

COMPARAISON DU TEMPS DE REPONSE DE SYSTEMES ELECTRONIQUES ET HYDRAULIQUE DE REGULATION DES DEBITS DE PULVERISATEUR AGRICOLE

O. MISERQUE, C. DEBOUCHE, O. MOSTADE* & R. CAUSSIN**

Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux

Passages des Déportés 2, B-5030 Gembloux, Belgique

* *Station de Génie Rural, Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux
B-5030 Gembloux, Belgique*

** *Comité de Recherche pour l'Amélioration des Techniques de
Traitements Phytosanitaires, I.R.S.I.A., B-5900 Gembloux, Belgique*

Résumé

Depuis quelques années, certains pulvérisateurs agricoles sont équipés de systèmes électroniques de régulation des débits. Ceux-ci ont pour tâche d'adapter le débit de la rampe aux variations de la vitesse d'avancement du pulvérisateur ou à des modifications du débit de consigne.

L'étude réalisée porte en premier lieu sur la comparaison du temps de réponse à des variations de la vitesse d'avancement de ces systèmes électroniques avec celui d'un dispositif hydraulique classique (ordonnateur de débit). D'autre part, la comparaison des temps de réponse de deux modèles existants est réalisée pour des variations de largeur de rampe (ouverture ou fermeture de sections de rampe) ou des modifications volontaires de la quantité à épandre.

Ces temps de réponse sont également convertis en surfaces traitées.

1. Introduction

La régulation du débit d'une rampe de pulvérisateur doit permettre d'épandre une quantité constante de bouillie à l'hectare indépendamment des variations de la vitesse d'avancement du pulvérisateur, de la vitesse de rotation du moteur qui entraîne la pompe et de la largeur de travail effectif de la rampe.

Depuis quelques années l'électronique est utilisée pour effectuer cette régulation à partir d'une mesure de la vitesse d'avancement et du débit réel (ou de la pression) de la rampe. Ces équipements permettent en outre de faire varier, en cours de travail, la dose à épandre.

Ce papier relate un ensemble de mesures réalisées en laboratoire afin d'apprécier le temps mis par ces équipements pour réagir aux variations des conditions de travail du pulvérisateur. Ces performances sont également comparées à celles que pouvaient fournir une régulation purement hydraulique, telle qu'elle existait avant l'apparition de l'électronique sur les pulvérisateurs.

2. Matériel et méthode

L'installation mise au point (fig. 2.1) pour cette étude permet de simuler les conditions de fonctionnement de divers type de pulvérisateur. Elle comporte un circuit hydraulique complet comprenant une cuve, un système de pompage, un système de régulation, une rampe de pulvérisation ainsi qu'une chaîne d'acquisition de mesures en temps réel.

Seront détaillés ci-dessous successivement les systèmes de pompage et de régulation ainsi que la chaîne d'acquisition de mesures.

2.1. Pompes

2.1.1. Turbo-pompes à débit constant

Ce dispositif comprend deux pompes centrifuges utilisées en série de façon à obtenir un débit suffisant à des charges élevées. De plus, ce type de montage permet également de réduire l'influence d'une

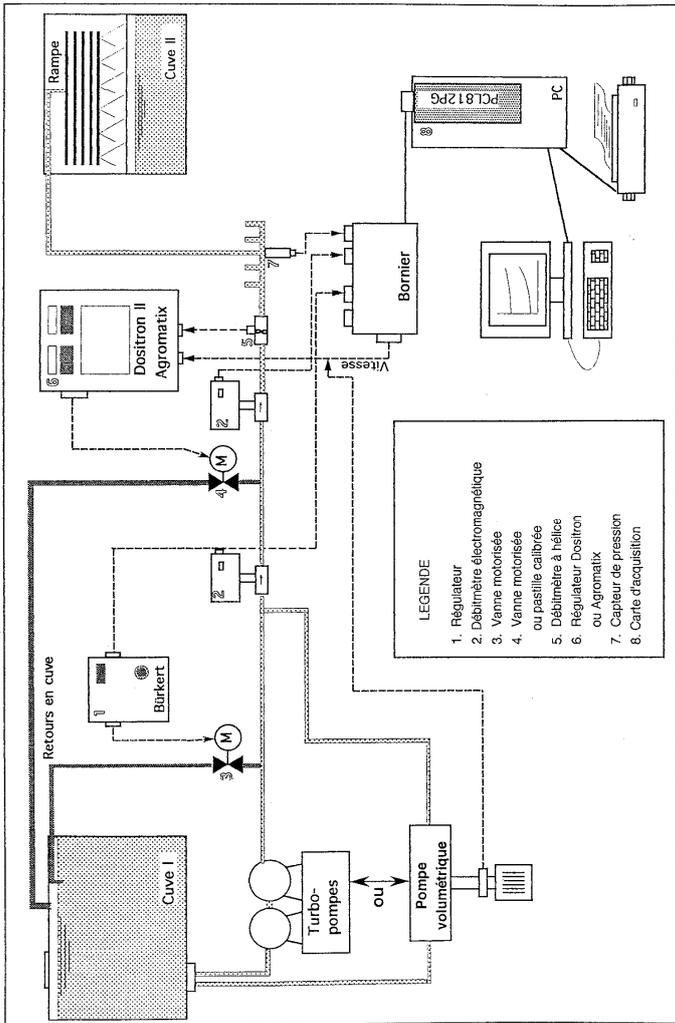


Fig. 2.1. - Schéma général de l'installation.

variation de charge sur la valeur du débit. Toutefois, cette caractéristique sera renforcée en plaçant un système de régulation de débit directement à l'aval des pompes.

Le flux de liquide est ainsi divisé en une partie constante utilisée pour la pulvérisation, le restant retournant dans le réservoir d'eau.

Ce système de régulation, indépendant de celui utilisé pour la pulvérisation (voir 2.2), est composé de trois éléments: un débitmètre électromagnétique qui mesure le débit utilisé, un régulateur analogique qui compare celui-ci avec la consigne et qui agit sur le troisième élément consistant en une vanne motorisée placée sur la conduite retournant dans le réservoir d'eau.

Il nous est ainsi possible, avec cet ensemble, d'obtenir un débit relativement constant.

2.1.2. Pompe volumétrique

Ce type de pompe présente la caractéristique d'avoir, à un régime donné, un débit constant quelle que soit la charge qui est imposée. Cependant, le flux de liquide présente un caractère pulsatoire que l'on peut atténuer en augmentant la vitesse de rotation et le nombre de corps de la pompe ainsi qu'en plaçant un amortisseur (cloche à air) sur la conduite de refoulement.

L'appareil utilisé est une pompe à trois pistons-membrane équipé d'une cloche à air. Elle est entraînée par un moteur électrique par l'intermédiaire d'une transmission munie d'un variateur à courroie à commande manuelle. De cette façon, il est possible d'obtenir un débit variable selon la vitesse de rotation imposée à la pompe.

2.2. Régulation

À l'aval de l'installation de pompage (pompes centrifuges et régulateur ou pompe volumétrique) est disposé un système de régulation utilisé sur les pulvérisateurs agricoles. Deux modèles de ces dispositifs ont été étudiés et comparés au niveau de leur temps de réponse. En voici une brève description.

2.2.1. Dositron

Il s'agit d'un régulateur électronique de débit proportionnel à l'avancement (D.P.A.E.) de marque Holder-Platz et du modèle DC 205 E II. Cet appareil réalise un partage du débit de la pompe en 2 composantes: l'une sera dirigée vers la rampe et l'autre retournera dans la cuve par une conduite appelée retour en cuve. Le débit épanché est mesuré à l'aide d'un débitmètre à hélice placé sur la conduite d'alimentation de la rampe. Connaissant la largeur de travail, le volume par hectare imposé et la vitesse d'avancement qui est mesurée, le calculateur électronique détermine le débit de consigne qui vaut:

$$Q_{\text{cons}} = \frac{D \cdot V \cdot L}{600}$$

où: Q_{cons} est le débit de consigne en l/min,
 D est le volume par hectare en l/ha,
 V est la vitesse en km/h
 L est la largeur d'épandage en m.

Celui-ci est comparé à la mesure et, si il existe une différence significative, le boîtier électronique agit sur une vanne de régulation motorisée placée sur le retour en cuve, de façon à respecter à nouveau la consigne.

2.2.2. Agromatix

Il s'agit également d'un régulateur électronique de débit proportionnel à l'avancement dont le principe de fonctionnement est identique à celui du Dositron. Il a été conçu par la société Agtronix et peut être adapté à tout pulvérisateur existant. Il est, de ce fait, beaucoup plus polyvalent mais sa première mise en fonction est plus fastidieuse.

Tout comme pour le Dositron, le débitmètre et le capteur de vitesse doivent être caractérisés par des paramètres à programmer sur la console afin que celle-ci interprète correctement le signal qu'ils émettent.

Il reste à signaler que deux vannes de régulation ont été étudiées avec l'Agromatix. Leurs caractéristiques géométriques sont identiques mais l'une d'elles a une vitesse de déplacement plus élevée. Nous l'appellerons vanne rapide, par opposition à la seconde qui sera dite vanne lente.

2.2.3. Ordonnateur de débit

C'est un régulateur non électronique de débit proportionnel au régime moteur. Ce dispositif purement hydraulique assure un partage à proportionnalité constante du débit délivré par la pompe entre d'une part ce qui est envoyé à la rampe et, d'autre part ce qui retourne dans la cuve. Cette proportionnalité s'adapte aux variations de la largeur de pulvérisation par la rampe.

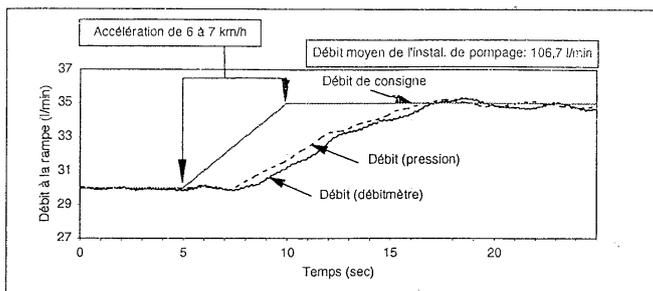


Fig. 3.2.1. - Evolution du débit réglé par le Dosatron et de la consigne, suite à une modification de la vitesse de 6 à 7 km/h en 5 secondes.

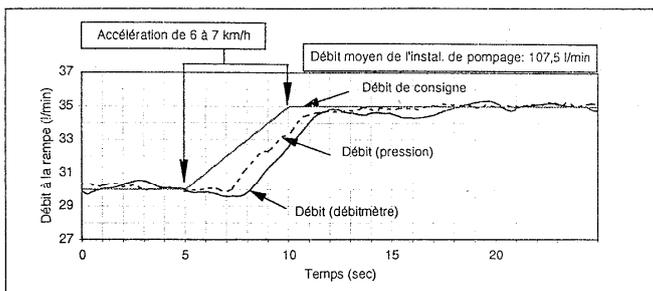


Fig. 3.2.2. - Evolution du débit réglé par l'Agromatix à vanne lente et de la consigne, suite à une modification de la vitesse de 6 à 7 km/h en 5 secondes.

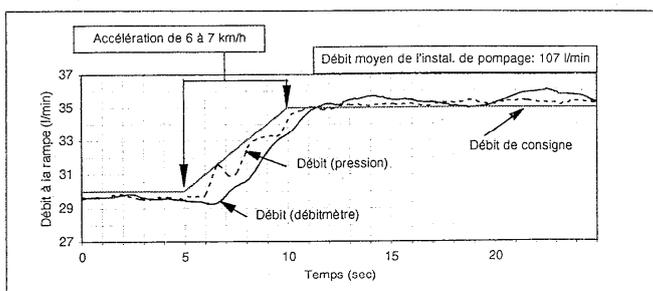


Fig. 3.2.3. - Evolution du débit réglé par l'Agromatix à vanne rapide et de la consigne, suite à une modification de la vitesse de 6 à 7 km/h en 5 secondes.

De cette façon et dans le cas d'une pompe volumétrique, toute modification de la vitesse d'avancement due à une variation de régime moteur entraîne un changement proportionnel du débit épanché et permet ainsi de conserver un volume par hectare constant.

Signalons que cet appareil est incapable de corriger une erreur apparue suite au patinage des roues motrices ou à une modification du rapport de boîte.

Afin de pouvoir établir une comparaison valable entre ces trois systèmes de régulation, ils seront testés dans des conditions similaires. Le même distributeur et la même rampe constituée de 5 tronçons comportant 6 buses à fente de calibre rouge de la marque Albus seront utilisés pour chaque appareil.

Nous disposons donc d'un pulvérisateur simulé pouvant être équipé de différents systèmes de régulation et de deux unités de pompage. A ceci vient se joindre un ensemble d'appareils décrits dans le paragraphe suivant et permettant d'effectuer et d'enregistrer les mesures.

2.3. Chaîne de mesure

L'acquisition des mesures se fera à l'aide d'un ordinateur équipé d'une carte pilotée par un programme spécialement conçu pour ce problème.

Cette carte d'acquisition permet également de simuler le signal du capteur de vitesse en autorisant ainsi l'exacte reproduction de différents scénarii de variation de la vitesse d'avancement.

Pour étudier le temps de réponse des systèmes de régulation, il est nécessaire de connaître le débit de consigne et le débit réellement épanché.

Le premier se calcule à l'aide de la formule indiquée au paragraphe 2.2.1. La largeur de travail et la consigne de volume par hectare sont fixés. Il reste à connaître la valeur de la vitesse.

Dans le cas de l'utilisation des pompes centrifuges, la vitesse dont le signal est généré par la carte est parfaitement connue et directement envoyée aux régulateurs électroniques.

Si l'on se sert de la pompe volumétrique, la vitesse d'avancement sera déterminée en mesurant la vitesse de rotation de l'arbre entraînant la pompe. Un second capteur y est placé pour envoyer l'information de vitesse aux régulateurs.

Pour les deux situations, il est donc possible de calculer le débit de consigne.

Le débit réel est obtenu par mesure directe. Pour ce faire, un débitmètre électromagnétique a été placé sur la conduite d'alimentation du distributeur. Ce type de capteur a l'avantage d'être précis et de ne pas perturber l'écoulement.

Simultanément, la pression est mesurée par un capteur piézorésistif placé juste à l'aval du débitmètre au niveau du distributeur. Le débit est également corrigé sur base de cette mesure et ceci afin de compenser l'inertie assez élevée du débitmètre dont la constante de temps est de 0,48 seconde.

La relation utilisée pour obtenir le débit à partir d'une valeur de pression a été déterminée par régression et est :

$$Q = K \cdot 1,959 \sqrt{P}$$

où Q est le débit en l/min,
 P est la pression en bar.

Le facteur K est déterminé à chaque test de manière telle que la moyenne des 100 premières valeurs du débit mesuré par le débitmètre soit égale à celle des 100 valeurs correspondantes calculées en fonction de la pression.

Le mouvement des vannes de régulation a été repéré par mesure de la tension aux bornes du servomoteur.

3. Résultats et discussion

3.1. Mesure du temps de réponse

Idéalement, le débit réel doit à chaque instant être égal au débit de consigne. Lorsque survient une modification de ce dernier, il s'écoule un certain temps avant que le débit réel ne respecte à nouveau la consigne. Ce délai est appelé le temps de réponse. Pour l'étudier, des variations de consigne sont provoquées en agissant respectivement sur la vitesse d'avancement, le volume à épancher par hectare et la largeur de travail.

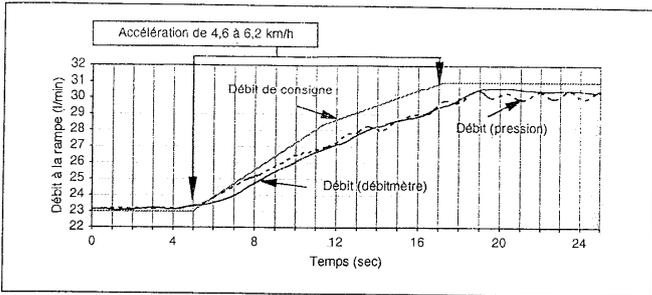


Fig. 3.2.4. - Evolution du débit réglé par le Dosित्रon et de la consigne, suite à une modification du régime moteur.

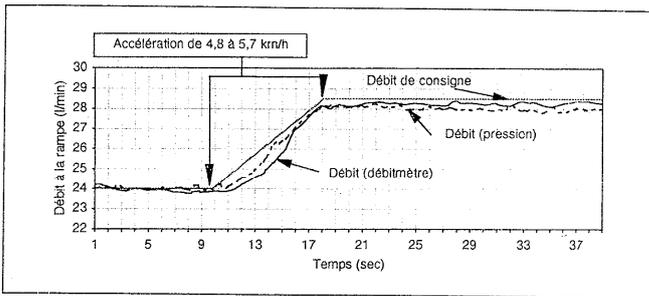


Fig. 3.2.5. - Evolution du débit réglé par l'Agromatrix à vanne lente et de la consigne, suite à une modification du régime moteur.

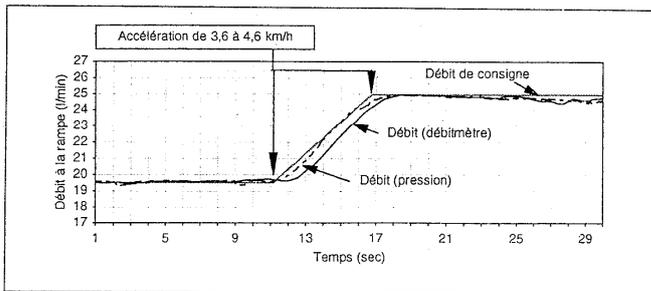


Fig. 3.2.6. - Evolution du débit réglé par l'ordinateur et de la consigne, suite à une modification du régime moteur.

3.2. Schéma de simulations

3.2.1. Variation de vitesse

Deux situations sont possibles selon que la variation s'accompagne ou non d'un changement du débit des pompes. Cela correspond respectivement à une modification de régime moteur et dans le second cas à du patinage, à un changement de rapport de boîte ou à la présence d'un moteur auxiliaire entraînant la pompe.

1° La simulation d'une vitesse variable à l'aide de l'ordinateur et l'utilisation des pompes centrifuges permettent de reproduire cette seconde situation. Seuls les régulateurs de type D.P.A.E. ont été testés étant donné que l'ordinateur de débit est incapable de corriger une telle perturbation.

Une infinité d'évolution de la vitesse est possible. Cependant pour nous rapprocher de la réalité nous simulerons une variation constante et progressive de la vitesse de 6 à 7 km/h en 5 secondes sur base de mesures réalisées sur le terrain. Le volume par hectare épandu sera de 200 l/ha. La largeur de travail étant de 15 m, le débit de consigne évoluera donc de 30 à 35 l/min. Les graphiques présentés aux figures 3.2.1, 3.2.2 et 3.2.3 illustrent les réponses des régulateurs suite à ces stimulus. On y observe le débit de consigne et le débit réel mesuré par le débitmètre et par le capteur de pression. Plusieurs constatations peuvent être faites.

Visiblement, lorsque la vitesse est constante les 2 appareils sont relativement précis. Suite à la modification, la correction du débit n'est pas immédiate et une erreur apparaît. Le temps qui s'écoule entre la variation de consigne et la modification de la valeur réelle s'appelle le temps mort, son existence s'explique par le fait que le régulateur n'intervient pas immédiatement. Dans une seconde phase, la vanne se met en mouvement et le débit épandu augmente. C'est la phase de compensation. Lorsque l'on se rapproche de la consigne, la correction se fait moins rapidement. Ce phénomène est surtout caractéristique du Dosित्रon où la vanne ne bouge plus que par à-coups.

Finalement, on retrouve la presque égalité entre la valeur consignée et la valeur mesurée.

La comparaison des résultats obtenus montrent que le Dosित्रon est plus lent que l'Agromatrix, celui-ci ayant un comportement plus ou moins semblable avec les 2 vannes. Il faut cependant signaler que d'autres essais ont montré que la vanne rapide était parfois à l'origine d'un phénomène d'instabilité (oscillation de la valeur réelle autour de la consigne). Les surfaces incorrectement traitées peuvent s'évaluer à 3,4 ares (pour une rampe de 15 m) dans le cas du Dosित्रon et 1,6 ares pour l'Agromatrix, quelle que soit la vanne.

L'écart entre les 2 courbes de débit mesuré s'expliquent par le fait d'une inertie différente des 2 appareils de mesure. Le capteur de pression qui a la constante de temps la moins élevée réagira plus vite à une modification du débit.

2° Le second type de variation de vitesse due uniquement à une variation de régime moteur peut-être simulée en utilisant la pompe volumétrique à régime variable. Sa manipulation étant manuelle, il sera impossible de reproduire exactement la même variation pour chaque régulateur.

L'augmentation du débit de consigne doit théoriquement être compensée par l'augmentation du débit de la pompe qui est proportionnel à la variation de la vitesse. Ceci implique que la vanne de régulation des dispositifs électroniques ne doit pas modifier son ouverture pour autant qu'elle soit bien conçue et qu'elle réalise un partage à proportionnalité constante du débit de la pompe entre le retour en cuve et la rampe. Les figures 3.2.4, 3.2.5 et 3.2.6 présentent ce qu'il en est pour ceux-ci ainsi que pour l'ordinateur de débit qui est conçu pour ce genre de situation.

Ce dernier assure d'ailleurs une correction parfaite, cet appareil étant étudié pour permettre un partage à proportionnalité constante du débit de la pompe. L'Agromatrix a un comportement semblable, sa vanne de régulation étant bien conçue, elle permet de réaliser un très bon travail. Ce n'est pas tout à fait le cas du Dosित्रon dont le régulateur est obligé d'actionner la vanne pour respecter à nouveau la consigne. Les surfaces incorrectement traitées peuvent s'évaluer à 3,2 ares dans le cas du Dosित्रon, 1,3 ares pour l'Agromatrix et environ 1 are pour l'ordinateur de débit. En terme de surfaces traitées, ces chiffres sont pratiquement équivalents au cas précédent pour les appareils électroniques. Cependant, le "sous-dosage" est nettement moins important dans ce dernier cas.

3.2.2. Variation du volume à épandre par hectare

Ce type de situation peut se rencontrer lorsque l'agriculteur souhaite modifier la dose appliquée en cours de pulvérisation.

Les conditions de l'expérience sont une vitesse de 6 km/h, une rampe de 15 m de large et une dose passant de 200 à 250 l/ha. Le débit épandu devra donc évoluer de 30 à 37,5 l/min.

L'utilisation des turbo-pompes et la simulation de la vitesse constante par l'ordinateur permettent de générer facilement cette situation.

Les figures 3.2.7, 3.2.8 et 3.2.9 représentent les résultats obtenus pour chaque appareil.

Dans le cas du Dosित्रon, le débit n'augmente que très lentement après la modification de consigne bien que le régulateur ordonne directement à la vanne de se fermer. Le temps mort n'est donc pas du au

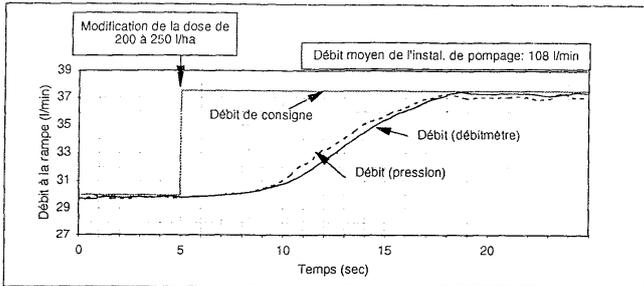


Fig. 3.2.7. - Evolution du débit réglé par le Dosatron et de la consigne, suite à une modification de la consigne du volume à épandre de 200 à 250 l/ha.

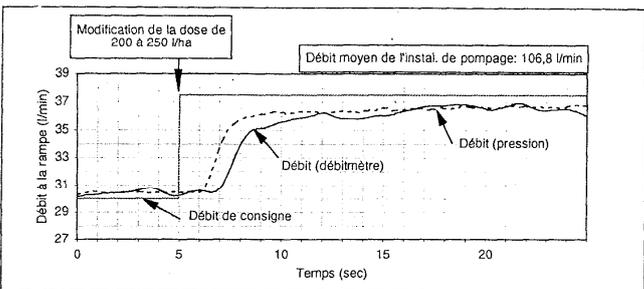


Fig. 3.2.8. - Evolution du débit réglé par l'Agromatrix à vanne lente et de la consigne, suite à une modification de la consigne du volume à épandre de 200 à 250 l/ha.

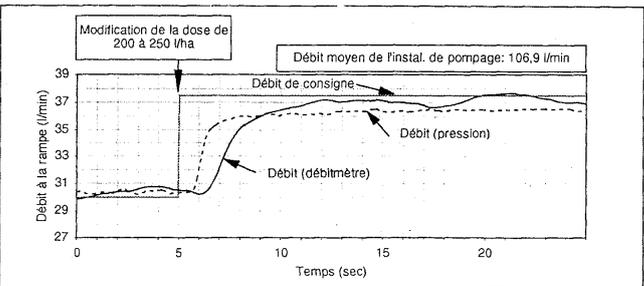


Fig. 3.2.9. - Evolution du débit réglé par l'Agromatrix à vanne rapide et de la consigne, suite à une modification de la consigne du volume à épandre de 200 à 250 l/ha.

régulateur. On observe ensuite la phase de compensation et lorsque le débit vaut 35 l/min, la vanne ne tourne plus que par petits à-coups. Finalement 13 secondes après le changement de consigne, les valeurs de débit mesuré et désiré sont à nouveau égales.

L'Agromatrix à vanne lente réagit plus rapidement mais converge lentement vers le débit de consigne, alors que l'Agromatrix à vanne rapide est nettement plus rapide, ce qui lui permet d'atteindre plus tôt la nouvelle consigne.

Les surfaces incorrectement traitées peuvent s'évaluer à 3,0 ares dans le cas du Dosatron ainsi que pour l'Agromatrix à vanne lente et environ 1,3 ares pour l'Agromatrix à vanne rapide.

3.2.3. Variation de la largeur de travail

Les champs ne sont pas de parfaits rectangles dont une des dimensions soit un multiple de la largeur de la rampe. Il est donc nécessaire d'avoir une largeur de travail modulable. Ceci est réalisé par le fait qu'une rampe de pulvérisateur est constituée d'une juxtaposition de plusieurs sections disposant d'une alimentation indépendante qu'il est possible d'ouvrir ou de fermer.

Cependant, toute variation de largeur de travail entraîne un nouveau débit de consigne, excepté si le distributeur est équipé de vannes à 3 voies munies d'un retour compensatoire. Ceci n'étant pas le cas des appareils électroniques étudiés, le débit de consigne sera modifié.

Le volume par hectare choisi sera de 200 l/ha, la vitesse de 7 km/h et la largeur passera de 12 à 15 m (ouverture de la 5^{ème} section de la rampe), ce qui implique que le débit de consigne évoluera de 28 à 35 l/min.

Les résultats obtenus sont représentés aux figures 3.2.10, 3.2.11 et 3.2.12.

Les appareils semblent réagir de façon équivalente, avec une surface incorrectement traitée de 1 are, ce qui a priori peut surprendre vu les tests précédents.

Ceci s'explique par le fait que l'ouverture d'une section de rampe supplémentaire diminue la résistance hydraulique globale de cette rampe. Le partage du débit de la pompe entre le retour en cuve et la rampe en est influencé au profit de cette dernière. Ceci est illustré à la figure 3.2.13 qui reprend un test identique mais sans qu'aucun régulateur n'intervienne. On constate que les régulateurs doivent uniquement corriger un faible écart ce qui explique leur rapidité d'action.

L'Agromatrix a le léger défaut d'ordonner une diminution de débit suite à l'ouverture de la section de rampe. Ceci réduit donc l'influence du phénomène hydraulique observé mais la rapidité de ce régulateur lui permet de corriger rapidement ce petit problème.

Abstract

Comparative study of response times of electronic and hydraulic flow controls in sprayers

Some of the sprayers that have been manufactured over the past few years are fitted with electronic flow control systems. The purpose of these devices is to adjust the flow rate to changes in the working speed or in the recommended spray volume.

The first part of the study compares these electronic systems with one conventional hydraulic flow control (flow metering device) on the basis of their response time to variations in working speed. The study also compares the response time of two current types of electronic flow control systems at various boom widths (controlled by shutting off or opening parts of the boom) or to deliberate changes in the spray volume.

Response times are also converted into equivalent treated areas.

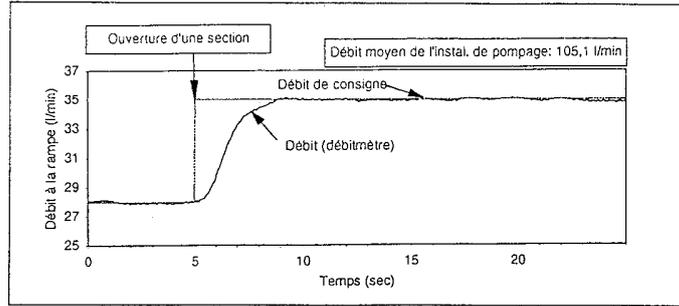


Fig. 3.2.10. - Evolution du débit régulé par le Dosatron et de la consigne, suite à l'ouverture d'une section de rampe supplémentaire.

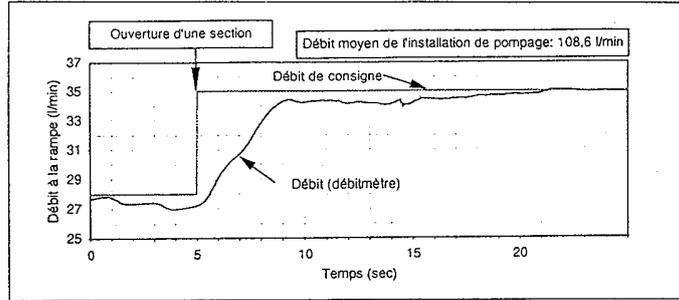


Fig. 3.2.11. - Evolution du débit régulé par l'Agromatix à vanne lente et de la consigne, suite à l'ouverture d'une section de rampe supplémentaire.

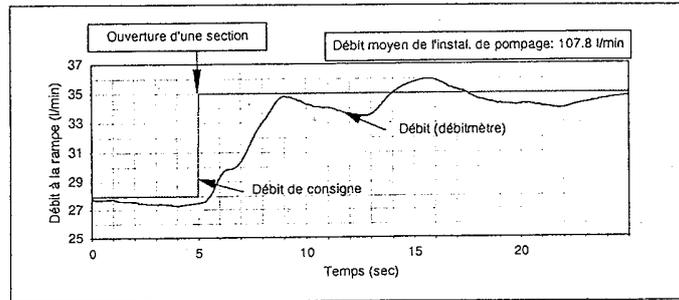


Fig. 3.2.12. - Evolution du débit régulé par l'Agromatix à vanne rapide et de la consigne, suite à l'ouverture d'une section de rampe supplémentaire.

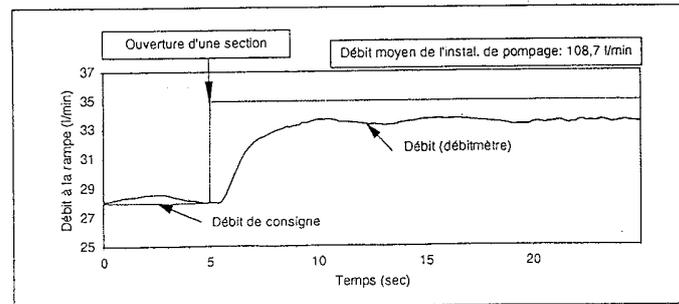


Fig. 3.2.13. - Evolution du débit épanché sans régulation et de la consigne, suite à l'ouverture d'une section supplémentaire de rampe.