

# LE PULVERISATEUR

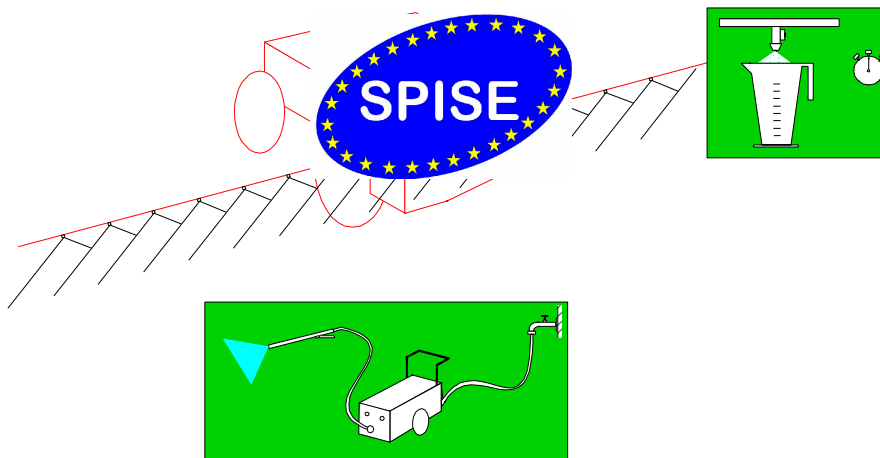
## CRITERES DE CHOIX REGLAGE ET ENTRETIEN CONTROLE

par

*O. Mostade*

*O. Oestges*

*B. Huyghebaert*



- Janvier 1998 -

*en collaboration avec*

Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture - Département Génie rural  
Institut de Formation Permanente pour les Classes Moyennes et les Petites et Moyennes Entreprises  
Centre de Mécanique Agricole (c/o CENAM - CREPAC)



## CHOIX DU PULVERISATEUR

### 1.1. INTRODUCTION

Le pulvérisateur est un appareil destiné à épandre soit une bouillie (produit phytosanitaire mélangé à un véhiculant) afin de lutter contre un parasite, soit une formulation liquide destinée à la fertilisation. Avec les appareils les plus couramment utilisés en grande culture, le liquide sous pression est divisé en gouttelettes par son passage à travers un orifice calibré. Le volume de liquide épandu par unité de surface est fixé grâce à un système de régulation.

Tous les pulvérisateurs à pression de liquide et jet projeté comportent les mêmes éléments de base (une cuve, une pompe, un système de régulation, un distributeur, des filtres, des conduites, une rampe et des buses) qui, d'une marque à l'autre, diffèrent entre eux par leur type, leur qualité ou leur principe de fonctionnement (figure 1.1.)

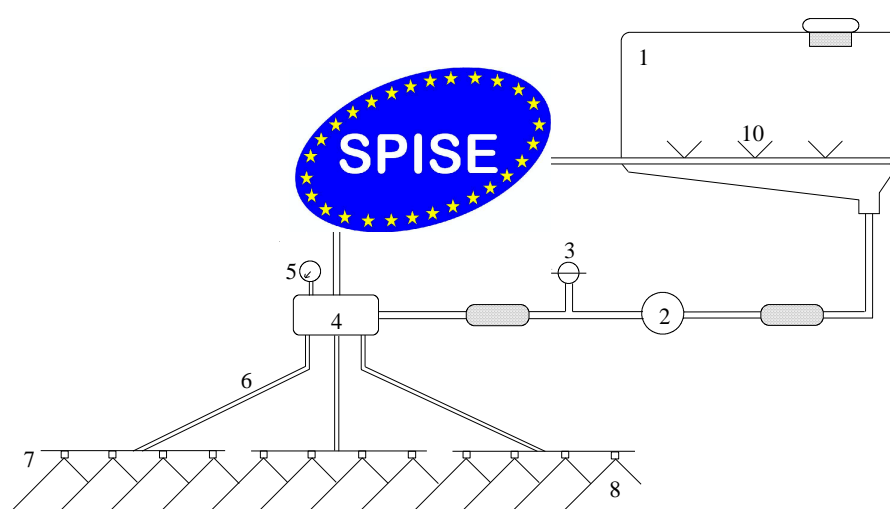


FIGURE 1.1. - Schéma d'ensemble du pulvérisateur avec ses éléments.

1. Cuve - 2. Pompe - 3. Cloche à air - 4. Distributeur et unité de régulation - 5. Manomètre - 6. Conduites des tronçons de rampe - 7. Rampe - 8. Buses - 9. Conduite de retour en cuve - 10. Système d'agitation hydraulique - 11. Système de filtration.

Le nombre et la diversité des modèles actuellement disponibles sur le marché compliquent très sérieusement le choix d'un appareil qui, par ailleurs, doit déjà tenir compte de paramètres liés à l'exploitation ou à l'entreprise.

Citons parmi ceux-ci :

- la superficie à traiter par saison,
- la superficie à traiter en période de pointe,
- le découpage et le profil topographique des parcelles de l'exploitation,
- la distance entre les points d'approvisionnement en eau et la parcelle à traiter,
- la largeur de travail du matériel de semis (et de fertilisation),
- la longueur du plus grand champ,
- la disponibilité et la proximité des différents concessionnaires de pulvérisateurs,
- la degré de qualification du personnel chargé de l'exécution des travaux,
- la puissance du tracteur qui sera consacré à la pulvérisation,
- le niveau des investissements financiers.

Ce premier chapitre analyse en détail les principaux critères de choix. Il fournit les grandes lignes du raisonnement à tenir lorsqu'il s'agit de préciser les caractéristiques d'un appareil répondant aux besoins réels d'une exploitation.

## 1.2. CRITERES TECHNIQUES

### 1.2.1. Modèle de pulvérisateur

On peut distinguer quatre modèles de pulvérisateur : porté, traîné, automoteur et intégrable. Les appareils portés représentent plus de 85 % des machines vendues sur le marché belge. Les différents modèles présentent plusieurs gammes de capacité de cuve et de largeur de rampe (tableau 1.1.).

TABLEAU 1.1. - Capacité de cuve et largeur de rampe selon le modèle de pulvérisateur.

Modèle	Capacité de cuve (l)	Largeur de rampe (m)
Porté	400 - 1 600 (*)	9 - 24
Traîné	1 100 - 3 500	16 - 36
Automoteur	2 000 - 5 000	16 - 36
Intégrable	800 - 2 200	16 - 27

(\*) l'ajout d'une cuve à l'avant du tracteur augmente la capacité globale du pulvérisateur.

Pour le choix d'un modèle, plusieurs points de considération : la puissance motorisée, la disponibilité et la maniabilité.



idération : la puissance motorisée, la disponibilité

#### PUISSANCE MOTORISEE

Un appareil porté requiert une puissance du tracteur un peu supérieure à celle d'un appareil traîné possédant des caractéristiques semblables. C'est généralement la force disponible au relevage du tracteur qui constitue le facteur limitant pour les modèles portés. Il est donc impératif de connaître la force au relevage ainsi que la masse à soulever. La largeur de la rampe, et par conséquent sa masse, participe pour une part importante au poids total du pulvérisateur (tableau 1.2.).

TABLEAU 1.2. - Pulvérisateur porté : masse totale de l'appareil selon la largeur de la rampe et la capacité de la cuve (valeurs indicatives).

Largeur de rampe (m)	Masse de la rampe (kg)	Capacité de la cuve (l)	Masse totale de l'appareil à vide (kg)
9 - 12	60 - 90	400 - 600	100 - 300
12 - 16	90 - 150	600 - 800	300 - 600
16 - 21	150 - 400	800 - 1 200	600 - 900
21 - 24	400 - 600	1 200 - 1 600	900 - 1 500

On obtient généralement une bonne approximation de la force nécessaire au relevage en multipliant par deux la masse du pulvérisateur, cuve remplie (comme d'ailleurs pour tout autre outil ayant son centre de gravité assez rapproché des bras de relevage du tracteur).

#### Exemple

La masse qu'un tracteur doit soulever en travaillant avec un pulvérisateur porté de 1 200 l équipé d'une rampe de 21 m est de

$$2 \times (900 + 1\,200) = 4\,200 \text{ kg.}$$

Il faut prévoir un excédent de masse lorsque l'on utilise une bouillie d'une densité plus élevée que celle de l'eau (environ 1,3 pour l'azote liquide)

$$2 \times (900 + 1\,200 \times 1,3) = 4\,920 \text{ kg.}$$

#### DISPONIBILITE

Le pulvérisateur porté nécessite de nombreuses manipulations pour l'accrochage et le décrochage. Bien souvent, le tracteur utilisé pour la pulvérisation est mobilisé jusqu'en fin de période de traitements.

L'appareil traîné peut être rapidement décroché du tracteur qui est ainsi libéré pour d'autres travaux.

L'automoteur est autonome, mais tout ennui mécanique au moteur, à la boîte de vitesses, etc., rend le pulvérisateur indisponible. L'intégrable peut poser le même problème.

#### MANIABILITE

Le pulvérisateur porté tend à devenir de plus en plus compact (cuve plus haute et plus étroite, composants escamotables sous la cuve) afin que son centre de gravité soit aussi proche que possible du tracteur. Le report des charges est ainsi amélioré et la force nécessaire au relevage est moindre ; mais les capacités de cuve, de plus en plus importantes, posent toutefois des problèmes de portance et de choix de pneumatiques.

L'appareil traîné est moins maniable dans printemps. En outre, c'est celui qui occasionne le

L'automoteur et l'intégrable sont les modèles généralement un châssis conçu spécialement à c



difficiles que l'on peut rencontrer au début du ère et principalement en terrain accidenté.

aux conditions difficiles. L'automoteur possède quatre roues motrices, directionnelles ou non.

En résumé, pour le **CHOIX DU MODELE** :

- *porté* : capacité de la cuve limitée (possibilité d'une cuve avant), contrainte au niveau de la force au relevage du tracteur, mobilise un tracteur, maniable ;
- *traîné* : capacité de cuve et largeur de rampe importantes, rapidement décroché, peu maniable en conditions difficiles, se justifie mieux pour de grandes exploitations et lorsque des applications à haut volume/hectare doivent être réalisées ;
- *automoteur* : capacité de cuve et largeur de rampe importantes, autonome mais vulnérable, convient pour les grandes exploitations et les entrepreneurs, mieux adapté aux conditions difficiles ;
- *intégrable* : capacité de cuve et largeur de rampe intermédiaires entre les appareils portés et traînés, mobilise un engin motorisé et est également vulnérable, facilités de travail proches de celles de l'automoteur.

#### 1.2.2. Rampe

La structure du châssis de la rampe doit assurer un compromis entre robustesse, rigidité et légèreté, afin d'obtenir une bonne stabilité tant sur le plan horizontal que vertical. Les grandes largeurs amplifient le mouvement des extrémités et entraînent un alourdissement de l'ensemble. La légèreté des matériaux devient une caractéristique de plus en plus recherchée. Pour les rampes de grandes dimensions, l'acier peut être remplacé par l'aluminium ou la fibre de verre. La structure peut également être renforcée par un assemblage en treillis, en triangle ou en trapèze. Différents dispositifs de suspension améliorent la stabilité de la rampe.

Un tronçon de rampe est une portion de canalisation ayant sa propre alimentation de bouillie. Le choix du nombre de tronçons dépendra essentiellement de la largeur de la rampe. Le diamètre des conduites doit être suffisant pour éviter

des pertes de charge excessives entre l'alimentation et l'extrémité du tronçon. Pour les tronçons d'une longueur supérieure à 4 m, une alimentation par le centre de la section est préférable.

Le choix de la largeur de la rampe dépend du modèle de pulvérisateur, de la largeur du semoir et du distributeur d'engrais, de la performance globale de chantier escomptée. Le tableau 1.1. reprend les différentes largeurs selon le modèle de pulvérisateur.

#### LARGEUR DU SEMOIR

Une largeur de rampe compatible avec celle du semoir permet de matérialiser, dès le semis, les traces qui seront utilisées lors des traitements phytosanitaires.

La largeur de travail du pulvérisateur est un multiple de celle du semoir. Deux possibilités se présentent :

- multiplier par un nombre pair la largeur du semoir : le semis s'effectue en fermant une moitié de largeur du semoir lors du premier passage, la pulvérisation s'effectue avec l'entièreté de la rampe (figure 1.2.) ;
- multiplier par un nombre impair la largeur du semoir : le semis s'effectue en utilisant la largeur totale du semoir lors du premier passage, la pulvérisation s'effectue avec l'entièreté de la rampe.

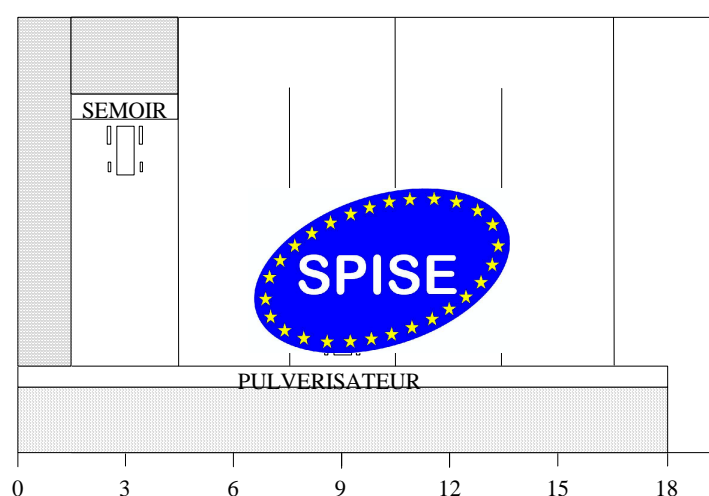


FIGURE 1.2. - Jalonnage des traces d'un semoir de 3 m et d'un pulvérisateur de 18 m. Fermeture d'une moitié de largeur de semoir pour le premier passage et utilisation de l'entièreté de la rampe du pulvérisateur.

Le tableau 1.3. reprend une série de combinaisons possibles de largeurs de rampe de pulvérisateur pour passer dans les traces du semoir.

TABEAU 1.3. - Largeur de semoir et largeurs de rampe de pulvérisateur compatibles.

Largeur de semoir (m)	Largeurs de rampe (m) <sup>(*)</sup>
3	9 - <b>12</b> - 15 - <b>18</b> - 21 - <b>24</b> - 27 - <b>30</b>
4	12 - <b>16</b> - 20 - <b>24</b> - 28 - <b>32</b>
6	6 - <b>12</b> - 18 - <b>24</b> - 30

(\*) Les chiffres en gras correspondent à la multiplication par un nombre pair de la largeur du semoir.

#### RENDEMENT ET PERFORMANCE DE CHANTIER

Ces deux paramètres quantifient, sous une notion de temps, l'efficacité d'un matériel qui est liée, dans la plupart des cas, à la rapidité d'exécution d'un traitement. De nombreux facteurs influencent leur valeur. On peut montrer l'influence de la largeur de la rampe sur la performance globale du chantier de pulvérisation.

On définit le rendement total de chantier  $\rho_t$  par :

$$\rho_t = \frac{t}{T} \times 100$$

où  $t$  = temps effectif de pulvérisation (min),  
 $T$  = temps total consacré à l'opération, y compris la pulvérisation, les remplissages, les transports et les réglages (min).

L'expérience montre que ce facteur varie en moyenne entre 50 et 60 %. Sa valeur est tributaire du volume/hectare, de la capacité de la cuve, de l'éloignement du lieu d'approvisionnement en eau et du temps consacré aux opérations annexes.

La performance globale du chantier de pulvérisation  $P$  est définie comme étant la surface pulvérisée par unité de temps et est définie par :

$$P = \rho_t \times \frac{L \times V}{1\,000}$$

où  $\rho_t$  = rendement total de chantier (%),  
 $L$  = largeur de la rampe (m),  
 $V$  = vitesse d'avancement (km/h)  
 1 000 = facteur d'ajustement d'unités



### Exemple

Comparaison de la performance globale de chantier de deux pulvérisateurs ayant le même rendement total ( $\rho_t = 55\%$ ), évoluant à la même vitesse de 7 km/h, respectivement avec des largeurs de rampe de 15 et 21 m :

$$P = 55 \times \frac{15 \times 7}{1\,000} = 5,8 \text{ ha/h} \quad \text{et} \quad P = 55 \times \frac{21 \times 7}{1\,000} = 8,1 \text{ ha/h.}$$

En résumé, pour le **CHOIX DE LA RAMPE** :

- *structure* : au-delà de 12 m, structure en treillis nécessaire pour augmenter la rigidité de l'ensemble ;
- *matériau* : beaucoup de rampes en acier, développement des grandes largeurs suggérant l'utilisation de matériaux plus légers (aluminium, fibre de verre) ;
- *largeur* : dépend du modèle d'appareil, des conditions d'utilisation, de la largeur du semoir et des performances de chantier recherchées ;
- *stabilité* : au-delà de 12 m, système de suspension nécessaire afin de maintenir la rampe parallèle au sol.

### 1.2.3. Cuve

La cuve du pulvérisateur sert à la préparation, au brassage, au transport et, exceptionnellement, à l'entreposage de la bouillie. Les principaux paramètres qui caractérisent une cuve sont la capacité, la forme et le matériau de fabrication.

Le système d'agitation présent dans la cuve joue un rôle fondamental dans le maintien des caractéristiques de la bouillie. Des variations de mélange génèrent des sur- ou sous-dosages de matière active au cours de la pulvérisation. L'agitation doit être suffisante et de préférence modulable, par exemple à l'aide d'une vanne de réglage à l'aspiration de la pompe, surtout lorsque l'on est en fin de cuve. La plupart des systèmes sont hydrauliques, soit à partir du retour en cuve, soit avec un circuit de brassage spécifique.

## CAPACITE

Le choix de la capacité de la cuve est extrêmement important. Elle est notamment fonction du modèle de pulvérisateur (tableau 1.1.). Il faut aussi tenir compte de la dimension des parcelles et, principalement, de la longueur de la plus grande parcelle, de leur dispersion, des volumes/hectare couramment employés, du rendement total de chantier désiré.

### *Dimension des parcelles*

Il est nécessaire que la cuve contienne un volume de bouillie suffisant pour que le pulvérisateur puisse effectuer au moins un aller et retour de la plus grande longueur des champs, ceci afin d'éviter des trajets à vide et les difficultés de se replacer dans les traces. Il est évident que la largeur de la rampe et le volume/hectare choisi jouent aussi un rôle.

### **Exemple**

*La plus grande longueur des parcelles est de 600 m. L'utilisateur veut travailler avec une largeur de rampe de 24 m pour un volume/hectare maximum de 400 l :*

$$. \text{un aller et retour} = 2 \times 600 = 1\ 200 \text{ m,}$$

$$. \text{surface couverte} = 1\ 200 \times 24 = 28\ 000 \text{ m}^2 = \text{environ } 3 \text{ ha.}$$

*La capacité minimum de la cuve doit donc être de  $400 \times 3 = 1\ 200 \text{ l}$ .*

### *Dispersion des parcelles*

Plus la capacité de la cuve est importante (et la quantité de liquide plus importante) ; cela constitue un cas de parcelles dispersées, plutôt que d'augmenter la capacité, il est préférable d'opter pour une cuve de capacité moyenne, complétée avec une réserve d'eau sur une remorque afin de ne pas transformer le pulvérisateur en outil de transport d'eau.



semble est élevé (châssis plus lourd et quantité de liquide) ; cela constitue un cas de parcelles dispersées, plutôt que d'augmenter la capacité, il est préférable d'opter pour une cuve de capacité moyenne, complétée avec une réserve d'eau sur une remorque afin de ne pas transformer le pulvérisateur en outil de transport d'eau.

Avec l'utilisation d'un appareil porté, il est possible d'augmenter le volume transporté en plaçant une cuve à l'avant du tracteur. La répartition des charges est améliorée, surtout si le système d'aspiration est adapté à deux cuves. Un dispositif de mélange de bouillie doit être présent dans chaque cuve.

### *Volume/hectare*

Actuellement, la majorité des traitements de protection des cultures sont réalisés à des volumes compris entre 100 et 300 l/ha, variant selon la nature des applications (herbicide, insecticide, fongicide). Lors d'une fertilisation par engrais liquide, les volumes utilisés dépendent de la dose à apporter (généralement comprise entre 50 et 120 unités) et de la dilution de la solution fertilisante. Pour l'engrais liquide pur, les volumes épandus sont souvent compris entre 125 et 300 l/ha. Si l'on doit réaliser ces deux types d'application, il faut donc être attentif au choix de la capacité de la cuve, en tenant compte de tout ce qui a été dit précédemment.

## FORME ET MATERIAU

La cuve doit permettre une vidange aussi complète que possible. A cet effet, le fond est en légère pente et converge vers une poche de puisage suffisamment profonde pour éviter une aspiration d'air, surtout en fin de traitement. La cuve ne peut présenter d'angles morts (formation de dépôts, mauvais brassage de bouillie, difficulté de nettoyage) et doit posséder des parois internes lisses.

Les cuves de grande capacité doivent être dotées de parois antiroulis, cloisons placées verticalement à l'intérieur de la cuve qui limitent les mouvements et les chocs de la masse liquide contre les parois.

Pour la fabrication des cuves, on utilise soit du polyéthylène, soit du polyester. Les cuves de petites et moyennes capacités peuvent être fabriquées automatiquement en polyéthylène par rotomoulage ou soufflage. Leur coût est dès lors moindre que les cuves en polyester stratifié, fabriquées manuellement et plutôt réservées aux capacités importantes. Actuellement, la qualité des deux matériaux est comparable : résistance aux chocs et aux variations de température, lissage des parois internes.

En résumé, pour le **CHOIX DE LA CUVE** :

- *forme* : fond en pente pour permettre la vidange complète dans un puisard, absence de recoins, présence de parois antiroulis pour les cuves de grande capacité ;
- *matériau* : cuve en polyéthylène ou polyester (coût plus élevé), avec des parois internes sans aspérités ;
- *capacité* : fonction du modèle de pulvérisateur, du volume/hectare le plus couramment utilisé, des performances de chantier désirées, de la dimension et de la dispersion des parcelles.

#### 1.2.4. Pompe

Une pompe doit débité une certaine quantité de liquide sous pression pour assurer d'une part, la pulvérisation et, d'autre part, le brassage de la bouillie. Parfois, elle sert également au remplissage de la cuve. Le débit nécessaire dépendra du volume/hectare, de la vitesse maximum d'avancement, de la longueur de la rampe ainsi que du modèle de pulvérisateur.

##### TYPE DE POMPE

Actuellement, on distingue quatre types de pompe : les pompes à membrane, à piston-membrane, à piston et centrifuges. Les trois premières sont volumétriques (ou quasi volumétriques), c'est-à-dire que leur débit est proportionnel au régime de rotation, indépendamment de la pression du liquide, de sa viscosité et de sa densité. La pompe centrifuge est non volumétrique.

##### *Pompe volumétrique*

Le débit est proportionnel au nombre de corps et à la cylindrée de la pompe. La pression du liquide au refoulement peut atteindre 15 bars et plus. La pompe à piston volumétrique et résistante à la corrosion), mais s pour les épandages d'engrais liquide (strictement plus élevé que celui de la pompe à membrane ou à piston-membrane. Ces dernières requièrent une : nt à l'état des membranes.

De par leur nature, les pompes volumétriques (succession d'ouverture et de fermeture des clapets de refoulement). L'augmentation du nombre de corps de la pompe atténue le caractère pulsatoire du débit mais sans l'éliminer. C'est pour cette raison que la présence d'une cloche à air sur la conduite de refoulement est indispensable pour la plupart de ces pompes.



##### *Pompe non volumétrique*

La pompe centrifuge est non volumétrique, son débit n'évolue pas proportionnellement avec le régime de rotation. Elle autorise de grands débits et sert généralement au remplissage de la cuve des appareils de grande capacité ainsi qu'au brassage de la bouillie. Elle ne peut servir à la pulvérisation que si l'appareil possède une régulation électronique.

##### DEBIT MINIMUM DE LA POMPE

Lorsque le pulvérisateur ne possède qu'une seule pompe, elle doit assurer un débit suffisant dans des conditions extrêmes de pulvérisation tout en assurant encore un brassage convenable de la bouillie. Le débit requis pour assurer l'agitation doit correspondre à environ 5 % de la capacité de la cuve. Il est parfois nécessaire de réduire ce débit afin d'éviter tout problème de moussage dû à un mélange excessif en fin de vidange de la cuve.

Le débit minimum de la pompe  $D_{\min}$  est déterminé par la relation :

$$D_{\min} = \frac{Q \times V \times L}{600} + 0,05 \times c$$

- où
- Q = volume épandu (l/ha),
  - V = vitesse d'avancement (km/h),
  - L = largeur de la rampe (m),
  - 600 = facteur d'ajustement d'unités,
  - c = capacité de la cuve (l).

##### **Exemple**

Un utilisateur emploie un pulvérisateur avec une cuve d'une capacité de 1500 l et une rampe de 18 m. Il évolue à 9 km/h dans les parcelles les plus régulières et le volume/hectare maximum est de 350 l.



Le débit minimum de la pompe est :

$$D_{min} = \frac{350 \times 9 \times 18}{600} + 0,05 \times 1\,500 = 169,5 \text{ l/min.}$$

#### MODELE DU PULVERISATEUR

La capacité de la cuve et la largeur de la rampe augmentent généralement selon le modèle du pulvérisateur : porté, traîné, intégrable et automoteur. Ceci implique une pompe avec des performances croissantes (voir point précédent).

Le système de régulation (§ 1.2.5.) prédispose aussi à l'emploi de l'une ou l'autre pompe. Une régulation D.P.A. mécanique requiert une pompe à piston, qui est strictement volumétrique. Une régulation D.P.A. électronique accepte n'importe quel type de pompe, notamment de type centrifuge.

En résumé, pour le **CHOIX DE LA POMPE** :

- à *membrane* : quasi volumétrique, membrane sensible à certains liquides agressifs, peu coûteuse ;
- à *piston-membrane* : quasi volumétrique, membrane sensible à certains liquides agressifs, prix intermédiaire à celui de la pompe à membrane et de la pompe à piston ;
- à *piston* : strictement volumétrique, adaptée pour les engrais liquides et pour les appareils munis d'une régulation D.P.A. mécanique, prix toujours plus élevé que celui de tous les autres types ;
- *centrifuge* : non volumétrique, autorise de grand débits, utilisée comme pompe de remplissage ou de mélange pour les appareils de grande capacité, peu coûteuse.



#### 1.2.5. Système de régulation

La régulation a pour fonction de fixer, de contrôler et de maintenir le volume/hectare décidé par l'utilisateur. La quantité appliquée est fonction de divers paramètres mis en relation par la formule suivante :

$$Q = \frac{D}{V} \times K$$

- où
- Q = volume par unité de surface (l/ha),
  - D = débit à la rampe (l/min),
  - V = vitesse d'avancement (km/h),
  - K = constante (égale à la valeur 600 divisée par la largeur de la rampe).

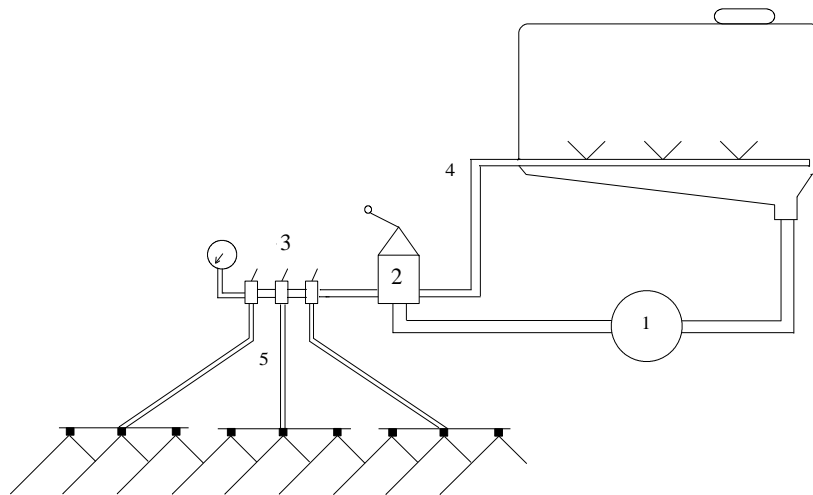
La quantité appliquée à l'hectare et les caractéristiques de la pulvérisation restent constantes ou non, selon le système de régulation.

- Pression Constante (P.C.) : le système maintient les caractéristiques du jet produit, c'est-à-dire le débit à la buse, le nombre et la distribution de la taille des gouttes et l'angle du jet ; le volume/hectare reste constant seulement si la vitesse d'avancement est stable.
- Débit Proportionnel au régime Moteur (D.P.M.) ou à l'Avancement (D.P.A.) : ces systèmes maintiennent le volume/hectare ; les caractéristiques du jet sont variables selon la vitesse de déplacement.

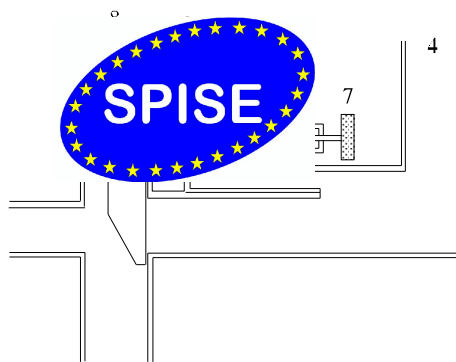
#### SYSTEME A PRESSION CONSTANTE (P.C.)

Ce dispositif possède un régulateur qui fixe la pression au niveau de la buse et par conséquent son débit, quel que soit le débit de la pompe (figure 1.3.). Il comprend une soupape qui est maintenue sur son siège par un ressort dont la pression est réglée par la position d'une vis. En fonctionnement, la pression du liquide s'oppose à la pression du ressort,

établie préalablement par l'utilisateur. Dès que la pression du liquide dépasse la valeur nécessaire pour vaincre la résistance du ressort, la soupape s'ouvre et une fraction du liquide est dérivée vers la cuve jusqu'à l'équilibre des pressions.



a.



b.

FIGURE 1.3. - a. schéma général d'un pulvérisateur à régulation P.C.  
b. schéma du régulateur de pression.

1. Pompe - 2. Vanne d'ouverture principale et régulation - 3. Vannes d'ouverture et fermeture des tronçons de rampe - 4.- Conduite de retour en cuve - 5. Conduites de segments de rampe - 6. Ressort de pression - 7. Vis de réglage de la pression - 8. Vanne principale d'ouverture et fermeture de la rampe.

Les caractéristiques du jet produit ne changent pas, quelle que soit la vitesse d'avancement du tracteur. Il est dès lors indispensable de conserver une vitesse constante, car toute modification de celle-ci (patinage, accélération et décélération accidentelles) fait varier la quantité appliquée.

#### SYSTEME A DEBIT PROPORTIONNEL AU REGIME MOTEUR (D.P.M.)

Une pompe volumétrique fournit un débit proportionnel au régime moteur. Le débit arrivant à l'unité de régulation est réparti entre la conduite alimentant les buses et celle de retour en cuve, par calibrage du retour au moyen d'une vanne à réglage continu (figures 1.4. et 1.5.). Cette proportionnalité est maintenue quel que soit le débit de la pompe, c'est-à-dire quel que soit le régime moteur.

Toute variation du régime moteur provoque des modifications simultanées et dans le même sens, de la vitesse d'avancement et du débit de la pompe ; le volume/hectare demeure donc constant. Le changement de rapport de boîte et le patinage ne sont pas pris en compte par la régulation, car le débit à la rampe reste constant alors que la vitesse d'avancement est modifiée.

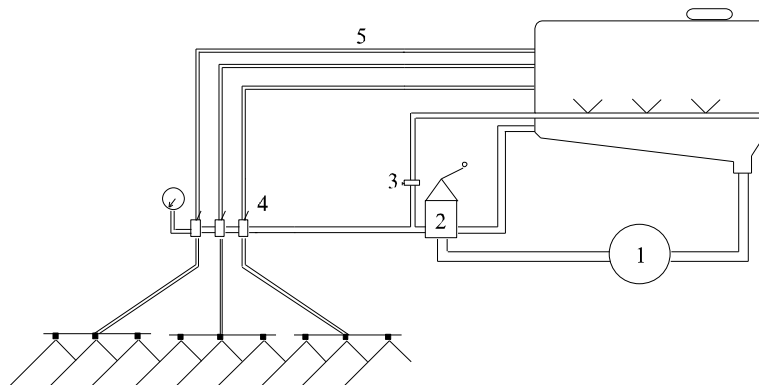


FIGURE 1.4. - Schéma général d'un pulvérisateur à régulation D.P.M.

1. - Pompe - 2. Vanne principale - 3. Vannes d'ouverture et de fermeture des tronçons de rampe avec retours compensatoires - 4. Conduites de retour en cuve via les retours compensatoires - 5. Vanne manuelle de régulation.

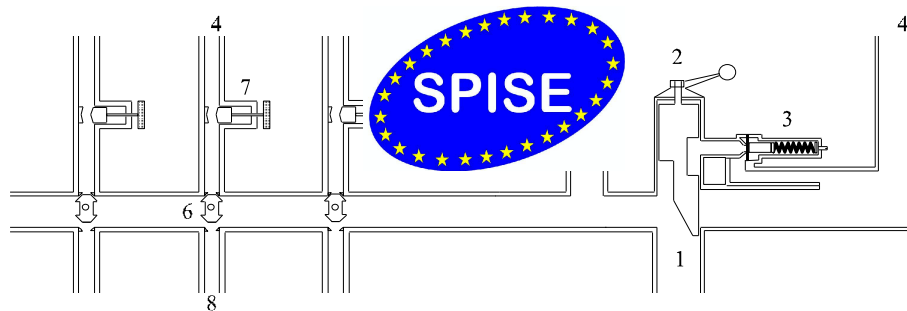


FIGURE 1.5. - Régulateur D.P.M. muni de retours compensatoires.

1. Conduite de refoulement de la pompe - 2. Vanne principale d'ouverture et de fermeture de la rampe - 3. Soupape de sécurité - 4. Conduites de retour en cuve - 5. Vanne manuelle à réglage continu - 6. Vannes d'ouverture et de fermeture des tronçons de rampe - 7. Retours compensatoires avec orifice réglable - 8. Conduites des tronçons de rampe.

Lorsqu'un tronçon de rampe est fermé, il faut que le débit excédentaire, c'est-à-dire le débit qui ne doit plus être épandu, soit évacué vers la cuve afin de ne pas modifier la pression dans les conduites encore en fonction. Un orifice réglable, d'un calibre équivalent à l'ensemble des buses concernées, remplit ce rôle ; c'est le retour compensatoire.

#### SYSTEME A DEBIT PROPORTIONNEL A L'AVANCEMENT (D.P.A.)

Avec ce type de régulation, le rapport entre le débit destiné aux buses et la vitesse d'avancement est maintenu constant, quelle que soit la cause de variation de vitesse. Tout comme pour la régulation D.P.M., la correction de débit, en vue de conserver un volume/hectare constant, entraîne des variations de pression en cours de pulvérisation, et donc des modifications plus ou moins importantes des caractéristiques du jet.

On distingue principalement deux systèmes à débit proportionnel à l'avancement : le système mécanique avec la pompe entraînée par la roue du pulvérisateur et le système électronique.

#### Systeme mécanique

Ce dispositif est présent sur les appareils traînés. Il consiste à fournir à la rampe la totalité du débit de la pompe qui est entraînée par la roue du pulvérisateur. Le débit est donc lié à la rotation de la roue, c'est-à-dire à la vitesse d'avancement (figure 1.6.).

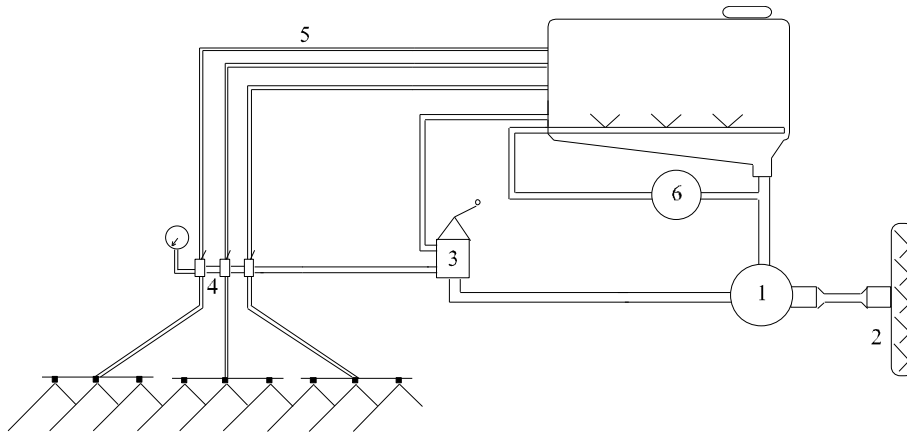


FIGURE 1.6. - Schéma d'un pulvérisateur à régulation D.P.A. mécanique.

1. Pompe de pulvérisation - 2. Roue du pulvérisateur - 3. Vanne principale - 4. Vanne d'ouverture et de fermeture des tronçons de rampe avec retours compensatoires - 5. Conduites de retour en cuve via les retours compensatoires - 6. Pompe auxiliaire pour l'agitation dans la cuve.

Le réglage du débit, qui correspond à une gamme de volumes/hectare, s'effectue soit en modifiant la course du piston, soit en agissant sur le rapport de la transmission entre la roue et la pompe.

Comme pour la régulation D.P.M., la présence de retours compensatoires est nécessaire. L'agitation de la bouillie est assurée par une pompe auxiliaire entraînée par la pompe principale.

Ce système est fiable, précis et d'une grande durée de vie. Les problèmes qui lui sont attribués étaient justifiés il y a quelques années. Les traitements étaient réalisés à des vitesses élevées et des pressions élevées qui impliquaient des problèmes d'adhérence de la roue entraînant des arrêts fréquents. Les buses n'étaient pas munies de dispositifs antigoutte (§ 1.2.6.), il fallait dès lors un certain temps pour que les conduites soient sous pression et que les buses commencent à pulvériser.

Actuellement, le problème d'adhérence n'existe pratiquement plus suite à la réduction des volumes appliqués associée à la diminution des pressions de pulvérisation. La présence d'antigouttes maintient en permanence une pression entre 0,5 et 1 bar dans les conduites, ce qui permet un début de pulvérisation plus rapide.

### Système électronique

Le principe de la régulation consiste à moduler le débit allant vers la rampe selon les variations de vitesse de manière à conserver le rapport débit/vitesse constant, c'est-à-dire aussi un volume/hectare constant.

Avant de commencer la pulvérisation, l'utilisateur introduit dans l'ordinateur de bord le volume/hectare auquel il veut travailler (= la consigne). Au cours du travail, l'ordinateur va calculer en permanence le volume/hectare réellement épandu et va le comparer à la consigne. Lorsqu'un écart, supérieur à une tolérance fixée préalablement, apparaît, la régulation agira sur une vanne motorisée afin d'adapter le débit allant vers la rampe à la vitesse. Le volume/hectare réellement épandu est calculé à partir des informations de vitesse et de débit (ou de pression) venant de capteurs (figure 1.7.).

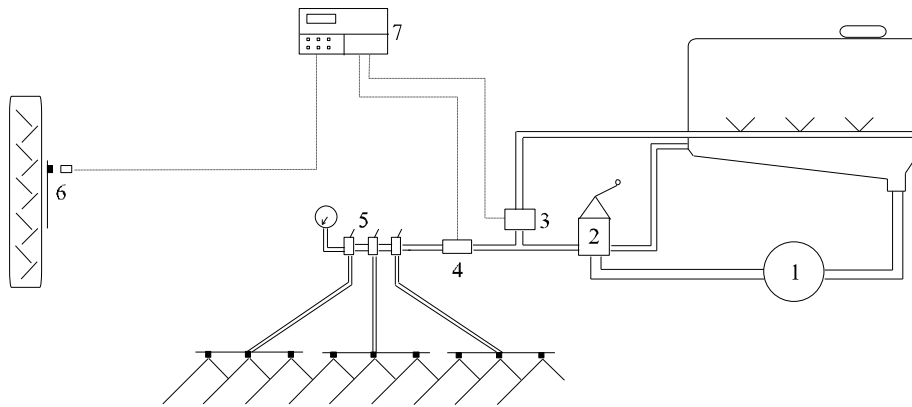


FIGURE 1.7. - Schéma de la régulation D.P.A. électronique munie d'une vanne motorisée et des capteurs de débit et de vitesse.

1. Pompe - 2. Vanne principale - 3. Vanne motorisée de régulation du retour en cuve - 4. Capteur de débit (ou capteur de pression placé au niveau de la rampe) - 5. Vannes d'ouverture et fermeture des tronçons de rampe - 6. Capteur de vitesse - 7. Ordinateur de bord.

Parmi les différentes réalisations proposées, il faut faire la distinction entre celles qui effectuent une régulation et celles qui ne donnent à l'utilisateur que des indications relatives aux paramètres de la pulvérisation, en lui laissant le soin de les régler.

L'électronique en elle-même est fiable. Ce sont les branchements électriques, les capteurs (de vitesse, de débit et de pression) et leur étalonnage qui posent des problèmes. Bien souvent, ce tableau de bord est à éviter. Bien souvent, ce tableau de commande (faible consommation électrique), mais sert aussi pour les électrovannes de fermeture de tronçons de rampe et la vanne motorisée de régulation (grosse consommation d'énergie). Les mauvais contacts (oxydation, jeu,...) posent rapidement des problèmes et peuvent rendre le pulvérisateur inutilisable. Le circuit électrique doit partir directement de la batterie du tracteur et être muni d'un interrupteur principal. Les capteurs doivent être de qualité et correctement étalonnés ; cela ne sert à rien d'investir dans une régulation électronique si ce n'est pas pour réaliser les traitements avec précision.



Pour éviter le risque d'immobilisation du pulvérisateur, il est nécessaire que les systèmes de régulation laissent à l'utilisateur la possibilité d'effectuer toutes les opérations de réglage manuellement. Les systèmes à régulation électronique simplifient la tâche de l'utilisateur uniquement s'il maîtrise parfaitement la technique de pulvérisation. Il est indispensable qu'il sache à quoi correspond chaque valeur qu'il introduit dans le moniteur et comment les corriger si la précision de la régulation n'est pas parfaite.

























Le tableau 1.4. fournit des indications concernant l'évolution de certains paramètres de la pulvérisation selon des situations de terrain et le système de régulation utilisé.

**Exemple**

*Le tracteur aborde une montée, sa vitesse d'avancement et son régime moteur diminuent ; dans ce cas, le volume/hectare augmente avec la régulation P.C. et reste constant dans les deux autres cas. Par contre, les caractéristiques du jet sont modifiées pour tous les systèmes de régulation, excepté la régulation P.C.*

TABLEAU 1.4. - Evolution des paramètres de pulvérisation selon les conditions de travail




et le système de régulation employé.

Conditions de travail	Paramètres de la pulvérisation	Système de régulation		
		P.C.	D.P.M.	D.P.A.
<b>Patinage</b> . vitesse (1)  (3) . régime (2) 	. débit et pression à la rampe - finesse de la pulvérisation . volume/hectare	 	 	 
<b>Montée</b> . vitesse  . régime 	. débit et pression à la rampe - finesse de la pulvérisation . volume/hectare	 	 	 
<b>Descente</b> . vitesse  . régime 	. débit et pression à la rampe - finesse de la pulvérisation . volume/hectare	 	 	 

(1) Vitesse d'avancement

(2) Régime moteur

(3) La variation des paramètres du tableau est illustrée par des flèches ayant la signification suivante :

constant (  ), augmentation (  ), diminution (  )



En résumé, pour le **CHOIX DU SYSTEME DE REGULATION** :

- *P.C.* : maintien des caractéristiques du jet, mais pas du volume/hectare si la vitesse change ; difficile à maîtriser ;
- *D.P.M.* : maintien du volume/hectare, pour de faibles variations de vitesse (dues aux variations du régime moteur), mais pas des caractéristiques du jet; le plus utilisé ;
- *D.P.A.* : maintien du volume/hectare pour toute variation de vitesse, mais pas des caractéristiques du jet ;
  - . *mécanique* : réservé aux appareils traînés, fiable, simple, nécessite deux pompes ;
  - . *électronique* : adaptable sur tous les modèles d'appareils, précis, requiert une surveillance des circuits électriques et des capteurs, plus coûteux que les autres systèmes.

### 1.2.6. Système de formation des gouttes

La formation de gouttes peut être obtenue de différentes façons : pulvérisation par pression de liquide, pulvérisation pneumatique, pulvérisation centrifuge, pulvérisation électrostatique ou électrodynamique, pulvérisation thermique. Malgré les avantages que présentent certaines de ces techniques (réduction des volumes/hectare, spectre de gouttes homogène, phénomène de dérive réduit), plusieurs restent d'un coût et d'une complexité d'utilisation qui font que la pulvérisation par pression de liquide est la technique, de loin, la plus utilisée.

Avec ce principe de pulvérisation, le liquide est mis sous pression par une pompe et est divisé en gouttes par l'intermédiaire d'une buse, elle-même fixée sur un porte-buse.

TYPE DE BUSE

On distingue de nombreux types de buses : à fente, à turbulence, à miroir, tri-filets, à grosses gouttes, antidérive (§ 1.2.7.), etc. Chacune d'entre elles a des caractéristiques de jet bien particulières, qui sont plus ou moins bien adaptées aux conditions de traitement (figure 1.8.). On présente ci-après quatre grands types de buses.

#### *Buse à fente*

C'est une buse ayant un orifice de forme ovale et produisant un jet plat (ou jet pinceau). Les deux caractéristiques servant à identifier la buse sont l'angle du jet à la sortie de l'orifice (le plus courant est 110°) et le calibre, qui correspond au débit de la buse à une pression déterminée. La buse 80° peut être utilisée lors de traitements à faible volume/hectare à cause de sa moindre propension au bouchage. Il faut néanmoins être attentif aux problèmes liés à son emploi (§ 2.3.3.). Le calibre est identifié selon un code de couleur. La forme de la répartition individuelle autorise une grande homogénéité transversale suite à un double ou un triple recouvrement entre les jets (figure 1.8.1.). La buse à fente convient pour tous les traitements.

#### *Buse à turbulence*

C'est une buse constituée d'une hélice, d'une chambre de turbulence et d'une pastille à orifice calibré. Le liquide est mis en rotation dans la chambre de turbulence avant de sortir par l'orifice circulaire sous forme d'un jet conique. La répartition sous rampe avec ce type de buse est plus homogène que celle d'une buse à fente (figure 1.8.2.) et le jet produit est plus sensible à la dérive. Elles peuvent être utilisées pour des traitements à l'aide d'herbicides et insecticides qui demande une grande finesse de pulvérisation.



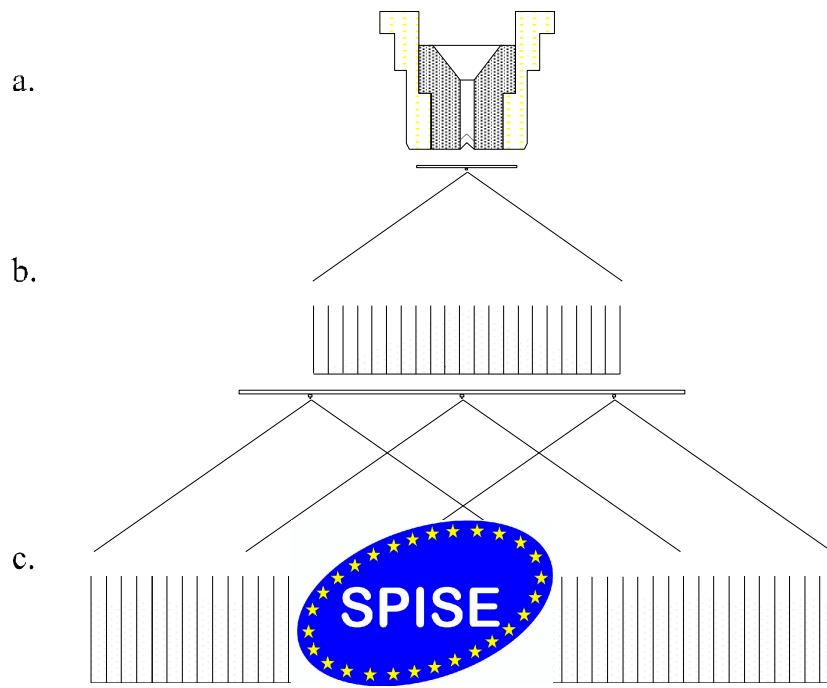
#### *Buse à miroir*

C'est une buse possédant un déflecteur lisse qui produit un jet plat en éventail. Le jet est essentiellement constitué de grosses gouttes (> 500 microns) et son angle nominal est variable (70° à 160°) et assez dépendant de la pression. Certaines buses à miroir autorisent un recouvrement entre les jets et possèdent une répartition transversale de qualité (figure 1.8.3.). Cette buse est surtout utilisée pour l'épandage d'engrais liquide.

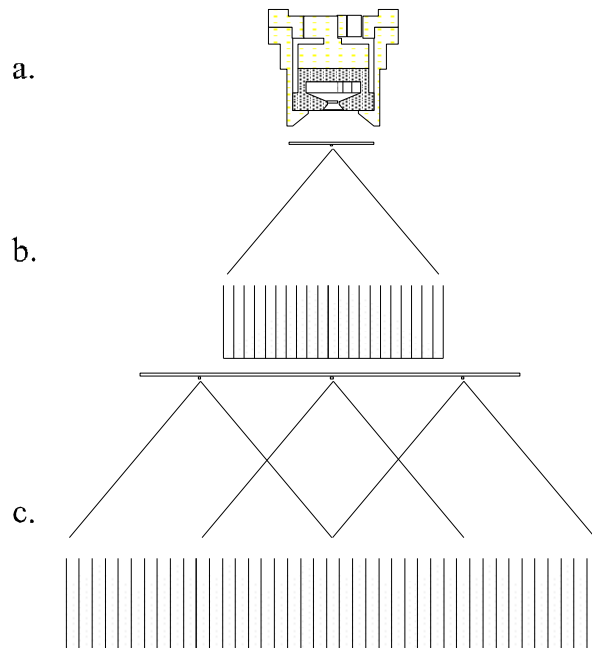
#### *Buse tri-filets*

C'est une buse possédant trois orifices qui forme, à faible pression, des veines de liquide constituées de grosses gouttes (figure 1.8.4.). Elle est réservée à l'épandage d'engrais liquide.

1. buse à fente

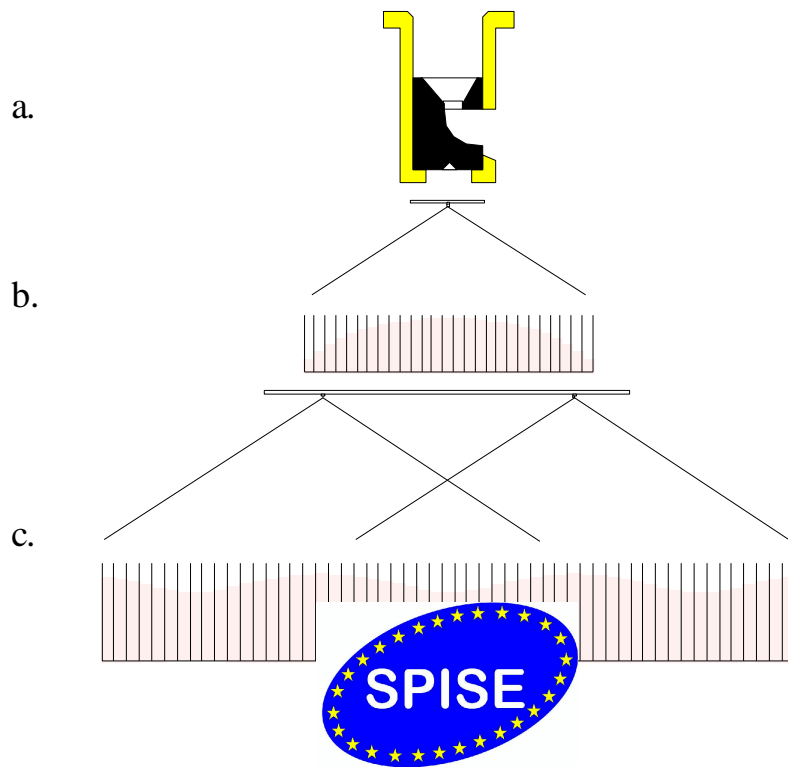


2. buse à turbulence





3. buse à miroir



4. buse tri-files

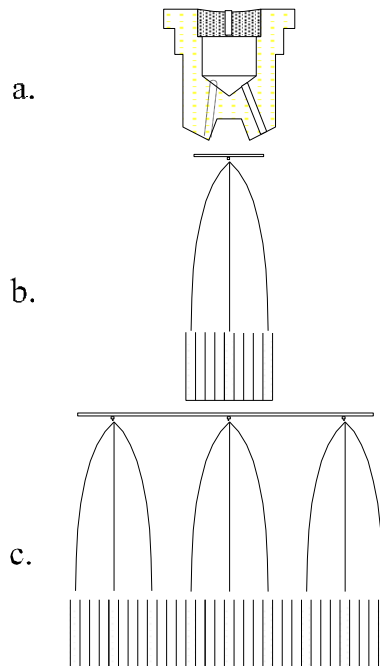


FIGURE 1.8. - Schéma des différents types de buses et de leur répartition.

a. coupe longitudinale de la buse - b. répartition individuelle - c. répartition sous rampe.

Le tableau 1.5. reprend la nature des applications qui peuvent être réalisées au cours d'une saison, leurs contraintes et le type de buse recommandé.

TABLEAU 1.5. - Choix du type de buse selon la nature des traitements à effectuer.

Nature de l'application	Contraintes	Type de buse préconisé	Pression conseillée (bars)
1. Traitement phytosanitaire			
- Herbicide	Grande homogénéité de la quantité appliquée, gouttes moyennes	A fente	1,8 à 3
- Insecticide - Fongicide	Gouttes moyennes Maximum de couverture, brouillard enveloppant, gouttes fines	A turbulence ou à fente	2,5 à 5
2. Fertilisation			
- Liquide clair	Eviter les brûlures, gouttes moyennes à grosses	A fente ou à miroir	1 à 2
- Engrais en suspension	Grosses gouttes		1 à 2

#### PORTE-BUSE

La buse est une pièce amovible et interchangeable fixée sur un porte-buse. Celui-ci comprend un corps et un écrou, qui peut être de type baïonnette pour une fixation rapide de la buse dans la bonne position, ou de type fileté. Il faut noter que chaque marque de pulvérisateur n'accepte généralement qu'une seule marque de buses.

La diversité des traitements amène à utiliser plusieurs sortes de buses au cours d'une saison. Un porte-buse peut exister avec une, deux, trois, quatre et même cinq buses. Pour limiter le temps consacré au changement des buses quand on modifie le volume/hectare ou le type de traitement, il est intéressant d'avoir au moins un porte-buse à barillet à 3 positions. L'utilisateur qui n'emploie qu'un seul jeu de buses au cours d'une saison doit équiper sa rampe de buses à fente, polyvalentes pour toutes les applications.

Actuellement, pratiquement tous les porte-buses sont munis d'un dispositif antigoutte dont le rôle essentiel est d'arrêter instantanément l'écoulement de la bouillie lors de l'interruption de la pulvérisation. Un bon antigoutte a une membrane suffisamment souple, commandée par un ressort à tarage qui demeure constant dans le temps.

En résumé, pour le **CHOIX DES BUSES** :

- à *fente* : la plus utilisée, polyvalente pour tous les traitements, donne une répartition transversale homogène avec simple ou double recouvrement ;
- à *turbulence* : réservée aux fongicides et insecticides, répartition non idéale, plus grande dérive (fines gouttelettes et hauteur de rampe plus importante) ;
- à *miroir* : destinée aux engrais liquides, basse pression ;
- *tri-filets* : destinée aux engrais liquides, basse pression, peu précise, forme trois jets bâtons constitués de grosses gouttes.

#### 1.2.7. Equipement complémentaire

Sur le matériel récent, on trouve de nombreux aménagements visant non seulement à améliorer la précision et la facilité d'utilisation, mais également la protection de l'utilisateur et de l'environnement. Les trois premiers équipements présentés ci-dessous, à savoir le bac mélangeur incorporateur de produit, le dispositif de rinçage des bidons et la cuve de rinçage sont des plus utiles et sont recommandés (figure 1.9.). Le système à mélange retardé et les dispositifs antidérive sont techniquement très intéressants mais nécessitent encore, du moins pour le premier, un certain nombre de mises au point.

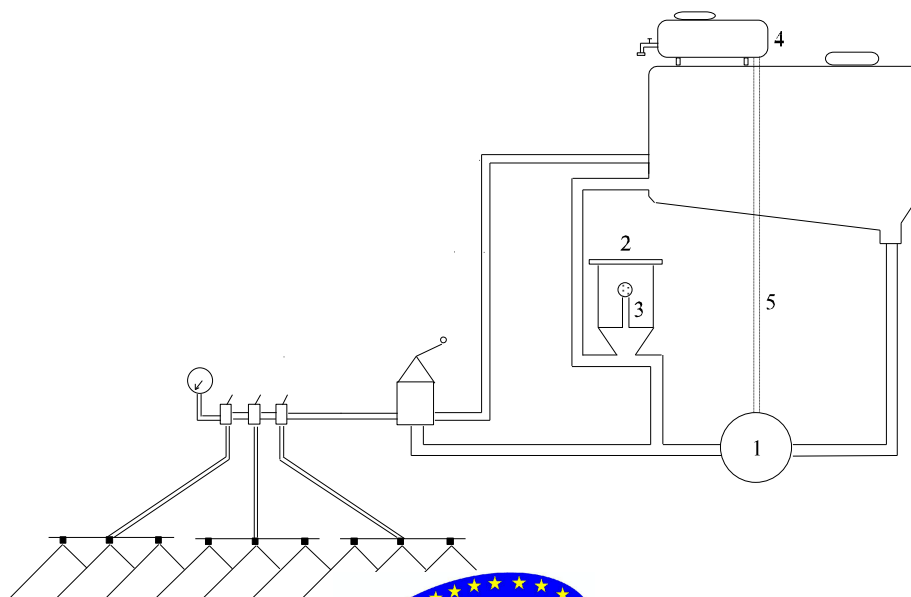


FIGURE 1.9. - Schéma du pulvérisateur à rinçage des bidons complémenteaire minimum.

1. Pompe - 2. Bac incorporateur de produit - 3. Dispositif rinçage-bidons - 4. Cuve de rinçage - 5. Conduite reliant directement la cuve de rinçage à l'aspiration de la pompe.

#### BAC MELANGEUR INCORPORATEUR DE PRODUITS

Avec ce dispositif, tous les produits de traitement sous forme solide ou liquide peuvent être facilement incorporés dans la cuve. Le bac évite à l'utilisateur des manipulations malaisées avec des conditionnements de masse parfois importante (15 voire 20 kg) et limite également le risque de projections de produits. Le bac est généralement monté sur un dispositif escamotable qui le place à bonne hauteur lors de son utilisation et permet son rangement pendant le transport et le travail. Un dispositif placé à la périphérie du bac permet, selon les besoins, de procéder à l'empâtage des produits ou au rinçage du bac. Une échelle graduée est aussi présente au sein du bac de manière à doser la quantité introduite.

#### DISPOSITIF DE RINÇAGE DES BIDONS

Le système rince-bidons permet de nettoyer les emballages ayant contenu le produit phytosanitaire. Le dispositif se trouve généralement au centre du bac mélangeur incorporateur. Il est constitué d'une conduite verticale au bout de laquelle un aspersoir permet le nettoyage sous pression de l'intérieur du bidon. Les systèmes actuellement proposés sur le marché se distinguent principalement par la nature de la tête de rinçage (fixe ou rotative, à fentes ou à trous) et le mode d'ouverture du circuit hydraulique (commande manuelle ou semi-automatique).

La Station de Génie rural a réalisé des essais avec des dispositifs rince-bidons fonctionnant selon trois principes différents, avec des bidons de six formes et volumes variables et enfin, avec trois produits de caractéristiques physico-chimiques représentatives. Dans la majorité des cas, une durée de rinçage de 15 secondes permet d'obtenir un récipient répondant aux normes européennes quant à la teneur en résidus. Selon la classe de toxicité dans laquelle se situe le produit (A, B ou non classé), l'emballage rincé peut être considéré ou non comme déchet ménager recyclable.

#### CUVE DE RINÇAGE

Cette cuve supplémentaire est une réserve d'eau claire dont la capacité peut être comprise entre 50 et 300 l. Elle permet trois opérations :

- la dilution des éventuels excédents de bouillie qui se présentent en fin de traitement. La pulvérisation de cette bouillie diluée sur les fourrières se révèle plus adéquate que le déversement dans la nature ;
- la préparation d'une quantité complémentaire de bouillie lorsque la cuve est vide avant la fin du traitement ;
- le rinçage de l'ensemble des conduites immédiatement après l'arrêt de la pulvérisation. Cela évite le problème de l'élimination des eaux de rinçage (le volume de bouillie restant dans les conduites peut dépasser 50 l) mais surtout, évite les complications provoquées par un trop long séjour de la bouillie dans les tuyauteries (sédimentation et incrustation des matières insolubles).

Dans certains cas, une réserve d'eau d'environ 10 l est disponible à l'intérieur de la cuve de rinçage afin de se laver les mains. Sinon, un réservoir supplémentaire peut être prévu à cet effet.

#### SYSTEME A MELANGE RETARDE

Ce procédé, connu également sous l'appellation "système à injection directe", nécessite l'utilisation de deux circuits : un circuit d'eau claire alimenté par la cuve principale et un circuit de produit phytosanitaire, alimenté par un ou plusieurs réservoirs de produit concentré (figure 1.10.). Son fonctionnement requiert des pompes doseuses qui prélèvent, hors du réservoir (bidon d'origine ou autre), le produit sous forme liquide. L'eau et la matière active sont mélangées avant d'être distribuées dans les tronçons de rampe. Le calibrage des pompes doit être précis et leur débit proportionnel à la vitesse d'avancement. Ainsi, la quantité/hectare de produit reste constante sur toute la parcelle.

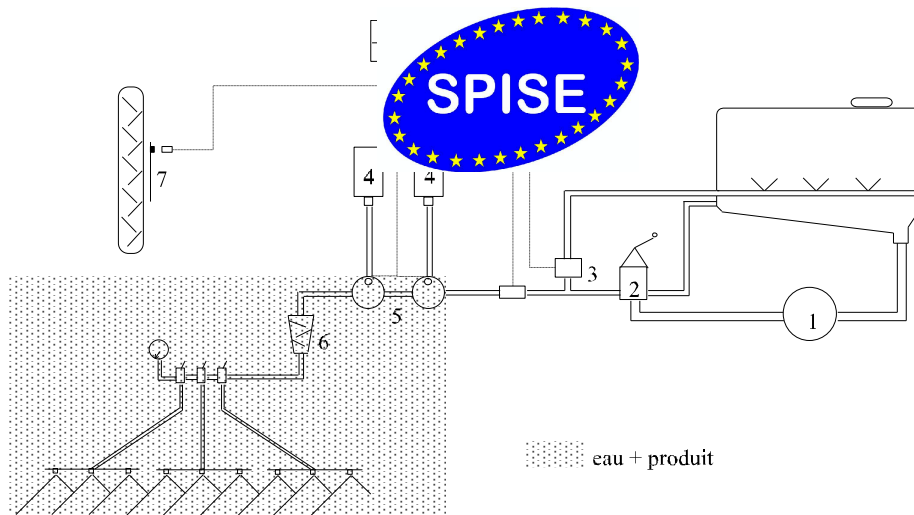


FIGURE 1.10. - Schéma d'un système à injection directe.

1. Pompe - 2. Vanne principale - 3. Vanne motorisée de régulation du retour en cuve - 4. Réservoirs de produit concentré - 5. Pompes doseuses - 6. Mélangeur - 7. Capteur de vitesse - 8. Ordinateur de bord.

L'intérêt particulier des systèmes d'injection directe tient au fait qu'à la fin du cycle de pulvérisation ou lors d'une interruption de celui-ci, il n'y a aucun résidu de produit à éliminer. Ceci évite bien sûr les pertes de temps et les complications, mais présente surtout un avantage important pour l'environnement, à savoir l'impossibilité de pollution des sols ou des nappes phréatiques avec des restes de bouillie. Selon la localisation du point d'injection, le volume des conduites ayant été en contact avec le produit est réduit. Le rinçage du pulvérisateur est dès lors plus aisé.

La dérive en pulvérisation est la déviation des gouttes hors de leur trajectoire initiale, c'est-à-dire à côté de la cible visée. Elle sera d'autant plus importante que le vent est fort, que la taille des gouttes est petite et que la hauteur de rampe est élevée. Plusieurs techniques sont disponibles afin de limiter le phénomène de dérive dont notamment la buse antidérive et l'assistance pneumatique.

#### *Buse antidérive*

La buse antidérive est une buse à fente munie d'un pré-orifice calibré qui crée une perte de charge lorsque le liquide passe au travers. Cette diminution de pression avant la formation du jet élimine en grande partie la formation des fines gouttelettes particulièrement sensibles à la dérive (diamètre inférieur à 150  $\mu\text{m}$ ). Le pré-orifice permet une pulvérisation à pression normale sans perturber l'ouverture des antigouttes. L'utilisation de la buse à fente permet de conserver une grande qualité de répartition transversale.

Il existe également des buses à grosses gouttes (de type "rain drop") avec lesquelles il n'y a plus de dérive, mais où les caractéristiques du jet formé ne conviennent plus pour tous les traitements. Ces buses présentent généralement une répartition et un calibrage moins précis que les buses à fente.

#### *Assistance pneumatique*

Avec cette technique, la rampe de pulvérisation, équipée de buses traditionnelles, est doublée d'un manchon de distribution d'air. Le débit est réglable et le flux d'air assure le transport des gouttelettes de la buse à la cible visée, en réduisant le phénomène de dérive et en augmentant la pénétration de la bouillie dans les cultures denses.



### 1.3. COUT D'UTILISATION PREVISIONNEL

Tous les raisonnements tenus jusqu'à présent sont nécessaires à la sélection du pulvérisateur qui correspond le mieux aux besoins de l'exploitation. Cependant, le choix de l'appareil sera bien souvent guidé par la proximité d'un concessionnaire, et l'élément décisif reste souvent le capital à investir.

Le montant de l'achat n'est pas la seule contrainte financière, le coût d'utilisation du matériel choisi est primordial pour la rentabilité des opérations de traitement des cultures. Ce dernier est fonction de nombreux paramètres : investissement de départ, durée d'amortissement (usure et vieillissement du matériel), taux d'intérêt, montant des frais d'entretien et de réparation, performance de chantier, coût d'utilisation des engins de traction, etc.

Les tableaux 1.6. et 1.7. présentent le coût d'utilisation prévisionnel de différents modèles de pulvérisateurs ainsi que son évolution en fonction du nombre d'hectares traités par année. Les montants calculés comprennent la part de l'appareil et celle du tracteur. Pour être complet, il faut encore ajouter le montant des prestations de main-d'oeuvre, qui peuvent être calculées en multipliant le temps/hectare par le coût horaire du travail (valeurs non reprises dans le tableau). La méthode de calcul du coût d'utilisation est celle utilisée à la Station de Génie rural de Gembloux.

Il faut, parallèlement à ces données, considérer la performance de chantier des différents appareils. En fonction de celle-ci, les traitements en période de pointe peuvent s'effectuer ou non dans les délais requis et dans de bonnes conditions. Le confort et les facilités d'utilisation d'un pulvérisateur sont des éléments pouvant prendre de l'importance lorsque le nombre d'hectares à traiter annuellement est élevé.

TABLEAU 1.6. - Montant de l'investissement et performance de chantier de plusieurs modèles de pulvérisateurs (valeurs indicatives).

Modèle	Cuve (l)	Investissement		Puissance moteur requise (kW/ch)	Performance (ha/h)
Porté DPM	800			50/68	4
	DPM 1 000	18	380 000	60/82	5
	DPM 1 200	21	500 000	70/93	6
	DPAe 1 200	21	900 000	70/93	6
	DPAe 1 400	24	1 000 000	60/82	7
Traîné	DPAm 2 000	18	500 000	50/68	5,5
	DPAm 2 500	21	1 200 000	55/75	6,5
	DPAe 3 000	24	1 450 000	60/82	7,5
	DPAe 3 500	28	1 850 000	70/95	8,5
Intégrable	DPAe 1 600	21	800 000	70/95	7
	DPAe 2 200	24	900 000	80/109	8
Automoteur	DPAe 2 000	21	3 600 000	74/100	7
	DPAe 3 000	24	4 700 000	96/130	8
	DPAe 4 000	28	5 800 000	118/160	9

TABLEAU 1.7. - Coût d'utilisation prévisionnel à l'hectare (BEF) selon le modèle et le type de pulvérisateur et le nombre d'hectares traités par année, frais de tracteur inclus, frais de main-d'oeuvre non compris (valeurs indicatives).

Modèle	Cuve (l)	Surface traitée ha/an																
		150	200	300	350	400	450	500	600	700	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 500
Porté	800	359	319	283	273	267												
	1 000	433	373	317	302	292	284	278										
	1 200		425	348	327	312	301	293	281	273								
	1 200		661	523	486	459	439	424	403	388	378							
	1 400			540	497	466					370							
Traîné	2 000			518	482	457					378	364	355	349				
	2 500			600	559	523					411	392	380	371	365			
	3 000			693	630	585					442	413	404	393	385	379	365	
	3 500					680	635	600	547	515	491	460	440	426	416	408	402	
Intégrable	1 600			447	413	389	371	358	332	328	319	298	293	288	286	276	265	263
	2 200			499	461	423	403	388	359	351	339	320	315	307	298	297	295	292
Automoteur	2 000							1 008		861	819	762	725	700	681	670	655	
	3 000									1 030	972	895	846	812	787	773	753	726
	4 000											1 017	955	912	881	863	838	805

## 1.4. ORGANIGRAMME DE CHOIX

Les éléments essentiels pour le choix d'un pulvérisateur sont repris à la figure 1.11.

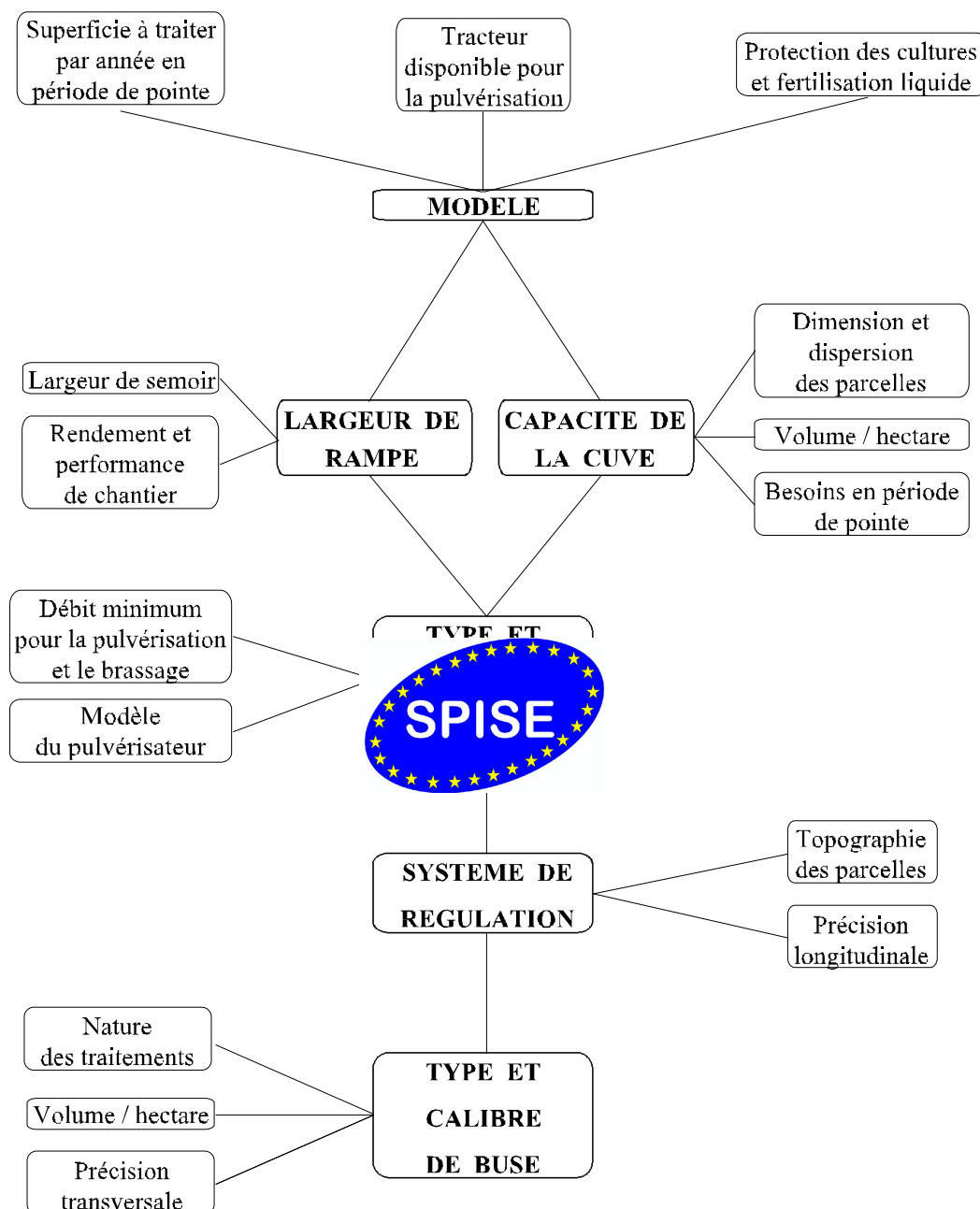


FIGURE 1.11. - Organigramme de choix



## 1.5. FREQUENCE D'UTILISATION D'UN PULVERISATEUR AU COURS D'UNE CAMPAGNE

Il s'avère que le choix d'un pulvérisateur est difficile. L'expérience montre que le facteur essentiel de réussite d'un traitement est la rapidité d'exécution. C'est ainsi que dans la plupart des situations, n'importe quel type de traitement est exécuté en un jour et demi de travail effectif.

Le problème est que le nombre de jours propices à l'exécution des traitements est limité par les aspects biologiques (stade phénologique des plantes, degré de développement du parasite), mais aussi par les aspects abiotiques (conditions climatiques et état du sol). L'utilisateur doit trouver un compromis entre les besoins en période de pointe et les contraintes auxquelles il est confronté.

On définit la période de pointe selon la nature et la fréquence des traitements pour chaque culture et selon la distribution des diverses applications dans le temps. Cette période correspond à une durée d'intense utilisation du pulvérisateur, c'est-à-dire à l'obligation de traiter un maximum d'hectares pendant un nombre de jours limité.

Les contraintes sont caractérisées par les jours disponibles et les performances de chantier. Les jours favorables pour la pulvérisation dépendent essentiellement des conditions climatiques qui peuvent perturber profondément l'organisation du travail. Ce sont souvent les précipitations qui retardent l'exécution des applications : interdiction de pulvériser lorsque la végétation est humide ou lorsque des pluies peuvent survenir peu après le traitement. De plus, des pluies persistantes peuvent rendre les champs inaccessibles pendant un laps de temps prolongé. Dans d'autres circonstances, et ce fut le cas en 1991, des gelées printanières tardives risquent d'inhiber l'efficacité de certains produits et forcent les utilisateurs à postposer leur intervention. Par ailleurs le nombre d'heures par jour propices au traitement est limité, notamment par forte rosée, ou trop basse température. Dans ce cas, les travaux ne peuvent généralement débuter qu'en fin de matinée. Enfin, un vent important nuit à un travail de qualité en perturbant la trajectoire des gouttes.

Avec l'expérience des années antérieures, il est possible de déterminer les jours effectivement libres pour réaliser les traitements.

La performance globale de chantier, c'est-à-dire le volume/hectare employé, de la largeur de la rampe, la capacité de la cuve influe sur ce dernier, et le temps consacré aux déplacements du lieu d'approvisionnement en eau au champ.



### **Exemple**

Exploitation possédant 200 ha de cultures dont : betterave (42 ha), froment (88 ha), escourgeon (14 ha), chicorée (8 ha), pommes de terre - haricot - lin (48 ha sous contrat, c'est-à-dire que l'exploitant ne se charge pas de la réalisation des traitements).

Pour l'ensemble d'une campagne qui a débuté en octobre et qui s'est terminée en septembre de l'année suivante, il a été procédé au relevé du total des applications effectuées sur l'ensemble de la ferme.

Les traitements de fertilisation, de raccourcisseur de paille ou d'insecticide ont été réalisés en mélange avec une autre application. Pour les différents types de culture, le relevé des interventions a été regroupé par mois en fonction de la nature des produits appliqués.

Le tableau 1.8. reprend l'ensemble de ces observations. Il donne la fréquence mensuelle des pulvérisations et les superficies qui s'y rapportent ainsi que le nombre total d'hectares traités annuellement par type d'application.

Il est intéressant de noter que sur environ 1 000 ha de pulvérisation, environ la moitié concerne les herbicides. Ces derniers nécessitent une grande précision lors de leur application ce qui justifie, sans conteste, l'utilisation des buses à fente.

Dans le cas de l'exemple, la période de pointe se situe de début avril à mi-juin, avec un pic au mois d'avril.

L'exploitant utilise un pulvérisateur traîné, équipé d'une cuve de 3 200 l et une rampe de 20 m. Son rendement total de chantier  $\rho_t$  est de 53 %, la performance globale de chantier  $P$ , pour une vitesse moyenne d'avancement de 8,5 km/h, est alors d'environ 9 ha/h.

En considérant la notion de rapidité d'intervention, on constate qu'il faut environ 9 h 45 minimum de travail effectif pour traiter les 88 ha de froment de la ferme et, dans les circonstances, à un laps de temps compris entre un et deux jours.



Cet exemple illustre la nécessité de bien choisir les produits et les conditions d'application afin de pouvoir réaliser les traitements dans des délais aussi brefs que possible.

TABLEAU 1.8. - Programme de pulvérisation pour une exploitation de grandes cultures.

Année	Mois	Cultures	Surf. (ha)	Type d'application - Nombre de passages					Surface traitée/mois (ha)	
				engrais liq.	herbicide	raccourcisseur	fongicide	insecticide	par culture	TOTAL
1990	Octobre	Escourgeon	14		1				14	<b>14</b>
	Novembre	Escourgeon	14					1	14	<b>14</b>
1991	Décembre à Mars									
	Avril	Betterave	42	1	1				84	
		Froment	88	2	2	1*			352	
		Escourgeon	14	2	1	1**	1		56	
		Chicorée	8	1	2				24	<b>516</b>
	Mai	Betterave	42					1***	126	
		Froment	88				1		88	
		Escourgeon	14				1		14	<b>228</b>
	Juin	Betterave	42						42	
Froment		88				1		88	<b>130</b>	
Juillet										
Août	Betterave	42				1		42		
	Chicorée	8				1		8	<b>50</b>	
Septembre										
TOTAL par culture (ha)		Betterave	42	1	5		1	1***	<b>294</b>	
		Froment	88	2	2	1*	2		<b>528</b>	
		Escourgeon	14	2	2	1**	2	1	<b>98</b>	
		Chicorée	8	1	2		1		<b>32</b>	
TOTAL par type d'application (ha)				<b>254</b>	<b>430</b>	-	<b>254</b>	<b>14</b>	<b>952</b>	

\* raccourcisseur appliqué avec l'engrais liquide / \*\* raccourcisseur appliqué avec un fongicide / \*\*\* insecticide appliqué avec un herbicide

## REGLAGE ET ENTRETIEN

### 2.1. VERIFICATIONS PREALABLES AU REGLAGE

Avant de remettre le pulvérisateur en service et de procéder aux divers réglages, il est indispensable de contrôler le bon fonctionnement de ses principaux organes. Avec un appareil correctement nettoyé et rincé avant remisage, ces vérifications peuvent se faire très rapidement et sans difficulté.

#### 2.1.1. Pompe

Remplacer l'huile ou renouveler le graissage suivant le type de pompe. Contrôler l'état des soupapes, des membranes et des joints d'étanchéité et les remplacer si nécessaire. Vérifier la pression de la cloche à air : elle doit être au moins égale au tiers de la pression de travail, mais jamais supérieure à celle-ci.

Si les performances de la pompe sont incertaines, il est conseillé de contrôler son débit. Pour ce faire, il suffit de remplir la cuve jusqu'au débordement, de démonter le tuyau de refoulement et de faire fonctionner la pompe pendant un laps de temps que l'on mesure (minimum 5 min). On mesure la quantité de liquide nécessaire pour remplir la cuve afin de calculer le débit de la pompe. On peut aussi utiliser un débitmètre électronique similaire à ceux qui sont proposés pour le contrôle du remplissage de la cuve et connaître ainsi instantanément le débit de la pompe.

#### 2.1.2. Filtres

Nettoyer soigneusement les filtres dans les



e refoulement et remplacer ceux qui présentent la

moindre défectuosité.

#### 2.1.3. Unité de régulation-distribution

Tester toutes les fonctions à l'eau et vérifier si les vannes ne fuient pas. Un débit trop faible des buses peut être dû à des joints défectueux au niveau des vannes de segments de rampe où une certaine quantité de liquide retourne en cuve via la canalisation des retours compensatoires.

#### 2.1.4. Manomètre

Vérifier ou faire vérifier l'état du manomètre, instrument essentiel pour le réglage du pulvérisateur, et le remplacer au besoin par un modèle plus précis.

Pour le contrôle, il existe différentes méthodes. Une des plus simples consiste à démonter un des tuyaux d'alimentation des segments de rampe au distributeur, d'y raccorder un manomètre étalonné et de comparer les valeurs indiquées par les deux capteurs.

Si les différences sont minimales mais identiques dans toute la plage de lecture des pressions de travail courantes (2 à 5 bars), le manomètre peut encore être utilisé à condition de noter l'écart et d'en tenir compte lors du réglage. Par contre, si la déviation n'est pas linéaire (par exemple 0,5 pour 2 bars et 0,3 pour 5 bars), le manomètre doit être remplacé.

Un bon manomètre aura un cadran de minimum 60 mm de diamètre et une plage de lecture de 0 à 5 bars étendue sur au moins 120°.

Parfois, il est également possible de corriger une erreur d'affichage de quelques dixièmes en retirant le petit bouchon de caoutchouc, situé sur le dessus du manomètre. Cette opération a pour but d'évacuer le peu d'air sous pression qui aurait pu s'introduire dans le manomètre et fausser la lecture.

#### 2.1.5. Capteurs

Nettoyer et étalonner les capteurs pour les pulvérisateurs avec contrôle ou régulation électronique.

#### CAPTEUR DE VITESSE

Pour les capteurs de type magnétique, il faut vérifier l'état de propreté et l'écartement entre les plots métalliques et le capteur, qui doit être compris entre 5 et 7 mm.

L'étalonnage consiste à déterminer une constante de la vitesse d'avancement pouvant être obtenue par calcul ou de préférence en parcourant une distance connue.

Dans le premier cas, le calcul se fera avec la formule suivante :

$$C = \frac{2 \times \pi \times R}{N}$$

où C = constante de la vitesse d'avancement,  
R = rayon de la roue sous charge (m),  
N = nombre de plots montés sur la jante.

Dans le deuxième cas, il suffit d'introduire dans le calculateur la distance parcourue et celui-ci détermine automatiquement la constante en divisant cette distance par le nombre d'impulsions envoyées par le capteur.

L'étalonnage régulier s'impose de manière à tenir compte, notamment, de l'usure ou du changement des pneumatiques.

#### CAPTEUR DE DEBIT

Avant l'étalonnage du débitmètre, il faut nettoyer la turbine et vérifier si celle-ci tourne sans frottement.

L'opération d'étalonnage est réalisée en mesurant la quantité d'eau passant par une ou plusieurs buses pendant un temps donné. On extrapole cette valeur à l'ensemble de la rampe en vue de déterminer le débit total. Cette valeur est introduite dans l'ordinateur de bord qui calcule le débit sur base de cette donnée et du nombre d'impulsions fournies par le débitmètre pendant un temps donné. Le capteur de débit exige au moins un étalonnage par saison.



#### CAPTEUR DE PRESSION

Pour les capteurs de pression, la constante d'étalonnage est généralement vérifiée à partir de deux pressions à afficher sur le manomètre (par exemple 2 et 8 bars). Une fois la constante introduite dans le calculateur, on doit lire, pour différents réglages, les mêmes valeurs de pression sur le manomètre et sur l'écran d'affichage du calculateur.

#### 2.1.6. Tuyauterie

Vérifier qu'aucun tuyau n'est percé ou écrasé. Contrôler l'état des joints et le serrage des colliers.

#### 2.1.7. Rampe

Vérifier que la suspension travaille correctement. Abaisser jusqu'au sol une extrémité de la rampe qui, une fois relâchée, doit revenir en position horizontale en maximum trois oscillations. Si la suspension est trop libre, augmenter le serrage des pièces en frottement, si elle est trop dure, graisser ces mêmes éléments.

Changer les pièces défectueuses, notamment le ressort des charnières de tronçons de rampe.

#### 2.1.8. Buses

Vérifier l'espacement des buses sur la rampe, leur décalage angulaire afin que les jets n'interfèrent pas, ainsi que leur position verticale. Toutes les buses doivent être placées à une distance rigoureusement identique, généralement de 50 cm, et présenter le même décalage angulaire par rapport à la rampe.

Contrôler l'usure des buses. Plusieurs méthodes sont à la disposition de l'utilisateur (figure 2.1.) :

- l'éprouvette graduée. La méthode consiste à recueillir le liquide pulvérisé par chacune des buses dans un récipient gradué, pendant un temps déterminé (généralement 1 min) ;
- le débitmètre à bille. Il indique la valeur instantanée du débit de la buse par l'intermédiaire d'une bille qui se positionne en vis-à-vis d'une échelle graduée. Il suffit d'appliquer, en évitant toute fuite, un des embouts du débitmètre sous la buse ;
- les sachets plastiques. Ce sont des éprouvettes souples graduées qui peuvent être fixées sur chaque écrou de buse à l'aide d'une agrafe métallique et ce, quel que soit le type de porte-buse. Cette solution est optimale, notamment pour les appareils à régulation D.P.A. mécanique où il n'est pas toujours possible de faire pulvériser l'appareil à poste fixe.

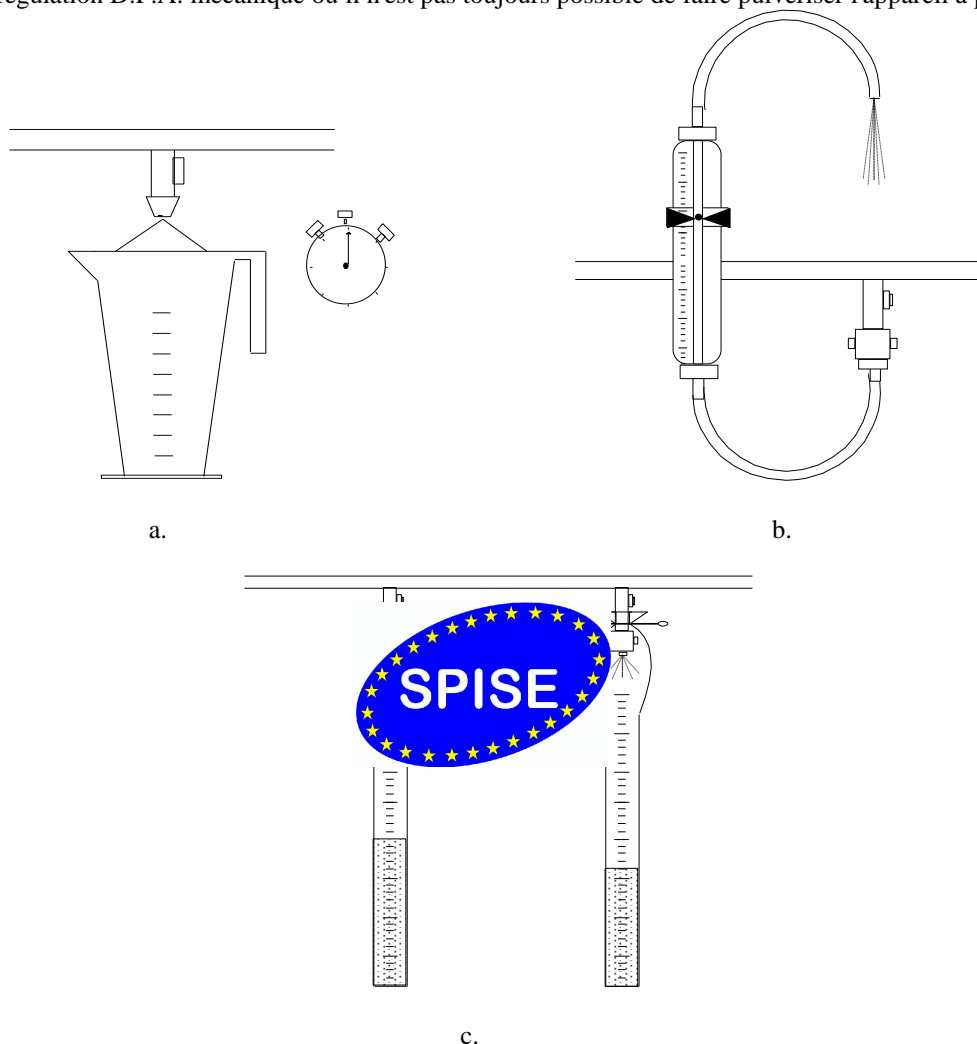


FIGURE 2.1. - Matériels pour le contrôle du débit des buses :  
 a. éprouvette graduée et chronomètre - b. débitmètre à bille - c. sachets plastiques gradués.

La mesure du débit de chacune des buses permet d'obtenir deux informations importantes (voir aussi § 3.4.2.M.).

- Le taux d'usure des buses : celles qui présentent une augmentation de débit supérieure à 10 % par rapport à la valeur nominale (débit d'une buse neuve) doivent être changées. Il est conseillé de remplacer la totalité du jeu lorsque l'écart entre le débit moyen du lot et le débit nominal dépasse 5 %.
- L'homogénéité de l'usure : l'entièreté des buses doit présenter un débit similaire, c'est-à-dire se trouver dans une tolérance de  $\pm 5\%$  par rapport au débit moyen.

Il y a lieu d'être d'autant plus exigeant sur le débit des buses que l'on travaille à faible volume/hectare, les erreurs étant en effet plus préjudiciables dans ces conditions.

## 2.2. ETALONNAGE DE L'APPAREIL

### 2.2.1. Introduction

Avant d'entreprendre le réglage d'un pulvérisateur, il faut connaître les caractéristiques de la pulvérisation requise, à savoir le volume/hectare et la taille des gouttes.

La quantité de liquide à épandre à l'hectare dépend du type de produit, du stade de développement de la culture et des conditions climatiques. Pour les traitements en grandes cultures, les volumes appliqués varient généralement entre 100 et 300 l/ha.

La taille des gouttes est dépendante du mode d'action des produits pulvérisés ainsi que de l'importance du vent. La finesse des gouttelettes détermine leur aptitude à atteindre et à couvrir correctement la cible. Des gouttes trop grosses ont tendance à ruisseler sur la végétation et à tomber sur le sol ; des gouttelettes fines ont un taux de recouvrement supérieur mais forment des embruns plus facilement emportés par le vent. Pour obtenir une pulvérisation homogène, sans trop de brouillard, il est conseillé d'utiliser la buse à fente. Elle procure une bonne répartition à partir d'une pression d'environ 1,8 bar et peut être employée jusqu'à 3 bars avec la plupart des herbicides. Pour les fongicides et les insecticides, on peut éventuellement travailler à des pressions un peu supérieures, entre 3 et 5 bars.

Avec le type de buse choisi et connaissant les conditions de traitement (la nature du produit et les caractéristiques de la pulvérisation), on doit procéder aux opérations suivantes :

- mesurer la vitesse d'avancement du tracteur,
- déterminer le débit nécessaire à la buse pour obtenir le volume/hectare choisi,
- régler la pression de travail compatible avec le type et le calibre de buse utilisée,
- contrôler le débit réellement obtenu à la rampe.

### 2.2.2. Mesure de la vitesse de travail

La vitesse d'avancement et l'écartement volume/hectare choisi. Il est de ce fait indiqué de mesurer la vitesse de travail dans les conditions de travail. Celle-ci est déterminée par calcul, après avoir mesuré le temps nécessaire pour parcourir une distance minimum de 100 m, de préférence dans un champ, avec une cuve à moitié remplie (figure 2.2.).



Il faut de déterminer le débit nécessaire pour obtenir le volume/hectare choisi. Il est de ce fait indiqué de mesurer la vitesse de travail dans les conditions de travail. Celle-ci est déterminée par calcul, après avoir mesuré le temps nécessaire pour parcourir une distance minimum de 100 m, de préférence dans un champ, avec une cuve à moitié remplie (figure 2.2.).

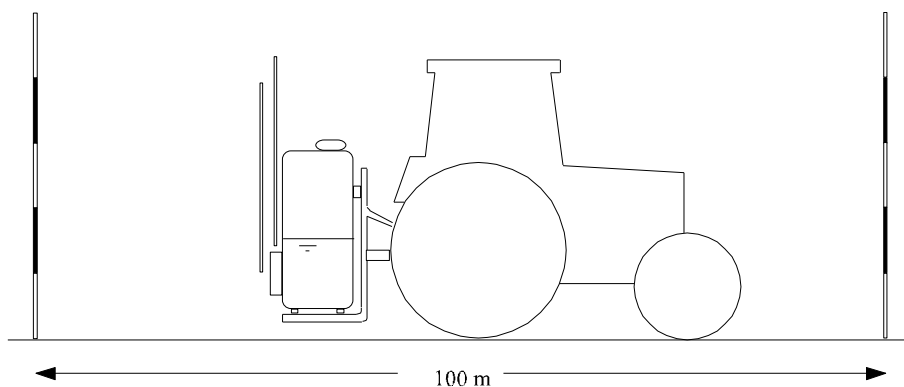


FIGURE 2.2. - Schéma du contrôle de la vitesse de travail.

La vitesse d'avancement est fonction du rapport entre la distance parcourue et le temps :

$$V = \frac{e}{t} \times 3,6$$

- où
- V = vitesse d'avancement (km/h),
  - e = distance entre les deux jalons (m),
  - t = temps nécessaire pour parcourir la distance jalonnée (s),
  - 3,6 = facteur d'ajustement d'unités.

### Exemple

Si le tracteur parcourt 100 m en 45 s, la vitesse est de :

$$V = \frac{100}{45} \times 3,6 = 8 \text{ km/h.}$$

### 2.2.3. Détermination du débit nécessaire à la buse

Le débit d'une buse, c'est-à-dire le volume de liquide qui s'écoule par unité de temps, dépend de la pression d'utilisation, du calibre de la buse (section de l'orifice de la buse) et de la densité du liquide pulvérisé.

La pression d'utilisation ainsi que la nature de la bouillie étant imposées par le type de traitement, le choix du calibre se fait en fonction du volume à épandre et de la vitesse d'avancement du tracteur. La formule suivante fournit la valeur du débit d'une buse selon ces deux paramètres :

- où
- d = débit d'une buse (l/min),
  - Q = volume par unité de surface
  - V = vitesse d'avancement (km/h),
  - E = écartement des buses (m),
  - 600 = facteur d'ajustement d'unités.



### Exemple

Pour appliquer 200 l/ha à une vitesse de 7 km/h avec une rampe dont les buses sont espacées de 0,50 m, la buse à retenir doit avoir un débit de :

$$d = \frac{200 \times 7 \times 0,5}{600} = 1,17 \text{ l/min.}$$

La même formule peut être utilisée pour déterminer avec un type de buse donné, la quantité à appliquer à l'hectare ou la vitesse d'avancement requise. Elle s'écrit dans ce cas :

$$Q = \frac{d \times 600}{E \times V} \quad \text{ou} \quad V = \frac{d \times 600}{Q \times E}$$

### Exemple



Si l'on reprend les mêmes données que l'exemple précédent, on peut déterminer le volume/hectare et la vitesse d'avancement :

$$Q = \frac{1,17 \times 600}{0,5 \times 7} = 200 \text{ l/ha} \quad \text{ou} \quad V = \frac{1,17 \times 600}{200 \times 0,5} = 7 \text{ km/h.}$$

Si la formule a l'avantage d'être exacte, en pratique, le débit est souvent déterminé en se référant aux tableaux de débit ou en utilisant des règles à calcul. Ces deux systèmes ne sont en fait que l'application de la formule pour toute une série de valeurs du volume/hectare et de la vitesse.

#### TABLEAU DE DEBIT

Il se présente sous forme d'un tableau où l'on retrouve, à l'intersection du volume/hectare et de la vitesse d'avancement, le débit de la buse ainsi que la pression de travail selon le calibre choisi. Généralement, tous les tableaux de débits identifient les calibres par un code de couleur (figure 2.3.).

Le tableau de débit diffère légèrement selon le constructeur de buses. Dans tous les cas, les tableaux sont calculés pour un espacement de buses de 0,50 m et une densité de liquide égale à 1 (densité de l'eau).

#### *Exemple*

Un utilisateur désire effectuer un traitement foliaire. Il choisit une buse qui fournit un débit de 1,33 l/min et, à une vitesse de 8 km/h, il optera plutôt pour la buse de calibre rouge avec une pression de travail de 3,6 bars.



Il choisit une buse qui fournit un débit de 1,33 l/min et, à une vitesse de 8 km/h. D'après le tableau, il choisira la buse de calibre rouge avec une pression de travail de 3,6 bars.

FIGURE 2.3. - Tableau de débit : valeur du débit de la buse selon le volume/hectare et la vitesse de travail et, valeur de la pression selon le calibre de buse choisi (le calibre s'identifie à un code de couleur).

BUSES A FENTE 110° et 80° - espacement 50 cm																			
VOLUME / HECTARE (l)	Pression et débit	VITESSE (km/h)																	
		6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
100	bar	1	2,1	1,2	2,4	1,4	2,8	1,6	3,2	1,8	3,6	2	4,1	1,2	2,3	1,3	2,6	1,4	2,9
	l/min	0,5	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,75	0,79	0,83									
125	bar	1,6	3,2	1,9	3,7	1,1	2,2	1,3	2,5	1,4	2,9	1,6	3,2	1,9	3,6	2,1	4	2,2	4,5
	l/min	0,62	0,68	0,73	0,78	0,83	0,88	0,94	0,99	1,04									
150	bar	1,2	2,3	1,4	2,7	1,6	3,2	1,8	3,7	1	2,1	1,1	2,4	1,3	2,6	1,4	2,9	1,6	3,2
	l/min	0,75	0,81					1,06	1,12	1,19	1,25								
175	bar	1,6	3,2	1,8	3,7			2,8	1,6	3,2	1,8	3,5	2	3,9	2,2	4,4			
	l/min	0,7	0,95			1,6	1,24	1,31	1,39	1,46									
200	bar	1	2,1	1,2	2,4			3,6	2	4,1	1,1	2,3	1,2	2,6	1,4	2,8			
	l/min	1	1,08			3,3	1,41	1,5	1,58	1,66									
250	bar	1,6	3,2	1,9	3,8			2,8	1,6	3,2	1,8	3,6	2	4	2,2	4,4			
	l/min	1,25	1,35	1,46	1,56	1,66	1,77	1,87	1,98	2,08									
300	bar	1,1	2,3	1,3	2,7	1,6	3,1	1,8	3,6	1	2	1,1	2,3	1,3	2,6	1,4	2,9	1,6	3,2
	l/min	1,5	1,62	1,75	1,87	2	2,12	2,25	2,37	2,5									
350	bar	1,6	3,1	1,8	3,7	1,1	2,1	1,3	2,4	1,4	2,8	1,6	3,2	1,8	3,5	2	3,9	2,2	4,3
	l/min	1,75	1,89	2,04	2,19	2,33	2,48	2,62	2,77	2,92									
400	bar	1	2	1,2	2,4	1,4	2,8	1,6	3,2	1,8	3,6	2	4,1	2,3	4,6	2,6	5,1	2,8	5,7
	l/min	2	2,17	2,33	2,5	2,67	2,83	3	3,17	3,33									



## REGLE A CALCUL

Elle est constituée de plusieurs échelles en vis-à-vis dont certaines peuvent se déplacer par rapport aux autres qui restent fixes. Ces échelles reprennent plusieurs valeurs du volume/hectare, de la vitesse d'avancement, de débit de buse, de pression de travail ainsi que les différents calibres disponibles. En positionnant le volume/hectare désiré en concordance avec la vitesse présumée, on lit la valeur de débit et celle de la pression selon le calibre de buse choisi.

Comme pour les tableaux de débits, on choisit les conditions de travail les plus favorables d'après les contraintes (nature du traitement et conditions climatiques) et selon le type de buses dont on dispose sur le pulvérisateur.

Il y a deux situations où les informations venant des tableaux de débit ou de la règle à calcul doivent être corrigées :

- lorsque l'espacement entre les buses est différent de 0,50 m (anciennement il était de 0,33 m), il y a lieu de corriger le débit de la manière suivante : multiplier par 2 le débit initial et diviser par le nombre de buses au mètre. La pression liée à ce nouveau débit peut être obtenue en cherchant cette nouvelle valeur dans les tableaux ou à partir de la règle à calcul. Il est à noter que les valeurs de vitesse et de volume/hectare correspondantes ne sont plus d'application.

### Exemple

Pour épandre 200 l/ha à une vitesse de 8 km/h avec des buses espacées de 0,33 m à lieu de 0,5 m, le débit à chaque buse doit être :

$$d = \frac{1,33 \times 2}{3} = 0,89 \text{ l/min.}$$

Plusieurs cases de la figure 2.3. présentent un



une pression de 1,6 bars avec la buse de calibre rouge.

- lorsque la densité du liquide pulvérisé est différente de 1 (densité d'une bouillie classique), il faut multiplier la pression d'utilisation indiquée dans les tableaux par la densité du liquide utilisé. Cette correction est nécessaire afin de conserver le volume/hectare désiré.

### Exemple

Pour appliquer une solution fertilisante de densité 1,28 à un volume/hectare de 125 l et une vitesse de 8,5 km/h, il faut multiplier la pression renseignée dans le tableau de débit par la densité de la solution azotée. Pour la buse de calibre rouge, la pression de travail devient :

$$P = 1,6 \times 1,28 = 2 \text{ bars.}$$

Une autre méthode consiste à utiliser un facteur de conversion par lequel il faut multiplier soit le débit, soit le volume/hectare ou la vitesse avant de se référer aux tableaux de débit, toujours basés sur des liquides dont la densité est égale à 1 (eau).

Le tableau 2.1. reprend ce facteur de conversion pour plusieurs valeurs de densité.

TABLEAU 2.1. - Facteur de conversion à utiliser pour des solutions de densité différente de 1.

Densité de la bouillie	Facteur de conversion
0,84	0,92
0,96	0,98
1,00	1,00
1,08	1,04
1,20	1,10
1,28	1,13
1,32	1,15
1,44	1,20
1,68	1,30

### Exemple

Pour appliquer une solution fertilisante de densité 1,28 à un volume/hectare de 125 l et une vitesse de 8,5 km/h, on choisit la pression de travail qui correspond aux caractéristiques de pulvérisation corrigées. Dans le cas présent, il faut utiliser la buse de calibre rouge à une pression d'environ 2 bars. Cette valeur est trouvée dans la figure 2.4., à l'intersection du volume/hectare de 125 l et de la vitesse de 9,5 km/h ( $8,5 \times 1,13 = 9,6$  km/h).

### 2.2.4. Réglage de la pression de travail

Après avoir choisi le calibre de buse, il reste soit sur le retour en cuve, soit sur le débit de la pompe.

La manière de procéder est cependant différente : le réglage se fait dans ce cas directement sur le débitmètre : le réglage se fait dans ce cas directement sur le débitmètre : le réglage se fait dans ce cas directement sur le débitmètre correspond toutefois à celle que l'on peut obtenir avec un autre pulvérisateur, réglé pour un même volume/hectare, étant donné que la pression et le débit sont liés.



ravail en agissant, suivant le type de régulation,

la régulation électronique mettant en oeuvre un hectare programmé. La pression obtenue dans le circuit correspond toutefois à celle que l'on peut obtenir avec un autre pulvérisateur, réglé pour un même volume/hectare, étant donné que la pression et le débit sont liés.

Le débit d'une buse est en effet proportionnel à la racine carrée de la pression. Si l'on appelle  $d_1$  et  $d_2$  les débits correspondant respectivement aux pressions  $p_1$  et  $p_2$ , ces relations peuvent s'écrire :

$$d_2 = d_1 \times \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} \quad \text{ou} \quad p_2 = p_1 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2.$$

### Exemple

Pour un réglage donné à une pression de 3 bars et un débit à la buse de 1,3 l/min,

- si l'on augmente la pression à 5 bars, le débit devient

$$d_2 = 1,3 \times \sqrt{\frac{5}{3}} = 1,7 \text{ bars};$$

- si l'on souhaite obtenir un débit de 1,5 l/min, la pression à régler est de

$$p_2 = 3 \times \left(\frac{1,5}{1,3}\right)^2 = 4 \text{ bars}.$$

### 2.2.5. Contrôle du débit

L'obtention du débit à partir de la formule, des tableaux de débits ou de la règle à calcul ne permet pas un réglage précis lorsque le pulvérisateur n'est pas en parfait état. C'est notamment le cas lorsque les buses sont usées ou que le manomètre est défectueux. Dans ce cas, le réglage ne sera qu'approximatif et un fond de cuve ou un manque de bouillie peut se présenter en fin d'application. Il est dès lors indispensable de procéder à un étalonnage pratique en mesurant le débit d'une ou de plusieurs buses, après le réglage de départ.

Si le débit mesuré ne correspond pas au débit calculé, il faut ajuster le réglage de la pression, soit en agissant par tâtonnement et en refaisant un nouveau contrôle du débit, soit en calculant la nouvelle pression à l'aide de la formule exposée au paragraphe précédent et qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\text{nouvelle pression} = \text{ancienne pression} \times \left( \frac{\text{nouveau débit}}{\text{ancien débit}} \right)^2.$$

La procédure à suivre pour la mesure du débit des buses varie d'après le mode d'entraînement de la pompe de pulvérisation.

#### POMPE ENTRAINEE PAR LA PRISE DE FORCE DU TRACTEUR

Pour les pulvérisateurs dont la pompe est entraînée par la prise de force, le contrôle est réalisé à poste fixe. L'appareil étant préalablement réglé et mis en pression, il suffit de mesurer le débit d'une ou de plusieurs buses à l'aide d'une éprouvette graduée ou d'un débitmètre à flotteur.

On calcule ensuite le volume/hectare pour la vitesse de travail choisie à partir de la formule présentée au § 2.2.3.

#### *Exemple*

Pour un débit mesuré à la buse de 1,5 l/min et une vitesse de travail de 6 km/h, le volume épandu est de :

$$Q = \frac{1,5}{6} \times 100 = 25 \text{ l/ha}$$


#### POMPE ENTRAINEE PAR LA ROUE DU PULVERISATEUR

Dans le cas où la pompe est entraînée par la roue du pulvérisateur, le contrôle du débit des buses se fait sur champ en accrochant des éprouvettes plastiques sous une ou plusieurs buses. Avec des rampes dont les buses sont espacées de 50 cm, on recommande d'utiliser deux flacons de manière à recueillir l'équivalent d'un mètre de travail et ce, sur une distance de 100 m. Il suffit alors de multiplier la quantité recueillie dans les flacons par 100 pour obtenir le volume/hectare.

#### *Exemple*

Si la quantité recueillie sur une distance de 100 m dans deux éprouvettes (soit sur une surface de 100 m<sup>2</sup>) est de 3 litres, le volume épandu est de :

$$Q = 100 \times 3 = 300 \text{ l/ha.}$$

## 2.3. EXECUTION DU TRAITEMENT

### 2.3.1. Stratégie d'intervention

Pour réussir un traitement, il faut disposer d'un appareil en parfait état de fonctionnement, choisir le produit efficace contre le parasite à traiter et tenir compte des conditions culturales et climatiques.

## CONDITIONS CULTURALES

La portance du sol conditionne la faisabilité de tous les traitements. Selon leur degré de développement, une adventice, un insecte ou un champignon mais aussi la culture à traiter, ne vont pas avoir la même réaction vis-à-vis du produit employé. Il est donc nécessaire de connaître le stade de la plus grande sensibilité du parasite afin d'optimiser le traitement.

## CONDITIONS CLIMATIQUES

### Vent

Tout traitement est à déconseiller par vent fort en raison du risque de moins bonne répartition au sol, d'augmentation de la dérive avec perte en produit et de pollution du voisinage.

### Humidité

Une humidité relative de l'air élevée, c'est-à-dire un air chargé de vapeur d'eau, est favorable. Les gouttes atteignent leur cible plus facilement et y adhèrent bien, laissant au produit le temps d'agir ou de pénétrer dans la plante. Une atmosphère sèche provoque une évaporation des gouttes, particulièrement si elles sont fines. Il est préférable de traiter au petit matin ou en fin de journée lorsque l'humidité relative est plus importante. Ces notions sont moins bien définies en ce qui concerne la fertilisation liquide.

### Température

Quel que soit le produit, une température élevée est favorable. Une température trop basse peut entraîner une évaporation et ce, d'autant plus que l'air est sec et les gouttes fines. Une température trop basse peut être défavorable par suite d'une baisse de l'action de certains produits et une activité ralentie de la plante. Il est donc préférable de respecter les conditions d'application des produits.



Un air sec et les gouttes fines. Une température trop basse peut être défavorable par suite d'une baisse de l'action de certains produits et une activité ralentie de la plante. Il est donc préférable de respecter les conditions d'application des produits.

### 2.3.2. Préparation de la bouillie

Tout comme pour le point précédent, il faut se référer en priorité aux indications fournies par les fabricants de produits.

La plupart des produits sous forme liquide ou solide peuvent être ajoutés directement dans la cuve, préalablement remplie d'eau aux deux tiers, avec le système d'agitation en fonctionnement. Après l'introduction du produit, on complète le remplissage au volume requis en maintenant l'agitation.

Pour certains produits, il est nécessaire de réaliser un préempâtage afin d'éviter la formation de grumeaux. Cette opération consiste à diluer le produit dans une quantité d'eau égale à deux ou trois fois la quantité de produit pour préparer une "bouillie-mère" homogène. Celle-ci est ensuite introduite dans la cuve dans les mêmes conditions que précédemment (cuve remplie aux deux tiers et système d'agitation en fonctionnement).

Pour faciliter la préparation de la bouillie et limiter au maximum le risque d'accident (éclaboussures, émanations), il est conseillé d'équiper le pulvérisateur d'un bac mélangeur-incorporateur de produits.

Afin de respecter la dose/hectare choisie, il est nécessaire de calculer et de mesurer la quantité de produit à mettre dans la cuve, notamment à l'aide de la formule suivante :

$$q_1 = \frac{q_2 \times C}{Q}$$

- où
- $q_1$  = quantité de produit à introduire dans la cuve (kg ou l),
  - $q_2$  = dose de produit recommandée (kg/ha ou l/ha),
  - $C$  = capacité de la cuve (l),
  - $Q$  = volume de bouillie par unité de surface (l/ha).

#### Exemple

Pour appliquer un produit à la dose recommandée de 3 kg/ha et à un volume de 300 l/ha avec un pulvérisateur dont la cuve a une capacité de 1 200 l, la quantité de produit à introduire dans la cuve est de :

$$q_1 = \frac{3 \times 1\,200}{300} = 12 \text{ kg.}$$

Lors de la préparation de bouillie pour la dernière application, il faut être particulièrement précis dans l'estimation de la parcelle restant à traiter afin de pouvoir calculer le plus exactement possible le volume nécessaire. Avec un volume exact préparé, la cuve doit être vide en fin de parcelle. Si ce n'est pas le cas, il est recommandé de diluer la bouillie restante en y ajoutant 5 à 10 fois son volume d'eau et de l'épandre sur le champ, aux endroits moins bien traités (fourrières). Si l'on vient à manquer de bouillie, il est possible de préparer le volume nécessaire grâce à la cuve de rinçage (§ 1.2.7.).

### 2.3.3. Réglage de la hauteur de rampe

La hauteur de rampe conditionne la régularité de la répartition au sol pour tous les types de buses. Elle doit donc être réglée en tenant compte des caractéristiques de répartition, du type de buses et de leur espacement sur la rampe.

Quand on utilise des buses à fente, il faut placer la rampe au-dessus de la hauteur minimale (50 cm avec les buses à 110° et 90 cm avec les buses à 80°) afin que le recouvrement des jets soit suffisant pour ne pas affecter la répartition, suite aux inévitables variations de hauteur qui se produisent en cours de travail (figure 2.4.).

Avec les buses à turbulence, on choisit également une hauteur de rampe qui donne un recouvrement des jets. Pour des buses espacées de 50 cm avec un angle nominal du jet de 80°, la hauteur optimale se situe entre 70 et 90 cm de la cible, bien qu'il soit difficile d'obtenir une bonne répartition avec ce type de buse.

Avec les buses à miroir de nouvelle génération, la hauteur de la rampe doit permettre un léger recouvrement entre les jets. Lorsque ces buses sont placées tous les mètres, il faut positionner la rampe à une hauteur minimale de 90 cm.

Avec les buses tri-filets, c'est l'inclinaison des filets à la sortie de la buse qui détermine la hauteur ; 70 cm est un minimum pour que les filets retombent verticalement et assurent un espacement régulier entre les bandes formées sur le sol.

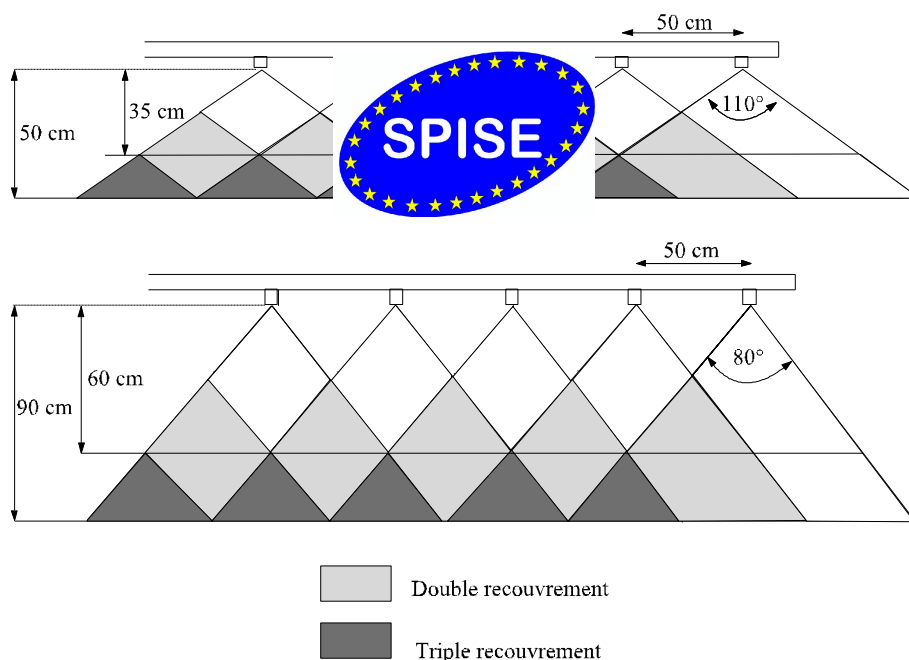


FIGURE 2.4. - Hauteur minimale entre la rampe et la surface à traiter pour des buses à fente de 110° et de 80°.

Pour les volumes d'eau inférieurs à 100 l/ha, les risques de bouchage sont plus importants et il est parfois conseillé d'utiliser les buses 80°. Il faut toutefois savoir qu'avec ces dernières, la répartition est plus sensible aux variations de hauteur de la rampe.

La figure 2.5. illustre un cas où l'extrémité de la rampe se situe à 35 cm du sol. A cet endroit, il n'y a plus de recouvrement suffisant entre les jets des buses 80° alors que le double recouvrement existe encore pour les buses 110°.

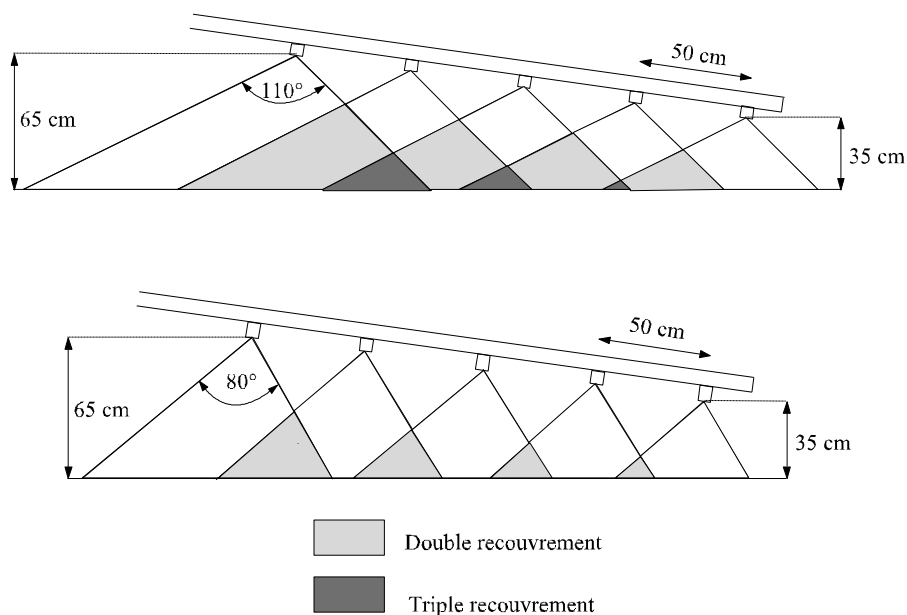


FIGURE 2.5. - Influence des mouvements de la rampe sur la répartition transversale avec des buses 110° et à 80°.

### 2.3.4. Réglage du volume/hectare

Le réglage du volume/hectare s'effectue à pa



s lors de l'étalonnage et varie selon les procédés

de régulation. Avec les systèmes à pression constante (P.C.

el au régime moteur (D.P.M.), il suffit d'agir sur

la vanne du régulateur jusqu'à obtention de la p régulations D.P.M. dont le distributeur n'est pas pourvu d'un système de compensation, il faut rajuster la pression en cas de fermeture d'un ou de plusieurs tronçons de rampe, afin de maintenir un débit constant dans les tronçons restant ouverts.

dant, avec certaines régulations P.C. et avec les

Pour les appareils avec une régulation D.P.A. mécanique, on déplace l'index de la pompe volumétrique entraînée par les roues afin d'adapter son débit au volume/hectare choisi. Avec ce système, la montée en pression n'est pas instantanée, ce qui amène des perturbations en début de parcours. Pour y remédier, il faut anticiper la mise en marche et posséder des antigouttes efficaces.

Avec les pulvérisateurs équipés d'une régulation D.P.A électronique, il suffit de programmer le volume/hectare retenu pour le traitement. Bien que très perfectionnés, ces systèmes n'éliminent pas les contraintes de la buse, tout comme pour les D.P.A. mécaniques. Si le volume/hectare est assuré avec précision, la qualité de la pulvérisation change avec les variations de pression. En pratique, il y a intérêt à maintenir ces modifications dans des limites raisonnables, c'est-à-dire inférieures à 20 % de la pression recommandée.

Enfin, quel que soit le mode de régulation, il faut choisir une vitesse compatible avec un travail de qualité en tenant compte, bien entendu, du relief du terrain, de l'état du sol et du degré de développement de la végétation. Les vitesses recommandées se situent entre 5 et 9 km/h.

## 2.4. ENTRETIEN

### 2.4.1. Nettoyage

En dehors des vérifications et des entretiens mécaniques, la propreté de la cuve et des circuits est essentielle pour un pulvérisateur. Il convient donc d'effectuer, après chaque utilisation, un rinçage à l'eau claire et, avant chaque changement de produit, un nettoyage complet avec l'eau additionnée d'un détergent, suivi d'un rinçage abondant. La présence d'une cuve de rinçage facilite grandement l'opération de nettoyage (§1.2.7.).



Dans un appareil mal nettoyé, les résidus de produits phytosanitaires sont une cause fréquente de mauvais fonctionnement et peuvent provoquer des dégâts considérables aux cultures lors des traitements ultérieurs.

Lors du nettoyage, tout comme au moment de la préparation de la bouillie, il est souhaitable que l'utilisateur porte des vêtements de protection et, en tous cas, des lunettes et des gants.

Si le fabricant du produit employé ne recommande pas une procédure de nettoyage spécifique, on peut pratiquer de la manière suivante :

- nettoyer l'extérieur du pulvérisateur et du tracteur, en utilisant le jet d'eau ou un nettoyeur haute pression ;
- nettoyer le filtre d'aspiration et le tamis de la cuve. Ne remonter ces filtres qu'une fois le pulvérisateur entièrement nettoyé ;
- remplir la cuve d'eau au cinquième de sa capacité et faire fonctionner la pompe. Avant d'ouvrir le distributeur et de pulvériser l'eau de rinçage, s'assurer de son écoulement sur un terrain où il n'y a pas de risques de contamination des eaux ;
- remplir à nouveau la cuve au cinquième avec de l'eau et ajouter un détergent ou un produit désactivant; le recours aux produits détergents et l'élimination des eaux de lavage peuvent souvent être évités en procédant au rinçage de l'appareil, immédiatement après l'utilisation (§ 1.2.7.) et en nettoyant l'intérieur de la cuve à l'aide d'un nettoyeur haute pression; plusieurs fabricants recommandent des produits spécifiques, mais il est souvent plus économique d'utiliser une solution de soude caustique ou d'ammoniaque à 2 % et, au besoin, laisser tremper ces solutions pendant quelques heures dans l'appareil ;
- faire tourner la pompe, activer toutes les manettes de commande et ouvrir le distributeur pour que le produit atteigne tous les organes qui ont été en contact avec la bouillie ;
- arrêter la pompe et laisser agir le produit pendant quelques heures si nécessaire ;
- vidanger l'appareil et opérer un dernier rinçage à l'eau claire ;
- démonter les filtres, les antigouttes et les buses et les nettoyer séparément. Pour les buses, il est recommandé de procéder par nettoyage à l'eau, en utilisant une brosse douce (de type brosse à dents), éventuellement précédé d'un trempage dans un solvant. Le nettoyage peut également se faire avec l'air comprimé. En aucun cas, n'utiliser une pointe dure (fil de fer, aiguille, couteau) qui peut abîmer les buses et par conséquent, altérer leurs performances.

#### 2.4.2. Soins d'hivernage

Outre les règles générales d'hivernage, valables pour toutes les machines agricoles (nettoyage, graissage et retouches de peinture), le pulvérisateur doit être protégé contre les intempéries, en faisant attention de ne laisser tourner la pompe à sec que pendant quelques secondes ;

- soit en vidangeant complètement cuve, pompe et circuits, en faisant attention de ne laisser tourner la pompe à sec que pendant quelques secondes ;
- soit en mettant une solution d'antigel et en faisant fonctionner la pompe pendant quelques minutes, de façon à amener le mélange dans tous les circuits.



#### 2.4.3. Entretien mécaniques

L'entretien mécanique d'un pulvérisateur comporte une série d'opérations indispensables à son bon fonctionnement et à sa durée de vie. Les différentes interventions ayant déjà été abordées dans le chapitre portant sur les réglages (voir § 2.1.), le tableau 2.2. fournit des indications de dépannage très générales qui pourront aider l'utilisateur à faire face aux principaux incidents susceptibles de se produire en cours de pulvérisation.

TABLEAU 2.2. - Principaux dysfonctionnements pouvant apparaître en cours de pulvérisation et causes possibles.

DYSFONCTIONNEMENTS	CAUSES POSSIBLES
CIRCUIT DE PULVERISATION	
Plus de pulvérisation à la rampe	Prise d'air à l'aspiration Filtre d'aspiration obstrué Mauvais fonctionnement de la pompe

Trop peu de pression	Membranes ou soupapes de la pompe en mauvais état
Pression irrégulière	Manque d'air dans l'amortisseur
Chute de pression en cours de travail	Filtre à l'aspiration obstrué Aspiration d'air en fin de cuve
Augmentation de pression en cours de travail	Filtre de pression en train de se boucher Buses d'agitation bouchées
Bonne pression au manomètre et trop peu de débit aux buses	Manque d'étanchéité des vannes de retour en cuve du distributeur
Formation de mousse	Prise d'air dans les systèmes Agitation excessive
CIRCUIT HYDRAULIQUE	
Problèmes lors du dépliage ou repliage hydraulique des rampes	Présence d'air dans le circuit Pression d'huile aux prises du tracteur insuffisante Mauvais réglage du régulateur de débit
CIRCUIT ELECTRIQUE	
Mauvais fonctionnement des vannes et coupures de segments de rampe	Problème de câblage électrique



## CONTROLE OBLIGATOIRE DES PULVERISATEURS

### 3.1. IMPACT D'UN APPAREIL EN MAUVAIS ETAT

#### 3.1.1. Introduction

Les performances d'un pulvérisateur sont annoncées par le constructeur pour du matériel neuf. Suite à son utilisation, les éléments constitutifs s'usent plus ou moins rapidement. Les conséquences d'une application réalisée à l'aide d'un matériel qui n'est plus en parfait état ne sont pas aisées à quantifier. De plus, certaines déficiences sont moins préjudiciables que d'autres quant à l'efficacité d'une pulvérisation. Une jauge difficilement lisible altère moins la qualité du travail que l'utilisation de buses usées. Quelle que soit l'origine d'un dysfonctionnement, ses conséquences ont un impact défavorable sur le coût des traitements ainsi que sur la protection de l'utilisateur ou de l'environnement.

#### 3.1.2. Economie d'une application phytosanitaire

L'optimisation d'un traitement consiste à amener la population parasite sous le seuil de nuisance pour la plante cultivée, avec le moins de produit possible et en un minimum de passages. Ce résultat n'est possible qu'avec une pulvérisation uniforme de bouillie au dosage adéquat. Une répartition irrégulière de produit entraîne des sous- et surdosages localisés, sur l'entièreté de la parcelle

##### DANS LE CAS D'UN SOUS-DOSAGE



Le parasite n'est généralement pas entièrement éliminé, il reste encore un potentiel parasitaire qui peut s'étendre à toute la parcelle. Il risque de causer des effets néfastes similaires à ceux qui apparaissent lorsqu'il n'y a pas eu de traitement, mais il peut en outre développer des souches résistantes. Une plante adventice encore présente après un traitement concurrence non seulement la culture en place, mais libère des graines qui rendront la lutte plus difficile la saison suivante. L'application à trop faible dose d'un fongicide entraîne une protection insuffisante mais augmente aussi le risque de résistance qui s'installe d'autant plus facilement que les quantités appliquées sont faibles. Lorsqu'une population d'insectes à multiplication rapide (les pucerons par exemple) est soumise à une application d'insecticide à trop faible dose pour que ceux-ci soient éliminés, il y a un risque non seulement de voir la population se reconstituer rapidement, mais aussi de favoriser l'apparition d'une plus grande résistance à l'insecticide utilisé.

##### DANS LE CAS D'UN SURDOSAGE

Il y a un gaspillage de produit qui a été agréé pour une utilisation à une dose bien précise. Un surdosage est donc inutile, voire dangereux, car la quantité de résidus peut alors être préjudiciable à la qualité des produits. Le retrait du marché de la récolte peut même être envisagé si la valeur des résidus dépasse les normes légales. Un surdosage peut également induire une phytotoxicité pour la plante traitée.

En résumé, quelle que soit la situation, une application mal dosée implique une perte financière préjudiciable à la rentabilité de la culture.

- La concurrence du parasite avec la plante cultivée ou la présence d'infections locales se caractérise par une diminution plus ou moins marquée du rendement de la culture : les revenus issus de la vente de la récolte sont diminués.
- Un traitement non réussi peut nécessiter une nouvelle application qui grève le coût des traitements : une quantité supplémentaire de produit doit être pulvérisée avec, en plus, immobilisation d'un homme et du matériel pour réaliser le travail.
- Une application incorrecte peut compliquer la lutte l'année suivante par le risque d'apparition de phénomènes de résistance, d'un nombre plus important d'adventices, etc. : le coût des applications risque d'augmenter.

Il est dès lors essentiel de maîtriser au mieux la régularité des applications en vue de réduire la charge financière des traitements agrochimiques. Certains utilisateurs ont encore tendance à appliquer une dose supérieure à celle prescrite et ce, afin d'être sécurisés quant à la réussite du traitement. Seul un appareil en parfait état, situation qui n'est malheureusement pas la plus fréquente, permet de travailler sans risque, aux doses conseillées par les fabricants de produits. C'est aussi la condition indispensable pour envisager des traitements raisonnés, avec des réductions de volumes et/ou de doses, la qualité de la pulvérisation étant primordiale dans ce cas.

### 3.1.3. Protection de l'utilisateur et respect de l'environnement

Les risques pour l'utilisateur concernent soit le pulvérisateur proprement dit (protection des transmissions inexistantes), soit les produits (projections). Toute manipulation de ces derniers n'est pas sans risque, surtout avec les pulvérisateurs qui ne possèdent pas les équipements favorisant leur incorporation. Il n'est pas aisé d'introduire une formulation dans la cuve principale d'un appareil porté, à partir d'un conditionnement de 10 litres, voire plus. Il existe un risque de chute pour l'utilisateur et un danger de projection de produits.

Les traitements réalisés dans de bonnes conditions et au moment adéquat, avec les produits et les doses recommandés mais aussi avec un matériel en parfait état, garantissent un travail de qualité, sans risque pour la plante traitée ou pour l'environnement.

## 3.2. JUSTIFICATION DU CONTROLE

La réussite d'un traitement phytosanitaire est tributaire de la qualité de sa mise en oeuvre. Cette dernière dépend non seulement des compétences de l'utilisateur mais aussi de la qualité du matériel pulvérisateur. Il est illusoire de vouloir appliquer correctement des produits performants avec un matériel qui n'est pas en parfait état. Cela signifie que le pulvérisateur doit être :



- adapté à l'exploitation (chapitre 1),
- correctement réglé et entretenu (chapitre 2),
- contrôlé régulièrement (chapitre 3).

L'expérience montre que le matériel est souvent un problème important pour l'optimisation des applications phytosanitaires, tant d'un point de vue économique qu'écologique. Plusieurs mesures ont déjà été prises afin d'améliorer l'état des pulvérisateurs. Le contrôle du matériel est un service disponible dans bon nombre de pays ; il est obligatoire en Allemagne depuis le mois de juillet 1993.

Selon sa note politique approuvée en juillet 1993 par le Gouvernement, le Ministre de l'Agriculture a instauré un contrôle obligatoire des pulvérisateurs. Cette mesure s'est concrétisée par des Arrêtés Ministériels parus au Moniteur Belge (Arrêté ministériel du 09 juin 1995 / Moniteur belge du 12 août 1995 et Arrêté ministériel du 22 décembre 1995 / Moniteur belge du 06 février 1996). Les dispositions prises en Belgique sont dans la logique européenne en matière de protection de l'Environnement. Les modalités d'application ont été choisies sur base de critères instructifs plutôt que répressifs. Les associations agricoles ont participé aux travaux afin de donner un caractère positif à l'action.

### 3.2.1. Objectifs du contrôle obligatoire

Les objectifs suivants ont été fixés :

- ce ne doit pas être un contrôle policier, il doit être éducatif et utile pour l'utilisateur;
- il faut limiter les contraintes qui découlent du contrôle pour l'utilisateur : importance des déplacements, choix des périodes où s'effectuent le contrôle, coût;
- les mesures réalisées doivent être fiables, reproductibles et permettre d'identifier clairement les causes d'un mauvais fonctionnement;
- à l'issue du test, l'utilisateur doit être informé précisément de ce qui ne fonctionne pas et la cause;
- financièrement, le contrôle doit être autoportant après une mise de fonds publiques pour le lancement de l'opération;
- le contrôle doit être effectué par des agents officiels du Ministère de l'Agriculture afin de garantir l'uniformité et l'objectivité du contrôle.

La procédure de contrôle a des conséquences importantes sur la réalisation ou non des objectifs fixés. La première étape était donc le choix d'une méthode adaptée au contrôle sur le terrain. La procédure qui a été retenue est différente de celle pratiquée dans beaucoup de pays où le banc répartiteur est utilisé.

## 3.3. PROCEDURE UTILISANT LE BANC REPARTITEUR

### 3.3.1. Introduction

Le banc répartiteur est un équipement qui permet d'observer la qualité de la répartition transversale des volumes épanchés par la rampe du pulvérisateur. Le banc classique est constitué d'une table inclinée pourvue de rigoles, espacées de 10 cm, qui recueillent le liquide pulvérisé et le dirigent dans des éprouvettes graduées (figure 3.1.).

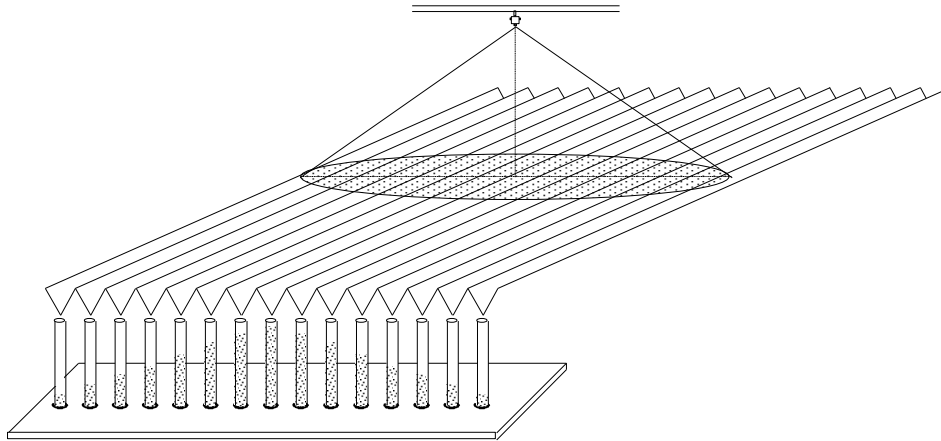


FIGURE 3.1. - Schéma d'un banc répartiteur disposé sous une buse de pulvérisateur.

Il existe des bancs électroniques qui permettent l'automatisation de la mesure. Ils se présentent sous la forme d'un chariot mobile qui se déplace sous la rampe et recueille le liquide pulvérisé sur une largeur maximum de 1 m à l'aide de rigoles semblables à celles du banc classique. La valeur des volumes récupérés tous les 10 cm est mesurée et transmise à un ordinateur. Lorsque la totalité de la rampe a été observée, un graphique présente l'allure de la répartition transversale. Ce type de banc commence à faire son apparition sur le marché.

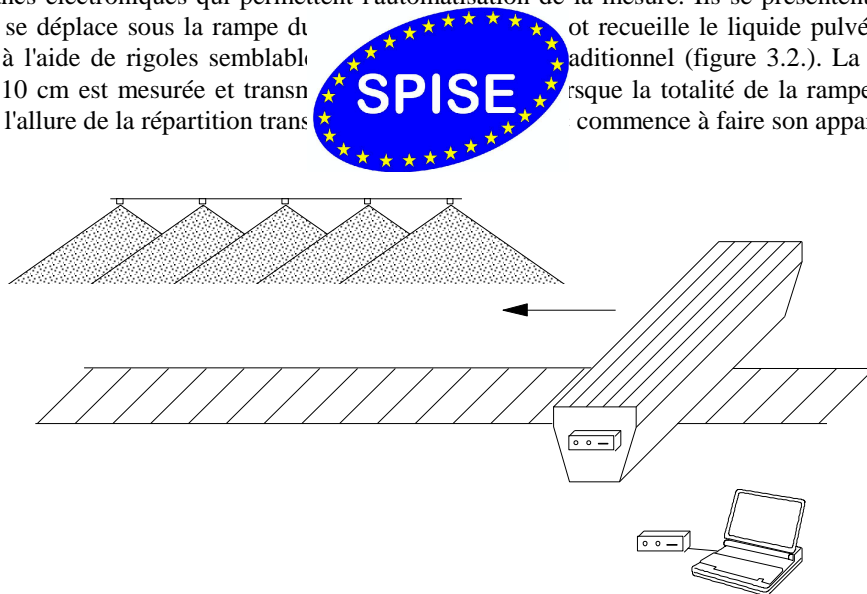


FIGURE 3.2. - Schéma d'un banc électronique de mesure de répartition transversale.

L'homogénéité de la répartition est caractérisée par le coefficient de variation (C.V.) des volumes recueillis dans les éprouvettes ainsi que leur variation ponctuelle par rapport au volume moyen.

Une valeur du C.V. supérieure à 9 % n'est plus acceptable et entraîne le rejet du pulvérisateur contrôlé ; la répartition transversale étant alors trop irrégulière. Lorsqu'un banc électronique est employé, ce paramètre est calculé. Avec le banc classique, le calcul du C.V. ne peut se faire que si l'ensemble des hauteurs d'eau sont relevées (au minimum 120 valeurs). Le travail étant fastidieux et sujet aux erreurs, il n'est en pratique pas réalisé. La qualité de la répartition transversale des volumes épanchés n'est généralement qu'estimée par l'observation de la variation des hauteurs d'eau dans les éprouvettes. Les variations maximales tolérées sont de  $\pm 15$  % par rapport à la moyenne des hauteurs observées. Pratiquement, deux marques sont apposées sur les éprouvettes de mesure et permettent l'estimation visuelle de cette variation (figure 3.3.).

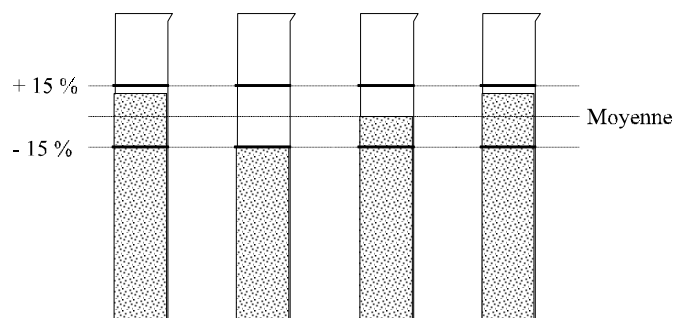


FIGURE 3.3. - Schéma des limites de hauteur d'eau dans des éprouvettes utilisées lors d'un contrôle avec un banc classique.

Il est à noter que la détermination de la hauteur moyenne dans les éprouvettes est fixée arbitrairement et dépend de la durée de pulvérisation. La méthodologie de contrôle employant le banc répartiteur est celle utilisée dans les pays voisins et la partie nord du pays. Elle est décrite succinctement ci-après avec ses avantages et ses inconvénients.

### 3.3.2. Etapes du contrôle

Le contrôle tel qu'il est actuellement pratiqué dans de nombreux pays, comporte généralement les étapes ci-après.

- Etat général du pulvérisateur : état d'entre suspension,...), de la cuve, etc.
- Manomètre : comparaison des indications de (es, pluies,...), des filtres, de la rampe (courbure, un manomètre étalon.
- Pompe : intégration d'un débitmètre dans le de vérifier ses performances.
- Répartition transversale : la qualité de la ée par les niveaux du liquide recueilli dans les récipients gradués. Une répartition idéale est caractérisée par des hauteurs d'eau équivalentes dans chacune des éprouvettes.



### 3.3.3. Avantages et inconvénients

Le principal avantage du banc répartiteur est qu'il permet de visualiser directement la qualité de la répartition transversale de la bouillie après son passage à travers tous les organes du pulvérisateur. L'usage d'un banc répartiteur classique est également intéressant d'un point de vue didactique, puisqu'il montre clairement la qualité de la distribution de bouillie.

Si le banc répartiteur est le seul moyen d'apprécier directement la qualité de la répartition transversale, pour une séquence donnée d'implantation de buses, il comporte malgré tout plusieurs inconvénients.

- Son utilisation induit pratiquement **un contrôle à poste fixe**. Pour être représentative de la qualité du pulvérisateur, la répartition doit absolument s'observer à l'abri du vent et de la pluie. Le contrôle doit donc s'effectuer dans un hall complètement fermé. Il est peu probable de trouver des installations aux dimensions requises et disponibles au moment voulu, implantées de manière homogène dans les campagnes. Les déplacements vers des centres équipés, parfois importants, ne motivent pas l'utilisateur à la démarche dans un système de contrôle libre. L'encombrement et le poids du banc posent également des problèmes de mobilité de l'équipement de mesure et rendent difficile son installation.
- Le banc répartiteur est incapable de fournir l'information sur l'évolution du **débit des buses** si la durée de pulvérisation n'est pas mesurée, situation fréquemment rencontrée. Lorsque l'information du débit est disponible, elle correspond à une valeur moyenne.
- Le banc donne une image globale de la répartition transversale. Il est dès lors compliqué d'identifier **les causes d'une mauvaise répartition** en raison des nombreux facteurs qui l'influencent. Il faut de ce fait presque obligatoirement recourir à des mesures complémentaires qui requièrent du matériel additionnel et augmentent le temps de contrôle.

Les principaux paramètres influençant la répartition sous rampe sont les suivants :

- . le débit des buses équipant la rampe n'est pas identique,
- . les buses ont une répartition individuelle variable,
- . les buses sont mal positionnées sur la rampe,
- . la séquence d'implantation et le sens des buses sur la rampe ne sont pas favorables,
- . la pression dans chacun des tronçons de rampe n'est pas identique,

- . la pression varie entre les buses d'une même section,
- . la rampe est mal positionnée par rapport à la cible.
- Si on considère le temps nécessaire pour le montage et le démontage du banc répartiteur, le recours à certaines mesures complémentaires pour identifier la cause d'une mauvaise répartition et, enfin, le risque de devoir recommencer un essai perturbé par un événement imprévu (buse bouchée, manque d'eau dans la cuve, etc.), il est **difficile de contrôler plus de 8 pulvérisateurs par jour**.
- Un **matériel particulier** doit être employé pour contrôler les pulvérisateurs munis d'une régulation Débit Proportionnel à l'Avancement dont la pompe est entraînée par les roues du pulvérisateur. Dans la plupart des cas, ce type d'appareil doit rouler pour pulvériser.

En ce qui concerne les autres points du contrôle, c'est surtout la vérification de la pompe qui présente certaines difficultés. Il faut démonter la tuyauterie et disposer des raccords d'adaptation. Sur les appareils les plus anciens, l'opération comporte un risque de casse ou de fuites potentielles, auquel cas il faut effectuer la réparation.

### 3.4. PROCEDURE UTILISEE POUR LE CONTROLE OBLIGATOIRE EN BELGIQUE

#### 3.4.1. Introduction

Pour ces raisons et en regard aux objectifs fixés, une méthode originale a été développée et mise au point par les départements du Génie rural de Gembloux (Centre de Recherches agronomiques et Faculté des Sciences agronomiques) dans le cadre d'un projet avec la Région Wallonne et le Fonds de Phytopharmacie. La méthodologie décrite ci-après a été éprouvée depuis 1991 sur le terrain dans le cadre d'un contrôle volontaire; environ 700 pulvérisateurs ont été contrôlés selon cette procédure.

L'équipement de contrôle est entièrement mobile, la procédure est indépendante d'un site particulier (commune, champs, ...) et des conditions



de réalisation dans un zoning industriel, sur une place

La procédure de contrôle décrite ci-après a été mise en œuvre dans le cadre du contrôle obligatoire des pulvérisateurs à rampe et est utilisée pour toute la Belgique. Elle réalise un bon équilibre entre l'importance des paramètres contrôlés, le caractère explicatif de la procédure et le coût du contrôle. **L'objectif est d'améliorer l'état du parc des pulvérisateurs en sensibilisant les utilisateurs au fonctionnement de leur appareil et, non pas simplement en les pénalisant.**

La manière de réaliser le contrôle permet non seulement de trouver la nature d'un dysfonctionnement, mais permet aussi d'en identifier la cause. Cette démarche est essentielle si l'on veut effectuer un contrôle réaliste et utile. A l'issue du test, l'utilisateur connaît les réparations éventuelles à effectuer pour rétablir le parfait état de marche de son appareil.

#### 3.4.2. Etapes du contrôle

La description résumée de la procédure est présentée en faisant référence à la fiche qui est utilisée par les agents réalisant le contrôle (tableau 3.1.). Lors de la vérification du pulvérisateur, les causes d'un dysfonctionnement sont indiquées sur cette fiche.

TABLEAU 3.1. : fiche de terrain utilisée par les équipes de contrôle.

UTILISATEUR : ..... Nom et coordonnées .....

PULVERISATEUR : ..... Caractéristiques (marque, modèle, capacité cuve, système de régulation, largeur de travail) .....

PARAMETRE CONTROLE	APPRECIATION		CAUSE(S) DE DYSFONCTIONNEMENT																								
	bon	mauvais																									
<b>A. ETAT GENERAL</b> A.1. état d'entretien A.2. protection des organes en mouvement(cardan/chaîne) A.3. attaches de rampe/3 points	0 0 0	0 0 0																									
<b>B. JAUGE</b>	0	0																									
<b>C. PRESENCE DE FILTRE</b> C.1. panier filtre - crépine d'aspiration C.2. aspiration C.3. refoulement	0 0 0	0 0 0																									
<b>D. RAMPE</b> D.1. état général D.2. courbure verticale ou horizontale D.3-4. suspension D.5. écartement des porte-buses D.6. verticalité des porte-buses D.7. articulations et extrémités	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	<input type="checkbox"/> trop rigide (D3) <input type="checkbox"/> trop souple (D4)																								
<b>E. OBSTACLES</b>	0	0																									
<b>F. SYSTEME D'AGITATION</b>	0	0																									
<b>G. STABILITE DE LA PRESSION (G1 à G3)</b>	0	0	<input type="checkbox"/> membrane (G1) <input type="checkbox"/> pression (G2) <input type="checkbox"/> circuit d'aspiration (G3)																								
<b>H. MANOMETRE</b> branchement : <input type="checkbox"/> distributeur <input type="checkbox"/> rampe H.1. lisibilité H.2-3. fonctionnement	0 0	0 0	<input type="checkbox"/> écarts de pression (H2) <input type="checkbox"/> perte de pression entre distributeur et rampe (H3)																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Pression (bars)</th> </tr> <tr> <th>mano. de travail</th> <th>mano. à la rampe</th> <th>calibrateur</th> <th>mano. trava</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td></td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td>5</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Pression (bars)				mano. de travail	mano. à la rampe	calibrateur	mano. trava	2		2		3		3		4		4		5		5				
Pression (bars)																											
mano. de travail	mano. à la rampe	calibrateur	mano. trava																								
2		2																									
3		3																									
4		4																									
5		5																									
<b>I. EQUILIBRE DES PRESSIONS : à 3 bars (I1 à I5)</b> ↑ n° sec    1    2    3    4    5    6    7    8    9 L (m) P (bar)	0	0	<input type="checkbox"/> sections de longueur différente (I1) <input type="checkbox"/> tuyaux d'alimentation des sections trop fins ou de longueur différente (I2) <input type="checkbox"/> filtre de section de rampe bouché (I3) <input type="checkbox"/> problème dans les tuyaux de section (I4) <input type="checkbox"/> joint(s) défectueux au distributeur (I5)																								
<b>J. RETOUR COMPENSATOIRE (J1 à J3)</b>	0	0	<input type="checkbox"/> absence (J1) <input type="checkbox"/> mauvais réglage (J2) <input type="checkbox"/> défectuosité (J3)																								
<b>K. PERTE DE CHARGE</b>	0	0																									
<b>L. BUSES</b> (voir contrôle spécifique)																											
<b>M. SYSTEME DE REGULATION (M1 à M3)</b>	0	0	<input type="checkbox"/> mauvais réglage de la pompe (M1) <input type="checkbox"/> mauvais étalonnage des capteurs (M2) <input type="checkbox"/> défectuosité du bloc de régulation (M3)																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">Vitesse réglée (km/h)</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Vitesse réelle (km/h)</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Débit moyen (l/min)</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Volume/ha réglé (l/ha)</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Volume/ha réel (l/ha)</td> <td>.....</td> </tr> </table>	Vitesse réglée (km/h)	.....	Vitesse réelle (km/h)	.....	Débit moyen (l/min)	.....	Volume/ha réglé (l/ha)	.....	Volume/ha réel (l/ha)	.....																	
Vitesse réglée (km/h)	.....																										
Vitesse réelle (km/h)	.....																										
Débit moyen (l/min)	.....																										
Volume/ha réglé (l/ha)	.....																										
Volume/ha réel (l/ha)	.....																										
<b>N. FUTES (N1 à N2)</b>	0	0	<input type="checkbox"/> importante (N1) <input type="checkbox"/> antigoutte (N2) <input type="checkbox"/> pompe <input type="checkbox"/> cuve <input type="checkbox"/> tuyauterie <input type="checkbox"/> autre : .....																								





Plusieurs appréciations sont réalisées quand le pulvérisateur n'est pas en fonctionnement; la plupart sont visuelles. Lorsque l'appareil pulvérise, les observations font généralement l'objet d'une mesure. Les limites de tolérance pour les paramètres mesurés se basent sur des écarts de quantité épandue par rapport à une valeur de référence (tableau 3.2.).

- Etat général du pulvérisateur : état d'entretien, présence de protections des organes en mouvement (cardan, chaîne), état de la jauge, présence de filtres, rampe (courbure dans les plans horizontal et vertical, suspension, écartement et position des porte-buses, articulations et extrémités), lisibilité du manomètre, présence d'obstacles dans le jet (tuyau, ...), système d'agitation.
- Stabilité de la pression : la pression de pulvérisation doit être stable. On positionne un manomètre étalon au niveau de la rampe en lieu et place d'une buse (photo 2), afin d'observer les oscillations rapides de pression. Aucun battement de l'aiguille empêchant le lecture de la pression n'est accepté.
- Manomètre : on positionne un manomètre étalon au niveau de la rampe, en lieu et place d'une buse (photo 2). La concordance des valeurs de pression indiquées par le manomètre de travail avec celles réellement présentes au niveau des buses est vérifiée. Lorsque l'écart est important, le manomètre est démonté et l'origine de l'écart est identifié à partir d'un contrôle supplémentaire avec un calibrateur indépendant (photo 3).
- Equilibre hydraulique entre les sections de rampe : on positionne un manomètre étalon en lieu et place d'une buse à chaque segment de rampe, au niveau de l'alimentation (photo 2). Toutes les conduites de la rampe sont mises en service à une pression de 3 bars et les éventuels écarts de pression par rapport à la valeur moyenne sont observés entre les tronçons.
- Retours compensatoires : lorsqu'ils sont présents, les retours compensatoires doivent fonctionner. On positionne un manomètre étalon en lieu et place d'une buse à chaque segment de rampe et au niveau de l'alimentation (photo 2). Les conduites de la rampe sont mises en service à une pression de 3 bars et chaque section de rampe est fermée successivement, la pression des tronçons restant alimentés ne doit pas se modifier.
- Perte de charge dans les sections de rampe : uniquement si un risque de perte de charge existe. On positionne deux manomètres étalons en lieu et place de buses, l'un à proximité de l'alimentation du segment de rampe, l'autre à son extrémité (photo 2). On mesure les écarts de pression pour une pression à l'alimentation de 3 bars.
- Débit individuel des buses : cette mesure est effectuée sur l'ensemble des buses couramment utilisées sur l'appareil. Les buses sont démontées de la rampe et placées sur un banc de contrôle (photo 4). Cette opération permet d'observer si toutes les buses d'un même lot ont des caractéristiques identiques (type, calibre et angle). La variation de débit par rapport à celui d'une buse neuve (référence) est quantifiée (figure 3.4.). Il existe 2 niveaux de rejet : écart entre le débit moyen du lot et le débit nominal ainsi que écart entre le débit individuel des buses et le débit nominal. Lorsque le débit de référence n'est pas disponible, la comparaison se fait par rapport au débit moyen calculé.
- Système de régulation : seuls les systèmes de régulation (électronique ou mécanique) à débit proportionnel à l'avancement (DPA) sont contrôlés. La vitesse de déplacement du pulvérisateur est calculée et le volume pulvérisé durant cette période est récolté dans des récipients suspendus en dessous des buses. Le volume/hectare réellement épandu est calculé et comparé à celui que l'utilisateur a réglé.
- Fuites : les endroits où il y a des fuites sont identifiés.





Photo 1 : équipement dans une camionnette.



Photo 2 : manomètres étalons positionnés sur la rampe en lieu et place d'une buse.



Photo 3 : calibrateur de pression pour la vérification du manomètre de travail.



Photo 4 : banc de contrôle du débit des buses.

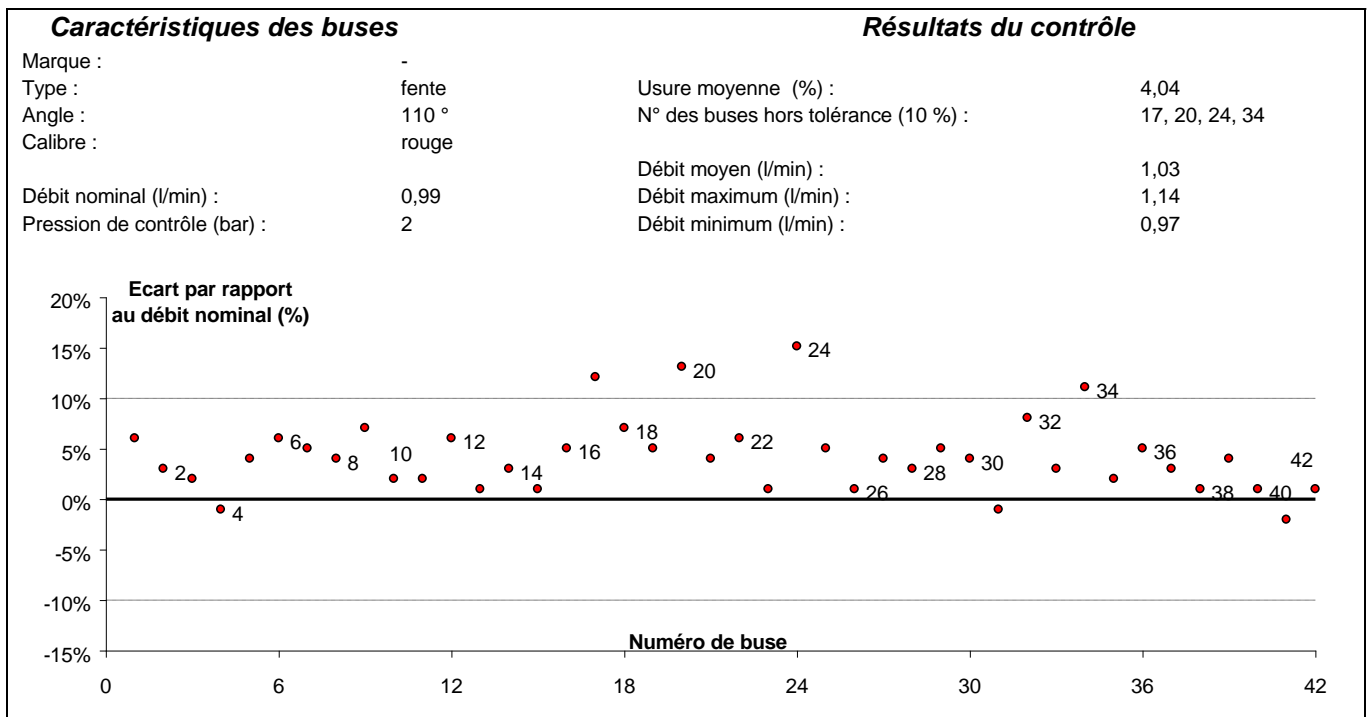


FIGURE 3.4. : contrôle du débit des buses - chaque numéro correspond au débit mesuré d'une buse; il est comparé au débit d'une buse neuve (ou débit nominal) qui correspond à 0 %.

Le tableau 3.2. reprend l'ensemble des observations qui sont réalisées, la nature du contrôle qui est effectué ainsi que les limites de rejet.



### 3.4.3. Rapport transmis à l'utilisateur

L'utilisateur quittant le site de contrôle doit connaître les réparations à effectuer sur son pulvérisateur pour le rendre parfaitement fonctionnel. Lorsque des dysfonctionnements sont constatés, la manière d'y remédier est discutée avec le propriétaire du matériel lors du test. Un rapport est fourni sur le site à l'utilisateur (voir feuilles « certificat de visite » ci-après). L'exemple proposé présente tous les dysfonctionnements possibles, classés d'après leur gravité quant à l'altération des performances du pulvérisateur ainsi que les phrase-types qui y sont associées. La seconde feuille présente le résultats des mesures.

L'analyse conjuguée de la nature du dysfonctionnement et de sa cause permet d'identifier les déficiences exclusives (rejet du pulvérisateur). Elles le sont lorsque :

- leur origine est imputable à l'utilisateur;
- elles perturbent de manière significative la pulvérisation.

Les déficiences observées conduisent aux interprétations suivantes :

- 1° **rapport négatif**, le pulvérisateur est refusé et il n'y a pas d'attribution de label, le pulvérisateur devra se représenter au contrôle après réparation.
- 2° **rapport positif**, agrégation du pulvérisateur et apposition d'un autocollant sur la cuve du pulvérisateur (voir photo 5) avec :
  - . aucun commentaire;
  - . conseil de réparation : la défectuosité ne perturbe pas de façon importante la pulvérisation;
  - . conseils de surveillance.

TABLEAU 3.2. : paramètres contrôlés et limites de rejet.

Code *	Paramètres contrôlés	Contrôle		Tolérances	
		visuel	mesure		
	= cause de refus				
A1	état d'entretien	x		-	
A2	protection	x		. protection fonctionnelle	
A3	attaches (3 points, rampe)	x		. sécurisante	
B	jauge	x		-	
C1	filtre au remplissage	x		- présence	
C2	filtre à l'aspiration de la pompe	x		- présence	
C3	filtre refoulement de la pompe	x		- présence	
D1	état général		x	. différence de hauteur $\leq 50$ cm entre le centre de la rampe et les extrémités et/ou symétrie gauche-droite	
D2	courbure verticale/horizontale	x		-	
D3	suspension trop flexible	x		-	
D4	suspension trop rigide	x		-	
D5	écartement des buses		x	. $\pm 10$ % de l'écartement de référence	
D6	position des buses	x		. position verticale (sauf disposition spéciale)	
D7	articulations et extrémités	x		. fonctionnelle	
E	obstacles	x		. pas d'obstacles dans le jet	
F	système d'agitation	x		. fonctionnel	
G1	stabilité de la pression	x		. (de G1 à G3) pas d'oscillations	
G2		x			
G3		x			
H1	manomètre	x		. variation $\leq 0,2$ bar et diamètre du cadran $> 6$ cm (et H3) écart $\leq 10$ % pression réelle	
H2					
H3					
I1	équilibre des pressions			. (de I1 à I5) écart de pression pour chaque section % de la pression moyenne à la rampe	
I2					
I3					
I4			x		
I5			x		
J1	retours compensatoires		x	. (de J1 à J3) écart de pression $\leq 10$ % de la pression initiale	
J2			x		
J3			x		
K	perte de charge		x	. diminution de la pression $\leq$ à 10 %	
L1	homogénéité des buses débit :	x		. toutes les buses doivent être identiques	
	- buses à fente				
L2	. usure moyenne des buses		x		. usure moyenne $\leq 105$ %
L3	. usure individuelle des buses		x		. usure moyenne $\leq 105$ %, et usure individuelle $\leq 110$ %
	- autres types de buses				
L4	. référence connue (en moy.)		x		. usure moyenne $\leq 110$ %
L5	. référence connue (individu.)	x	. usure moyenne $\leq 110$ %, et usure individuelle $\leq 115$ %		
L6	. référence inconnue (individu)	x	x	. débit individuel $\leq 105$ % du débit moyen calculé	
M1	système de régulation		x	. (M1 et M2) écart $\leq 10$ % du volume/hectare réglé	
M2			x		
M3		x			. défautuosité
N1	fuites	x		. pas de fuites importantes	
N2		x		. pas de fuites	

\* le code correspond à la fiche de contrôle (tableau 1).

**CERTIFICAT DE VISITE**

**Station de Génie rural**

146, chaussée de Namur - 5030 Gembloux (Tél. 081/61 25 01)

N° d'agrégation A \_\_\_\_

Délivré le \_\_/\_\_/19\_\_

**1. RESULTAT DU CONTROLE DE PULVERISATEUR**

Votre pulvérisateur présente 2 défaut(s) grave(s). Vous devez réparer votre appareil (voir point 1 ci-après). Vous serez convoqué pour un deuxième passage au plus tard avant le **date du contrôle** + 3 mois.

(ou Votre pulvérisateur est agréé jusqu'au **semestre du contrôle** + 3 ans. Durant cette période, vérifiez ponctuellement les pièces d'usure telles que les buses, le manomètre, le système de régulation, l'état des filtres, etc.)

Nom et prénom : ..... Rue et N° : .....

Code postal : \_\_\_\_ Commune/Localité : ..... Tél : ..... / .....

Marque : ..... Année de construction : 19\_\_ Modèle : .....

Cuve : \_\_\_\_ litres Système de régulation : \_\_\_\_ Largeur de travail : \_\_ mètres

**Ce certificat atteste de l'état du pulvérisateur à la date du contrôle**

**1. DEFECTUOSITES DONNANT LIEU A REPARATION AVEC REPASSAGE**

**Code**

- SECURITE** : équiper les organes en mouvement avec des protections A2
- et/ou **SECURITE** : réparer les attaches de rampe / 3 points A3
- RAMPE** : réparer la rampe de pulvérisation D1
- CLOCHE A AIR** : remplacer la membrane, voir (1) G1
- MANOMETRE** : (écart > 10 % de la pression réelle) remplacer le manomètre, voir (2) H2
- EQUILIBRE DES PRESSIONS** : (écart pour une ou plusieurs section(s) > 10 % de la pression moyenne à la rampe) vérifier l'état des conduites des sections de rampe (tuyau écrasé, défectueux,...) I4
- ou **EQUILIBRE DES PRESSIONS** : (écart pour une ou plusieurs section(s) > 10 % de la pression moyenne à la rampe) vérifier l'état du distributeur (joint des vannes des sections de rampe,...) I5
- HOMOGENEITE DES BUSES** : homogénéiser le(s) jeu(x) de buses suivant(s), voir (3) : ..... L1
- et/ou **DEBIT DES BUSES** : (débit moyen des buses > 105 % du débit d'une buse neuve) remplacer le(s) jeu(x) de buses suivant(s), voir (3) : ..... L2
- SYSTEME DE REGULATION** : (écart > 10 % du volume/hectare réellement épandu) vérifier la pompe de pulvérisation M1
- ou **SYSTEME DE REGULATION** : (écart > 10 % du volume réellement épandu) vérifier l'état des capteurs M2
- BLOC DE REGULATION** : vérifier l'état de fonctionnement du ..... /ou du distributeur M3
- SECURITE** : réparer les fuites N1



**2. DEFECTUOSITES DONNANT LIEU A REPARATION SA**

- RAMPE** : redresser la rampe de pulvérisation D2
- SUSPENSION** : rendre le système de suspension plus souple (graissage,...) D3
- ou **SUSPENSION** : rendre le système de suspension plus rigide (reprise du jeu aux pièces en frottement) D4
- ECARTEMENT DES PORTE-BUSES** : réajuster à 50 cm l'écartement des porte-buses en partant du centre de la rampe vers les extrémités D5
- VERTICALITE DES PORTE-BUSES** : mettre les buses en position verticale (si position d'origine) D6
- ARTICULATIONS ET EXTREMITES** : reprendre le jeu aux articulations des sections de rampe D7
- STABILITE DE PRESSION** : vérifier le circuit d'aspiration de la pompe G3
- FILTRES** : vérifier l'état des filtres des sections de rampe I3
- RETOURS COMPENSATOIRES** : vérifier l'état des retours compensatoires (propreté, usure,...) J3
- PERTE DE CHARGE** : (diminution de la pression d'alimentation > 10 % ) remplacer les conduites de la rampe par une tuyauterie d'un diamètre intérieur supérieur à 16 mm K
- DEBIT DES BUSES** : (débit de certaines buses > 110 % du débit d'une buse neuve) remplacer les buses identifiées lors du contrôle du(des) jeu(x) suivant(s), voir (3) : ..... L3
- FUITES** : supprimer les fuites à(aux) l'endroit(s) suivant(s) : antigoutte (et/ou pompe et/ou tuyauterie et/ou cuve et/ou autres) N2

**3. DEFECTUOSITES A SURVEILLER**

- ETAT D'ENTRETIEN** : améliorer l'entretien du pulvérisateur A1
- JAUGE** : rendre la jauge fonctionnelle, dans la mesure du possible B
- FILTRES** : remettre le(s) filtre(s) au remplissage(panier filtre/crépine) (et/ou aspiration de la pompe et/ou refoulement de la pompe) C1-2-3
- OBSTACLES** : escamoter durant la pulvérisation les obstacles (tuyaux, cordes,...) qui traversent le jet pulvérisé E
- AGITATION** : surveiller la qualité du brassage dans la cuve F
- STABILITE DE LA PRESSION** : vérifier ponctuellement la pression dans la cloche à air, voir (1) G2
- LISIBILITE DU MANOMETRE** : choisir un manomètre mieux adapté dès que possible, voir (2) H1
- PRISE DE PRESSION** : relier le manomètre de travail directement à la rampe à l'aide d'un tuyau souple H3
- EQUILIBRE DES PRESSIONS** : tenir compte des différences de pression selon les sections I1-2
- RETOURS COMPENSATOIRES** : réajuster la pression lors de la fermeture d'une section de rampe J1
- ou **RETOURS COMPENSATOIRES** : corriger le réglage des retours compensatoires lors du changement du calibre de buses J2

(1) gonflez la cloche à une pression comprise entre 1/3 et 1/2 de la pression habituelle de travail

(2) choisir un manomètre avec un cadran présentant un diamètre > 6 cm et une division minimum des graduations de 0,2 bar

(3) les buses d'un même jeu doivent présenter des caractéristiques identiques : marque, type, calibre et angle

**CERTIFICAT DE VISITE**

## 2. RESULTAT DES MESURES

exemples de tous les résultats pouvant être fournis

<b>Manomètre (code H2)</b>	
Pression lue (bars)	
Manomètre étalon	Manomètre de travail
2	2,4
3	3,5
4	3,8
5	5,4

<b>Equilibre des pressions (code I4 (ou I5))</b>									
PULVERISATEUR									
↑									
Position	<i>Sections de rampe</i>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Longueur (m)	4	4	4	3	4	4	4	-	-
Pression à chaque section (bars)	2,6	2,8	3,1	3,6	3,4	2,9	2,9	-	-
Pression moyenne (bars)	3,0								



<b>Débit des buses (code L2)</b>	<b>Débit des buses (code L2)</b>
Usure moyenne des buses (marque et calibre) = 6,4 %	Usure moyenne des buses (marque et calibre) = 5,2 %

<b>Système de régulation (code M1 (ou M2))</b>
Volume/hectare réellement épandu = 112 % du volume/hectare réglé

<b>Différence de pression entre le distributeur et la rampe (code H3)</b>	
Pression au manomètre de travail (bars)	Pression mesurée à la rampe (bars)
2	1,9
3	2,8
4	3,7
5	4,7



PHOTO 5 : autocollant numéroté qui est apposé sur la cuve du pulvérisateur agréé.



### 3.4.4. Avantages de la méthode de contrôle

Le contrôle réalisé avec cet équipement de mesure s'avère particulièrement efficace et bien adapté dans le cadre d'un contrôle systématique :

- l'équipement de contrôle est entièrement mobile et se déplace en un endroit proche de chez l'utilisateur;
- la procédure est indépendante d'un site particulier et des conditions climatiques;
- le rendement de chantier est élevé, une équipe de 2 personnes expérimentées contrôle en moyenne 10 pulvérisateurs par jour dans un horaire normal de travail;
- à l'issue du test, l'utilisateur possède des informations claires et précises sur les réparations à effectuer sur son pulvérisateur;
- le contrôle est très didactique dans le sens où les mesures réalisées sont accessibles à l'utilisateur et lui permettent de mieux comprendre le fonctionnement du pulvérisateur;
- le contrôle est très complet (plus de 15 paramètres considérés) et l'équipement de mesure est assez limité. Hormis la vérification du système de régulation, la procédure globale se résume à deux types de mesures :
  - . débit individuel des buses,
  - . pressions au niveau de la rampe.

Le tableau 3.3. présente les paramètres importants faisant l'objet d'une mesure ainsi que l'équipement de contrôle requis.

TABLEAU 3.3. : équipement de mesure.

CONTROLE	EQUIPEMENT DE MESURE
- Débit des buses	- Équipement spécifique (débitmètre, système de régulation de pression,...)
- Stabilité de la pression - Fonctionnement du manomètre - Equilibre hydraulique entre les sections - Retours compensatoires - Perte de charge	- Manomètres étalons positionnés en lieu et place de buses
- Système de régulation	- Chronomètre et jalons - Récipients gradués



### 3.4.5. Caractéristiques du contrôle obligatoire

Les principales caractéristiques du contrôle obligatoire en Belgique sont résumées ci-après :

- le contrôle obligatoire est sous la responsabilité du Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture (Direction Générale 4 / Inspection générale des matières premières et produits transformés);
- la gestion quotidienne du contrôle (envoi des convocations, vérification des pulvérisateurs, renseignements, ...) est effectuée :

#### *pour les parties francophone et germanophone*

CENTRE DE RECHERCHES AGRONOMIQUES

#### **Département de Génie rural**

chaussée de Namur, 146

5030 Gembloux

Tél. 32 - (0)81/61 25 01

Fax. 32 - (0)81/61 58 47

#### *partie néerlandophone*

CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK

#### **Rijksstation voor Landbouwtechniek**

Burgemeester van Gansberghelaan, 115

9820 Merelbeke

Tél. 32 - (0)9/252 18 21

Fax. 32 - (0)9/252 42 34

- le suivi du contrôle est assuré par l'Inspection générale des Matières premières et Produits transformés du Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture (DG 4), notamment en ce qui concerne les désistements suite à l'envoi des convocations;
- le contrôle obligatoire a débuté en Belgique le 04 septembre 1995;
- la procédure de contrôle est identique pour toute la Belgique;
- la mesure concerne tous les pulvérisateurs prévus pour appliquer les pesticides à usage agricole et utilisés sur le territoire belge, indépendamment de leur date de mise en service, de leur taille ou de l'intensité de l'utilisation; tous les appareils grande culture (environ 28 000 pulvérisateurs) doivent être contrôlés avant décembre 1998;
- ce sont des équipes, composées d'agents officiels du Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, qui réalisent le contrôle et se déplacent à un endroit proche du domicile des utilisateurs; il y a 7 équipes de 2 personnes;
- le contrôle est triennal;
- les nouveaux pulvérisateurs vendus après le 1<sup>er</sup> septembre 1998 seront être contrôlés au plus tard 3 ans après la vente;
- une convocation spécifiant la date, l'heure et l'endroit de la vérification sera envoyée au moins 15 jours à l'avance; elle précise en outre comment préparer son appareil préalable;
- il n'y a pas de contrôle durant les périodes de gel et d'intense utilisation du pulvérisateur au printemps;
- lorsque le pulvérisateur est agréé, un autocollant numéroté est apposé sur la cuve de l'appareil pour une période de validité de 3 ans maximum (figure 8);
- lorsque l'appareil est refusé, l'utilisateur doit le représenter dans un délai maximum de 4 mois suite à une nouvelle convocation; durant cette période il peut encore pulvériser;
- le coût du contrôle est à charge de l'utilisateur et varie selon la largeur de travail; le montant à payer lors de la vérification est de 2 500 BEF pour 12 m de rampe et moins, le supplément est fixé à 150 BEF par mètre supplémentaire avec un maximum de 4 000 BEF.

Le coût d'un deuxième passage s'élève à une somme forfaitaire de 2 000 BEF.

Par mesure de tolérance, le deuxième passage est gratuit uniquement lorsque le refus concerne les buses et/ou le manomètre, que la représentation se fait endéans les 24 heures après le premier passage et enfin, qu'il y ait cession volontaire du matériel défectueux (buse et/ou manomètre) au service de contrôle.

- toute vente de pulvérisateurs (neufs ou d'occasion) doit être signalé au service de contrôle concerné (Gembloux ou Merelbeke) par le vendeur de l'appareil, à savoir le constructeur ou l'importateur, le marchand-réparateur ou encore, l'utilisateur en cas de vente directe à un autre utilisateur. C'est à l'acheteur à signaler l'opération uniquement lorsque le pulvérisateur (neuf ou d'occasion) vient directement de l'étranger.



### 3.4.6. Résultats

En 1995, 4 équipes ont réalisé le contrôle durant l'automne. Les vérifications ont été stoppées durant l'hiver (décembre, janvier, février). Les contrôles ont recommencé le 04 mars 1996 avec 3 équipes supplémentaires pour compléter le team existant.

Lorsque le pulvérisateur a été testé, l'utilisateur reçoit un rapport lui présentant clairement les résultats. Le cas le plus fréquent est un appareil accepté, parfois avec des conseils de réparation. Par contre, certains pulvérisateurs sont refusés pour une cause rendant impossible tout traitement correct.

Le tableau 3.4. présente les résultats des 2 premières années de contrôle pour l'ensemble de la Belgique.

Tableau 3.4. : nombre de pulvérisateurs contrôlés pour toute la Belgique entre septembre 1995 et septembre 1997.

	<i>Pulvérisateurs</i>		
	<i>contrôlés</i>	<i>acceptés</i>	<i>refusés</i>
<i>Nombre</i>	13 101	10 480	2 621
<i>Pourcentage</i>	100 %	80 %	20 %

Le faible nombre de pulvérisateurs refusés (la tendance était opposée lorsque le contrôle était réalisé sur base volontaire) peut être expliqué par la bonne préparation de l'appareil préalablement au contrôle. En effet, la convocation officielle envoyée à l'utilisateur présente clairement les causes donnant lieu au refus du pulvérisateur et la façon d'y remédier.

La figure 3.5. présente les déficiences donnant lieu au refus du pulvérisateur, classées selon leur fréquence. Certains pulvérisateurs présentent parfois plusieurs déficiences simultanément.

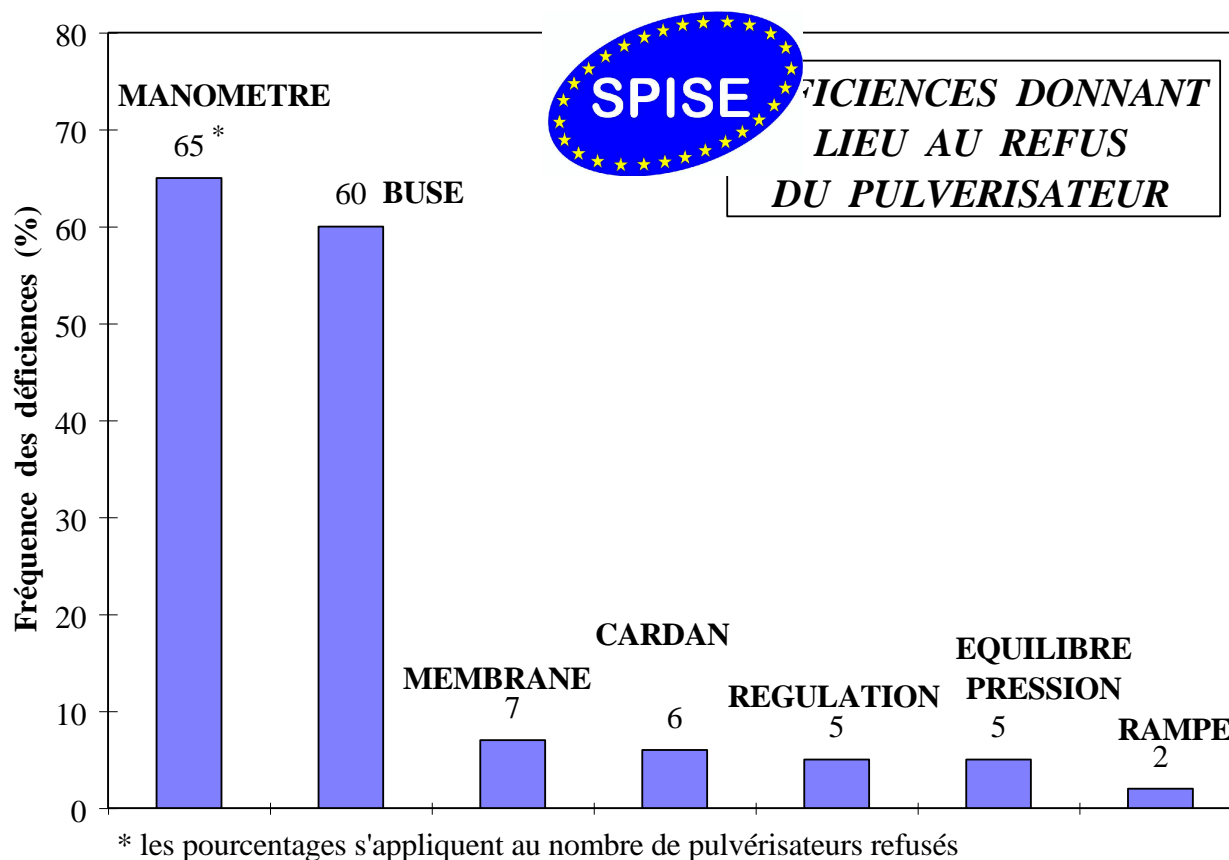


FIGURE 3.5. : fréquence des déficiences donnant lieu au refus du pulvérisateur.

**Manomètre**

Plus de 60 % des manomètres contrôlés sont à remplacer. Les manomètres concernés sont ceux dont l'aiguille reste bloquée en permanence et ceux qui présentent un écart supérieur à 10 % entre la pression réelle et celle de travail. La première cause du dysfonctionnement du manomètre est la qualité médiocre du matériel neuf. N'ont pas été comptabilisés dans les manomètres à remplacer, ceux présentant une graduation difficilement lisible et insuffisamment précise (diamètre du cadran inférieur à 60 mm, graduation minimale de 1 bar et valeurs de pression entre 0 et 5 bars étant concentrées sur un quart de 45° maximum) et ceux dont l'opacité du verre empêche une lecture facile.

### **Buses**

Environ 60 % des buses contrôlées sont à remplacer. La mesure du débit est faite indépendamment de toute influence du pulvérisateur. Le diagnostic qui en résulte est donc bien l'image de l'état des buses. La raison la plus fréquente de dépassement de la tolérance fixée est une usure normale. Toute buse ayant servi à traiter un certain nombre d'hectares voit son orifice s'agrandir et son débit augmenter. La durée de vie d'une buse est difficile à prévoir, elle dépendra essentiellement du matériau constitutif (plastique, acier, céramique), de la nature des produits phytosanitaires pulvérisés (poudre ou liquide), de la qualité de l'eau de pulvérisation (eau de rivière, de citerne, de réseau, ...), des volumes appliqués et de la pression de travail. Pour ces diverses raisons, il est nécessaire de contrôler les buses à partir de 1 000 hectares traités. En plus de l'usure normale, il y a aussi des accidents dus au débouchage au moyen d'un objet non conventionnel (aiguille, fil de fer,...). Cette façon de procéder détruit complètement la forme de l'orifice (forme elliptique dans le cas d'une buse à fente) et entraîne une augmentation du débit parfois supérieure à 150 % du débit nominal ainsi qu'une répartition individuelle tout à fait désastreuse. Une diminution du débit peut parfois être observée à la suite de l'encrassement de la buse.

### **Membrane**

Lorsqu'une pompe volumétrique est utilisée, une membrane ou membrane), une cloche à air est généralement présente de façon à atténuer les pulsations au niveau des conduites. Une déficience de celle-ci rend impossible toute lecture de la pression et rendait l'amortisseur de débit inutile. Une enclenchement rapide de l'aiguille du manomètre de travail dans 7 % des cas, la membrane était déchirée et entraînait des fluctuations de pression dues d'aspiration ou des clapets de pompe.



### **Cardan**

L'absence de protection de cardan n'influence en rien la qualité du travail, mais elle présente un risque d'accident certain pour l'utilisateur, essentiellement pour les appareils traînés. Chaque année plusieurs utilisateurs sont blessés, parfois gravement, par cette négligence des règles élémentaires de sécurité, quelque soit le type de matériel agricole.

### **Régulation**

Environ 5 % des systèmes de régulation engendrent un écart de dosage supérieur à 10 % de la valeur désirée. Les problèmes apparaissent principalement avec les régulations électroniques. Les informations de débit (ou parfois de pression) et de vitesse proviennent de capteurs qui voient leurs signaux évoluer au cours de leur utilisation. Ils doivent dès lors absolument être réétalonnés une fois par saison ou lors d'un changement important sur le pulvérisateur (remplacement des pneumatiques par exemple) pour conserver une régulation précise du débit à la rampe. Malheureusement, l'étalonnage des capteurs constitue souvent un problème pour l'utilisateur.

### **Equilibre hydraulique**

De nombreux facteurs peuvent être la cause de différences de pression entre les sections de rampe. Un filtre de section de rampe peut provoquer une perte de charge importante (filtre bouché, mailles de plus petite dimension que les autres filtres). Un accident dans les canalisations (écrasement, courbe prononcée) se trouvant entre le distributeur et les sections de rampe peut également induire une perte de charge. Les segments d'extrémité ont des longueurs de tuyau importantes par rapport aux autres sections. Les pertes de charges continues sont dès lors plus importantes et peuvent entraîner une diminution de pression pour ces 2 sections. Une différence de longueurs entre les sections induit généralement une augmentation de pression dans celle qui possède le moins de buses (le tronçon central habituellement). Une fuite au niveau des vannes de section de rampe (oring défectueux) entraîne un débit, donc une pression, moindre pour les segments concernés.

La figure 3.6. présente les déficiences donnant simplement lieu à des conseils de réparation, classées selon leur fréquence.

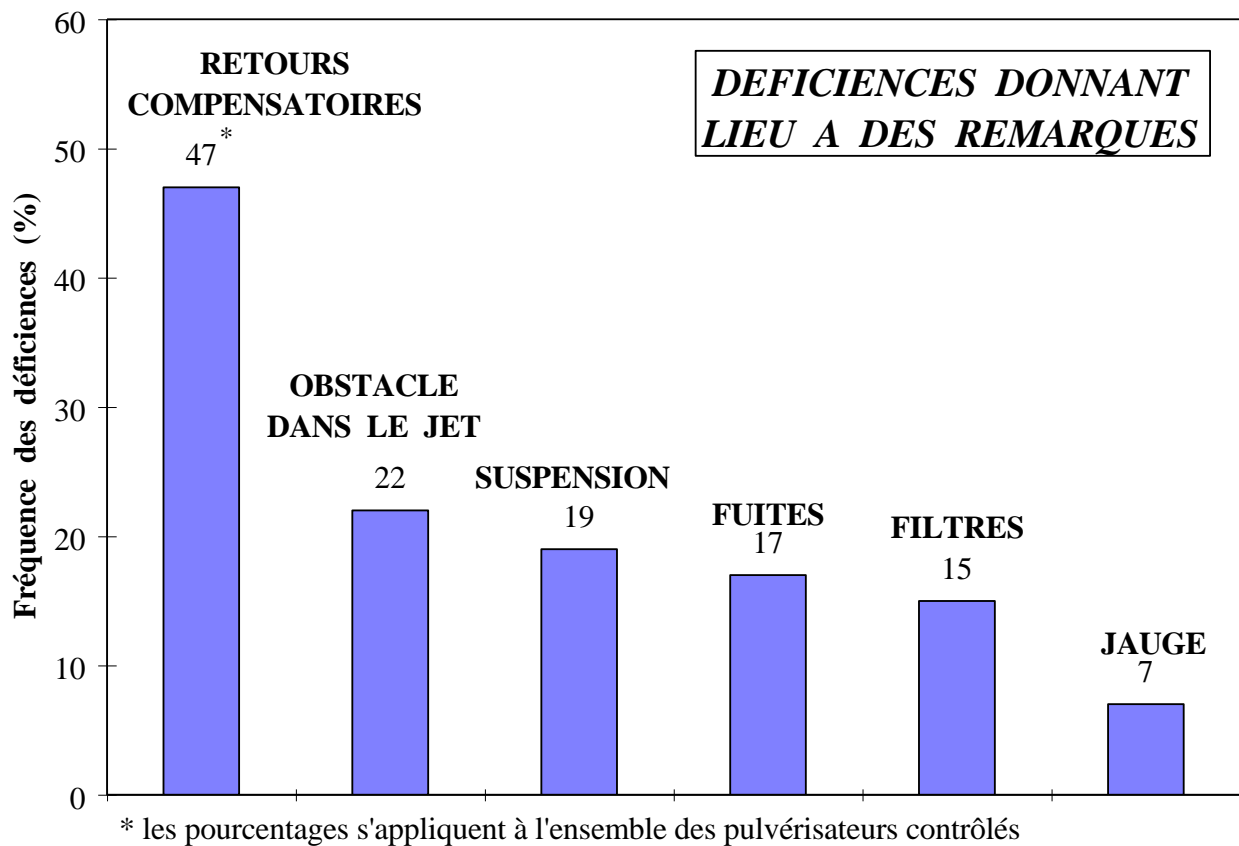


FIGURE 3.6. : fréquence des déficiences qui donnent lieu à des remarques.



### *Retours compensatoires*

Environ 50 % des retours ne sont pas fonctionnels. Ce dispositif n'existe que sur les régulations D.P.M. ou D.P.A. Dans le cas de D.P.A. électronique, le système prend normalement en compte la fermeture des sections pour réguler le débit à la rampe. En ce qui concerne la régulation P.C., certains systèmes régulent le débit excédentaire et maintiennent la pression de départ dans les sections restant alimentées, mais bon nombre d'entre eux sont imprécis et ne parviennent pas à conserver la pression pré réglée. Dans le cas de D.P.M. ou D.P.A. mécanique, la cause la plus fréquente de dysfonctionnement est le mauvais réglage des vannes ou leur mauvais état. Il faut en effet régler les retours à chaque changement de calibre de buses.

### *Obstacles dans le jet*

Régulièrement des morceaux de ficelles, tuyaux souples, ... coupent le jet pulvérisé. Les conséquences sont une répartition transversale perturbée en ces endroits ainsi qu'apparition de phénomènes de gouttage avec, pour certains produits, des risques de brûlures (surconcentration). Les tuyaux souples qui pendent dans le jet (généralement aux articulations de sections de rampe) peuvent être escamotés durant la pulvérisation à l'aide de lanières élastiques.

### *Suspension de rampe*

En ce qui concerne la suspension, la qualité du matériel neuf induit déjà une grande différence entre les rampes. Ce sont généralement des opérations de graissage entre les pièces en frottement ou de reprise de jeu qui doivent être réalisées. La rencontre d'une rampe dépourvue d'un système d'escamotage efficace avec un obstacle, l'endommage définitivement et modifie ses caractéristiques de départ.

### *Fuites*

Les fuites sont le plus souvent localisées aux dispositifs antigoutte et aux raccords de tuyaux. Le vieillissement des joints diminue l'étanchéité des raccords et laisse passer le liquide à pulvériser.

### ***Filtres***

La présence de filtres est indispensable au remplissage de l'appareil (cépine ou panier filtre), à l'aspiration et au refoulement de la pompe afin d'éviter le bouchage des buses. Ponctuellement ces filtres n'étaient pas présents sur le pulvérisateur ou étaient alors fortement endommagés.

### ***Jauge***

L'état de certaines jauges ne permettent plus de lire le niveau de liquide présent dans la cuve. Lorsque qu'elles consistent en un tuyau souple muni d'une « bille flotteur » à l'intérieur, soit le tuyau est devenu totalement non-translucide, soit la bille est bloquée dans le bas du tuyau et empêche l'entrée du liquide dans le tuyau de jauge. Lorsque la jauge est marquée sur une paroi de la cuve, le vieillissement de celle-ci rend souvent impossible l'appréciation du niveau de liquide.

Ponctuellement, l'écartements entre les buses n'est pas constant et diffère de plus de 5 cm. C'est essentiellement sur les anciens appareils que le problème est constaté. Les canalisations de rampe sont le plus souvent des tuyaux flexibles qui sont attachés au châssis de rampe avec des fixations mobiles. Le moindre accrochage avec une buse ou un tuyau modifie l'écartement entre les porte-buses ainsi que leur verticalité. Les appareils plus récents possèdent des canalisations rigides (tuyaux inox ou plastique) fixés définitivement à 50 cm d'écartement. Le seul problème pouvant alors se présenter se présente à la jonction des sections de rampe, où l'écartement de 50 cm n'est pas toujours respecté.



### **3.4.7. Conclusions**

L'impression des utilisateurs suite au passage de leur appareil au contrôle est généralement positive. D'un point de vue technique ils trouvent l'initiative intéressante même si globalement, plusieurs ne semblent pas rencontrer de problèmes majeurs lors de leurs traitements phytosanitaires. Le caractère payant et obligatoire de cette mesure est évidemment moins bien accepté, malgré que le coût annuel du contrôle représente une infime part du budget annuel des "phytos" d'une exploitation de cultures ou de type mixte de taille moyenne. Le coût du contrôle représente moins de 1 % du budget annuel des phytos.

Si ces mesures apparaissent dans une période difficile pour le monde agricole, les contraintes liées à l'instauration d'un contrôle obligatoire des pulvérisateurs sont largement compensées par les avantages liés à l'amélioration de la qualité des applications. Ils se traduisent nécessairement par une réduction du coût de la lutte phytosanitaire (plusieurs milliers de francs par saison) et donnent l'image positive d'une agriculture soucieuse de l'Environnement.

# ANNEXES

## A 1. Liste des formules usuelles utilisées en pulvérisation

En pulvérisation, beaucoup de notions différentes interviennent, mais toujours en interaction entre elles. Les formules courantes pouvant servir à l'utilisateur lors du réglage et de l'emploi du pulvérisateur, sont d'un usage pratique et facile, pour autant que l'on se donne la peine de les analyser. Il est intéressant de rassembler ici les principales, en les illustrant par un exemple tenant compte des conditions normales de travail.

### REGLAGE DE L'APPAREIL


#### 1. Vitesse moyenne calculée entre 2 jalons

$$V = \frac{l}{t} \times 3,6$$

où  $V$  = vitesse d'avancement (km/h),  
 $l$  = distance entre 2 jalons (m),  
 $t$  = temps nécessaire pour parcourir cette distance (s),  
3,6 = facteur d'ajustement d'unités.

#### Exemple

Quelle est la vitesse d'avancement, lorsqu'une distance de 100 m est parcourue en 51 s ?


$$V = \frac{100}{51} \times 3,6 = 7 \text{ km/h}$$

#### 2. Débit d'une buse pour un écartement de 50 cm sur la rampe

$$d = \frac{E \times V \times Q}{600}$$

où  $d$  = débit d'une buse (l/min),  
 $E$  = écartement des buses (m),  
 $V$  = vitesse d'avancement (km/h),  
 $Q$  = volume par unité de surface (l/ha),  
600 = facteur d'ajustement d'unités.

#### Exemple

Quel doit être le débit moyen des buses pour épandre un volume de 200 l/ha à une vitesse de 7 km/h ?

$$d = \frac{0,5 \times 7 \times 200}{600} = 1,2 \text{ l/min}$$

#### 3. Volume épandu en fonction du débit à la rampe

$$Q = \frac{D \times 600}{V \times L}$$

où  
 Q = volume par unité de surface (l/ha),  
 D = débit à la rampe (l/min),  
 V = vitesse d'avancement (km/h),  
 L = largeur de la rampe (m),  
 600 = facteur d'ajustement d'unités.

### Exemple

Quel est le volume/hectare si on traite avec des buses débitant 1,4 l/min, à une vitesse moyenne de 8 km/h et avec une rampe de 18 m (36 buses espacées de 50 cm) ?

$$Q = \frac{(36 \times 1,4) \times 600}{8 \times 18} = 210 \text{ l/ha}$$

### 4. Relation entre la pression de travail et le débit d'une buse

$$\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{d_2^2}$$

où  
 P<sub>1</sub> = ancienne valeur de la pression (bar)  
 P<sub>2</sub> = nouvelle valeur de la pression (bar)  
 d<sub>1</sub> = ancienne valeur du débit (l/min),  
 d<sub>2</sub> = nouvelle valeur du débit (l/min).



d'où, on tire

$$d_2 = d_1 \times \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} \quad \text{ou} \quad p_2 = p_1 \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

### Exemple

Quel est le débit d'une buse donnant 0,99 l/min à 2 bars si l'on augmente la pression à 2,5 bars.

$$d_2 = 0,99 \sqrt{\frac{2,5}{2}} = 1,11 \text{ l/min}$$

N.B. : la relation est semblable lorsque l'on parle du volume/hectare (Q) ou de la vitesse (V) ; il suffit de changer le débit (d) par une de ces deux grandeurs.

### Exemple

Quel est le volume appliqué (Q<sub>2</sub>) à 3 bars (P<sub>2</sub>) s'il était de 200 l/ha (Q<sub>1</sub>) à 2 bars (P<sub>1</sub>) ?

$$Q_2 = 200 \times \sqrt{\frac{3}{2}} = 245 \text{ l/ha}$$

### Exemple



Quelle est la pression ( $P_2$ ) à 8 km/h ( $V_2$ ) si elle était de 2,5 bars ( $P_1$ ) à 6 km/h ( $V_1$ ), notamment dans le cas d'une régulation D.P.M. ou D.P.A. lorsque l'on accélère ?

$$p_2 = 2,5 \times \left(\frac{8}{6}\right)^2 = 4,4 \text{ bars}$$

### 5. Relation entre la pression et la densité du liquide

$$P = P_{\text{eau}} \times d_e$$

où  $P$  = pression avec un liquide de densité différente de 1 (densité de l'eau) (bar),  
 $P_{\text{eau}}$  = pression en travaillant avec de l'eau (bar),  
 $d_e$  = densité du nouveau produit.

#### **Exemple**

Quelle doit être la pression avec un produit de densité de 1,4 pour obtenir le même débit aux buses pour une pression de 2 bars avec de l'eau ?

$$P = 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ bars}$$

### 6. Volume épandu en fonction de la pression d



où  $Q$  = volume par unité de surface (l/ha),  
 $d_{1b}$  = débit d'une buse à une pression de 1 bar (l/min),  
 $P$  = pression de travail (bar),  
 $V$  = vitesse d'avancement (km/h),  
 $E$  = écartement des buses (m),  
 $600$  = facteur d'ajustement d'unités.

#### **Exemple**

Quel est le volume épandu à 2 bars en utilisant des buses débitant 0,70 l/min à 1 bar, avec un appareil évoluant à 8 km/h ?

$$Q = \frac{0,70 \times \sqrt{2} \times 600}{8 \times 0,5} = \text{environ } 150 \text{ l/ha}$$

### 7. Volume/hectare en fonction des unités fertilisantes

$$Q = \frac{U}{u}$$

où Q = volume par unité de surface (l/ha),  
U = nombre d'unités fertilisantes à épandre à l'hectare (unité/ha),  
u = concentration de la solution fertilisante (unité/l d'eau).

#### **Exemple**

Quel est le volume/hectare si on veut fertiliser avec 120 unités en utilisant une solution azotée pure (39 % de concentration) ?

$$Q = \frac{120}{0,39} = 308 \text{ l/ha}$$

### **8. Débit à la rampe en fonction des unités fertilisantes**

$$D = \frac{U}{u} \times \frac{V \times L}{600}$$

où D = débit à la rampe (l/min),  
U = nombre d'unités fertilisantes à épandre à l'hectare (unité/ha),  
u = concentration de la solution fertilisante (unité/l d'eau),  
V = vitesse d'avancement (km/h),  
L = largeur de la rampe (m),  
600 = facteur d'ajustement d'unités.



#### **Exemple**

Quel doit être le débit à la rampe si on veut fertiliser à une vitesse de 7 km/h avec 120 unités/hectare en utilisant une solution azotée pure (39 % de concentration) à l'aide d'une rampe de 18 m ?

$$D = \frac{120}{0,39} \times \frac{7 \times 18}{600} = 64,5 \text{ l/min}$$

### 9. Quantité d'eau à apporter à une solution fertilisante pure afin d'appliquer un volume/hectare fixé

$$V_e = Q - \frac{U}{u}$$

où Ve = volume d'eau à ajouter à la solution pure (l),  
Q = volume par unité de surface (l/ha),  
U = nombre d'unités fertilisantes à épandre à l'hectare (unité/ha),  
u = concentration de la solution azotée (unité/l d'eau).

#### **Exemple**

Quel est le volume d'eau à ajouter à une solution azotée pure (39 % de concentration) si l'on veut appliquer 50 unités à 200 l/ha ?

$$V_e = 200 - \frac{50}{0,39} = 72 \text{ l}$$

**10. Modification de la densité de la bouillie suite à une dilution**

$$de' = \frac{\frac{U}{u} \times (de - 1)}{Q} + 1$$

- où  $de'$  = densité de la solution fertilisante diluée,
- $U$  = nombre d'unités fertilisantes à épandre à l'hectare (unité/ha),
- $u$  = concentration de la solution fertilisante (unité/l d'eau),
- $de$  = densité de la solution fertilisante pure,
- $Q$  = volume par unité de surface (l/ha).

**Exemple**

Quelle est la densité du liquide pulvérisé si on désire épandre 50 unités/ha d'azote à l'aide d'une solution azotée de densité 1,28 (39 % de concentration), diluée dans l'eau et pulvérisée à raison d'un volume de 200 l/ha ?

$$de' = \frac{50}{1,28} + 1 = 1,18$$


N.B. : pour conserver le volume/hectare prévu de travail par 1,18 pour la solution fertilisante. Pour obtenir une solution pulvérisée (densité de 1), il faudra multiplier la pression

**DIVERS**

**11. Préparation de la bouillie : dose de matière active**

$$q_1 = \frac{q_2 \times C}{Q}$$

- où  $q_1$  = quantité de produit à introduire dans la cuve (kg ou l),
- $q_2$  = quantité de produit à utiliser à l'hectare (kg ou l),
- $C$  = capacité de la cuve (l),
- $Q$  = volume par unité de surface (l/ha).

**Exemple**

Quelle est la quantité de produit à introduire dans la cuve si on veut épandre un herbicide à raison de 2,5 litres à l'hectare, à l'aide d'un volume de 250 l/ha et d'un pulvérisateur possédant une cuve de 1 600 l ?

$$q_1 = \frac{2,5 \times 1\,600}{250} = 16 \text{ l.}$$

**12. Rendement total de chantier**

$$\rho_t = \frac{t}{T} \times 100$$

- où  $\rho_t$  = rendement total de chantier (%),  
 $t$  = temps effectif de pulvérisation (min),  
 $T$  = temps total consacré à l'application, y compris la pulvérisation, les remplissages, les transports et les opérations annexes (min).

### Exemple

En moyenne, on considère que 45 % du temps de travail ne sont pas effectifs à la pulvérisation ; 17 % du temps est consacré aux déplacements, 16 % à la préparation du liquide, 12 % pour les réglages divers. La valeur moyenne de rendement de chantier est donc égale à :

$$\rho_t = 55 \%$$

### 13. Performance globale de chantier

$$P = \rho_t \times \frac{L \times V}{1\,000}$$

- où  $P$  = performance globale du chantier (ha/h),  
 $\rho_t$  = rendement total (%),  
 $L$  = largeur de la rampe (m),  
 $V$  = vitesse d'avancement (km/h)  
 $1\,000$  = facteur d'ajustement d'unités



d'où on tire

$$V = \frac{P \times 1\,000}{L \times \rho_t}$$

### Exemple

Quelle doit être la vitesse de travail avec un pulvérisateur de 18 m et un rendement de chantier de 55 % pour satisfaire aux contraintes d'un traitement à savoir, pulvériser 90 ha en 12 h ?

La performance de chantier doit être de  $P = \frac{90}{12} = 7,5$  ha/h

et la vitesse doit s'élever à  $V = \frac{7,5 \times 1\,000}{18 \times 55} = 7,6$  km/h.

**14. Débit minimum de la pompe pour satisfaire aux conditions extrêmes d'utilisation du pulvérisateur**

$$D_{\min} = \frac{Q \times V \times L}{600} + 0,05 \times C$$

- où
- D<sub>min</sub> = débit minimum à la rampe (l/min),
  - Q = volume épandu (l/ha),
  - V = vitesse d'avancement (km/h),
  - L = largeur de la rampe (m),
  - C = capacité de la cuve (l),
  - 600 = facteur d'ajustement d'unités.

**Exemple**

Quel doit être le débit minimum de la pompe pour un volume/hectare de 400 l, une rampe de 24 m, une cuve de 2 000 l et une vitesse maximum de 10 km/h ?

$$D_{\min} = \frac{400 \times 24 \times 10}{600} + 0,05 \times 2\,000 = 260 \text{ l/min}$$

**15. Volume/hectare en fonction du nombre**



**développement de la culture à traiter**

$$Q = \frac{1}{1,9 \times 10^7} \times \frac{1}{K}$$

- où
- Q = volume par unité de surface (l/ha),
  - N = nombre de gouttes par cm<sup>2</sup> (contrainte qui dépend du traitement),
  - Sr = surface réelle à traiter (ha) (dépend du type de végétal et de son stade de développement),
  - dv = diamètre volumique moyen des gouttelettes en μm (dépend du type de buse et de la pression de travail),
  - K = rendement de l'application : rapport entre le volume de produit atteignant effectivement la cible et le volume réellement pulvérisé,
  - 1,9 × 10<sup>7</sup> = facteur d'ajustement d'unités.

**Exemple**

Quel doit être le volume épandu lorsque l'on veut traiter un froment avec un fongicide (100 gouttes/cm<sup>2</sup> et dv = 150 μm) lors d'une application tardive (surface de feuilles ± 6 ha et rendement d'application de 70 %) ?

$$Q = \frac{100 \times 6 \times (150)^3}{1,9 \times 10^7} \times \frac{1}{0,7} = 150 \text{ l/ha}$$