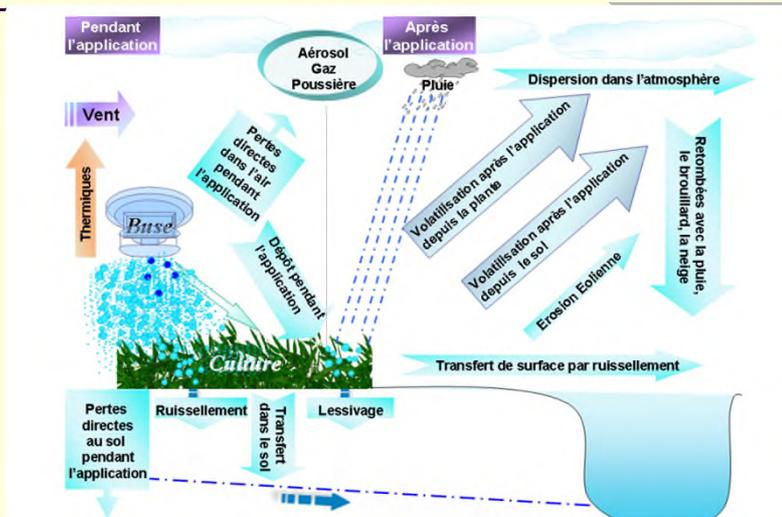


# Les gouttelettes

Pr. K. Houmy

## Processus du transfert des pesticides dans les différents compartiments de l'environnement

Introduction

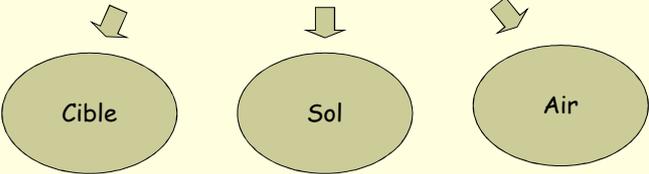


**Introduction**

L'objectif de toute opération d'application de pesticides est d'appliquer la matière active d'une manière efficace, efficiente en protégeant l'environnement

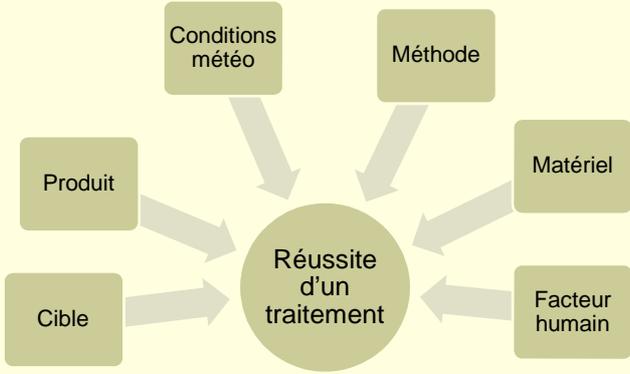
- Malheureusement les pertes de pesticides peuvent atteindre dans certaines cas 50 % des quantités appliquées
- L'amélioration des techniques d'application présente des enjeux économique et environnemental
- Est-il possible de réduire les pertes de pesticides au cours de l'opération de traitement?



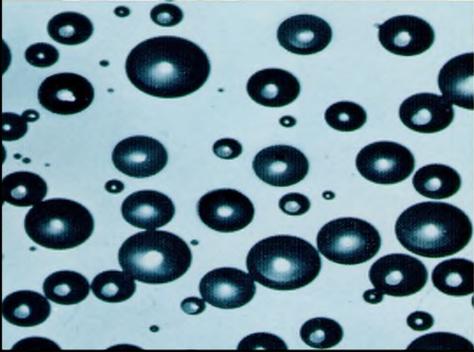



**Introduction**

## Facteurs de réussite d'un traitement phytosanitaire

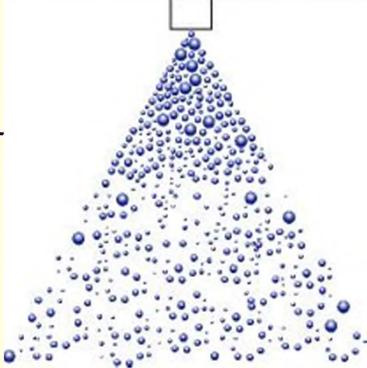


**Les gouttelettes**

Tout système de pulvérisation génère un grand nombre de gouttelettes sous forme de petites sphères dont le diamètre peut varier entre 20 et 500  $\mu\text{m}$  l'environnement

**Les gouttelettes**

- Un cheveu humain présente 100 $\mu\text{m}$  de diamètre
- **Nous avons à faire des gouttelettes dont le diamètre est plus petit que le 1/3 de celui d'un cheveu humain.**

$1 \mu = 1/1000 \text{ mm}$        $1 \text{ mm} = 1000 \mu$

## Mouvement des gouttelettes

Vitesse initiale de la gouttelette

Pour les fines gouttelettes, leur vitesse finale reste relativement faible et vont rester longtemps en suspension dans l'air.

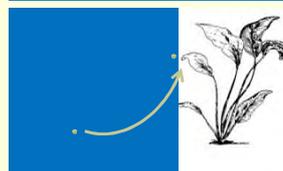
Pour les grosses gouttelettes, la vitesse finale est plus élevée leur permettant d'arriver facilement au niveau de la cible

Diamètre des gouttelettes ( $\mu\text{m}$ )	Vélocité terminale ( $\text{cm s}^{-1}$ )	Temps de chute 1,0 m (s)
300	115	0,8
100	27,8	3,6
50	7,3	13,7
20	1,2	83,3

## Mouvement des gouttelettes

Il existe plusieurs processus qui font que ce transfert parfait est rarement atteint :

- les vents de travers, qui donnent une composante horizontale à la trajectoire.
- la turbulence engendrée par de l'air qui se déplace au-dessus d'une surface plus ou moins lisse et confère une composante verticale autant qu'horizontale au mouvement;
- les gouttelettes, qui rebondissent souvent des surfaces si elles sont trop grosses,



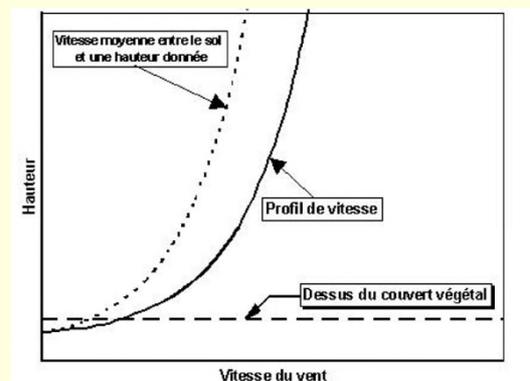
## Mouvement des gouttelettes

Idéalement, toutes les gouttelettes qui tombent devraient se déposer sur leur cible, qu'il s'agisse de végétation ou d'insectes ravageurs, ce qui donne une efficacité de récupération de sédimentation de 100. Toutefois, il existe quatre processus qui font que ce transfert parfait est rarement atteint:

- les vents de travers, qui donnent une composante horizontale à la trajectoire des gouttelettes de pulvérisation, ce qui déplace leur dépôt sous le vent éventuellement hors cible;
- la turbulence engendrée par de l'air qui se déplace au-dessus d'une surface plus ou moins lisse et confère une composante verticale autant qu'horizontale au mouvement de la gouttelette, ce qui signifie que certaines gouttelettes s'abattent plus vite alors que d'autres restent soutenues plus longtemps dans le vent de travers;
- les gouttelettes, qui rebondissent souvent des surfaces si elles sont trop grosses ou trop fines, en raison des propriétés élastiques de leur tension de surface;
- les gouttelettes les plus grosses, qui souvent fusionnent après leur dépôt, puis s'écoulent de la végétation pour se déverser sur le sol en dessous. La rétention d'une gouttelette par la cible peut également être fonction de la surface de la cible elle-même, qui peut être cirreuse ou difficile à 'mouiller', ou qui ne se tient pas à l'horizontale.

## Le vent

Au-dessus du sol, la vitesse moyenne du vent n'est pas constante. Elle est de 0 m/s près de la surface et augmente, d'abord rapidement, puis plus graduellement pour devenir presque constante..



## Evaporation

**Durée de vie et distance de chute des gouttelettes dans un environnement calme à différentes conditions de températures et d'humidité**

Taille de la goutte initiale ( $\mu\text{m}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ) 20 RH (%) 80		Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ ) 30 RH (%) 50	
	Durée de vie (s)	Distance de chute (m)	Durée de vie (s)	Distance de chute (m)
50	14 s	0.5	4 s	0.15
100	57	8.5	16	2.4
200	227	136.4	65	39

## Les gouttelettes

### La turbulence et la stabilité atmosphérique

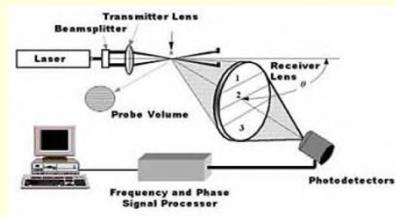
La turbulence d'origine thermique

On sait que l'air chaud est plus léger et tend à s'élever. Quand le soleil réchauffe la surface du sol, l'air à la surface tend à se réchauffer plus rapidement que l'air qui se trouve éloigné de la surface du sol. Cet air chaud monte en créant un mouvement ascendant et est remplacé par de l'air frais venant de plus haut.

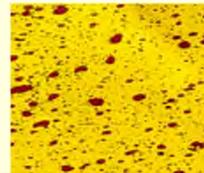
À l'inverse, au cours d'une nuit claire, la surface du sol se refroidit plus vite que l'air en altitude. Il s'ensuit que la couche d'air en surface est plus froide et donc elle tend à rester près du sol parce que l'air froid est plus lourd. On dit alors que la couche de surface de l'atmosphère est dans un état stable.

## Mesure de la taille des gouttelettes

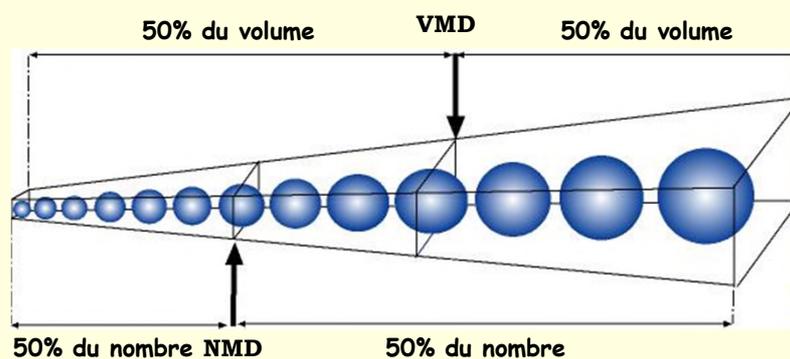
- Au laboratoire  
Granulométrie laser



- Sur le terrain  
Papier hydrosensible

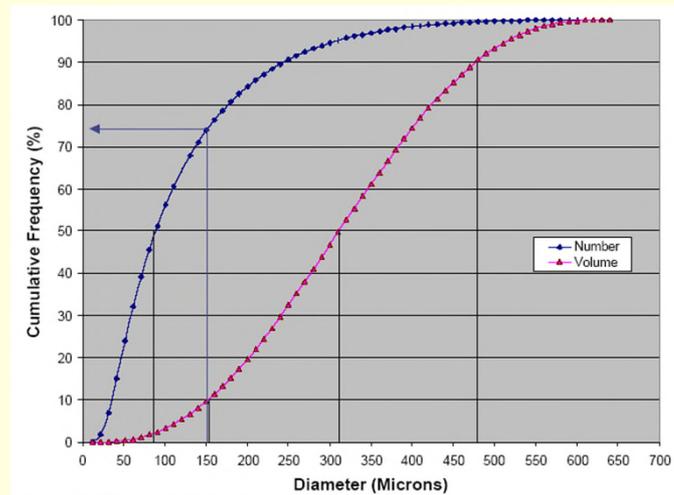


## Comment caractériser une population de gouttelettes?



$$\text{Coefficient d'homogénéité} = \frac{\text{VMD}}{\text{NMD}}$$

## Courbes cumulative en volume et en nombre

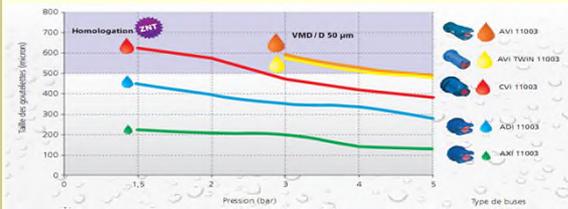


## Qualité de la pulvérisation

Une classification de types de pulvérisation selon les dimensions des gouttes a été élaborée par le « British Crop Protection Council » (B.C.P.C.) sur la base du V.M.D.

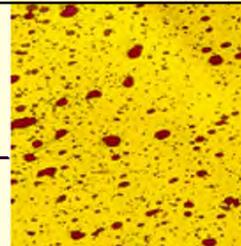
Diamètre volumétrique médian VMD ( $\mu\text{m}$ )	Dénomination	Fixation au niveau des feuilles
<150	Très fine	Bonne
150 - 250	Fine	Bonne
250 - 350	Moyenne	Bonne
350 - 450	Grosse	Moyenne avec des risques de ruissèlement
450 - 550	Très grosse	ruissèlement
>550	Extrêmement grosse	ruissèlement

## Catalogue des buses



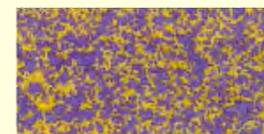
Bar	ATR									
	BLANC	LILAS	MARRON	JAUNE	ORANGE	ROUGE	GRIS	VERT	NOIR	BLEU
3	VF	VF	VF	F	F	F	F	F	F	M
5	VF	VF	VF	VF	VF	F	F	F	F	M
7	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F	F	F	F
10	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F	F
15	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F
20	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F

## Couverture



- On entend par couverture le nombre de gouttelettes que l'on peut trouver sur la feuille par unité de surface
- Les fines gouttelettes donnent une meilleure couverture

## Evaluation de la qualité de la pulvérisation

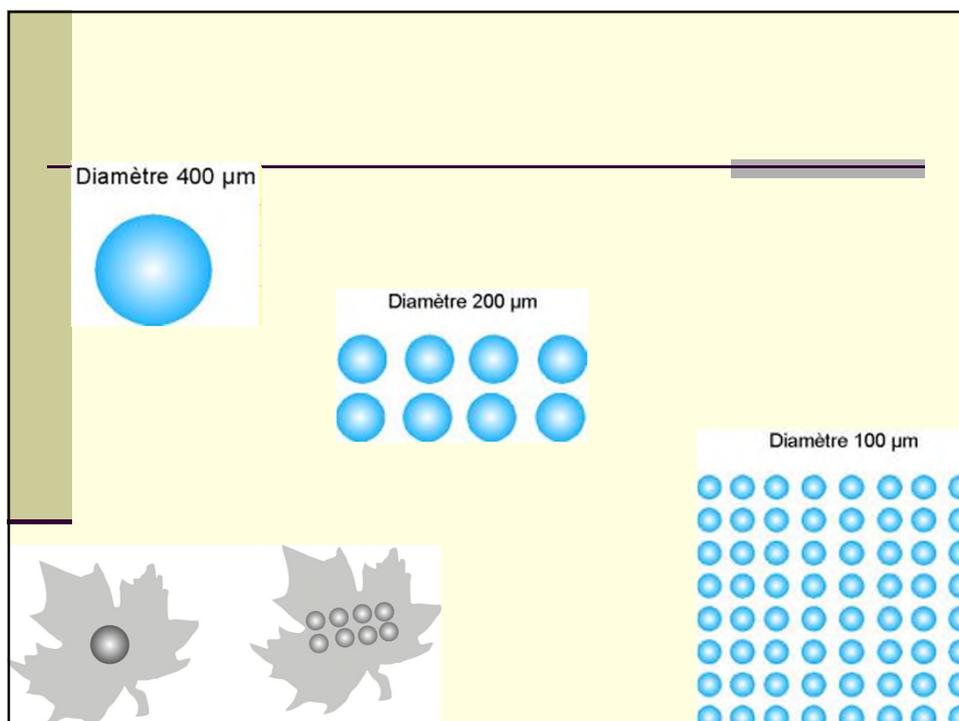
	Densité insuffisantes
	Densité suffisante
	Lessivage

## Pénétration

- Les petites gouttelettes ont tendance à traverser en flottant la partie supérieure de la végétation et à se déposer des deux côtés des feuilles
- Les grosses gouttelettes frappent simplement la surface exposée de la feuille et rebondissent pour tomber sur les feuilles qui se trouvent plus bas.
- la pulvérisation de gouttelettes fines est recommandée pour appliquer des insecticides et des fongicides, car elles peuvent pénétrer le couvert végétal dense.

### Classification de type de traitement en fonction du nombre de gouttelettes par cm<sup>2</sup>

Nb/ cm <sup>2</sup>	Types de produit
20-30	- Insecticides
20-40	- Herbicide en pré-émergence
30-40	- Herbicide de contact en post-émergence
30-50	- Herbicide à action racinaire
50-70	- Fongicide



Diamètre 400  $\mu\text{m}$



$$S = \frac{\pi d^2}{4} \qquad V = \frac{\pi d^3}{6}$$

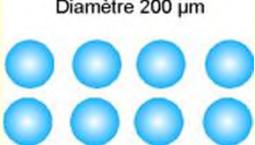

---


$$d_1 = \frac{d}{2}$$

$$S_1 = \frac{\pi(d_1^2)}{4} = \frac{\pi(\frac{d}{2})^2}{4} = \frac{1}{4} \frac{\pi(d^2)}{4} = \frac{1}{4} S$$

$$V_1 = \frac{\pi(d_1)^3}{6} = \frac{\pi(\frac{d}{2})^3}{6} = \frac{1}{8} \left( \frac{\pi d^3}{6} \right) = \frac{1}{8} V$$

8 gouttelettes de  $d_1$  vont occuper le même volume et couvrir deux fois la surface de  $d$



Diamètre 200  $\mu\text{m}$

Diamètre 400  $\mu\text{m}$



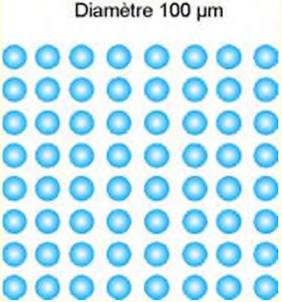
$$d_2 = \frac{d}{4}$$


---


$$S_2 = \frac{\pi(d_2^2)}{4} = \frac{\pi(\frac{d}{4})^2}{4} = \frac{1}{16} \frac{\pi(d^2)}{4} = \frac{1}{16} S$$

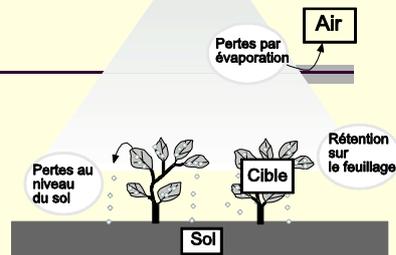
$$V_2 = \frac{\pi(d_2)^3}{6} = \frac{\pi(\frac{d}{4})^3}{6} = \frac{1}{64} \left( \frac{\pi d^3}{6} \right) = \frac{1}{64} V$$

64 gouttelettes de  $d_2$  vont occuper le même volume et couvrir 4 fois la surface de  $d$



Diamètre 100  $\mu\text{m}$

## Mouvement des gouttelettes



Les gouttelettes vont quitter le dispositif de pulvérisation à une grande vitesse qui va diminuer au fur et à mesure qu'elles s'éloignent de leur point d'émission. Elles vont atteindre un équilibre se traduisant par leur déplacement à une vitesse constante appelée vitesse finale.

Pour les fines gouttelettes, leur vitesse finale reste relativement faible et vont rester longtemps en suspension dans l'air.

Pour les grosses gouttelettes, la vitesse finale est plus élevée leur permettant d'arriver facilement au niveau de la cible. Cependant, les risques de ruissellement vont être plus élevés ce qui dévie la trajectoire des gouttes vers le sol.

## C'est quoi la dérive?

**La dérive de pesticides se définit comme le transport de pesticides sous forme de gouttelettes ou de vapeur hors de la zone traitée.**

La dérive sur de courtes distances est caractérisée par des concentrations de pesticides relativement élevées au sol et dans l'air. Ces concentrations peuvent être assez élevées pour causer des dommages aigus à la santé de personnes, d'animaux ou de plantes exposées.

À l'opposé, la dérive sur de plus longues distances est caractérisée par de faibles concentrations peu susceptibles de causer des effets aigus et immédiatement observables. Par contre, cette dérive contribue à la détérioration générale de la qualité de l'air, des sols et de l'eau.



## C'est quoi la dérive?

---

- Des études ont montré que les équipements et leur utilisation sont responsables de 68 à 90 % des pertes par dérive alors que les conditions climatiques ne comptent que 10 à 32 %
- Les pertes par drive ne peuvent pas être éliminées mais peuvent être réduite par l'adoption de plusieurs méthodes qui peuvent être combinées

## La dérive

---



Les facteurs influençant la dérive peuvent être regroupés comme suit :

- Les caractéristiques de la pulvérisation comme la volatilité et la viscosité de la formulation du pesticide
- Les équipements et les techniques d'application adoptées.
- Les conditions climatiques au moment de l'application (vitesse et direction du vent, température, humidité relative et la stabilité de air).
- L'opérateur à travers ses compétences son attitude et son comportement

## La dérive

### Relation entre la taille des gouttelettes et la dérive

Diamètre des gouttelettes ( $\mu\text{m}$ )	Type de gouttes	Distance couverte (m) par des gouttelettes lâchées d'une hauteur de 3 m à une vitesse du vent de 3 m/h
100	Pulvérisation fine	13.42
240	Pulvérisation moyenne	8.5
400	Pulvérisation grossière	2.5

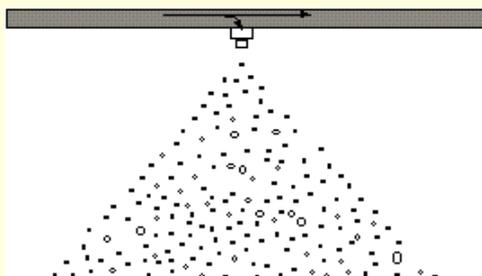
### Exemple de méthode de réduction de la dérive



## Procédés de fragmentation

## Procédés de fragmentation

### Par pression liquide



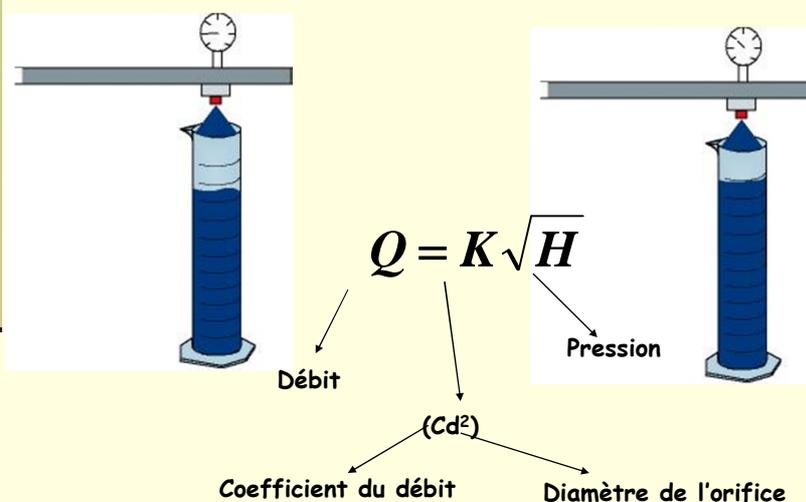
- Effet de la pression
- Effet du calibre de l'orifice

## Procédés de fragmentation

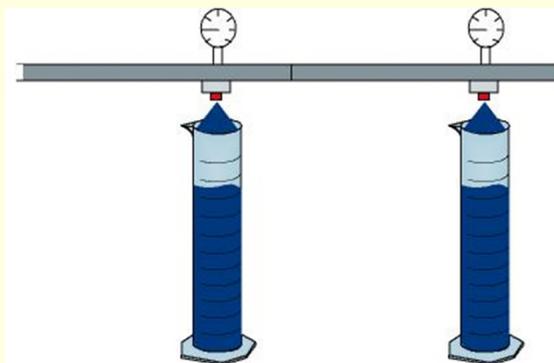
Exemple de tailles de gouttes selon la classification de B.C.P.C. en fonction de la pression et le calibre de la buse, pour une buse à chambre de turbulence (Catalogue d'une marque de buses).

Pression (Bar)	Calibre des buses									
	Blanc	lilas	marron	jaune	orange	rouge	gris	vert	noir	bleu
3	VF	VF	VF	F	F	F	F	F	F	M
5	VF	VF	VF	VF	VF	F	F	F	F	M
7	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F	F	F	F
10	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F	F
15	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F
20	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	VF	F

## Le débit est proportionnel Par pression liquide



Même débit = même pression et même diamètre de l'orifice



## Choix du type de buses

### Les buses

Il existe différents types de buses



Elle est responsable de la qualité du jet en particulier :

- La forme du jet
- La répartition sur la cible
- La dimension et la quantité de gouttes
- Le débit

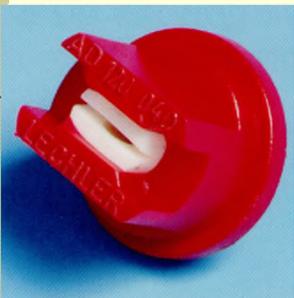
PLAGE DE PRESSION D'UTILISATION



de 1,5  
à 3 bar

**Les buses**

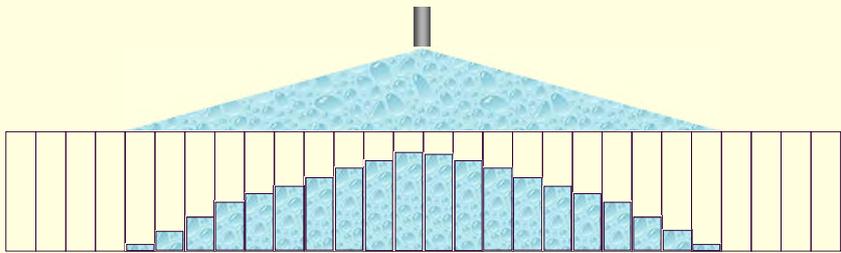
### Buse à fente



The slide features a vertical title 'Les buses' on the left. The main title 'Buse à fente' is centered at the top. Below it, a close-up photograph shows a red nozzle with a white slit. To the right, a photograph shows a tractor pulling a spray boom through a green field, with the boom's nozzles creating a mist.

**Les buses**

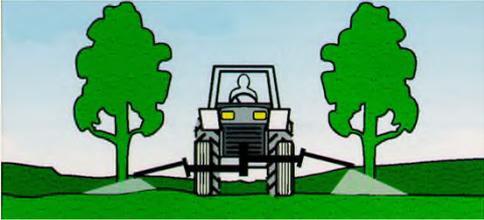
### Répartition au niveau du sol



The slide features a vertical title 'Les buses' on the left. The main title 'Répartition au niveau du sol' is centered at the top. Below it, a diagram illustrates the spray distribution. A grey nozzle is shown at the top, with a blue, textured cone representing the spray pattern. Below the cone, a series of vertical bars of varying heights represent the distribution of spray material at ground level, showing a bell-shaped curve centered under the nozzle.

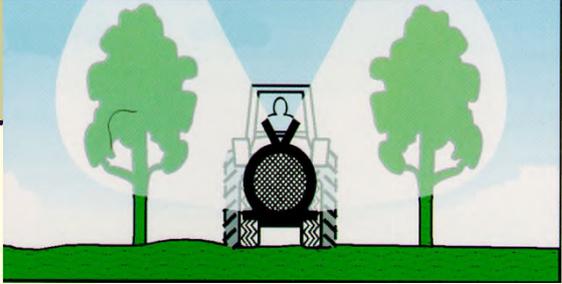
**Les buses**

### Buse à miroir



**Les buses**

### Buse à chambre de turbulence

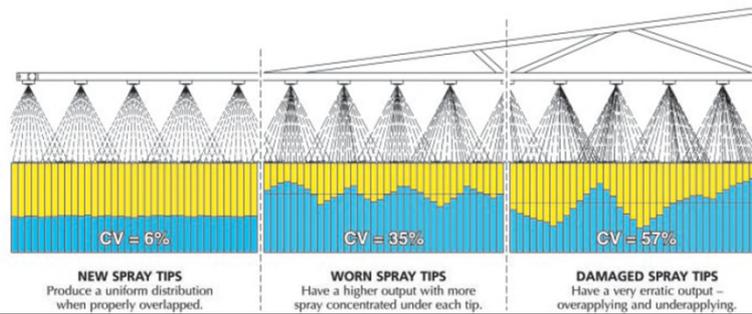
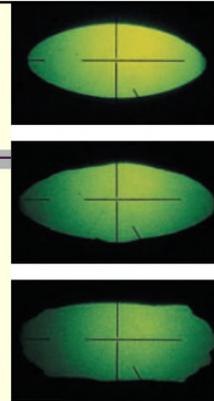


## Usure des buses

Les buses

Après 50 h d'utilisation d'une buse en bronze son usure peut se traduire avec augmentation du débit du 10 à 15 %

Par contre avec une buse en acier dure son usure peut se traduire d'une augmentation du débit de 2 %

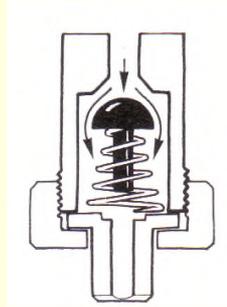


## Choix des buses : recommandations des fabricants

Les buses

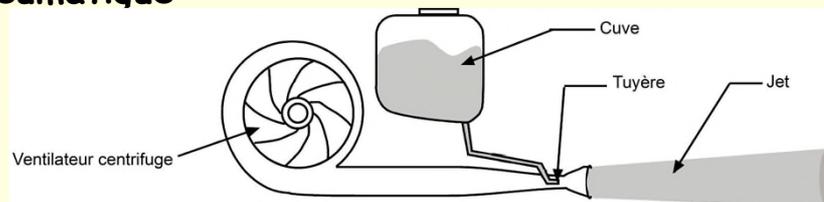
	Herbicides		Insecticides		Fungicides
	Contact	Systemic	Contact	Systemic	Contact
<b>Turbo TeeJet</b> WIDE ANGLE FLAT SPRAY TIP	Good	Excellent		Excellent	
<b>XR TeeJet</b> EXTENDED RANGE FLAT SPRAY TIP	Excellent	Excellent <small>(At Lower Pressures)</small>	Excellent	Excellent <small>(At Lower Pressures)</small>	Excellent
<b>AI TeeJet</b> AIR INDUCTION SPRAY TIP	Good	Excellent		Excellent	
<b>DG TeeJet</b> DRIFT GUARD FLAT SPRAY TIP	Good	Excellent	Good	Excellent	Good
<b>TeeJet</b> STANDARD FLAT SPRAY TIP	Good	Good	Good	Good	Good
<b>TwinJet</b> TWIN FLAT SPRAY TIP	Excellent		Excellent		Excellent
<b>Turbo FloodJet</b> WIDE ANGLE FLAT SPRAY TIP		Excellent		Excellent	
<b>FullJet</b> WIDE ANGLE FULL CONE TIP		Excellent		Excellent	

## Dispositif anti égouttage



## Procédés de fragmentation

### Pneumatique

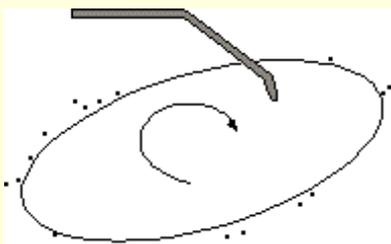


- Effet du courant d'air
- Effet du débit du liquide

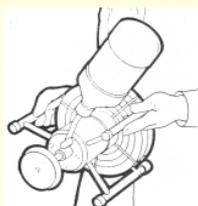
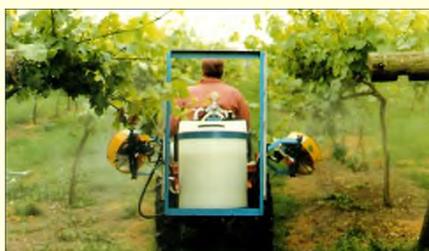
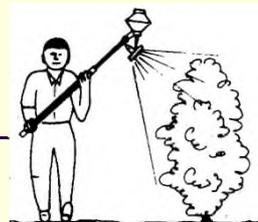
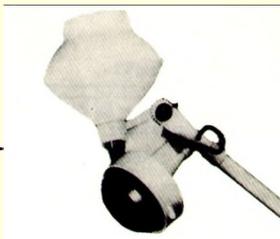
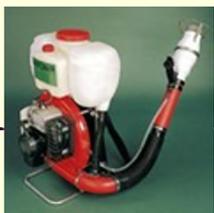


## Procédés de fragmentation

### Centrifuge



- Effet du disque
- Effet du débit du liquide



## Procédés de transport

---

- Jet projeté
- Jet porté

## Procédés de transport

---

- Jet projeté



## Procédés de transport

■ Jet porté

