



Pulvérisation de précision

APPLIQUER LA BONNE DOSE, AU BON ENDROIT



leader
de l'agriculture
de groupe

Pulvérisation de précision

C'est appliquer la bonne dose, au bon endroit pour un gain économique & environnemental

Améliorer la précision et la qualité de la pulvérisation des engrais liquides et des produits phytosanitaires est un enjeu très important tout autant du point de vue environnemental qu'économique.

Pour répondre aux préoccupations des agriculteurs, les constructeurs de pulvérisateurs développent de nouvelles technologies.



DEUX STRATÉGIES

1

Prendre en compte **les zones déjà traitées** et les fourrières **pour éviter les manques ou les recouvrements**

2

Maintenir la qualité de pulvérisation tout en permettant de **réaliser la modulation intra-parcellaire**

CHOIX DU MATERIEL

1

Pour éviter les manques ou les recouvrements

Coupages de tronçons

Ouverture différée et automatique des tronçons de la rampe en fonction des zones déjà traitées

Coupages buse par buse

Fermeture automatique des buses surplombant une zone déjà traitée (*contrôle buse par buse*)

2

Pour maintenir la qualité et réaliser la modulation

Porte-buse à sélection automatique

Porte-buse équipé de plusieurs buses aux plages de pression optimale différentes : sélection automatique des buses les mieux adaptées

Buse à modulation de largeur d'impulsion ou PWM

Modulation de la fréquence d'ouverture des buses

Avis d'expert

Entretien avec **Benjamin Perriot**
responsable du pôle flores adventices chez Arvalis

QUELS SONT LES ENJEUX ?

Objectif : appliquer la bonne dose au bon endroit, là où on en a besoin et seulement ce dont on a besoin.

Au-delà des enjeux économiques et environnementaux évidents, ces nouvelles technologies permettent d'améliorer les conditions de travail des utilisateurs. Elles garantissent un réel confort de travail et une tranquillité d'esprit.

Exemple : le maintien d'une bonne qualité de pulvérisation, indépendamment de la vitesse et du volume appliqué

QUELLES SONT LES TECHNOLOGIES LES PLUS ABOUTIES ?

**Première « révolution », il y a 10 ans :
les coupures de tronçons assistées par GPS**

- Tendance à la réduction des largeurs de tronçons : après avoir commencé avec des tronçons de 5-6 m, on peut aujourd'hui utiliser des rampes avec des tronçons de 1 ou 2 m
- Développement récent de coupures buse par buse

Pour valoriser au mieux ces coupures de plus en plus précises, une meilleure précision GPS est indispensable. Une précision GPS décimétrique (de type EGNOS) n'est plus suffisante pour optimiser des coupures buse par buse

Depuis 4-5 ans : porte-buses à sélection automatique et buses PWM (Pulse With Modulation)

- Maintien du volume appliqué indépendamment de la vitesse
- Modulation de dose (modulation pleine rampe)

Plus récemment : travail en cours autour de la modulation par tronçons ou buse par buse par l'intermédiaire des porte-buses à sélection automatique et buses à modulation de largeur d'impulsion

COMMENT UTILISER EFFICACEMENT CES INNOVATIONS SUR LE TERRAIN ?

Ces nouvelles technologies ne sont pas toujours faciles à prendre en main : elles nécessitent un temps d'appropriation conséquent. « Il faut accepter d'y passer du temps au départ »

- Ergonomie perfectible : travail nécessaire des constructeurs pour simplifier leur utilisation
- Formation initiale dès la mise en service primordiale (service commercial de proximité compétent)
- Au préalable, maîtriser les fondamentaux de la pulvérisation (choix des buses, taille des gouttes...)
- Au-delà de la vente du matériel, certains constructeurs préparent actuellement des offres de service incluant un accompagnement des utilisateurs sur la durée

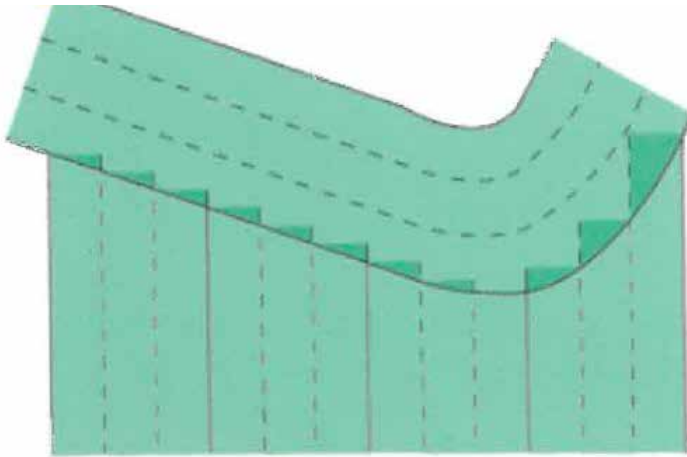


Limiter les manques & les recouvrements

LES OBJECTIFS

Tenir compte des zones déjà traitées

- Ne pas appliquer plusieurs doses au même endroit
- Traiter chaque point de la parcelle



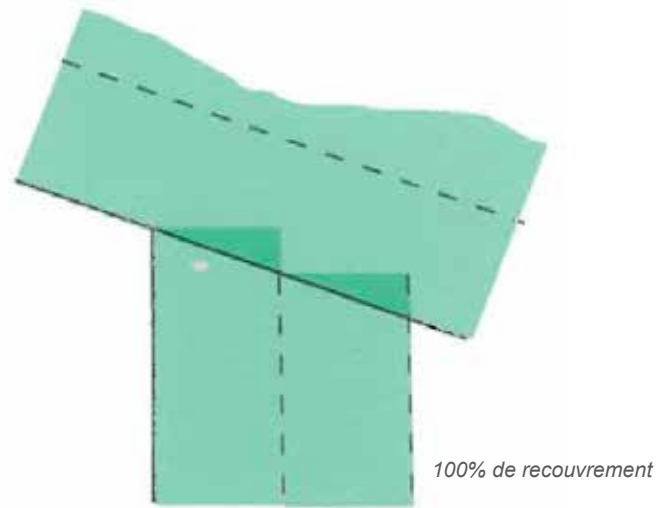
Exemple : les fourrières

LES ETAPES NECESSAIRES

Choix du pourcentage de recouvrement

Le niveau de recouvrement est à définir en début de chantier (*paramétrage de la console par le chauffeur*).

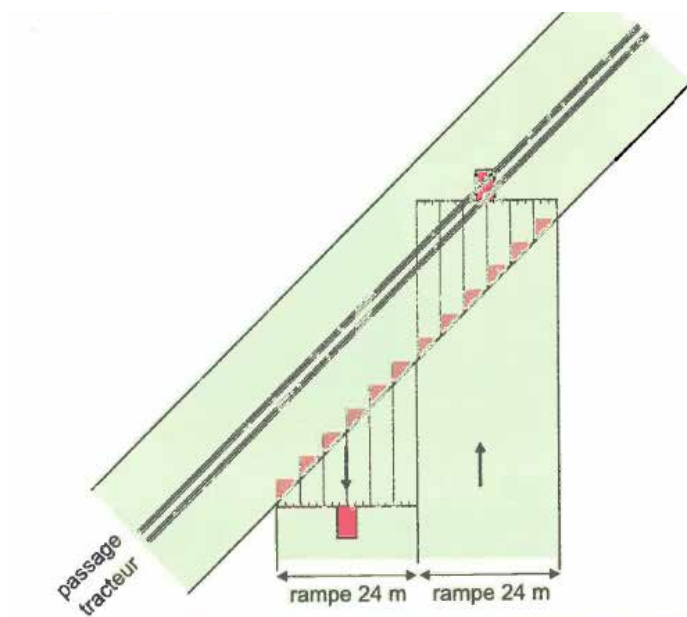
Des exemples de choix possibles



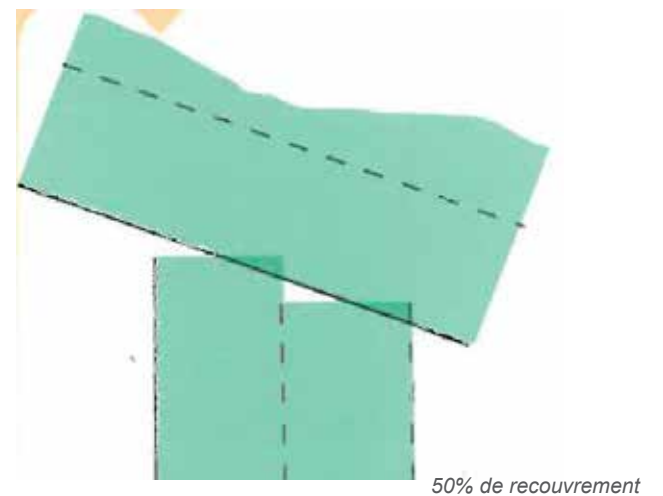
100% de recouvrement

DES RECOUVREMENTS INCOMPRESSIBLES

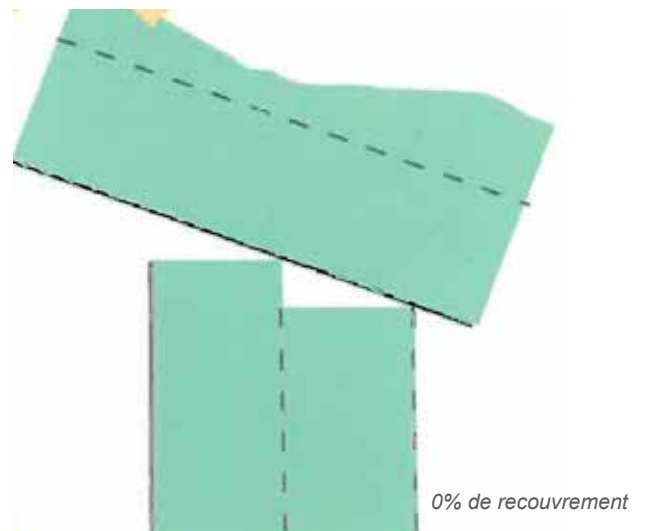
Si l'on souhaite ne pas avoir de manques, certains recouvrements sont alors incompressibles.



Des recouvrements incompressibles



50% de recouvrement



0% de recouvrement

LES DIFFERENTS SYSTEMES

Coupsures automatiques de tronçons

Le principe :

La rampe du pulvérisateur est subdivisée en plusieurs tronçons indépendants. Lorsqu'une des parties de la rampe atteint une zone non traitée, un signal est envoyé par un logiciel interne à la console pour ouvrir les vannes du tronçon correspondant. A l'inverse, lorsque le tronçon arrive sur une zone déjà traitée, les vannes se referment automatiquement.

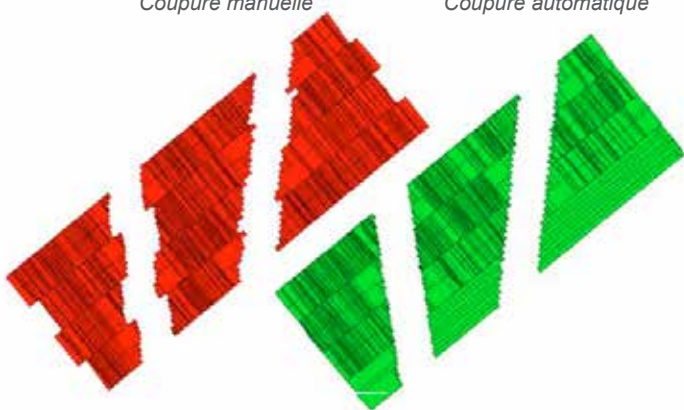
L'équipement nécessaire : GPS

Précision GPS : décimétrique suffisante

Remarque : les tronçons sont une caractéristique de la rampe qui ne peut être modifiée

Coupsure manuelle

Coupsure automatique



Coupsures automatiques buse par buse

Le principe :

Les buses fonctionnent indépendamment entre elles. Le module GPS détecte la position de chaque buse et envoie un signal de fermeture (ou d'ouverture), sans intervention du chauffeur, dès qu'une buse entre sur une zone déjà traitée (ou non traitée).

L'équipement nécessaire : GPS

Précision GPS : centimétrique

Remarque : technologie encore très peu présente sur le terrain

Maintenir la qualité de pulvérisation et réaliser une modulation intra-p

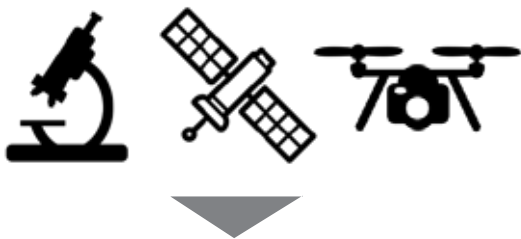
Classiquement, la vitesse du pulvérisateur est déterminée en fonction du volume de bouillie à épandre et des buses à disposition (selon leur plage de pression optimale) :

- Pour épandre une dose constante, la vitesse ne doit pas varier
- La modulation intra-parcellaire est limitée si l'on veut conserver une qualité de pulvérisation satisfaisante

Aujourd'hui, des systèmes se développent pour maintenir la qualité de pulvérisation lorsque la vitesse d'avancement varie et pour pouvoir suivre des cartes de préconisation.

1 ACQUISITION DE LA DONNÉE BRUTE

Mesures chimiques ou optiques, satellites et drones



2 CREATION DE LA CARTE DE PRECONISATION

Traduction dans un format compatible avec la console ou le boîtier de l'outil (shp, RDS, ISO XML...)



3 MODULATION INTRA-PARCELLAIRE

En fonction de la position du pulvérisateur et du besoin de la parcelle en ce point



LA MODULATION INTRA-PARCELLAIRE CONCERNE PRINCIPALEMENT LES ENGRAIS AZOTÉS LIQUIDES

Pourquoi ?

C'est une opération qui nécessite d'obtenir au préalable des cartes de préconisation, donnant l'information de dose d'intrant à appliquer en chaque point de la parcelle.

Face à l'absence d'outils pratiques de détection en temps réel ou différé des maladies et des adventices, le nombre de cartes de préconisation de doses de produits phytosanitaires disponibles et abordables est trop limité.

3 FACTEURS INFLUENÇANT LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DE LA MODULATION (source : BE API)

1

L'hétérogénéité intra-parcellaire
• Plus elle est importante, plus il y a possibilité d'économiser en intrants

2

Les pratiques de l'agriculteur
• Plus les doses à appliquer sont importantes plus le niveau d'économie sera élevé

3

La nature des intrants à moduler

Gains potentiels
MAXI

Gains potentiels
MINI

↑
Gains fertilisation de fond
Gains fertilisation azotée
Gains fongicides
Gains herbicides

LES DIFFERENTS SYSTEMES

Porte-buse à sélection automatique

Le principe :

Un porte buse équipé de 2 ou 4 buses différentes permet de sélectionner automatiquement la buse à la pression optimale d'utilisation la plus appropriée selon la vitesse d'avancement et la dose à épandre (*dose constante ou modulation de dose selon la carte de préconisation de la parcelle*). Certaines technologies adaptent également la hauteur de la rampe en fonction de la buse sélectionnée.

L'équipement nécessaire : GPS et carte de préconisation si modulation

2 ou 4 buses ? : systèmes à 2 buses moins onéreux mais avec moins de potentiel de modulation

Buses à modulation de largeur d'impulsion ou PWM (*Pulse With Modulation*)

Le principe :

L'ouverture et la fermeture des buses sont séquencées par un solénoïde (*fil électrique enroulé en bobine*) situé sur chaque porte-buse. Une fois le débit et la taille des gouttelettes désirés renseignés par l'agriculteur, la pression correspondante à chaque buse est calculée par un logiciel qui règle ensuite la fréquence du solénoïde (*modulant ainsi le temps d'ouverture des buses*). La même buse peut donc être utilisée pour des débits différents à une pression de pulvérisation constante.

L'équipement nécessaire : GPS et carte de préconisation si modulation

Injection directe

Le principe :

Une cuve principale contient de l'eau claire et des cuves secondaires contiennent les produits phytosanitaires purs. Ces derniers sont dosés puis directement injectés dans le circuit de pulvérisation. La modulation intra-parcellaire est possible.

L'équipement nécessaire : matériel disposant d'une circulation classique ou modification de la circulation continue (*retour en entrée pompe et non en cuve principale*). Carte de préconisation si modulation



Essais avec une pulvérisation assistée GPS et un porte buse à sélection

OBJECTIFS

Vérifier en conditions réelles d'utilisation
la capacité d'un pulvérisateur équipé
de porte-buse à sélection automatique à :

- Respecter une carte de modulation intra-parcellaire (essai n°1)
- Maintenir un débit constant lorsque la vitesse varie (essai n°2)

MATERIEL

- Automoteur EVRARD ALPHA 4100
 - Rampe de 30m
 - Porte-buse Duospray

Ce matériel de la cuma l'Yse (35) a été testé dans les conditions réelles d'utilisation avec une console d'origine et une précision GPS : EGNOS

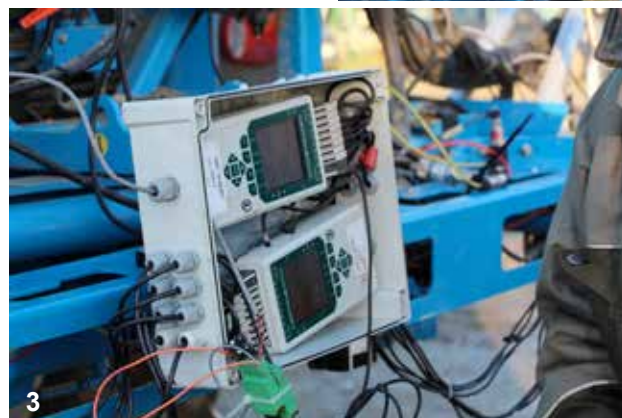
MATERIEL DE MESURE

- 16 capteurs de pression sur 8 porte-buse (calcul du débit à partir de la pression mesurée)
- Antenne GPS de précision RTK au niveau de la rampe

Légende

- 1 : buse équipée d'un capteur de pression
2 : antenne GPS
3 : console Arvalis

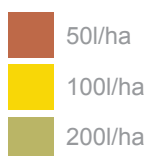
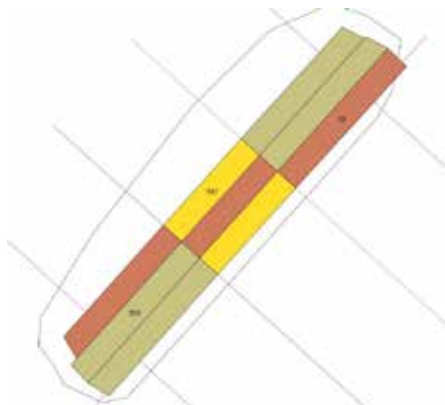
Essais menés par le réseau des fédérations
des cuma de l'Ouest,
Arvalis - Institut du végétal et Hardi Evrard



ESSAI 1

Répondre à une carte de préconisation

- Vitesse stabilisée : 12 km/h
- Assisté par GPS (*précision EGNOS*)
- Carte de préconisation intégrée à la console
- Modulation croissante et décroissante : 50, 100 et 200 l/ha



Carte de préconisation utilisée pour évaluer la réponse du Duo-spray à une carte de modulation

Résultats

- Réponse correcte pour tous les volumes testés
- Délai de réponse : 4 s en moyenne (*de 2 à 5 s*) soit 13,3 m à 12 km/h
- Anticipation du système - 2 explications possibles :
 - Au vu de la précision du signal EGNOS, il est possible que le pulvérisateur se localise dans la zone suivante un peu trop tôt
 - Le constructeur a peut-être intégré un temps de réponse (*pour anticiper le changement de dose*) trop important

ESSAI 2

Maintien du volume constant lors de variation de vitesse

- Volume cible : 100 l/ha
- Changement de vitesse : de 2 à 8 km/h de différence



Chaque couleur représente une zone de vitesse différente

Carte des changements de vitesse d'avancement, volume stabilisé à 100 l/ha

Résultats

- Volume maintenu constant quel que soit le changement de vitesse
- Volume moyen mesuré : 100,1 +/- 0,8 l/ha



Témoignages de cuma

LA CUMA DES FOUILLOUX (MAYENNE)
LIMITE LES MANQUES ET LES RECOUVREMENTS
AVEC LA COUPURE DE TRONÇONS

« L'option est simple d'utilisation, elle fonctionne bien, avec un bon temps de réponse.

La console est intuitive.

Il est encore difficile de vérifier les économies d'intrants réalisées mais cette technologie offre bien plus de confort à l'utilisateur.

On gagne du temps, surtout dans des parcelles en triangle comme les miennes.

On peut également vérifier plus facilement les variations de pression puisque l'on ne s'occupe plus des tronçons. »

Joël Besnard, président de la cuma



« Cependant nous ne sommes pas en mesure de récupérer les données liées aux opérations réalisées (nom de la parcelle, nom et quantité du produit pulvérisé, surface traitée...) bien que ces informations sont à renseigner dans la console en début de chantier.

L'objectif serait d'exporter ces données pour compléter le registre phytosanitaire que nous sommes tenus de remplir »

La cuma des Fouilloux

SAU totale : 500 ha
Pulvérisation de produits phytosanitaires (herbicides, fongicides et insecticides)

Le pulvérisateur

Kuhn - Atlantique 3 200 litres
Achat du pulvérisateur en 2012
Coupures de tronçons depuis 2016
Objectif : « faciliter le travail et faire des économies d'intrants »

Le guidage

Système DGPS
Console : TRIMBLE CFX 750

Ce que retient la cuma

LES PLUS

Confort
Gain de temps
Plus de surveillance du travail et des variations de pression
Temps de réponse satisfaisant
Simple et fonctionnement intuitif

LES MOINS

Impossible de récupérer les données des opérations réalisées
Pas de réponse satisfaisante des services de proximité
Economies difficiles à vérifier (pour l'instant)

APRÈS LA COUPURE DE TRONÇONS,
LE DUO-SPRAY
DÉBARQUE À LA CUMA DE L'YSE (ILLE ET VILAINE)

« L'objectif est de réduire les quantités d'azote liquide que nous utilisons tout en gagnant du temps de travail grâce aux coupures de tronçons et au duo-spray »

Eric Jouzel et Christian Lacroix,
responsables de la cuma



« En 2017, nous avons seulement utilisé les coupures de tronçons. En 2018, nous essayerons la modulation en passant par Farmstar ou par drones pour les cartes de préconisation »

Ce que retient la cuma

LES PLUS

Moins de surdoses
Gain économique
Confort
Plus de précision
Meilleure répartition par rapport à la largeur (coupure de tronçons)

LES MOINS

Manque de matériels de ce type pour que le service de proximité soit opérationnel
Difficulté en lien avec le niveau d'informatique nécessaire
Non utilisation de l'ensemble des données
Des formations nécessaires qui ont un coût et qui demandent du temps

La Cuma de l'Yse

Groupe pulvérisateur : 5 adhérents
(25 adhérents à la cuma au total)
SAU totale : 750 ha
Surfaces traitées : 3 200 ha/an
Pulvérisation d'azote liquide et produits phytosanitaires (herbicides et fongicides)

Le pulvérisateur

Pulvérisateur automoteur
Hardi Evrard
Alpha 4100
Porte-buse à sélection automatique :
Duo-spray (2017)

Le guidage

Système : dGPS
Console : AG leader

Carte de modulation

Satellites (Farmstar) et drones

Quelle technologie choisir ?

| | COUPURES DE TRONÇONS | COUPURES BUSE PAR BUSE | PORTE-BUSE À SÉLECTION AUTOMATIQUE |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Avantages | <p>Gain de 2 - 4 %</p> <p>Des applications optimisées indépendamment des conditions de visibilité</p> <p>Un plus grand confort pour l'utilisateur</p> <p>Évite le surdosage et les phénomènes de verse associés</p> | <p>Des applications optimisées indépendamment des conditions de visibilité</p> <p>Un plus grand confort pour l'utilisateur</p> <p>A priori plus précis que les coupures par tronçons</p> <p>Évite le surdosage et les phénomènes de verse associés</p> | <p>Stabilité de la dose quand la vitesse varie</p> <p>Conserve une bonne qualité d'application lorsqu'il y a modulation intra-parcellaire</p> <p>Délai de réponse correcte</p> |
| Inconvénients | <p>Des recouvrements incompressibles</p> <p>Pas de modulation possible</p> <p>Instabilité de la dose lorsque la vitesse varie</p> | <p>Pas de modulation possible</p> <p>Instabilité de la dose lorsque la vitesse varie</p> <p>Faible développement chez les constructeurs</p> | <p>Pas de cartes de préconisation disponibles et abordables pour la modulation de produits phytosanitaires</p> |
| Équipement nécessaire | <p>Équipement GPS (précision : décimétrique)</p> | <p>Équipement GPS (précision : décimétrique)</p> | <p>Si modulation : équipement GPS et cartes de préconisation</p> |
| Ensemble de technologies disponibles | | | <p>Leeb LT Autoselect Multiselect - Horsch ExactApply - John Deere Amaselect - Amazone Multispray - Kuhn Duo-spray/ Opti-spray - Hardi Evrard Optimal Spray Switch - Tecnomat</p> |

Quel que soit l'équipement choisi, la précision désirée ne sera au rendez-vous qu'à condition de bien entretenir le matériel et de le prendre bien en main.

| TIQUE | BUSE PWM | INJECTION DIRECTE |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ation | <p>Stabilité de la dose et de la taille des gouttellettes quand la vitesse varie</p> <p>Conserve une bonne qualité d'application lorsqu'il y a modulation intra-parcellaire</p> <p>Réponse quasi instantanée</p> | <p>Pas de fonds de cuve et récupération possible des produits non consommés</p> <p>Gestion plus aisée des chantiers de pulvérisation</p> <p>Plus de sécurité (<i>moins de risque lié au transport, meilleure gestion des effluents et moins de risque de pollution par débordement de la cuve ou par réaspiration</i>)</p> <p>Possibilité d'arrêter l'opération sans avoir une cuve encore remplie de bouillie</p> |
| onibles | <p>Pas de cartes de préconisation disponibles et abordables pour la modulation de produits phytosanitaires</p> <p>Phénomènes de hachages si la fréquence est inférieure à 15 Hz</p> <p>Prix plus élevé</p> | <p>Pas de cartes de préconisation disponibles et abordables pour la modulation de produits phytosanitaires</p> <p>Temps de réponse conséquent Intervention complète sur la rampe nécessaire pour limiter ce temps de réponse</p> <p>Passage par une solution mère obligatoire pour les produits autres que liquides</p> <p>Développement limité : principaux constructeurs peu investis dans cette voie</p> |
| S | <p>Si modulation : équipement GPS et cartes de préconisation</p> | <p>Matériel disposant d'une circulation classique (<i>pas de circulation continue ou semi-continue</i>)</p> <p>Si modulation : cartes de préconisation</p> |
| ard a | <p>Spraytronic - Berthoud ExactApply - John Deere DynaJet Flex 7120 - Teejet Technologies Hawkeye - Raven industries</p> | <p>Piix - Diimotion Clean Sprayer - Berthoud Sidekick Pro - Raven industries SP-Id - Spray Concept</p> |

Certains constructeurs développent un service de proximité compris dans le prix de vente, permettant un suivi plus important les premières années pour une meilleure appropriation du matériel



Ce document a été élaboré
dans le cadre du programme



TiXaé

Avec l'appui technique de Arvalis - Institut du Végétal,
et des fédérations de cuma de Bretagne, Normandie et Pays de la Loire.

& le soutien



leader
de l'agriculture
de groupe

Fédération régionale des cuma de l'Ouest
73 rue de Saint Briec
CS 56520 • 35065 Rennes cedex
02 99 54 63 15

 D'INFOS SUR
www.ouest.cuma.fr