

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

PULVERISATION CIBLEE SUR LES TACHES D'ADVENTICES DETECTEES PAR DRONE EN COLZA

J-L. LUCAS ⁽¹⁾, F. VUILLEMIN ⁽²⁾, C. SERGENT-BOUTY ⁽³⁾, G. JOLLY ⁽¹⁾, L. THIERY ⁽¹⁾, M. GELOEN ⁽¹⁾,
F. KAZEMIPOUR - RICCI ⁽¹⁾, G. JONES ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Terres Inovia, 1 rue des Coulots, 21110 Bretenière, France, jl.lucas@terresinovia.fr, f.kazemi@terresinovia.fr, g.jolly@terresinovia.fr, l.thiery@terresinovia.fr, m.geloen@terresinovia.fr

⁽²⁾ Terres Inovia, 6 chemin de la côte vieille, 31400 Baziège, France, f.vuillemin@terresinovia.fr

⁽³⁾ AIRINOV, 47 rue des Vinaigriers 75010 Paris, France, clemence.bouty@airinov.fr

⁽⁴⁾ AgroSup Dijon, 26 bd Docteur Petitjean, 21079 Dijon, France, gawain.jones@agrosupdijon.fr

RÉSUMÉ

L'idée de cartographier les zones infestées par les adventices pour restreindre la surface traitée, et donc les quantités d'herbicides utilisées, méritait d'être testée. Depuis l'acquisition des données par drone, en passant par le traitement des images, jusqu'à l'exploitation de la carte par le pulvérisateur au champ. C'est pourquoi, Terres Inovia a décidé de collaborer avec AIRINOV pour conduire un essai sur colza en vue de la pulvérisation ciblée sur les tâches d'adventices détectées préalablement par drone. Cette étude exploratoire avait pour objectif de vérifier l'intérêt, la faisabilité, la pertinence et l'efficacité d'une telle technique. Elle s'inscrit dans le projet européen H2020 « IWMPPRAISE ». Pour évaluer la faisabilité, l'ensemble de la chaîne d'acquisition, de traitement et d'exploitation au champ a été suivie au cours de l'automne 2018 sur une portion de champ de colza semé à large écartement (60 cm). Pour juger de la pertinence du service, les résultats obtenus par drone ont été confrontés à des relevés de flore sur des placettes dédiées. Enfin, l'efficacité du désherbage a été estimée *a posteriori* et le gain environnemental lié à la réduction de la surface traitée a été quantifié.

Mots-clés : modulation herbicide, drone, imagerie multispectrale, cartographie, coupures de tronçons

ABSTRACT

Mapping weed infested zones on the field to reduce herbicide applications is an idea which must be tested. From the pictures acquisitions by UAV flight, an infestation map of the field is created and it drives the boom to treat only these infested zones. Terres Inovia and AIRINOV decided to realize a trial on oilseed rape to check if this technic is interesting and feasible. This trial belongs to the H2020 project "IWMPPRAISE". To evaluate the feasibility, all the chain was followed during autumn 2018 on an oilseed rape field sowed at large width (60 cm). To estimate the interest, the results obtained by the UAV flight were compared to weed density measures on the field. The efficiency of the spot weeding was estimated *a posteriori* and the environmental benefit (reduction of treated surface) was quantified.

Keywords: herbicide modulation, UAV flight, multispectral data, map, localized spraying

INTRODUCTION

Contexte :

Actuellement, le plan d'actions sur les produits phytopharmaceutiques pour une agriculture moins dépendante aux pesticides porté par les ministères de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Transition écologique et Solidaire, des Solidarités et de la Santé, et le ministère de l'Enseignement supérieur s'articule autour de plusieurs priorités, dont une est d'amplifier la recherche pour le développement de solutions alternatives plus économes en pesticides. En effet, il est demandé aux agriculteurs de réduire le volume de produits phytosanitaires qu'ils utilisent. Par ailleurs, les herbicides représentent plus d'un tiers des pesticides utilisés en Europe et, avec les fongicides, les ventes les plus importantes en Europe (Eurostat, 2018). Cependant, cette demande faite aux agriculteurs d'adopter de nouvelles stratégies de lutte contre les adventices constitue un défi particulier en raison de leur crainte par rapport au risque qu'ils pourraient prendre. Ils perçoivent que la mise en œuvre de ces nouvelles stratégies de désherbage pourrait avoir un impact à moyen et long terme sur le stock de graines d'adventices dans leurs parcelles. L'analyse des risques pour mettre en place une nouvelle stratégie est donc importante.

Dans le plan Ecophyto II, la priorité est mise sur la valorisation et le déploiement des techniques et systèmes économes en intrants. Un des axes du plan d'action est de renforcer la place des agroéquipements de nouvelle génération (Ministère de l'agriculture, 2015).

Par ailleurs, des appels à projet encouragent à présenter des stratégies innovantes et efficaces pour améliorer la gestion des adventices, optimiser de nouvelles méthodes alternatives de lutte contre les mauvaises herbes. Ces projets incitent à concevoir, évaluer puis démontrer la performance et la durabilité environnementale et économique des stratégies pour mettre les résultats à disposition des agriculteurs.

Notre expérimentation répond à cela, elle s'inscrit dans le WP2 du projet européen H2020 « IWMPPRAISE » qui vise à tester individuellement des méthodes innovantes impliquant les nouvelles technologies pour une gestion des adventices plus économe en herbicides.

Ce projet européen a pour large objectif de concevoir, tester et évaluer, sur les plans techniques, économiques et environnementaux, des stratégies durables de gestion intégrée des adventices pour les principales cultures. Plus spécifiquement, le WP2 dans lequel s'inscrit cet essai vise à tester individuellement des méthodes innovantes et améliorer l'efficacité de méthodes existantes. Ce WP est considéré comme le hub d'innovations permettant d'étudier plus spécifiquement les nouvelles technologies comme la robotique, les capteurs, les images drones ou satellites, etc... permettant de réaliser une gestion des adventices plus économe en herbicides.

Pour le désherbage chimique, les études montrent qu'une application faite seulement sur les zones infestées d'adventices a un potentiel de réduction de l'ordre de 50 % de la quantité d'herbicides (Brown et Steckler, 1995 ; Jones *et al*, 2007). Il faut par ailleurs repérer les zones enherbées à l'aide d'outils de localisation (GPS : Global Positioning System) (Oebel et Gerhards, 2005) et d'un vecteur pour la prise d'images simultanées. Le drone semble particulièrement adapté, il présente une solution intermédiaire entre la proxidtection et la télédtection et montre un réel potentiel pour des applications agronomiques, telles que la localisation d'adventices (Vioix *et al*, 2004 ; Rasmussen *et al*, 2013). En pratique, la gestion des adventices nécessite de pouvoir détecter des adventices de petites tailles et avoir suffisamment de réactivité pour intervenir à temps (Louargant, 2016).

Problématique :

La pulvérisation ciblée sur les zones de la parcelle infestées d'adventices repérées préalablement par drone est une piste intéressante pour réduire les quantités d'herbicides appliquées à l'hectare : quelle est la faisabilité, la pertinence et l'efficacité d'une telle technique ?

L'état de colonisation de la parcelle par les adventices est renseigné par les données enregistrées en image à la suite du passage du drone. Ensuite, par traitement des images, une carte de pulvérisation est réalisée pour paramétrer le pulvérisateur au champ. Le traitement réalisé exclusivement sur les

zones enherbées est localisé avec une application gérée pour chaque tronçon de la rampe du pulvérisateur agricole.

La juxtaposition et la confrontation des relevés de flore sur le terrain, avec la carte d'application effectivement réalisée, permettent d'analyser le résultat obtenu au champ. L'organisation du chantier, les délais, l'évaluation des stratégies et du risque pris à chaque opération ont été étudiés.

Cet essai a été conduit au cours d'un partenariat entre Terres Inovia, AIRINOV et AgroSup Dijon.

MATERIEL ET METHODES

Dispositif expérimental :

La parcelle agricole est de 0,83 ha, pratiquement rectangulaire sans tournières, elle a un bon potentiel d'infestation en géraniums (et également en repousses d'orge, ce qui n'était initialement pas recherché). Elle est cultivée par un agriculteur équipé d'un pulvérisateur Tecnomat (figure 2) muni d'une console (Trimble CFX – 750) permettant de lire une carte de préconisation de traitement et capable de couper les tronçons sur les zones indiquées. Le passage du pulvérisateur de 28 m a eu lieu sur une longueur de 300 m. 12 placettes témoins de 1 m², non traitées, ont été conservées afin de vérifier l'efficacité du traitement.

L'écartement des rangs de colza est de 60 cm, plus large que la pratique courante pour répondre aux exigences actuelles de l'algorithme de détection des adventices développé initialement par AIRINOV.

Déroulement :

Les différentes étapes sont présentées en tableau I.

Tableau I : Calendrier des interventions et des observations ; interventions and observations timeline

Période	mi-août	20-25 septembre (3-4 f du colza)		fin sept - déb octobre	mi-octobre (entre 4 et 6 f du colza)	20-25 novembre (40 j après ttmt)	en SH (avant recouvrement)	Récolte	
Interven-tions	Semis de l'essai (colza à 60 cm d'écartement)	Installation des mires (essai + placettes)	Vol de drone		Traitement d'images	Traitement herbicide (GF3447)			
Observa-tions			Comptages adventices placettes	Stade exact		Stade exact, surface traitée, quantité de produit épandu, temps nécessaire, météo avant et après ttmt.	Comptages adventices sur les mêmes placettes	Note globale de satisfaction du désherbage	Cartographie du rdt si possible

	= Airinov
	= Station TI
	= Agriculteur

1) Le vol de drone est réalisé le 8 octobre 2018 sur un colza à 6 feuilles, des géraniums (plus de 90% au stade plantule et le restant à 4-6 feuilles) et des repousses d'orge de printemps (20% au stade 1 à 3 feuilles, 50% au stade début tallage et 30% au stade plein tallage). Le drone est de type aile volante AIRINOV (figure 1), embarquant une caméra multispectrale analysant le couvert végétal pour 4 longueurs d'onde : vert (550 nm), rouge (660 nm), red-edge (735 nm) et proche infra-rouge (790 nm). La résolution est de 6 cm/px, soit un vol à 60 m d'altitude, permettant de distinguer les adventices du colza grâce à la géométrie des rangs (les espèces d'adventices ne sont pas différenciées).

Figure 1 : aile volante AIRINOV ; AIRINOV UAV



2) Pour éditer la carte des zones infestées, la méthode de détection des adventices consiste d'abord à distinguer le sol de la végétation par classification, puis à discriminer la végétation entre culture et adventices en identifiant les rangs (Louargant, 2016). La discrimination des adventices dans l'inter-rang est la technique la plus simple, elle est aussi plus facilement applicable pour des résolutions spatiales de drone (entre 1 et 10 cm). Aussi, la plupart des algorithmes de détection des adventices se base sur une détection des adventices dans l'inter-rang (Louargant, 2016).

3) Le traitement herbicide est réalisé avec l'association des produits MOZZAR (mélange d'halauxifen-méthyl + picloram, efficace sur géranium) à 0,25 l/ha (donc IFT 0.5) et LEOPARD 120 (efficace sur repousses d'orge) à 0,5 l/ha avec une huile Actirob B à 1 l/ha, à 8 feuilles du colza le 23 octobre 2018. En effet, dans la parcelle d'essai une levée de graminées concomitante à celle des géraniums a eu lieu.

Figure 2 : pulvérisateur avec coupures de tronçons lors du traitement ciblé ; boom sprayer with sections cutting



Observations :

Le calendrier des observations est présenté dans le tableau I. Juste avant le vol du drone, les adventices ont été comptées (espèce, stade dominant, nombre d'individus) sur 12 placettes de 1 m² : 5 placettes réparties sur des secteurs fortement infestés d'une part, 5 autres placettes présentes sur des secteurs moyennement infestés d'autre part et enfin 2 placettes sur des secteurs exempts d'adventices. Puis, 2 mois et demi environ après traitement, les adventices ont été comptées de nouveau sur ces placettes fixes. Entre ces deux notations, environ 20 jours après traitement lorsque l'herbicide commence à agir sur les adventices, un pourcentage de recouvrement du sol par les adventices a été noté sur 24 emplacements afin de vérifier que les surfaces traitées (12) étaient bien infestées d'adventices et que les surfaces non traitées (12) présentaient une infestation faible voire nulle. En sortie hiver, une note globale de satisfaction du désherbage a été affectée (cf méthode ci-après). Au moment du vol du drone puis du traitement herbicide, le stade exact de la culture a été noté et les informations concernant le traitement (surface totale traitée, quantité de produit épandu, temps nécessaire au traitement) ont été récupérées, de même que la carte d'application réelle en sortie de console du pulvérisateur.

Méthode de comptage des adventices sur placettes :

Les objectifs de ce comptage étaient d'estimer l'efficacité du traitement ciblé et d'évaluer la pertinence de la carte de détection des adventices (et par conséquent de la carte de pulvérisation).

a) Méthode de comptage

Sur chaque placette, géolocalisée par des mires pour être repérables depuis le drone, il a été noté : le pourcentage de sol couvert par les adventices et pour chaque espèce présente, le nombre d'individus présents dans la placette ainsi que son stade dominant.

b) Calculs

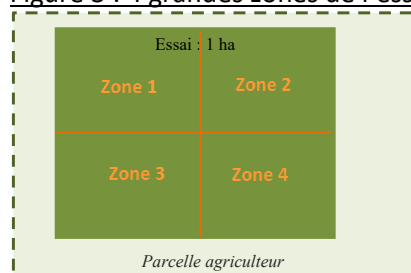
Avec ces observations de comptage pour chaque espèce d'adventice avant et après passage du pulvérisateur, l'efficacité en % est calculée avec la formule : $100 \times (\text{effectif des adventices présentes « avant traitement »} - \text{celui des adventices présentes après traitement}) / \text{effectif des adventices présentes « avant traitement »}$.

Méthode d'estimation de la note globale de satisfaction du désherbage :

L'objectif de cette notation est de vérifier que le désherbage ciblé donne une satisfaction finale correcte à l'agriculteur en fin de cycle, même si toute la surface n'a pas été traitée.

La parcelle est divisée virtuellement en 4 grands secteurs (figure 3). Une note de satisfaction (de 0 à 10) est affectée sur la surface d'observation avant fermeture des rangs de la culture (10 correspond à un champ exempt d'adventices ; 0 à un champ totalement envahi par elles ; en dessous de 7 le désherbage n'est pas considéré comme satisfaisant ; en dessous de 5 on considère que l'infestation a un impact sur le rendement) (Rodriguez *et al*, 2012).

Figure 3 : 4 grandes zones de l'essai ; 4 zones in the trial



RESULTATS

Faisabilité de la technique de pulvérisation ciblée :

Depuis la prise d'image jusqu'à la pulvérisation ciblée sur les zones enherbées, cet essai a montré que sur une parcelle agricole représentative l'ensemble des opérations distinctes et qu'il faut associer ont pu être réalisées correctement.

Détermination des zones enherbées :

Le stade d'intervention théorique pour la pulvérisation était fixé à 6 feuilles, stade optimum pour l'efficacité herbicide. Or, au moment où le vol du drone doit être programmé (soit avant ce stade 6 feuilles), le colza offre encore une couverture du sol assez faible ce qui peut compromettre la détection de la végétation. Il a donc été préféré de décaler le vol du drone au stade 6 feuilles (et donc traitement à 8 feuilles, le temps d'analyser les données) pour permettre au colza d'acquérir une couverture plus importante et disposer ainsi d'une cartographie de meilleure qualité pour la détection des adventices. La structure des rangs de colza est ainsi nettement améliorée. Ce choix s'est donc avéré efficace.

Il a également été choisi d'implanter le colza avec un interrang plus important de façon à bien détecter l'inter-rang et les adventices qui s'y trouvent. Grâce à cela, la détermination des rangs de colza n'a pas posé de difficultés dans cette expérimentation.

Tableau II : Profil d'enherbement visuel (adventices/m²) de la parcelle selon la figure 3 ; profile of weed infestation in the trial field

	géranium sur témoins		repousse orge sur témoins		
	gauche	droit	gauche	droit	
haut					haut
bas					bas

Les niveaux d'infestation varient de 0 à 467 géraniums /m² et 0 à 128 repousses d'orge / m² (tableau II). D'après les mesures visuelles, l'enherbement est supérieur en haut de la parcelle ; dans le bas il y a des zones sans mauvaises herbes, donc potentiellement sans traitement (tableau III).

La carte de détection est cohérente par rapport aux observations sur le terrain.

Tableau III : Localisation des adventices sur le rang et sur l'inter-rang (à gauche : effectifs ; à droite : photo) ; position of weeds on the row or in the inter-row (left : number of weeds ; right : picture)

Répartition des adventices dans les carrés repérés			
géranium		repousses d'orge	
inter rang/m2	sur rang/m2	inter rang/m2	sur rang/m2
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			

Pour les graminées, l'inter-rang est plus colonisé. Ceci est explicable par la concurrence que peut entraîner le colza sur le rang. Cette situation ne gêne pas la prise en compte des zones à traiter qui est fonction du taux d'adventices présent dans l'inter-rang. Pour le géranium, les adventices sont réparties dans les deux zones ; nous n'avons pas de cas avec une infestation d'adventices uniquement sur le rang, ce qui évite la possibilité d'avoir des faux négatifs lors du traitement.

Pertinence *a priori* de la carte de traitement pour faire de la modulation :

Pour le traitement des images, en appliquant des filtres nous avons supprimé les tâches de petite taille. Puis, après le traitement de l'image, une « dilatation » autour des patchs retenus (*buffers*, figure 3) a été réalisée pour intégrer les différences de géolocalisation des GPS du drone et du tracteur, la vitesse d'avancement du tracteur et le temps d'ouverture des buses au moment du traitement.

En plus de la taille des *buffers*, la délimitation des tronçons du pulvérisateur en fonction des passages de tracteur sur la parcelle s'est avérée importante (figure 3). En effet, leur localisation joue sur la zone traitée (un tronçon s'ouvrant toujours complètement).

La connaissance pratique de l'enherbement de la parcelle et la possibilité de faire des cartes avec différents niveaux de *buffer* permettent de faire un choix raisonné.

La superposition des cartes en entrée de console et en sortie de pulvérisation montre ainsi que la zone effectivement traitée recoupe de façon très proche la zone ciblée qui inclut la majeure partie des adventices (figure 4).

Figure 3 : carte de préconisation selon zones enherbées (en bleu); map of infested zones

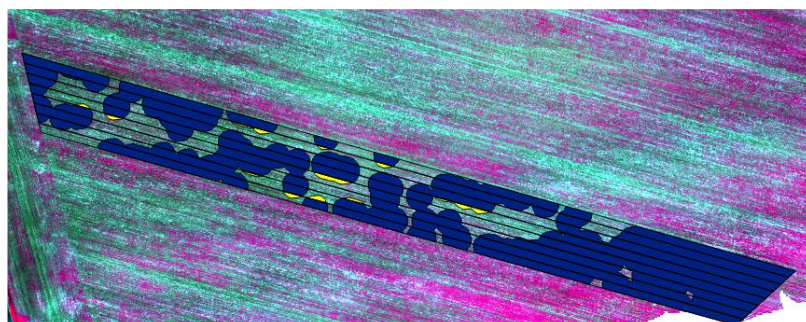
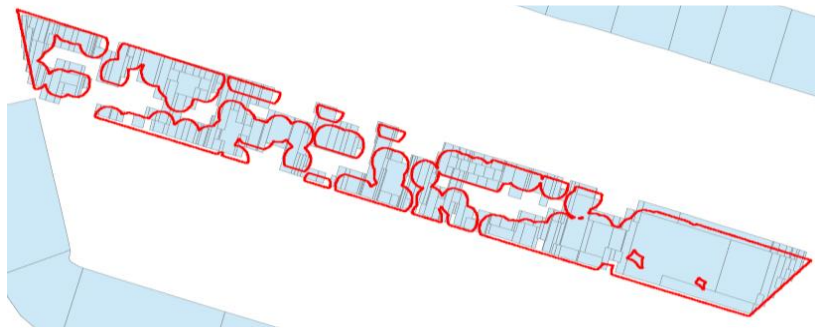


Figure 4 : superposition carte de préconisation (tracé rouge)/ traitement (surfaces en bleu); overlay of map for treating (red) and map of treated zones (blue)



Lecture de la carte dans la console du pulvérisateur et pulvérisation :

Le fichier lisible par la console est un shapefile que l'on peut visualiser avec un logiciel de SIG. Ce fichier contient la couche 'vecteur' de la parcelle avec les tâches d'adventices, des informations géographiques et une table attributaire. Cette table attributaire doit être configurée en fonction des exigences de la console. Pour le cas précis de cette expérimentation, la couche ne devait contenir que des zones à traiter et la table attributaire devait avoir des colonnes avec les coordonnées.

Le temps de latence entre l'envoi de la commande d'ouverture et l'ouverture réelle des buses des rampes du pulvérisateur est aussi à paramétrer dans la console et à apprécier selon la dangerosité du type d'infestation pour la culture. Si l'on veut se permettre un défaut de traitement, le niveau de population doit être très faible. Au final nous avons choisi de prendre le moins de risques et avons sélectionné le coefficient le moins contraignant afin d'obtenir un démarrage précoce et une fermeture tardive de la rampe. La temporisation définie lors du traitement sur le pulvérisateur s'ajoute aux zones non traitées contrôlées par le *buffer*.

Une configuration spécifique de l'appareil de traitement a été programmée pour réaliser la pulvérisation avec les coupures de tronçons. Il est assez difficile de vérifier visuellement la mise en route des rampes selon la couverture prévue sur la carte.

Par ailleurs, la réalisation de pulvérisations ciblées réduit les volumes de cuve embarquée. Pour des petites parcelles de surcroît, le volume mort de fond de cuve de (± 30 l) devient important en proportion du volume utile pour le traitement.

Bilan de l'enherbement des zones traitées ou non traitées :

Après traitement, la couverture du sol en adventices est évaluée pour l'ensemble des zones selon qu'elles ont été ou non traitées.

Sur l'ensemble de la parcelle, nous avons pu observer :

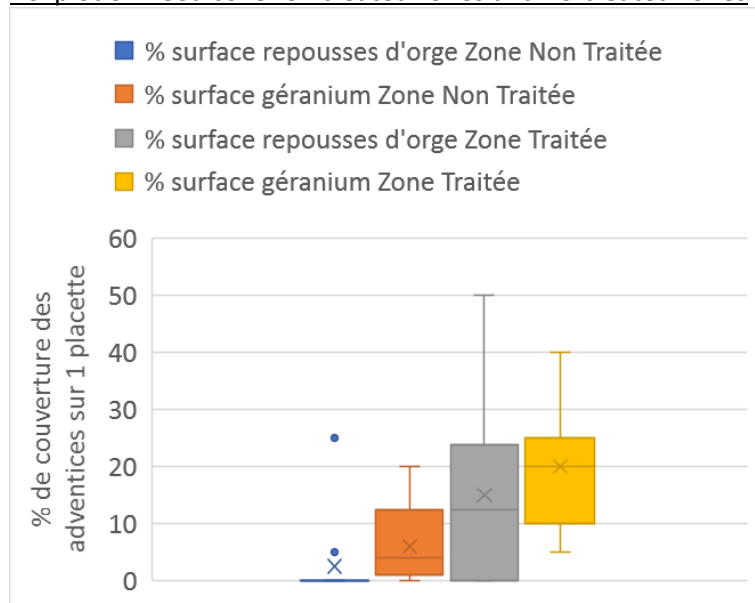
- 3 zones de petite taille (de l'ordre de 10 m²) et une zone plus étendue que l'on peut considérer comme « faux négatifs ». Elles n'ont pas été traitées alors qu'elles étaient infestées ; on soupçonne un problème de commande de la rampe (déclenchement trop tardif).
- une zone « faux positif » qui a été traitée alors que cela ne paraissait pas nécessaire selon la cartographie du drone ; l'effet des recouvrements entre *buffers* et à la temporisation des ouvertures de tronçons en est sûrement la cause. Ceci ne semble pas dû au paramétrage car seule une zone a été affectée.

Le tableau IV et la figure 5 montrent que, globalement, les zones traitées sont plus infestées d'adventices que les zones non traitées, ce qui justifie le traitement.

Tableau IV : Moyenne des pourcentages de couverture du sol en adventices avant que l'herbicide n'agisse ; weed cover (%) before the herbicide action

% de couverture moyen	Repousses d'orge	Géranium	Présence d'une ou deux espèces selon les endroits
zones traitées	15	20	
zones non traitées	2	6	

Figure 5 : Boîte à moustache représentant la distribution des effectifs des placettes selon les niveaux de % de couverture des adventices dans les zones traitées d'une part et non traitées d'autre part ;
Boxplot of weed cover on treated zones and no-treated zones



Bilan des efficacités herbicides observées et note de satisfaction sur les 4 zones :

L'efficacité calculée est de 97 % sur graminées et de 81 % sur géraniums. Lors du traitement, les géraniums étaient pour 50% au stade plantule et pour 50% au stade 4-6 feuilles. La note de satisfaction a été réalisée le 27 mars 2019 au stade D2 du colza. Pour la moitié de la partie basse de la parcelle, une note de satisfaction de 7 est donnée et pour la partie haute de l'essai une note de satisfaction de 6 est donnée. Les repousses d'orge de printemps ont très bien été gérées par le désherbage ; en revanche pour les géraniums, malgré une bonne efficacité du désherbage, il reste des zones avec beaucoup de géraniums, mais ils n'ont pas pénalisé la faisabilité de la récolte.

Bilan sur le gain environnemental lié à la réduction de la surface traitée :

Cette parcelle a présenté un taux de couverture en adventices tout à fait significatif avec une répartition plutôt homogène. Cela explique une diminution de la surface traitée plutôt limitée (18 % par rapport à un traitement « classique » sur la totalité de la parcelle). Ceci étant, la technique a pu être mise à l'épreuve en situation non favorable.

DISCUSSION

Si la chaîne des étapes de réalisation de cette technique de pulvérisation a pu être réalisée jusqu'au bout dans notre expérimentation, des points d'amélioration ont pu être relevés.

Le drone n'est pas en mesure de détecter les adventices au stade cotylédons en train de lever, compte-tenu de la résolution d'acquisition du drone. Les adventices doivent être suffisamment développées pour être détectées. Au vu de la technologie, il paraît difficile d'améliorer ces éléments à court terme. Néanmoins, l'augmentation de la résolution serait intéressante pour améliorer notre précision pour définir les zones à traiter et affiner le positionnement des lignes de culture. En effet, le risque

actuellement est de détecter seulement les zones très sales (avec adventices très développées ou taux de couverture important).

Les graminées étaient elles aussi détectées alors que ce n'était pas la flore d'intérêt. Lors de la détection, deux types d'erreurs sont à considérer : la sous-détection et la surdétection des adventices (Louargant, 2016).

Afin que les zones traitées restent pertinentes, la parcelle le jour du traitement doit ressembler à la carte réalisée par le drone ; autrement dit le temps entre le vol et le traitement doit être court pour que la configuration de l'infestation ne change pas entre temps. Ainsi, le service doit être réactif après le vol de drone et fournir une carte de localisation rapidement (i.e. en 3-4 jours par exemple (Louargant, 2016)). La mise en pratique nous a montré qu'il n'est pas facile d'avoir ce niveau de réactivité. La mise au point de la carte a nécessité différents échanges qui ont demandé quelques jours et du temps a également été nécessaire entre le moment où la carte était disponible et la pulvérisation possible selon les conditions météorologiques, soit au total une quinzaine de jours environ.

Pour juger de la pertinence des zones de préconisation de traitement retenues, il aurait été intéressant de confronter les résultats obtenus grâce à la prise d'image par drone aux relevés de flore sur des placettes repérées.

Par ailleurs, certaines caractéristiques du matériel doivent être prises en compte lors de la création de la carte de préconisation. Parmi celles-ci, le décalage GPS entre la carte de préconisation et le positionnement GPS (Louargant, 2016). De plus, un test avec un exemple de carte lisible fournie par le constructeur de la console serait une assurance pour la réalisation.

La proposition de seuils afin de traduire des taux d'infestation en niveaux de dangerosité pour la culture (e.g. infestation faible, moyenne, importante), permettrait de laisser le choix de traiter ou non à l'agriculteur. Si des seuils sont proposés, ceux-ci devront être adaptés au type d'adventice, et choisis conjointement avec le technicien gérant la parcelle (Louargant, 2016). Cela pourrait également être discuté et décidé à l'échelle de la petite région.

Enfin, la carte de préconisation résultante est dans notre cas composée de peu de zones à ne pas pulvériser. Cela peut atténuer l'intérêt économique et environnemental du service. En effet, l'infestation de cette parcelle s'est révélée assez homogène, ne laissant pas beaucoup de grandes zones exemptes d'adventices. Ce n'est sûrement pas le cas « idéal » pour obtenir une rentabilité optimisée de la technique testée. Le cas concret que représente la parcelle d'essai illustre une situation bien réelle qui peut surement se rencontrer assez fréquemment : une infestation assez homogène qui ne justifie pas tant que ça un traitement ciblé sur les tâches d'adventices. C'est pourquoi, le taux de recouvrement et la distribution des adventices seraient à définir, afin de caractériser les situations pour lesquelles cette technologie serait intéressante. La simulation peut-être utilisée pour cela (Villette *et al*, 2019).

CONCLUSION

Cet essai a d'abord montré qu'une solution de traitement ciblé sur les zones infestées à partir de données acquises avec un drone est envisageable pour certaines conditions d'implantation du colza (grand écartement), puisque toute la chaîne logistique a pu être déployée.

A partir de données multispectrales acquises par le drone, les adventices présentes sur l'interang ont bien été identifiées. Un rapprochement avec les placettes de notation a pu être réalisé. Les zones de la parcelle devant faire l'objet d'un traitement herbicide ont alors été cartographiées. Un ajustement avec les caractéristiques du matériel de l'agriculteur a pu être effectué. La carte de traitement a alors été introduite dans la console du pulvérisateur équipée de coupures de tronçons et le traitement ciblé a pu être effectivement réalisé.

Cet essai a également mis en lumière plusieurs éléments restant à perfectionner :

- 1) limiter le temps entre la prise de vue par le drone et le traitement herbicide de façon à positionner le traitement au plus près du vol de drone, prendre en compte les levées d'adventices les plus tardives et profiter des conditions météo optimales pour la pulvérisation dès qu'elles se présentent.
- 2) paramétrer la traduction de la carte de détection en carte d'application pour s'assurer qu'elle soit pertinente, optimisée et compatible avec le fonctionnement du pulvérisateur au champ (format de console, positionnement des coupures de tronçons, érosion des adventices isolées, *buffer* autour des adventices concernées selon le délai de déclenchement et la précision GPS...).

Pour améliorer les méthodes d'expérimentation pour la mise en place de ce type de sujet, il est préférable de choisir des parcelles de grande taille afin de :

- augmenter le nombre des déclenchements ou arrêts de la pulvérisation
- augmenter la probabilité d'avoir des surfaces infestées d'adventices assez grandes pour vérifier la précision des contours proposés
- obtenir des volumes d'eau et de produit plus facilement quantifiables (jauge du pulvérisateur trop imprécise pour les faibles volumes).

Un test à plus large échelle permettrait d'affiner le domaine de validité de l'algorithme (stade, écartement, niveau d'enherbement) et d'industrialiser à moyen terme cette solution si elle s'avère pertinente.

Il reste également à caractériser les modes de conduite et les situations au champ pour lesquels la modulation réalisée de cette façon présente un intérêt économique pour l'agriculteur.

BIBLIOGRAPHIE

- Brown R. B., Steckler J.-P. G. A., 1995 - Prescription maps for spatially variable herbicide applications in no-till corn. Transactions of ASAE 38(6) : 1659-1666.
- Eurostat, 2018 - « Agri-environmental indicator - consumption of pesticides »
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_consumption_of_pesticides#Further_Eurostat_information
- Jones G., Gée C., and Truchetet F., 2007 - Modélisation de scènes agronomiques pour évaluer les performances d'algorithmes de discrimination d'adventices, Proceedings de la 20^{ième} Conférence du COLUMA- Journées Internationales sur la lutte contre les Mauvaises Herbes, Dijon, France, 8-10 décembre.
- Louargant M., 2016 - Proxidétection des adventices par imagerie aérienne : Vers un service de gestion par drone. Thèse. Université de Bourgogne, Dijon. 238 pages.
- Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015 - "PLAN ECOPHYTO II."
- Oebel H., et Gerhards R., 2005. Site-specific weed control using digital image analysis and georeferenced application maps : on-farm expériences. Fifth European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden.
- Rasmussen J., Nielsen J., Garcia-Ruiz F., Christensen S., et Streibig J.-C., 2013 - Potential uses of small unmanned aircraft systems (UAS) in weed research. Weed Research 53, 242-248.
- Rodriguez A., Vacher C., Quilliot E., Guillemin JP., Munier-Jolain N., 2012 – Guide méthodologique de suivi de la flore adventice. RMT Florad.
- Villette S., Maillot T., Douzals J.-P., 2019 - Herbicide site specific spraying: use of simulations to study the impact of section width. 3rd RDV Techniques AXEMA February 23, 2019, SIMA, France.
- Vioix J.-B., 2004 - Conception et réalisation d'un dispositif d'imagerie multispectrale embarqué : du capteur aux traitements pour la détection d'adventices. Thèse. Université de Bourgogne, Dijon. 233 pages.
- Vioix J.-B., Douzals J.-P., et Truchetet F., 2004 - Aerial detection and localization of weed by using multispectral and spatial approaches. In "AgEng2004, European Society of Agricultural Engineers", Leuven, Belgium.