

Végéphy – 24e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2019

**DEVELOPPEMENT OPERATIONNEL EN GRANDES CULTURES SEMÉES EN LIGNE D'UNE
RAMPE DE PULVERISATION GRANDE LARGEUR LOCALISÉE SUR LE RANG**

F. VUILLEMIN ⁽¹⁾, J.L. LUCAS ⁽²⁾, M. HAWNDI ⁽³⁾, O. MANGENOT ⁽⁴⁾, D. COLIN ⁽⁴⁾,
F. MARECHAL ⁽⁵⁾, F. RYCKLEWSKI ⁽⁵⁾, C. CHALON ⁽⁶⁾, C. GEE ⁽³⁾

⁽¹⁾ Terres Inovia, 6 chemin de la côte vieille, 31400 Baziège, France, f.vuillemin@terresinovia.fr

⁽²⁾ Terres Inovia, 1 rue des Coulots, 21110 Bretenière, France, jl.lucas@terresinovia.fr

⁽³⁾ AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon,
christelle.gee@agrosupdijon.fr, mohammed.hawndi@agrosupdijon.fr

⁽⁴⁾ Terres Inovia, 40 Avenue du Gard, 54460 Liverdun, France, o.mangenot@terresinovia.fr,
d.colin@terresinovia.fr

⁽⁵⁾ Société Maréchal SDM Acier, 76 rue du tordoir, 59213 Bermerain, francois@marechal-agricole.fr

⁽⁶⁾ Coopérative Agricole Lorraine, 5 rue de la Vologne, 54523 Laxou, claud.chalon@cal-lorraine.fr

RÉSUMÉ

Pour réduire l'utilisation des herbicides, une des solutions possibles est de ne traiter que le rang en post-levée et de biner l'inter-rang ensuite. Terres Inovia, en collaboration avec la Coopérative Agricole Lorraine, a mis en place des essais au champ sur colza et tournesol avec la rampe localisée Marechal, dans le but de mettre au point cette technique pour des rampes de grande largeur avec une bonne qualité de pulvérisation sur le rang et un type de guidage adapté à des terres à colza, plus irrégulières que les terres à betterave sur lesquelles la rampe avait été développée. L'objectif est également d'évaluer les efficacités de la technique (satisfaction du désherbage en comparaison avec un traitement en plein), sa praticabilité (débit de chantier notamment) et son gain environnemental (réduction d'usage et d'impact, non présenté dans cet article). L'approche économique, présentée succinctement en fin d'article, reste à consolider. Parallèlement à ces résultats, AgroSup Dijon conçoit avec Terres Inovia un Outil d'Aide à la Décision, attendu par les agriculteurs, pour déterminer facilement les réglages optimaux d'une pulvérisation efficace (paramètres du pulvérisateur et calcul des volumes d'eau et de produit...). L'outil permettra de faciliter le travail de l'agriculteur et d'apporter des informations sur le gain environnemental d'une solution localisée.

Mots-clés : pulvérisation localisée, rang, binage, OAD, grandes cultures semées en ligne

ABSTRACT

To reduce the use of herbicides, one of the solutions is to treat only the row, completed by hoeing. Terres Inovia, in collaboration with Coopérative Agricole Lorraine, realized some field trials on oilseed rape and sunflower crops with the Marechal's boom. The objectives are to adjust the technic to have a good quality of the spraying on the row (guidance system needs to be adapted to different types of soil) and to evaluate the efficiency of this technology (compared to full treatment, the feasibility and the environmental benefits. The economic bill will be developed later. Moreover, AgroSup Dijon develops with Terres Inovia a decision support tool (DST) to help farmers in the choice of the spraying parameters (volumes, boom height...) according to the stage of the crop and their situation, in the aim to provide good advices.

Keywords: localized spraying, row, hoeing, DST, crops sowed at large width

INTRODUCTION

Actuellement, l'utilisation d'herbicides en agriculture est le plus souvent le principal moyen de lutte contre les adventices car cette solution est très rapide, peu coûteuse et d'une très bonne efficacité. Cependant, la prise de conscience de leurs impacts négatifs sur l'environnement et sur la santé humaine ainsi que le développement de la résistance aux herbicides nécessitent de rapidement réfléchir à de nouvelles solutions techniques ou agronomiques (Plan Agriculture Innovation 2025) à mettre en œuvre pour réduire l'infestation des adventices (Ecophyto II). Les nouvelles technologies sont des techniques qui s'annoncent très prometteuses dans la réalisation de stratégies innovantes pour la réduction d'herbicides chimiques à travers une pulvérisation localisée voir chirurgicale (Berge *et al*, 2012 ; Utstumo *et al*, 2018). Quelques équipements de pulvérisation localisée sur le rang, souvent de petites largeurs (Garford, ...), peuvent permettre de répondre à ce concept mais ils sont le plus souvent coûteux et à faible débit de chantier. Dans ce contexte, le projet Ecophyto II « PLEVOP » (développement de la Pulvérisation Localisée En Végétation sur Oléagineux et Protéagineux) mis en œuvre par Terres Inovia et AgroSup Dijon (en collaboration avec le constructeur de matériel agricole Marechal et la Coopérative Agricole Lorraine) a pour objectif le développement opérationnel en grandes cultures d'une rampe de pulvérisation localisée sur le rang de grande largeur sur des cultures modèles : le colza et le tournesol. Le principe est de compléter le désherbage chimique sur le rang par du désherbage mécanique sur l'inter-rang (binage).

Les objectifs de ce travail sont donc de mieux caractériser cette rampe de désherbage localisé, ses conditions d'utilisation (volume, type de buse, hauteur de buse, vitesse de passage, débit de chantier...) ainsi que la faisabilité (coût économique, temps de travail), le gain environnemental et l'efficacité de cette technique, afin d'apporter un conseil de qualité auprès des agriculteurs.

Le présent article présente les premiers résultats des essais conduits en parcelles de colza et tournesol avec comme objectifs : 1/ connaître l'influence du type de guidage (GPS-RTK, roues traceuses, caméra, ...) sur ce mode de pulvérisation ; 2/ étudier l'efficacité biologique sur les adventices en la comparant à celle d'un traitement en plein ; 3/ qualifier le gain environnemental à travers l'étude de l'IFT afin d'accompagner l'agriculteur dans de nouvelles pratiques agro-environnementales.

MATERIEL ET MÉTHODES

Rampe de pulvérisation localisée Maréchal

Ce prototype (25000€HT) de rampe de pulvérisation localisée sur le rang, de la société Maréchal (figure 1), est large de 16,2m : soit 3 fois 12 rangs à 45 cm d'écartement, c'est-à-dire 3 trains de semoir, ce qui permet à la rampe de mieux épouser le terrain car les 3 tronçons sont indépendants. Son débit de chantier est de 10 à 15 ha/h (vitesse moyenne de 10 km/h). La cuve frontale a une capacité de 1100 l.

Figure 1 : rampe Maréchal de 36 rangs ; Marechal's boom with 36 elements



Les bandes pulvérisées peuvent mesurer 18 ou 25 cm de large, ce qui permet d'envisager une réduction des herbicides de 60 à 45%. La hauteur de pulvérisation étant plus basse qu'une pulvérisation en plein avec une rampe classique, la sensibilité au vent est inférieure et donc les fenêtres d'intervention sont plus fréquentes.

Systèmes de guidage

Différentes solutions sont possibles :

- **Guidage par trace** : les roues citron de la rampe suivent un sillon tracé préalablement lors du semis (figure 2). Cette solution n'est envisageable que sur des sols bien nivelés et capables de « conserver » cette trace au cours du temps et ce, malgré les intempéries. Or, si ce type de sol se retrouve facilement dans les terres à betterave, ce n'est pas le cas pour les terres à colza, sols caillouteux ou argilo-calcaires ou encore bouleversés par les sangliers...
- **Guidage par GPS (SF2 ou RTK)** : le tracteur est guidé par GPS (figure 3). Un semis au GPS au préalable est donc nécessaire. Avec ce guidage, il faut donc relier les 3 tronçons de la rampe (et retirer les roues citron). Le seul inconvénient majeur de cette solution est que ce guidage est théorique, il ne s'adapte pas aux irrégularités potentielles du terrain ou du semis. Il est cependant utilisable sur tous types de sol.
- **Guidage par caméra** : une caméra placée sur la rampe détecte les rangs de la culture et corrige la trajectoire de la rampe selon les irrégularités du terrain ou du semis au moyen d'une interface Garford placée entre le tracteur et l'outil (figure 4). Cette solution (technologie Robocrop) nécessite donc de relier également les 3 tronçons de la rampe (car pour des raisons de coût 1 seule caméra est présente). La caméra ne travaillant que sur un seul des 3 trains, le semis doit être le plus précis possible afin d'avoir des écartements identiques entre chaque passage de semoir.

Figure 2 : guidage par trace ;
track guidance system



Figure 3 : guidage par GPS ;
guidance by GPS

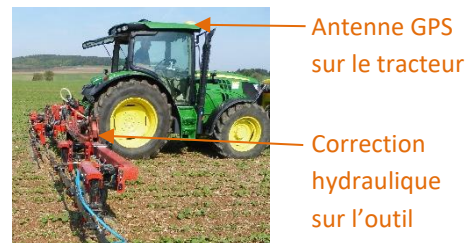
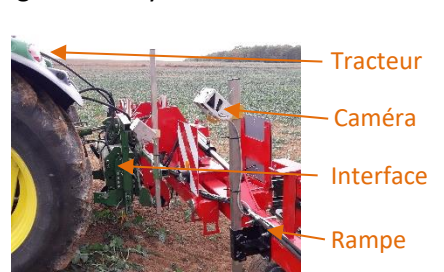


Figure 4 : guidage par caméra ;
guidance by camera



Mise en œuvre des essais au champ

Deux essais colza ont été réalisés pendant les campagnes 2017-2018 et 2018-2019 et un essai tournesol a été effectué au printemps 2019. Ils ont tous été mis en place en Lorraine, dans la région de Nancy. D'autres essais sont encore à venir sur colza et tournesol pour la campagne 2019-2020.

Dispositif expérimental et modalités testées

Dans le but de comparer l'efficacité de la pulvérisation localisée sur le rang complétée dans les semaines suivantes par un binage avec la pulvérisation en post-levée en plein d'une part (sans binage) et avec les témoins non traités d'autre part, ces 3 modalités ont été mises en place.

Pour le traitement localisé sur le rang, les buses utilisées étaient des buses en bandes à jet plat uniforme (rectangulaire) de 40° et de débit 02 (0,65 l/min à 2 bar). La largeur traitée sur le rang était de 20 cm et l'écartement de la culture de 45 cm. Pour le traitement en plein, la même rampe a été utilisée mais avec un relevage levé et des buses classiques à 110° (de débit 02) pour assurer le

recouvrement. Les témoins non traités (TNT) intégrés au dispositif ont été réalisés en coupant la rampe à quelques endroits sur 4-5m lors de la pulvérisation en plein.

La première année, en automne 2017 sur colza (figure 5), deux vitesses différentes ont été testées : 10 km/h avec un débit 02 (0,65 l/min) et 5 km/h avec un débit 01 (0,32 l/min). L'herbicide était Cleravis (imazamox + métazachlore + quinmérac) appliqué à 4 feuilles sur variété tolérante aux herbicides. Le guidage était par GPS.

Figure 5 : dispositif colza année 1 ;
oilseed rape trial the first year

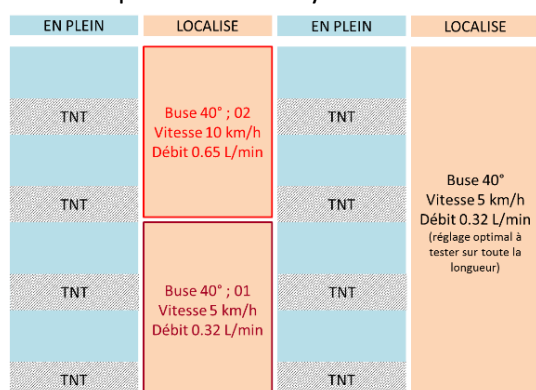
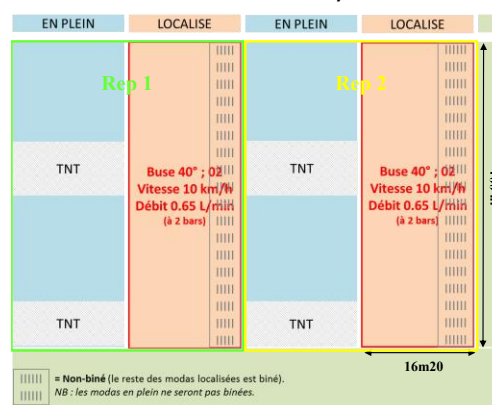


Figure 6 : dispositif tournesol année 2 ;
sunflower trial the second year



Les essais suivants, automne 2018 sur colza et printemps 2019 sur tournesol (figure 6), ont été menés avec un seul type de buse pour la pulvérisation localisée : 40° à débit 02. Le guidage était par caméra et interface Garford. Sur colza, l'herbicide était Mozzar (halauxyfene-methyl + picloram) appliqué à 4 feuilles sur variété classique ; l'essai n'a pas pu être biné par la suite. Sur tournesol, l'herbicide était Pulsar (imazamox) appliqué à 4 feuilles sur variété tolérante aux herbicides ; le binage a pu être effectué sur les modalités de pulvérisation localisée et une bande non binée a été conservée pour comparaison.

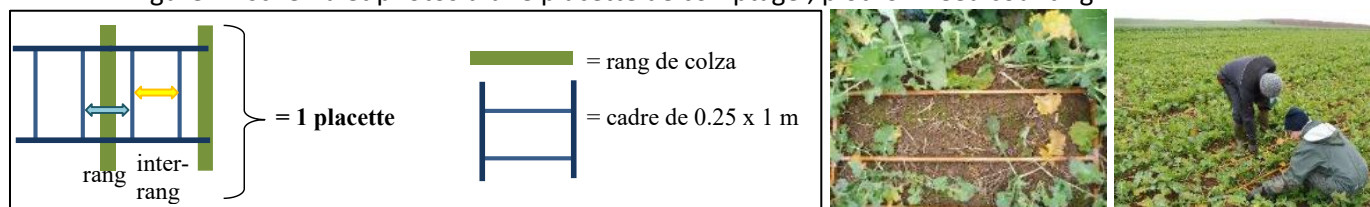
Méthodes d'observation des résultats

Environ 1 mois après la dernière intervention (herbicide ou binage), deux types de notation sont utilisés : l'efficacité visuelle du désherbage en pourcentage, en comparaison avec le témoin non traité, et le comptage des adventices dans le rang et dans l'inter-rang (voir calendrier des interventions).

La notation d'efficacité du désherbage consiste à estimer visuellement le pourcentage d'adventices détruites dans chaque modalité, après identification et comptage d'adventices dans les témoins (sans herbicide et sans désherbage mécanique) adjacents les plus proches.

Le comptage des adventices dans le rang (1 m linéaire sur 20 cm de largeur traitée) et dans l'inter-rang (1 m linéaire sur une large de 25 cm) se fait par espèce et sur 4 placettes selon le schéma suivant (voir figure 7).

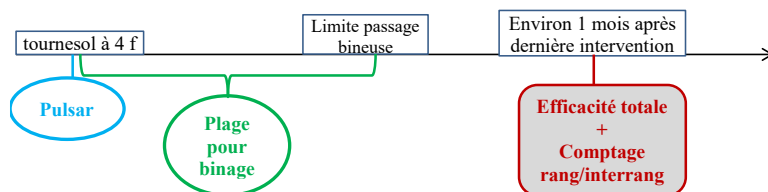
Figure 7 : schéma et photos d'une placette de comptage ; plot for weed counting



Lors du traitement, les informations concernant le stade et la hauteur de la culture, le stade moyen des mauvaises herbes, la météo avant, pendant et après, ainsi que tous les paramètres de pulvérisation (volumes, doses, largeur de la bande traitée, temps nécessaire au traitement, etc.) sont notés, tout comme l'état du sol lors du binage, la météo suivante et le stade de la culture lors du binage.

Un essai-type se déroulait selon la frise suivante (exemple du tournesol), présentée en figure 8.

Figure 8 : déroulement type d'un essai ; trial timing



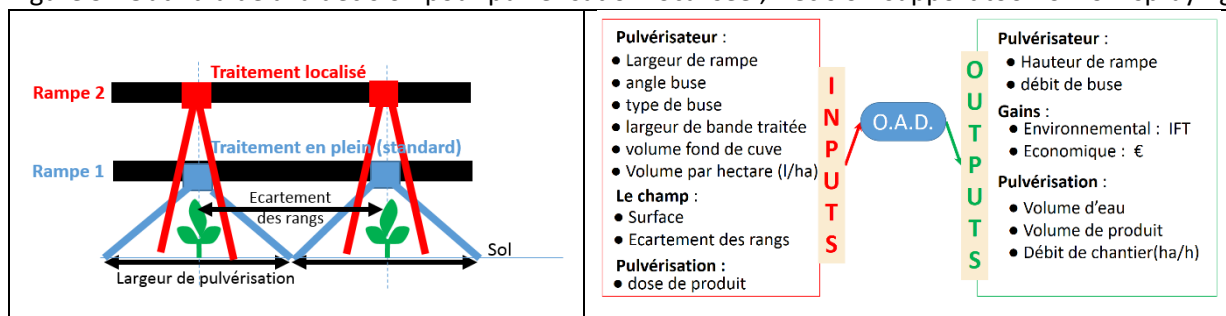
Analyse des résultats

Les résultats ont été représentés et interprétés au moyen de graphiques conçus avec le logiciel Excel. Une analyse statistique sous le logiciel R studio a été réalisée sur les données du colza 2017, au moyen de deux ANOVA : une sur les données en inter-rang et l'autre sur les données dans le rang de la culture ; afin d'évaluer si la densité des adventices présentes dans les modalités en plein est significativement différente de celle des adventices présentes dans les modalités de pulvérisation localisée, et de celle des adventices du témoin, et ce dans l'inter-rang d'une part et dans le rang d'autre part.

Développement d'un Outil d'Aide à la Décision

Les volumes de bouillie (eau et herbicides) par hectare n'étaient pas les mêmes selon le type de pulvérisation, localisée ou en plein, car dans le premier cas la surface traitée est réduite. Ainsi, pour réaliser les différents calculs nous avons utilisé un fichier Excel, élaboré par les techniciens ayant réalisé ces traitements. Dans le but de faciliter le travail des agriculteurs, la valorisation de ces calculs et de ces formules sous la forme d'un OAD a été envisagée comme l'un des livrables de ce projet, pour que l'agriculteur n'ait pas à douter en faisant les calculs de quantités d'eau et de produit utilisées par hectare, selon les caractéristiques de son pulvérisateur (type et angle de buses, écartement des buses, largeur de traitement, ...). Actuellement, il a été développé sous Excel en vue de son déploiement en une application smartphone pour fournir un outil convivial destiné aux agriculteurs ainsi qu'aux expérimentateurs en instituts techniques ou de recherche, et des chambres d'agriculture. A partir des conditions de travail définies comme paramètres d'entrée (figure 9, inputs) de l'O.A.D., le calcul fournit des variables en sortie (figure 9, outputs) permettant de paramétrer le pulvérisateur (hauteur de rampe et débit de buse) et de définir les gains (environnemental et économique) pour quantifier la réduction de produits phytosanitaires et le coût économique d'une telle opération. Enfin, il indique les volumes d'eau et de produits phytosanitaires par hectare à utiliser pour permettre de réaliser une pulvérisation efficace. Avec une rampe grande largeur, autant les calculs pour une pulvérisation en plein sont aisés et connus, autant dans le cas d'un traitement localisé, ces calculs peuvent devenir délicats. Certes, ils reposent sur le ratio entre la largeur de la bande traitée et l'écartement des rangs; cependant, il faut intégrer divers cas de figure comme la gestion de fond de cuve, la possibilité de faire la bordure intérieure du champ avec un traitement en plein alors que le champ sera traité en localisé, ou autre possibilité de faire le champ avec un traitement en plein, ...

Figure 9 : Outil d'aide à la décision pour pulvérisation localisée ; Decision-support tool for row spraying



Pour le développement de l'application, deux interfaces sont envisagées, l'une destinée pour les agriculteurs (le volume/ha comme paramètre d'entrée) et l'autre destinée aux expérimentateurs (la

vitesse d'avancement comme paramètre d'entrée). L'utilisateur pourra accéder à cette interface et entrer ses paramètres d'entrée afin d'obtenir automatiquement les paramètres de sortie dont il aura besoin pour régler sa pulvérisation.

RESULTATS

Colza 2017-2018

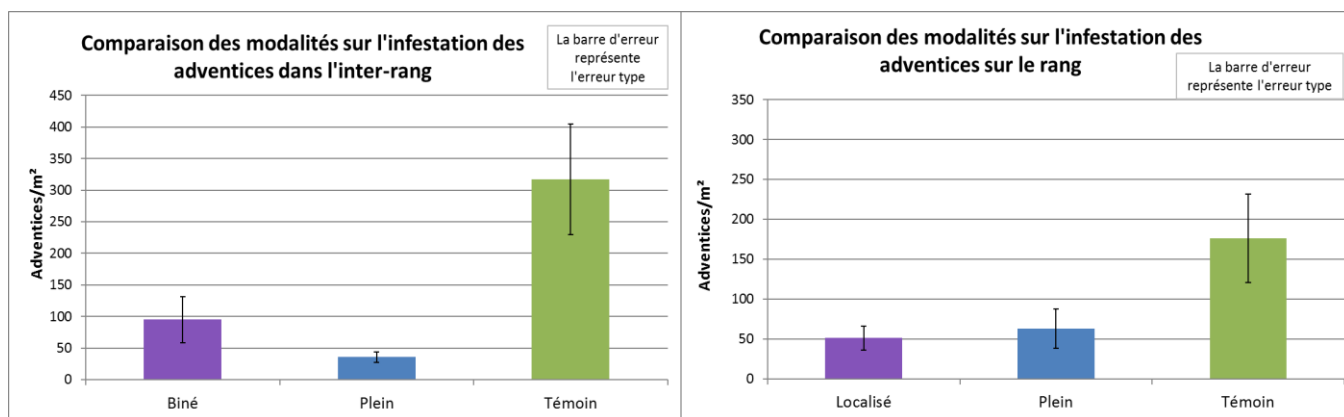
Malgré un problème de dosage du traitement en plein, les comparaisons des modalités « traitement localisé sur le rang puis binage », « traitement en plein » et « témoin non traité » ont montré des résultats sur l'inter-rang et sur le rang assez logiques et encourageants (graphiques figure 10).

En effet, le « traitement localisé puis binage » et le « traitement en plein » ont des infestations bien moindres que le témoin. Sur l'inter-rang, la modalité « traitement localisé sur le rang puis binage » est légèrement plus infestée en adventices que l'inter-rang de la modalité en plein, ce qui montre que le binage est légèrement moins satisfaisant que le traitement en plein. Néanmoins, quand on compare l'inter-rang de la modalité « localisé sur le rang puis binage dans l'inter-rang » avec l'inter-rang du témoin non traité, on remarque une efficacité du binage qui est non négligeable. Sur le rang, le traitement localisé semble aussi efficace qu'un traitement en plein (infestations similaires).

Dans la modalité en plein, on observe que le rang est légèrement plus sale que l'inter-rang, on peut éventuellement interpréter cela par un effet parapluie du colza lors du traitement.

Dans le témoin, on observe que le rang est moins sale que l'inter-rang ; cela est sûrement dû à un effet de compétition du colza vis-à-vis des adventices sur le rang.

Figure 10 : densité adventices 1 mois après binage dans les différentes modalités, sur l'inter-rang et dans le rang, colza 2018 ; weed density 1 month after hoeing on the different types of treatment, on the row and in the inter-row, rape trial 2018



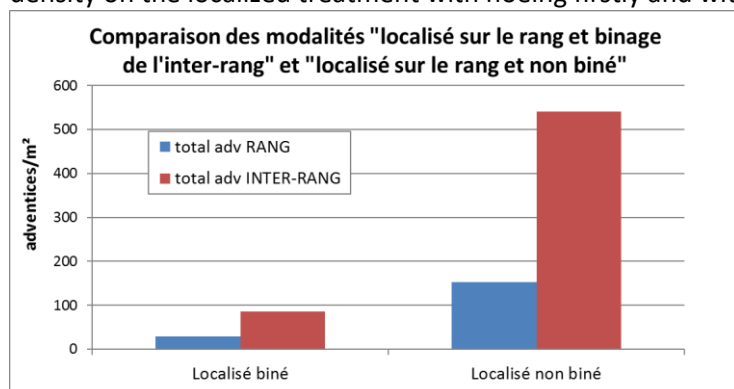
Ainsi, les résultats des modalités avec désherbage localisé puis binage sont encourageants. Une zone de désherbage localisé non biné montre aussi que le traitement sur le rang ne suffit pas pour avoir une efficacité correcte sur toute la surface et que le binage a son importance (figure 11). C'est donc la complémentarité désherbage chimique – désherbage mécanique qui permet d'obtenir les 80% d'efficacité observés dès la sortie d'hiver.

Ce graphique (figure 11) illustre bien l'intérêt du binage de l'inter-rang. Le décalage entre le rang et l'inter-rang vient sans doute d'un effet de recouvrement sur le rang par le binage par projection de terre et buttage. De même, sur le rang, la modalité binée dans l'inter-rang est moins infestée que celle non binée sans doute grâce à ce phénomène de buttage.

Afin d'approfondir les résultats, une ANOVA a été réalisée sur les données mais le déséquilibre des modalités à cause de la configuration du dispositif n'a pas permis une analyse pertinente (la méthode

d'analyse n'est pas pertinente dans la mesure où le dispositif n'était pas adapté pour réaliser une ANOVA). C'est pour cette raison que le dispositif d'essais de l'année suivante a été modifié.

Figure 11 : densité d'adventices dans le localisé biné et le localisé non biné, essai colza 2018 ; weed density on the localized treatment with hoeing firstly and without hoeing secondly, rape trial 2018



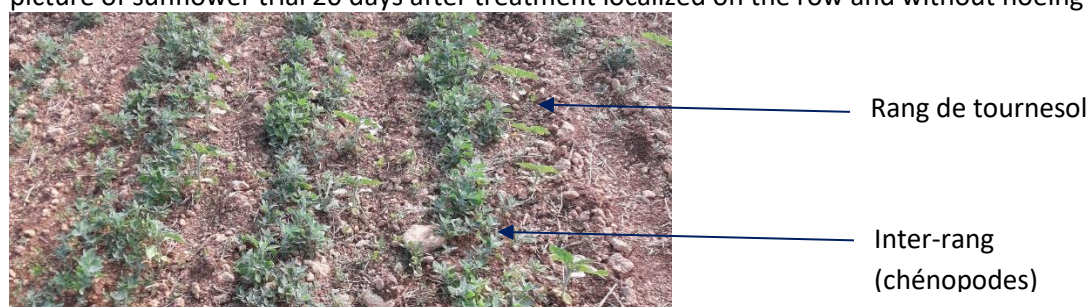
Colza 2018-2019

L'implantation du colza de fin d'été – automne 2018 a été très difficile en raison de la sécheresse. De plus, ce manque d'eau n'a pas permis aux adventices de lever, ce qui ne justifiait pas le traitement sur un essai. Sur le deuxième essai, le traitement a été réalisé en raison de la présence de quelques adventices. Malheureusement, la levée des adventices s'est poursuivie après le traitement, ce qui a brouillé l'effet du traitement et a entraîné des efficacités finales moyennes, non représentatives. En revanche, le guidage caméra (interface Garford entre le tracteur et la rampe, technologie Robocrop) a fonctionné parfaitement lors du traitement, ce qui est un résultat encourageant.

Tournesol 2019

L'essai a été bien réussi avec une très bonne levée des adventices (chénopodes en majorité). Le traitement a été réalisé dans de bonnes conditions et par la suite l'efficacité du traitement sur le rang était bien visible (figure 12). Le binage a pu être réalisé (hors photo).

Figure 12 : photo de l'essai tournesol 20 jours après traitement sur le rang et sans binage ; picture of sunflower trial 20 days after treatment localized on the row and without hoeing



Les résultats montrent que, globalement, la modalité « traitement localisé + binage » a une efficacité satisfaisante et similaire au « traitement en plein » (figure 13). La faible efficacité (40%) de la modalité « localisé non biné » montre l'importance du binage pour désherber toute la surface (figure 13). D'après la figure 14, les résultats de l'inter-rang montrent que le binage est équivalent à la modalité traitement en plein. Le non biné, plus sale que l'inter-rang du témoin, met en évidence l'importance du binage. Sur le rang (voir figure 14), le localisé biné est plus propre que toutes les modalités, y compris le traitement en plein.

Figure 13 : Efficacité finale visuelle des différentes modalités, essai tournesol 2019 ;
final efficiency on the different types of treatment, sunflower trial 2019

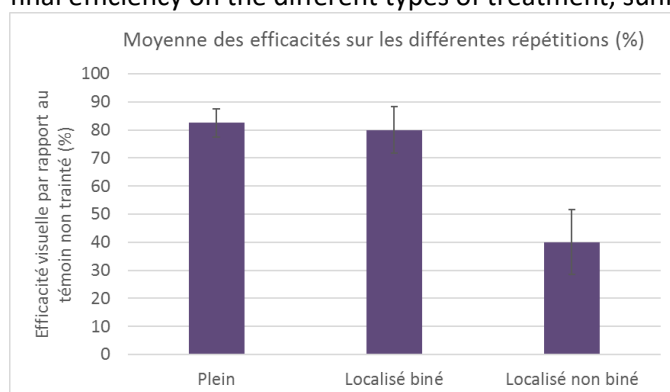
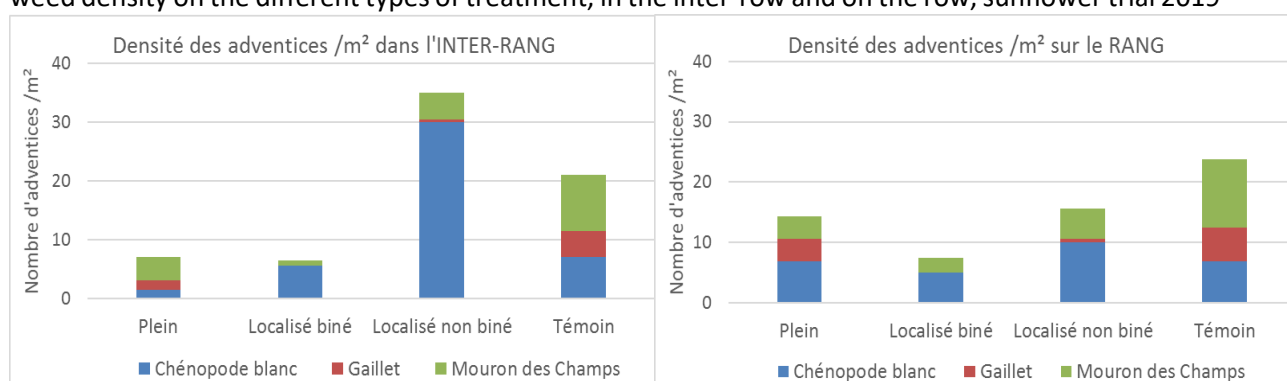


Figure 14 : Densité adventices dans les modalités, sur l'inter-rang et dans le rang, tournesol 2019 ;
weed density on the different types of treatment, in the inter-row and on the row, sunflower trial 2019



Outil d'Aide à la Décision

Pour expliquer de manière plus concrète et précise cet outil d'aide à la décision, nous avons comparé, à titre d'exemple, les résultats des deux méthodes de pulvérisation, en localisée et en plein, sur l'essai colza de 2018-2019 pour un herbicide de post-levée (dose choisie à 0,25l/ha). Pour cette étude, nous avons utilisé les caractéristiques de pulvérisation de l'essai colza automne 2018 (tableau I). Pour les expérimentateurs de l'institut Terres Inovia, il était plus judicieux d'utiliser comme paramètres d'entrée la vitesse d'avancement du tracteur plutôt que le volume /ha. Avant de comparer les résultats, il est important de savoir que nous avons classé les paramètres d'entrée par thèmes : caractéristiques de la machine, de la parcelle et du produit. Une fois que les données des paramètres d'entrée sont inscrites, les résultats des paramètres de sortie s'affichent automatiquement.

Tableau I : Comparaison des résultats d'un traitement en plein ou localisé sur l'essai colza 2018-2019
- comparison of the results between a full treatment and a localized treatment, rape trial 2018-2019

PARAMETRES ENTREE			PARAMETRES SORTIE		
	Localisé	Plein		Localisé	Plein
Vitesse d'avancement (km/h)	10	10	Hauteur de rampe (cm)	27,5	15,8
Angle de Buse (°)	40°	110°	Débit buse (l/min)	0,65	0,65
Type de buse	Jaune 2 bar	Jaune 2 bar	Largeur non traitée entre 2 buses (cm)	25	0
Largeur de la bande traitée (cm)	20	45	Volume d'eau (l) à l'hectare	45	45
Surface de la parcelle (ha)	0,514	0,514	Volume herbicide (l) pour la surface traitée	0,06	0,13
Dose de produit à l'hectare (l/ha) - MOZZAR	0,25	0,25	Volume de bouillie (l) ramené à l'hectare	195	87
Ecartement entre buses (cm)	45	45	Calcul de l'IFT	0,44	1
Largeur du pulvérisateur (m)	16	16	Taux de réduction de quantité de produit (%)	56	0
Volume fond de cuve (l)	0	0			

La pulvérisation sur le rang permet une réduction de la surface traitée. Avec un écartement entre les rangs de culture de 45 cm, le pourcentage de la surface traitée pour une pulvérisation sur le rang d'une largeur de 20 cm (Tableau I) est de 44%. Ainsi, cette réduction de la quantité d'herbicide se traduira par une réduction des coûts d'herbicide (cf. ci-dessous) et par un IFT de 0,44 (contre 1 en plein).

Dans le cas d'une pulvérisation localisée, la surface traitée étant réduite de 44%, la quantité de produit à apporter est alors de 0,06 l (= $0,13 \times 0,44$). Les deux techniques de traitement requièrent la même quantité d'eau, soit 45 litres pour la surface de cette parcelle. Cependant, il s'avère que le volume de produit herbicide est moins élevé en traitement localisé (0,06 l) que pour un traitement en plein (0,13 l). La vitesse étant constante (10 km/h) et le débit de la buse étant le même (0,32 l/min), la quantité d'eau, identique au départ, épandue sur la bande de 20 cm de large est forcément plus importante que celle épandue sur 45 cm (195 l/ha contre 87 l/ha). Par ailleurs, les agriculteurs qui veulent conserver la même quantité d'eau / ha peuvent soit augmenter la vitesse de traitement, soit utiliser des buses à débit inférieur (ce qui n'était pas possible dans cette expérimentation).

Première évaluation économique

Sur la base du barème APCA 2017, un pulvérisateur localisé Maréchal de 36 rangs qui fait 150 ha/an en moyenne (avec un tracteur de 120 CV qui fait 700h/an) coûte 20,2 €/ha et une bineuse de 8 rangs avec guidage optique qui fait 120 ha /an en moyenne (avec un tracteur de 120 CV qui fait 700h/an) coûte 22,4 €/ha ; les hypothèses de calcul tenant compte de l'amortissement, de l'entretien, du coût de l'énergie et de la main d'œuvre.

Concernant le coût du produit herbicide, la pulvérisation localisée permet une économie grâce à la réduction de la surface traitée. En traitement localisé, la largeur de pulvérisation étant de 20 cm au lieu de 45 cm en plein, la réduction de la quantité du produit appliqué est de 56% (100%-44%), et donc pour Mozzar à 160€/L, le désherbage (dose de 0.25 l/ha) coûte 22,4 €/ha au lieu de 40 €/ha.

L'analyse économique est en cours de finalisation.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats de ces essais confirment la même tendance : le traitement localisé complété par du binage est aussi efficace que le traitement en plein et il est satisfaisant. Sur l'inter-rang, le binage a son importance car la modalité localisée non binée ne donne pas une efficacité satisfaisante. D'ailleurs, même sur le rang le localisé non biné est plus infesté que le localisé biné dans l'essai tournesol ; on peut faire l'hypothèse que le rang désherbé avec un traitement chimique localisé « se laisse contaminer » par l'inter-rang qui n'a pas été biné et qui était très riche en chénopodes... En effet, sur ce même essai, la modalité « localisé puis biné » était même plus satisfaisante sur le rang que le traitement en plein. Donc la localisation de l'herbicide, complétée par le binage, est intéressante. D'autant qu'en ne désherbant que le rang, une économie de produit de 56% est permise (puisque dans notre cas 20 cm de rang sont traités sur 45 cm d'écartement).

Il semblerait également que le guidage le plus intéressant soit la technologie Robocrop (caméra et interface Garford). Le guidage par GPS est également satisfaisant. Cependant, ce guidage ne peut s'adapter aux accidents du terrain. La comparaison stricte des interfaces de guidage sur un même essai commun sera traitée dans la suite du projet.

Concernant l'O.A.D., avant la réalisation de l'application web ou smartphone, nous envisageons de le tester avec un groupe d'agriculteurs et d'expérimentateurs afin d'identifier d'éventuels oublis ou ajouts pour une interface conviviale aux résultats faciles à interpréter. Enfin, nous prévoyons d'intégrer d'autres paramètres environnementaux et économiques pour alimenter la réflexion autour des nouvelles techniques de pulvérisation et leur appropriation par la communauté « utilisateur ».

La technologie qui a été testée ici a d'abord été évaluée sur betterave dans de précédents travaux (Lecourtier, 2018). Nous avons donc obtenu de nouvelles références en colza et tournesol, qui se

cultivent sur des sols moins aplanis et réguliers que ceux de la betterave, nous obligeant à trouver d'autres solutions de guidage.

Cette technologie, qui en est une parmi d'autres, est plutôt adaptée aux contraintes de l'agriculteur (grande largeur, compatible avec les écartements des semoirs et bineuses, ayant un débit de chantier correct et des efficacités encourageantes). Il existe également d'autres technologies, peut-être plus sophistiquées et dont la compatibilité avec les contraintes des agriculteurs reste à vérifier, selon le niveau de maturité de ces solutions. En effet, les systèmes de désherbage de précision se sont développés ces dernières années et sont devenus nombreux et variés (Gée *et al*, 2018). Les constructeurs proposent différents types de technologies permettant la gestion individuelle de l'ouverture/fermeture (ON/OFF) de la section (ou tronçon) de la rampe (Luck et al., 2010) ou au niveau de la buse. D'autres proposent un couplage capteur-buse permettant de détecter les plantes sur un sol nu en utilisant des signaux dans le rouge et infra-rouge (Biller, 1998 ; Felton, 1991 ; Hanks et Beck, 1998 ; Visser et Timmermans, 1996). Plus récemment, des capteurs optoélectroniques plus perfectionnés ont été couplés à un système intelligent de commande PWM (Pulse Width Modulation), permettant de faire varier le débit en modulant la durée du cycle d'ouverture des buses. Il est alors possible de faire varier la vitesse de travail ou le volume/hectare en conservant la même buse à pression optimale d'utilisation. Toutes ces technologies sont en plein essor et sont très encourageantes pour se projeter vers une agriculture plus durable.

REMERCIEMENTS

Ce projet « PLEVOP : développement de la Pulvérisation Localisée En Végétation sur Oléagineux et Protéagineux » a bénéficié d'un financement provenant de l'appel à projet Ecophyto II Axe 1 Action 1.2 de 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- Berge T.W., Goldberg S., Kaspersen K., Netland J., 2012. Towards machine vision-based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 81 (2012) 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.11.004>
- Biller R.H., 1998. Reduced Input of herbicide by use of optoelectronic sensors. *J. Agric. Res.* (1998), 71, 357-362
- Felton W.L., Doss A.F., Nash P.G., McCloy K.R., 1991. "A microprocessor-controlled technology to selectively spot sprayer weeds", *Automated agriculture for the 21st century. Proceedings of the 1991 symposium*, 16-17 December 1991, pp.427-432, ASAE publication, Chicago, Illinois., St. Joseph, Mich.
- Gée C., Jones G., Maillot T., Paoli J.-N., Villette S., 2018. Chapitre 10 'le désherbage de précision'. *Livre Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Editions QUAE GIE ; Édition : 1 (6 décembre 2018) - Collection : Synthèses
- Hanks J.E. and Beck J.L., 1998. Sensor-controlled hooded sprayer for row crops. *Weed Technology*, 308-314.
- Lecourtier M., 2018 – Le rang désherbé avec un « pulvé classique ». *Cultivar* Hors-série mai 2018
- Luck J., Zandonadi R., Luck B., Shearer S., 2010. Reducing Pesticide Over-Application with Map-Based Automatic Boom Section Control on Agricultural Sprayers. *Transactions of the ASABE* 53(3):685-690. DOI: 10.13031/2013.30060
- Schueller J. K., 1992. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. *Fertilizer Research*, 1992; 33: 1 — 34.
- Utstumo T., Urdal F., Brevik A., Dørum J., Netland J., Overskeid Ø., Berge T. W., Gravidahl J.T., 2018. Robotic in-row weed control in vegetables. *Comput. Electron Agric.*, 154 (2018), pp. 36-45, 10.1016/j.compag.2018.08.043
- Visser R. and Timmermans A.J.M., 1996. Weed-It: a new selective weed control system, pp. 120-129.