 p.
- Curtis Dyna-Fog, 2001. *Model ASC-A10 and ASC-A10H Rotary Nozzle. Instruction Manual and Maintenance*.
- Desmarquet, n.d. *Albuz, buse de pulvérisation pour l'agriculture*. Céramiques techniques, Évreux, France, 12 p.

- De Visscher M.N., 1988. *Compte rendu de la réunion : élaboration de méthodes écologiquement acceptables de lutte contre le Criquet pèlerin*, Le Caire, 12-14 décembre 1988. D.313, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 21 p.
- De Visscher M.N., 1989. *L'impact sur l'environnement de la lutte chimique antiacridienne. Compte rendu de la réunion d'un groupe de travail*, FAO, Rome, 14-17 février 1989. D.320, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 28 p.
- De Visscher M.N., 1990. L'environnement et la lutte antiacridienne : perspectives et contraintes de la recherche. *In La lutte anti-acridienne*, AUPEL-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, 219-227.
- De Visscher M.N., Duranton J.F., Launois M. & Garcia G., 1988. *Effets directs et indirects, immédiats et différés de la lutte anti-acridienne sur l'environnement. Démarches préliminaires*. D.308, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 32 p.
- De Visscher M.N., Launois-Luong M.H., Lecoq M., Rachadi T., Dubois V. & Garcia G., 1988. *Efficacité réelle des traitements acridicides localisés*. D.309, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 34 p.
- Dewey J.E., 1977. Pesticide application laws, regulations and training programs designed for promoting great worker safety. *In Watson D.L. & Brown A.W.A. (eds.), Pesticide management and insecticide resistance*. Academic Press, London, 227-236.
- Dirske F.B., 1985. *Appareils et techniques de traitement (tome 1)*. Ministère de l'Agriculture, Niamey/Institut pratique du développement rural, Kolo, Mali/ Institut du Sahel, Bamako/Ministère de la Coopération, La Haye, Pays-Bas/ CILSS-DFPV, Kolo, Mali, 61 p.
- Dirske F.B. 1986. *Appareils et techniques de traitement. Description et fonctionnement (tome 2)*. CILSS, Ouagadougou/Institut du Sahel, Bamako/ AGRHYMET-DFPV, Niamey, 173 p.
- Dobson. H.M., 2001. *Desert locust Guidelines, 4: Control*. Second edition, FAO, Rome, 85 p.
- Duranton J.F., 1988.- *Réunions anti-acridiennes internationales. Rome 31 août-1^{er} septembre 1988. Perception de l'observateur PRIFAS*. D.298, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 28 p.
- Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. & Lecoq M., 1982. *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche (2 vol.)*. Ministère des Relations extérieures, de la Coopération et du Développement/GERDAT, Paris, 1487 p.
- Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. & Lecoq M., 1987. *Guide pratique de lutte contre les criquets ravageurs au Brésil*. FAO, Rome/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 169 p.
- Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H., Lecoq M. & Rachadi T., 1987. *Guide antiacridien du Sahel*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 344 p.

- Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H., Lecoq M. & Rachadi T., 1989. *La lutte préventive contre le Criquet pèlerin en Afrique. Initiatives à encourager au Sahel et au Maghreb. Contribution du PRIFAS à la réflexion de la Communauté internationale sur le thème de la prévention des invasions généralisées du Criquet pèlerin*. D.355, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 31 p.
- Elliot J.C. & Willson B.J., 1983. *The influence of weather on the efficiency and safety of pesticide application. The drift of herbicides*. Occasional Publication n° 3, BCPC Publications, Croydon, UK, 135 p.
- FAO, 1989. Comité FAO de lutte contre le Criquet pèlerin. XXIX^e session, Rome, 13-17 juin 1988, AGP, 1988/M/2. FAO/AGPP, Rome, 44 p.
- Francome Fabrications, 1988. *Exhaust Nozzle Sprayer. Instruction Manual for Mark II sprayer*. Francome Fabrications, Berkshire, UK, 22 p.
- Göhlich H. 1985. Deposition and penetration of sprays. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a Symposium held at the University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 173-183.
- Gröner M., 1985. *Modes de traitement et matériel d'application des produits phytosanitaires*. BASF-Informations agricoles, numéro spécial, Matériel d'application, 2-26.
- Hadaway A.B. & Johnstone D.R., 1985 *Development in low volume spraying and the special importance of the size and physical properties of the droplets. Waterless spraying from the air*. Technical Monograph, n° 2, CIBA, Agrochemical Division, Basel, Switzerland, 16-24.
- Haskel P.T. (eds.), 1985. *Pesticide Application: principles and practice*. Clarendon Press, Oxford, UK, 494 p.
- Hoescht, n.d. *ULV Application. Au sol et par avion*. HOECHST Aktiengesellschaft: Frankfurt am Main, Germany, 27 p.
- Johnstone D.R., 1971. Formulation and atomization. In Southwell P.H. (eds.) *Proceedings of the IVth International Agricultural Aviation Congress, Kingston, Ont., Canada, 25-29 August 1969*. Agricultural Aviation, The Hague, Netherlands, 225-233.
- Johnstone D.R., 1971, Droplet size for low and ultra low aerial spraying. - *Coo. Gr. Rev.*, 48: 218-233.
- Johnstone D.R., 1978. The use of rotary wing aircraft in the application of pesticides. *Agricultural Aviation*, 19 (1): 21-32.
- Johnstone D.R. 1985. The ULVA system. Can we gauge its success? In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a symposium held at the University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 11-16.
- Johnstone D.R., 1985. Physics and meteorology. In Haskel P.T. (eds.), *Pesticide application. Principles and practice*, Clarendon Press, Oxford, UK, 35-67.
- Joyce R.J.V., 1985. Application from the air. In Haskel P.T. (eds.), *Pesticide application. Principles and practice*, Clarendon Press, Oxford, UK.

- Joyce R.J.V., Uks. S. & Parking C.S., 1977. Efficiency in pesticide application. In Watson D.L. & Brown A.W.A. (eds.), *Pesticide management and insecticide resistance*, Academic Press, London.
- Kilroy B., Karsky D. & Thistle H., 2003. *Aerial application equipment guide*, USDA, Forest Service, Missoula Technology and Development Centre, 250 p.
- Lançon G., Guèvremont H., Genest C. & Côté L.M., 1986. *Techniques de support au sol pour les traitements aériens. Notes de cours destinées aux agents PV départementaux*. Projet Nigéro-Canadien de protection des végétaux, Phase IV, Direction de la protection des végétaux, Niamey, 54 p.
- Lapenna J., 1983. *Optionnel pulvérisation agricole SIMPLEX 5100 pour AS 350. Descriptif de présentation à la centrifugation*. Aérospatiale, Division hélicoptères, Marignane, France, 12 p.
- Launois M., 1978. *Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie. Application à Oedaleus senegalensis (Krauss, 1877)*. Ministère de la Coopération/GERDAT, Paris, 214 p.
- Launois M., 1984. Les biomodèles à géométrie variable appliqués à la surveillance des criquets ravageurs. *Agronomie tropicale*, 39(3) : 269-274.
- Launois M., 1986. *ALARM. Agence pour la Lutte en Afrique contre les ravageurs migrants*. Liminaire. D.231, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 10 p.
- Launois M., 1986. *XXIX^e session du comité FAO de lutte contre le Criquet pèlerin à Rome, Italie, 13-17 juin 1988. La perception du PRIFAS*. D.290a, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 19 p.
- Launois M., 1988. *Séminaire international sur l'assistance météorologique pour la lutte anti-acridienne, Tunis, 26-29 juillet 1988*. D.296, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 28 p.
- Launois M., Launois-Luong M.H. 1989. *Oedaleus senegalensis (Krauss, 1877), sauteriau ravageur du Sahel*. Coll. Acridologie opérationnelle, n° 4, CILSS-DFPV, Niamey/Ministère des Affaires étrangères, La Haye, Pays-Bas/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 72 p.
- Launois M., Launois-Luong M.H., Lecoq M., Rachadi T., Dubois V. & Garcia G., 1988. *Efficacité réelle des traitements acridicides localisés*. D.309, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 34 p.
- Launois M. & Rachadi T., 1987. Sahel 1986 : 20 vérités acridiennes. *Phytoma*, 386 (mars) : 59-61.
- Lawson T.J., 1979. *Some factors affecting the dispersal of aerial sprays*. Symposium on the role of helicopter on agricultural aviation, Royal Aeronautical Society: London, 23 p.
- Lawson J.T. & Uk S., 1979. The influence of wind turbulence, crop characteristics and flying height on the dispersal of aerial sprays. *Atmospheric Environment*, 13: 711-715.

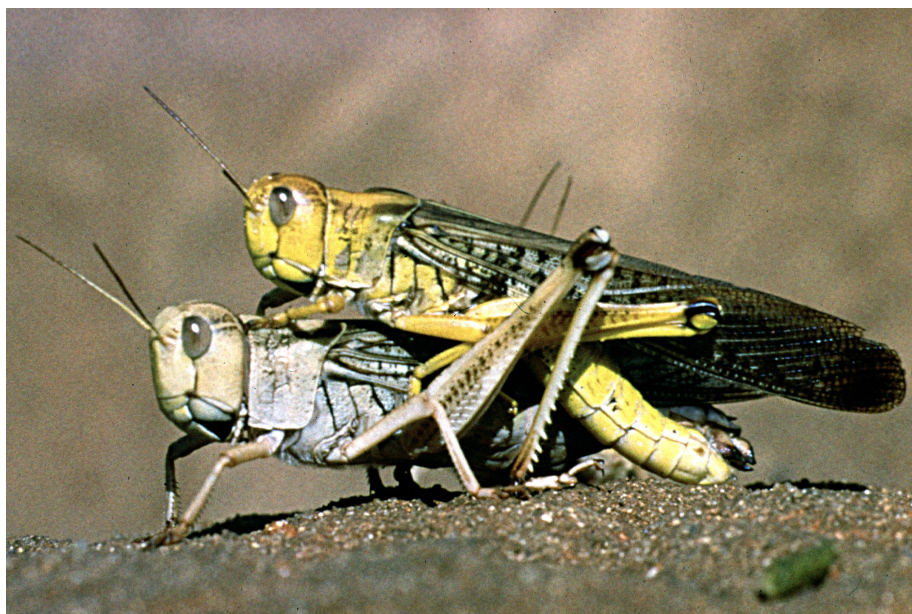
- Lecoq M., 1988. *Réunion internationale : amélioration de la lutte contre le Criquet pèlerin*, FAO, Rome, 13 octobre 1988. D.305, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 24 p.
- Lecoq M., 1988. Les biomodèles en acridologie et leurs applications opérationnelles. *In Meeting on the Desert locust research Defining future research priorities*", 18-20 octobre 1988, FAO, Rome, 81-99.
- Lecoq M., 1989. *Le Criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskål, 1775). Cours de formation en lutte antiacridienne. N'Djamena, Tchad. 24 avril-2 mai 1988*, Commission des Communautés européennes/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 139 p.
- Lecoq 1990. *Compte rendu des réunions OCLALAV tenues à Niamey du 18 au 24 janvier 1990. (Comité des Experts et Conseils des Ministres)*. D.368, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad- PRIFAS, Montpellier, France, 88 p.
- Lecoq M., 1990. Le Criquet pèlerin : enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation. *In La lutte anti-acridienne*, AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, 71-98.
- Marchand M., 1988. Importance et évolution des traitements aériens en France et dans le monde. *In Symposium international sur les techniques d'application des produits phytosanitaires*, Annales ANPP, 1(1), 371-389.
- Matthews G.A., 1975. Determination of droplet size. *PANS*, 21(2): 213-225.
- Matthews G.A. 1977. Controlled Droplet Application. *PANS*, 23(4).
- Matthews G.A., 1985. Application from the ground. *In Haskell P.T. (eds.), Pesticide application. Principles and practice*, Clarendon Press, Oxford, UK, 95-117.
- Matthews G.A., 1985. *Pesticide application methods* (3rd ed.). Longman Inc., London, 336 p.
- Matthews G.A., 1989. *Évolution des techniques d'application utilisées par les planteurs de coton en Afrique*. IPARC, Ascot, Berks., UK, 14 p.
- Micron Sprayers, n.d *Controlled Droplet Application Review*. Micron Sprayers Ltd, Bromyard, UK, 4 p.
- Micron Sprayers, 1999. *Micro-pulvérisateur CDA ULVAMAST. Notice d'utilisation*, 30 p.
- Micron Sprayers, n.d. *CDA sprayers*. Micron Sprayers Ltd, Bromyard, UK, 6 p.
- Micron Sprayers, n.d. *Micron X-1: Rotary atomiser for aerial spraying*. Micron Sprayers Ltd, Bromyard, UK.
- Micron Sprayers, n.d. *The Micron ULVA 8*. Micron Sprayers Ltd, Bromyard, UK, 9 p.
- Micron Sprayers, n.d. *MICRO ULVA+*. Micron Sprayers Ltd, Bromyard, UK.
- Micron Sprayers, n.d. *Micron X-15. Rotary atomiser for aerial spraying*. Bromyard, UK.
- Micronair, 1983. *Micronair application computer handbook. Operator's handbook & part catalogue*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 30 p.

- Micronair, 1987. *MICRONAIR AU5000 handbook. Operator's handbook & part catalogue*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 60 p.
- Micronair, 1987. *Micronair application monitor handbook. Owner's handbook & part catalogue*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 46 p.
- Micronair, 1988. *Équipement Micronair AU7000 d'épandage antiparasitaire. Manuel de l'utilisateur*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 37 p.
- Micronair, 1998. *Micronair AU8000 mist blower conversion*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 11 p.
- Micronair, 1991. *MICRONAIR 4000 handbook. Operator's handbook & part catalogue*. Micronair (Aerial) Ltd, Sandown, UK, 52 p.
- Miralles M., 1985. *Principes de la pulvérisation*. CEAT PV/Cemagref, Montpellier, France, 49 p.
- Miralles A. & Goretta N., 1988. *Détermination de la granulométrie des impacts sur papiers oléosensibles par analyses d'images*. Cemagref/TEAA, Montpellier, France, 382 p.
- Monard-Jahiel A., 1989. *Observation diverses sur le Criquet pèlerin et le Criquet sénégalais à l'usage des prospecteurs novices, Niger 1988*. D.348, Antenne de biomodélisation PRIFAS/FAC au Sahel, Niamey/Ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France.
- Müller G., 1985. *Aviation agricole : sécurité et responsabilité*. 3 p.
- Musillami S., 1982. Les traitements par pulvérisation et les pulvérisateurs en agriculture. Coll. Études de Cneema, numéro spécial (n° 487+488+498-490+493), ministère de l'Agriculture/Cemagref, Antony, France, 64 p.
- Meyers B., 1971. The influence of aircraft size on spreading operations. In Southwell P.H. (eds.), *Proceeding of the IVth International Agricultural Aviation Congress, Kingston, Ont., Canada, 25-26 August 1969*, Agricultural Aviation, The Hague, Netherlands, 541-460.
- OEPP, 1982. *Guidelines for reduced volume pesticide application* (2nd ed.). Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes, Paris, 48 p.
- Parkin C.S., Ooutram I., Last A.J. & Thomas A.P.W., 1985. An evaluation of aerial applied ULV and LV sprays using a double spray system and two tracers. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a symposium held at the University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 211-220.
- Pascoe R., 1985. Biological results obtained with the hand-held "Electrodyn" spraying system. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a symposium held at the University of Reading, Berkshire, England 7th-9th January 1985*, Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 75-85.
- Potter H.S. & Hooker W.J., 1971. Helicopter application of fungi-bactericides to customers using rotary atomisers (Micronair) and conventional boom with nozzles. *Agricultural Aviation*, 13(4): 4.

- Prifas, 1998. *Lutte anti-acridienne au Sahel. Le cube expert*. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-PRIFAS, Montpellier, France.
- Prifas, 1989. *SAS 89. Surveillance anti-acridienne au Sahel*. Cirad-Prifas, Montpellier, France, 99 p.
- Procida, 1982. *Techniques d'applications en grandes cultures*. Procida, Groupe Roussel Uclaf, Marseille, France, 14 p.
- Procida, n.d. *L'Ultra Bas Volume, nouvelle technique de traitement insecticide*. Procida, Groupe Roussel Uclaf, Marseille, France, 16 p.
- Pulsfog, n.d. *Documentation : « Serres », « Plein air et tropiques », « Désinfection »*. *Technical leaflets*. Pulsfog: Überlingen, Germany, 122 p.
- Quantick. H.R., 1985. *Aviation in crop protection, pollution and insect control*. Collins, London, 428 p.
- Rachadi T., 1986. *Mission transsahélienne. I. Bilan de la situation acridienne au début de la saison des pluies, 9 juin-16 juillet 1986*. D.233, Fondation de France, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 34 p.
- Rachadi T., 1986. *Mission transsahélienne II. Point de la situation acridienne à la fin de la saison des pluies 1986. Bilan de la lutte antiacridienne, 8 septembre-20 octobre 1986*. D.244, Fondation de France, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 119 p.
- Rachadi T., 1987. *Point sur les insecticides susceptibles d'être utilisés en lutte anti-acridienne au cours de la campagne 1987*. D.250, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 14 p.
- Rachadi T., 1987. *Compte-rendu de la réunion sur les essais acridicides, Rome, 21-22 mai 1987*. D.254, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 14 p.
- Rachadi T., 1987. *Compte-rendu de la mission de prospection acridienne au Tchad, 11 août-3 septembre 1987. Rapport préliminaire sur la situation des sauteriaux au Tchad, fin août 1987*. D.261, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France.
- Rachadi T., 1987. *Séminaire sur l'homologation des produits phytosanitaires en Afrique francophone, Yaoundé, 12-21 novembre 1987*. D.272, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 60 p.
- Rachadi T., 1988. *Mission d'évaluation et d'appui technique à la lutte contre le Criquet pèlerin en Tunisie, 7-15 avril 1988*. D.288, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 31 p.
- Rachadi T., 1988. *Compte rendu de l'atelier technique sur la lutte préventive contre le Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest, Nouakchott, 27-30 juin 1988*. D.295, ministère de la Coopération et du Développement, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 30 p.
- Rachadi T., 1989. *Les pulvérisations en lutte antiacridienne. Cours de formation. 22 janvier-5 février 1989, Tunis*. D.336, ministère des Affaires étrangères, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 97 p.

- Rachadi T., 1989. Les pulvérisations en lutte antiacridienne. Cours de formation. 24 avril-2 mai 1989, N'Djamena. D.315, Commission des Communautés européennes en République du Tchad, N'Djamena/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 95 p.
- Rachadi T., 1989. *Mission d'appui technique en Tunisie. Réglage et optimisation des pulvérisations sur pot d'échappement. 22-31 mai 1989.* D.337, ministère des Affaires étrangères, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 23 p.
- Rachadi T., 1989. *Assistance antiacridienne en République du Yémen. Mission exploratoire et appuis technique, 20-28 juin 1989.* D.344, ministère des Affaires étrangères, Paris/Cirad-Prifas, Montpellier, France, 21 p.
- Rachadi T., 1989. *Mission de prise de contact et d'évaluation de la situation acridienne en Jordanie, 7-11 septembre 1989.* D.351, ministère des Affaires étrangères, Paris/Cirad-PRIFAS, Montpellier, France, 16 p.
- Rachadi T., 1989. La stratégie des interventions en lutte antiacridienne. Entretiens d'Agropolis, 27 septembre 1989. D.350, Cirad-Prifas, Montpellier, France, 13 p.
- Rachadi T., 1990. Promesses et limites de la lutte chimique dans la stratégie de lutte antiacridienne. In *La lutte anti-acridienne*. – AUPELF-UREF/John Libbey Eurotext, Paris, 151-165.
- Rayney T., 1962. Tactics and strategy on the use of aircraft in locust control. *Report 2nd Int. Agr. Aviation Congress 19th-22nd September 1962*, Paris-Grignon, 219-227.
- Riba G. & Silvy C., 1989. *Combattre les ravageurs des cultures. Enjeux et perspectives.* INRA, Paris, 230 p.
- Roumens F. & Cavana J.F., 1988. *Gestion du matériel dans les projets de développement rural.* Techniques rurales en Afrique, ministère de la Coopération et du Développement, Paris, 215 p.
- Roy J., 1965. *Organisation et fonctionnement des unités aériennes.* WS/E7881 – FAO, Rome, 7 p.
- Sanderson R., Huddleston E.W., Ross J.B. & Henderson J.A., 1986. *NAAA/ASAE joint technical session, Acapulco, Mexico, December 1-4, 1986*, 12 p.
- Sanderson R., Huddleston E.W., Ross J.B. & Henderson J.A. & Ferguson E. W., 1986. Deposition and drift of Pydrin® in cotton oil and water under conditions applied with a dual spray system aircraft. *Transactions of the ASAE*, 29(2): 378-381.
- Shell, 1983. *A Shell Guide to the Aerial Application of Pesticides.* Shell Agriculture, London, 37 p.
- Shotwell R.L., 1960. Grasshopper Control with Sprays. Southwestern Missouri Tests, 1955-1957. *Research Bull. University of Missouri Agricultural Experiments station*, 751: 1-20.
- Sorensen Aircraft Co., n.d. The new Sorensen flow master control valve. Sorensen Aircraft Co, Worthington, USA, 2 p.

- Spillman J., 1979. *Future trends in agricultural aviation techniques or ignorance is not bliss, just expensive*. Convention of the Aerial Agricultural Association of Australia, Perth, 69 p.
- Spillman J., 1980. The efficiency of aerial spraying. *Aeronautical Journal*, 84(830): 60-69.
- Spraying System Co., n.d. *Droplet counting aid*. Spraying System Co, Wheaton, USA.
- Steedman A. (eds.). *Locust handbook* (2nd ed.). Overseas Development Natural Resources Institute, London, 180 p.
- Taylor P.A., 1974. Research into aerial spraying of agricultural chemicals. *Proc. Agric. Engineer, Conf. Sydney*, 2: 648-655.
- Tecnoma, 1988. *FPOM, Canon orientable*. Tecnoma, Epernay, France, 2 p.
- Way M. J. & Cammell M. E., 1985. Biological consideration. In Haskel P.T. (eds.), *Pesticide application. Principles and practice*. Clarendon Press, London.
- Weber R., 1979. Les appareils de traitement phytosanitaire en milieu tropical. Les injecteurs, les poudreuses et épandeurs de granulés micro-encapsulés. *Machinisme agricole tropical*, 69: 3-27.
- Wyatt I.J., Abdalla M.R., Palmer A. & Munthali D.C., 1985. Localized activity of ULV pesticide droplets against sedentary pests. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceeding of a symposium held at the University of Reading, Berkshire, England, 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 259-264.
- Yates W.E., Akesson N.B. & Cowden R.E., 1977. Development in atomization equipment for aerial applications. In Watson D.L. & Brown A.W.A. (eds.), *Pesticide management and insecticide resistance*. Academic Press, London.
- Yeo D., 1974. Pesticides application by ULV methods. *Br. Crop Prot. Council. Monogr.*, 11: 10-20.
- Young B.W., 1985. Pesticide application. How can we improve our understanding and control of the process?. In Southcombe E.S.E. (eds.), *Application and Biology. Proceedings of a symposium held at the University of Reading, Berkshire, England 7th-9th January 1985*. Monograph n° 28, BCPC Publications, Croydon, UK, 163-172.



Couple de Criquets migrants, *Locusta migratoria* Linné, 1758, en phase grégaire à Madagascar.
On remarquera la couleur jaune vif du mâle en période de maturité sexuelle. © J.-F. Duranton, Cirad, 1998.

ÉDITION

Julienne Baudel (Quæ)

INFOGRAPHIE

Marie-Pierre Charbit (com une souris graphique)
Joëlle Delbrayère (Quæ)

ACHEVÉ D'IMPRIMER

sur les presses
en 2010

Comment améliorer les techniques de lutte contre les criquets dans de nombreuses régions du globe touchées par les invasions de ces insectes ravageurs ? La plupart des documents consacrés à la lutte antiacridienne s'étendent plus sur les substances actives que sur les matériels et techniques d'application à mettre en œuvre. Le présent manuel vise à combler cet oubli.

Il décrit en détail les principes de base de l'application des traitements dans la lutte antiacridienne, les matériels de pulvérisation, notamment pour les traitements ultra-bas volume, et les procédés spécifiques. Il explique comment optimiser les traitements tout en limitant les impacts négatifs des substances chimiques sur l'homme et l'environnement.

Ce guide pratique intéressera tous ceux qui se sentent concernés de près ou de loin par la lutte antiacridienne et qui souhaitent se familiariser plus particulièrement avec l'application des traitements par pulvérisation ultra-bas volume en dérive contrôlée.

Tahar Rachadi est ingénieur de recherche en lutte antiacridienne depuis 1986 à l'unité de recherche en acridologie au Cirad, à Montpellier (France). Sa longue expérience acquise sur le terrain l'a conduit à vulgariser les techniques d'application ultra-bas volume en dérive contrôlée à Madagascar et en Chine et dans de nombreuses régions d'Afrique, du Proche-Orient et d'Asie centrale.

En couverture. Traitement en dérive contrôlée contre le Criquet marocain en Ouzbékistan, à l'aide d'un pulvérisateur porté, © T. Rachadi (avril 2007).



partageons les connaissances au profit des communautés rurales
sharing knowledge, improving rural livelihoods

éditions
Quæ

Éditions Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra
www.quae.com



29€

ISBN 978-2-7592-0866-1



ISSN 1952-2770
Réf. 02204