

**AFPP – 23<sup>e</sup> CONFÉRENCE DU COLUMA**  
**JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES**  
**DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016**

**I-WEED ROBOT : UN OUTIL POUR L'ETUDE DE POPULATION DE PLANTES ADVENTICES**

T. MAILLOT <sup>(1)</sup>, C. GEE <sup>(1)</sup>, B. GOBIN <sup>(2)</sup>, S. VILLETTE <sup>(1)</sup>, J.-B. VIOIX <sup>(3)</sup>, G. JONES <sup>(1)</sup>, J.-N. PAOLI <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France  
{thibault.maillot ; christelle.gee ; sylvain.villette ; gawain.jones ; jean-noel.paoli}@agrosupdijon.fr

<sup>(2)</sup> Société SAT-INFO, 71530 Fragnes, France  
benoit.gobin@sat-info.fr

<sup>(3)</sup> LE2I, UMR6306 (CNRS), University of Bourgogne Franche-Comté, Route des plaines de l'Yonne,  
Auxerre, France  
jean-baptiste.vioix@iut-dijon.u-bourgogne.fr

**RÉSUMÉ**

L'I-Weed robot est une petite plateforme mobile autonome autoguidée dont l'objectif est de caractériser le végétal dans l'inter-rang d'une culture de maïs en vue d'une pulvérisation localisée : la pulvérisation est effectuée seulement là où une plante adventice est détectée. Cet article présente le fonctionnement du robot et a pour but d'évaluer expérimentalement la capacité d'un système WeedSeeker (Trimble) à cartographier les plantes adventices ; ce système étant embarqué sur l'I-Weed robot. Les résultats sont comparés à ceux issus de l'imagerie, servant de vérité terrain. Après analyse d'une matrice de confusion, il est établi que ce système est capable, à 73 %, de correctement géolocaliser les plantes, permettant ainsi d'assurer une pulvérisation localisée.

Mots-clés : plantes adventices, robot, autoguidage, cartographie, pulvérisation localisée.

**ABSTRACT**

The I-Weed robot is a small autonomous platform that aims to characterize the vegetation in an inter-row maize crop for a spot spraying: spraying is done only where a weed is detected. This article presents how the robot works and aims to experimentally evaluate the ability to map weeds from a WeedSeeker system (Trimble) embedded on the I-Weed robot. The results are compared to those from an imaging system, used as ground truth. After analyzing a confusion matrix, it reveals that the system is able to correctly geotag plants at 75 % and is ready for a spot spraying.

Keywords: weeds, robot, automatic guidance, mapping, spot spraying.

## I INTRODUCTION

Face à des mesures environnementales européennes visant à préserver l'environnement, la réduction des intrants de synthèse (engrais, produits phytopharmaceutiques, ...) est un enjeu majeur pour l'exploitant agricole. La gestion des plantes adventices est fortement concernée par ces mesures et de nombreuses recherches sont donc menées pour les localiser et les traiter.

Afin de répondre à ces contraintes, nous travaillons sur une solution en temps réel de désherbage chimique localisé en pulvérisant l'herbicide uniquement sur les plantes adventices.

Lors de précédents travaux, nous avons présenté un robot de désherbage localisé, à motorisation électrique et guidé par GPS : l'I-Weed robot (Gée et al., 2013). Durant cette étude, l'algorithme de guidage avait été testé au moyen de simulations.

Avant d'effectuer une pulvérisation localisée, il faut être en mesure de détecter, voire cartographier, les plantes adventices. L'objectif principal de cet article est de présenter et d'évaluer expérimentalement la précision d'un système autonome de détection, basé sur le robot I-Weed.

Ce système a été testé au début de l'été 2016 sur une culture de maïs dédiée. Les résultats de détection, dans l'inter-rang, obtenus par l'utilisation du dispositif Weedseeker sont comparés à ceux déduits d'images acquises via un indice agronomique, *ExG – ExR* (Meyer & Neto, 2008).

## II MATERIEL ET MÉTHODE

### II.1 LA PARCELLE D'EXPERIMENTATION

Des expériences de terrain ont été menées sur une parcelle de 120 m<sup>2</sup> au sein des parcelles pédagogiques d'AgroSup Dijon, institut national supérieur des sciences agronomiques, de l'alimentation et de l'environnement. Le maïs a été planté mi-juin avec un écartement entre les rangs de 0,75 m. Un désherbage mécanique a été effectué après levée, au stade 3-4 feuilles. Les expérimentations ont été faites au stade 4-6 feuilles.

Les résultats présentés sont issus de 24 passages dans 3 inter-rangs différents de 12 m de longueur.

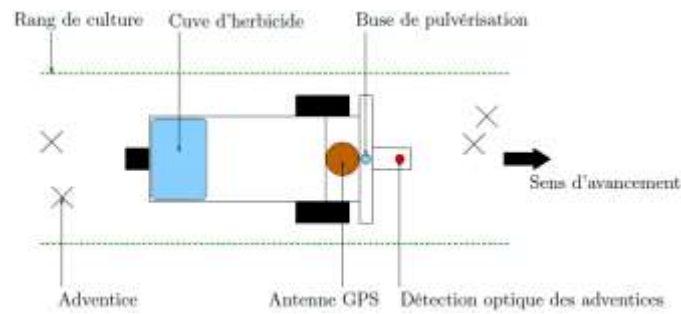
### II.2 LE SYSTEME AUTONOME DE CARTOGRAPHIE DES ADVENTICES

L'I-Weed robot est une plateforme motorisée de taille réduite, conçue pour se mouvoir dans les champs, entre les rangs de semis de cultures sarclées avec écartement de 75 cm, et effectuer de manière autonome une tâche de désherbage chimique localisé (Figure 1). La plateforme est munie de deux roues motrices à l'avant, assurant la traction et la direction du robot, ainsi que d'une roue folle à l'arrière. Cette architecture lui confère une bonne maniabilité et permet, par exemple, de suivre des virages serrés, ce qui facilite les manœuvres en bouts de champ. La hauteur de garde du robot est de 24 cm et ses dimensions sont de 60 cm de large et 80 cm de longueur ce qui lui permet de se déplacer dans l'entre-rang d'une culture de maïs.

La motorisation est assurée par deux motoréducteurs d'une puissance nominale de 70 W, reliés aux roues motrices par une transmission à chaîne, de rapport de transmission unitaire. La motorisation étant électrique, le robot est équipé de deux batteries (12 V, 24 Ah) qui assurent une autonomie d'une demi-journée, environ. La vitesse de travail du robot est comprise entre 1 et 2 km/h.

Il est également équipé d'un système de pulvérisation composé d'une cuve contenant l'herbicide, d'une capacité de 15 litres, et d'un WeedSeeker incluant un capteur optique et une buse de pulvérisation.

Figure 1 : Schéma de l'I-Weed robot, vue de dessus  
(Schematic top view of the I-Weed robot)



### II.2.a La gestion du déplacement

Ce robot est actuellement pilotable selon deux modes : par radiocommande ou par GPS. La radiocommande permet à l'opérateur de guider le robot à l'endroit souhaité dans la parcelle. Ensuite, le mode guidage par GPS permet de faire évoluer le robot dans la parcelle, en toute autonomie.

Le robot est guidé par un GPS de haute précision (RTK, précision de 2 cm) grâce notamment à un signal délivré par la société Sat-Info.

La gestion du déplacement de l'I-Weed est basée sur le contrôleur ArduPilot (ArduPilot Dev Team, 2016) (Figure 2). Ce contrôleur utilise une architecture de régulation à base de correcteur proportionnel-intégral-dérivé (contrôleur PID), qui ajuste la vitesse et l'orientation du robot à partir de sa position réelle et de la consigne (un point de passage géolocalisé que le robot doit atteindre). Cette consigne dépend de la trajectoire que doit décrire le robot. Cette dernière est soit stockée préalablement dans une zone mémoire du contrôleur, soit envoyée par l'utilisateur via un réseau sans-fil : l'I-Weed robot a son propre réseau Wifi par lequel il peut envoyer et recevoir des données. Les informations ainsi reçues sont transmises au régulateur via le logiciel MAVProxy.

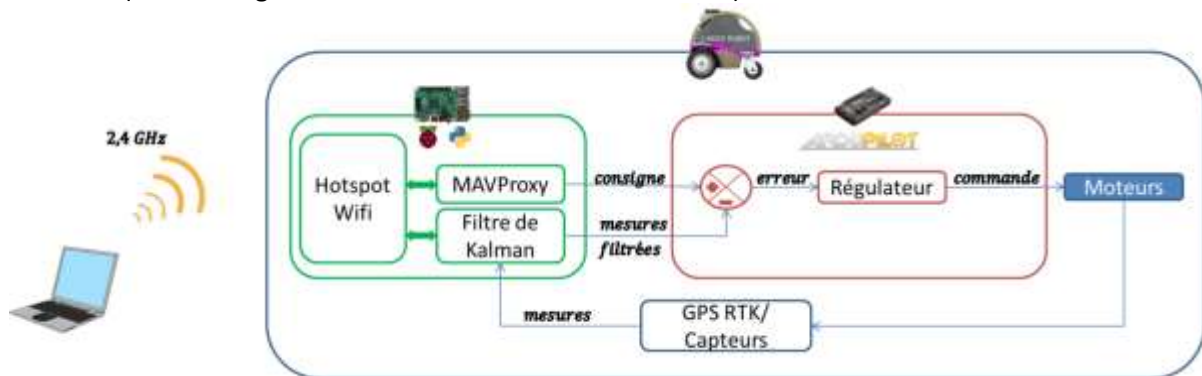
Le guidage du robot est d'autant plus précis que les données provenant des capteurs de positions (GPS, accéléromètre, ...) le sont aussi. Afin d'améliorer le signal GPS, nous utilisons un filtre de Kalman (Boizot et al., 2007; Kalman, 1960) pour optimiser la qualité de l'information de positionnement, qui peut être bruitée.

Comme le filtre de Kalman doit gérer des données continues (la position du robot évolue continûment avec le temps) et discrètes (le signal GPS fournit des informations de positionnement à une fréquence de 10 Hz), nous avons choisi d'utiliser un filtre de Kalman continu-discret. Un exemple d'application d'un tel filtre est décrite dans : *A Real-Time Adaptive High-Gain EKF, Applied to a Quadcopter Inertial Navigation System* (Sebesta & Boizot, 2014). Sur l'I-Weed, c'est un Raspberry Pi (un ordinateur compact équipé d'un processeur ARM) qui a la charge de :

1. Récupérer l'information contenue dans la trame GPS NMEA obtenu à partir du récepteur GPS,
2. Appliquer le filtre de Kalman,
3. Envoyer le signal corrigé au contrôleur ArduPilot.

Durant les expérimentations, la trajectoire de consigne fournie au robot est une ligne droite, passant par le milieu de l'inter-rang de maïs. La précision de positionnement est évaluée en termes de moyenne et d'écart-type des erreurs de positionnement des trajectoires effectuées par le robot, dans l'inter-rang. Les erreurs sont obtenues en superposant et en comparant la trajectoire du robot à une image géoréférencée de l'inter-rang.

Figure 2 : Architecture de la régulation du déplacement de l'I-Weed robot  
(Position regulation architecture of the I-Weed robot)



## II.2.b Le système de cartographie de plantes adventices embarqué

Un capteur optique couplé au système de localisation permet de cartographier la répartition des plantes adventices dans la parcelle de maïs.

Ce système de cartographie est composé de trois éléments :

- Un capteur optique : celui inclus dans le WeedSeeker de Trimble, qui est un capteur optique actif disposant de sa propre source lumineuse,
- Un récepteur GPS RTK,
- Une carte électronique permettant l'acquisition et le traitement des données.

Le capteur optique du WeedSeeker est capable de distinguer les plantes vertes du sol en utilisant leurs propriétés spectrales. Pour cela, il utilise sa propre émission lumineuse et mesure la réflexion spectrale dans le rouge et le proche infrarouge pour calculer un indice de végétation. Ce capteur a été étudié dans : *Evaluating Commercially Available Precision Weed Spraying Technology for Detecting Weeds in Sugarcane Farming Systems* (Rees et al., 2013). Dans ce papier, les auteurs ont notamment testé ses paramètres de sensibilité et proposent, en fonction du type de sol, des paramètres de configuration optimaux.

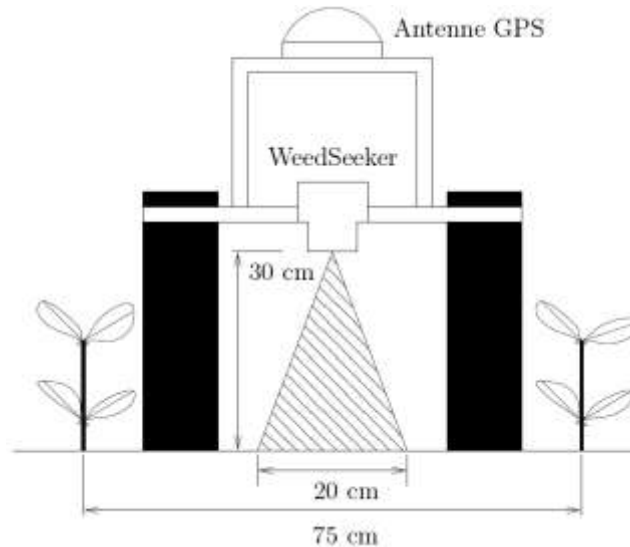
La qualité de ce capteur optique, pour la réalisation de carte de répartition d'adventices, a été étudiée dans : *Accuracy and Feasibility of Optoelectronic Sensors for Weed Mapping in Wide Row Crops* (Andújar et al., 2011). Dans cet article, les auteurs ont utilisé un système composé de trois WeedSeeker, qui permet d'observer trois inter-rangs de maïs. Le système d'acquisition utilisé dans notre travail est similaire. La principale différence est que le capteur fixé sur l'I-Weed robot se déplace dans la parcelle, en parfaite autonomie.

Sur l'I-Weed, le positionnement du WeedSeeker est tel que la zone de détection (longueur 20 cm x largeur 2 cm à 30 cm de hauteur) de son capteur optique soit centrée sur le milieu de l'inter-rang (Figure 3). La calibration et la configuration du capteur optique sont effectuées grâce au panneau de contrôle du WeedSeeker, sur sol nu. Au cours des essais, plusieurs valeurs de sensibilité du capteur ont été testées (il existe 10 valeurs de sensibilité configurables à partir du panneau de contrôle). Pour ces expérimentations, seules les sensibilités 5 à 10 ont été prises en compte : les valeurs plus faibles entraînent un comportement trop sensible du WeedSeeker impliquant un nombre trop important de « fausse détection » de plantes (*i.e.*, des faux positifs).

Pour chaque plante détectée, le WeedSeeker émet un signal électrique qui est récupéré par une carte d'acquisition, puis géolocalisé grâce au signal GPS RTK disponible sur l'I-Weed. Ces données sont acquises par un Raspberry Pi 3 (processeur quad-core ARMv8 cadencé à 1.2GHz), à une fréquence d'échantillonnage de 10 Hz, et stockées sur une carte mémoire SD.

Le post-traitement des données (la construction de la carte des adventices) est effectué via le langage de programmation Python. Ce post-traitement permet aussi l'exportation des points géolocalisés afin d'être visualisés avec un logiciel de SIG, comme QGIS.

Figure 3 : Position du WeedSeeker et de l'antenne GPS par rapport aux rangs de culture ainsi que la zone de détection du capteur, localisée au milieu de l'inter-rang  
(WeedSeeker and GPS antenna position in relation to the crop rows and the sensor detection area, located in the middle of the inter-row)



### II.3 ANALYSE DE LA FIABILITE DE LA CARTOGRAPHIE

#### II.3.a L'acquisition d'images de référence

Afin de valider les résultats des expérimentations avec le capteur optique du WeedSeeker, des images de la parcelle ont été prises, le jour même, avec un appareil photo numérique disposant d'un capteur de 3264x1840 pixels et équipé d'un objectif d'une longueur focale de 28 mm.

Pour chaque inter-rang, une série de 50 photographies a été prise de manière à couvrir une surface de 0,4 m<sup>2</sup> par cliché (0,5 m x 0,8 m - distance parallèle x distance perpendiculaire à la direction du déplacement), avec un recouvrement d'environ 40 % entre deux images successives. Chaque série de photographies est géolocalisée en utilisant des points de repère situés dans l'image, dont les coordonnées sont connues grâce au GPS RTK. Un mètre et une règle sont disposés le long et perpendiculairement au rang, respectivement, afin d'obtenir un repère de distance sur chaque image.

Une fois les photographies géolocalisées, nous avons utilisé un algorithme basé sur la transformation SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) (Lowe, 2004) pour détecter les similitudes entre les images puis les combiner entre elles afin de construire une image globale par inter-rang de culture. Cette reconstruction est effectuée via le langage de programmation Python et la librairie OpenCV. Un exemple de résultat de reconstruction d'un inter-rang est présenté en Figure 4.

Figure 4 : Image reconstruite d'un inter-rang de maïs  
(Reconstructed picture of an inter-row maize crop)



### II.3.b Analyse des images de référence

Afin de détecter les plantes, dans la zone centrale de 20 cm (la zone de détection du Weedseeker), l'image représentant l'inter-rang est d'abord rognée. Ensuite, nous la binarisons (la couleur blanche est associée à la présence d'une plante) en utilisant l'indice  $ExG - ExR$  qui a montré de bonne capacité de discrimination (Meyer & Neto, 2008). Il représente la différence entre l'indice Excess Green ( $ExG = 2g^* - r^* - b^*$ ) et l'indice Excess Red ( $ExR = 1.4r^* - b^*$ ). Chaque indice est calculé à partir des coordonnées chromatiques qui sont exprimées à partir des valeurs des canaux rouge (R), vert (G) et bleu (B) de chaque pixel de l'image :

$$r^* = \frac{R}{R + G + B} ; g^* = \frac{G}{R + G + B} ; b^* = \frac{B}{R + G + B}.$$

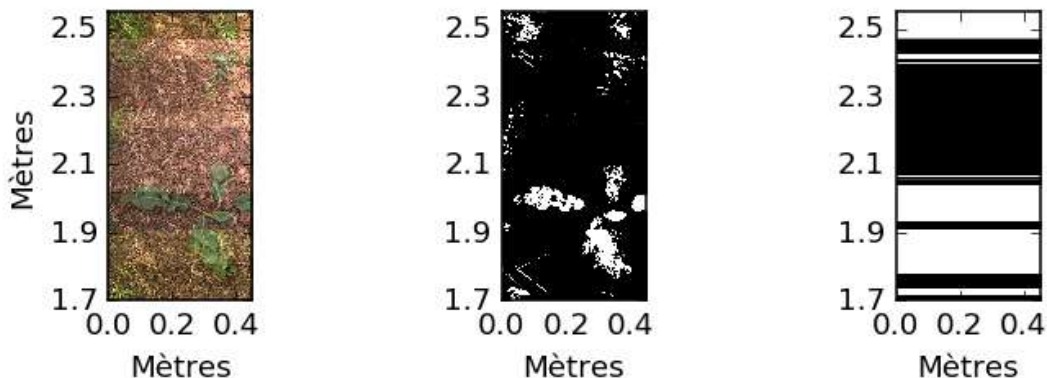
Le seuil utilisé afin de binariser l'image brute est proche de zéro. En effet, pour cet indice, les valeurs des pixels représentant des plantes sont positives et les valeurs des pixels restant, représentant le sol, sont négatives (Meyer & Neto, 2008). Un exemple de binarisation d'une image brute, utilisant cet indice, est représenté en Figure 5.

À partir de cette binarisation, un pourcentage d'infestation est calculé pour chaque ligne de l'image (*i.e.*, pour chaque bande de pixels perpendiculaire au rang), ce pourcentage correspond au ratio du nombre pixels blancs par rapport au nombre de pixels noirs. En utilisant un résultat présenté par Donald (2006), nous considérons que pour chaque bande perpendiculaire au rang, seules celles qui ont un taux d'infestation supérieur à 15 % nécessitent un traitement herbicide. En effet, dans ces travaux, les auteurs ont constaté qu'à partir de ce seuil, le rendement du maïs est grandement diminué à cause de la compétition entre les adventices et la culture.

Cette dernière information du seuil d'infestation produit une information binaire (1 si le taux est supérieur à 15%, 0 sinon) qui est considérée comme la « vérité terrain » et permet de comparer l'infestation réelle à celle estimée à partir de la cartographie construite grâce au système présenté précédemment. Une table de correspondance (LUT) est ainsi créée. Elle servira par la suite à l'ouverture ou non de la buse pour une pulvérisation localisée.

Cette comparaison est effectuée en analysant la sensibilité, la spécificité et la précision globale de la détection des plantes adventices, via une matrice de confusion. La précision globale est la trace de la matrice de confusion. La sensibilité (resp. spécificité) de la détection correspond au pourcentage que le système a de signaler une plante adventice (resp. une absence), quand il en existe réellement une (resp. quand il n'y en a pas). Afin d'établir cette matrice de confusion, nous utilisons la librairie Pandas de Python.

Figure 5 : Extrait d'une image globale d'un inter-rang de maïs (à gauche), de sa binarisation via un seuillage sur l'indice ExG-ExR (au centre) et de la table de correspondance associée (à droite) (Sample of an reconstructed inter-row image (left), its binarization via thresholding on the ExG-ExR index (center) and the associated Look-Up Table (right))



### III RESULTATS ET DISCUSSION

#### III.1 PRECISION ET REPETABILITE DE LA TRAJECTOIRE DU ROBOT

Afin de vérifier la répétabilité et la précision du placement du WeedSeeker, fixé sur l'I-Weed robot, nous avons effectué 24 passages, dans 3 inter-rangs de 12 m (8 passages par inter-rang). Chaque trajectoire a été analysée. La moyenne, l'écart-type ainsi que l'étendue des erreurs de positionnement sont représentés dans le Tableau I. Ces erreurs de positionnement sont obtenues en superposant, puis en calculant l'écart entre la trajectoire du robot (obtenue par le GPS) et l'image de l'inter-rang considéré (la trajectoire doit correspondre à la droite passant par son milieu).

D'après ces résultats, nous obtenons une bonne précision et une bonne répétabilité globale de la trajectoire suivie par le robot (l'erreur moyenne de positionnement est de l'ordre de 2 à 3 cm). Cette précision est principalement due au signal GPS RTK. Nous remarquons aussi que l'étendue des erreurs est d'une vingtaine de centimètre. Ces écarts sont la cause de perturbations extérieures qui ont amené le robot à dévier de sa trajectoire : nous avons dû, pour une des trajectoires de l'inter-rang n°3, reprendre manuellement le contrôle du robot pour éviter de détériorer la culture.

Ainsi, nous obtenons un placement correct du WeedSeeker mais il subsiste quelques imprécisions dans la trajectoire suivie, ce qui risque de provoquer des erreurs sur la détection des plantes et donc leur pulvérisation. C'est pourquoi certains travaux doivent encore être menés afin d'améliorer l'asservissement du robot. Nous pourrions utiliser certaines méthodes présentées dans *RAVON—the Robust Autonomous Vehicle for off-Road Navigation* (Armbrust et al., 2009) et *Review of Research on Agricultural Vehicle Autonomous Guidance* (Li et al., 2009), comme un guidage par caméra, afin d'augmenter la précision de la localisation par rapport à l'inter-rang.

Tableau I : Analyse de la dispersion des erreurs de positionnement des 24 passages dans 3 inter-rangs différents  
(Dispersion analysis of positioning error for 24 paths in 3 different rows)

	Inter-rang n°1	Inter-rang n°2	Inter-rang n°3	Moyennes
<b>Moyenne (m)</b>	-0,03	-0,02	0,01	-0,01
<b>Écart-type (m)</b>	0,03	0,03	0,06	0,04
<b>Étendue (m)</b>	0,10	0,13	0,26	0,16

#### III.2 ANALYSE DU SYSTEME DE CARTOGRAPHIE

La comparaison entre les données obtenues avec le système de cartographie et la « vérité terrain », composée de photographies, montre des résultats assez concluants. En effet, d'après le Tableau II, qui présente les résultats issus du détecteur d'adventices (à partir de matrices de confusion), nous constatons que pour le réglage de sensibilité *Sens. 7* du WeedSeeker, nous obtenons un bon compromis entre la sensibilité moyenne et la spécificité moyenne des essais. Cette configuration avait déjà été remarquée pour sa capacité à détecter les plantes en champ (Rees et al., 2013; Sui et al., 2008).

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans *Accuracy and Feasibility of Optoelectronic Sensors for Weed Mapping in Wide Row Crops* (Andújar et al., 2011) et permettent donc de déduire que les erreurs de positionnement dues aux algorithmes de contrôle du robot influencent peu les résultats de la cartographie de population d'adventices.

La précision globale obtenue durant ces tests est comparable à d'autres travaux utilisant des capteurs optiques (Peña et al., 2013; Burgos-Artizzu et al., 2012) ou la perception humaine (Andújar et al., 2010).

En moyenne, sans prendre en compte la configuration *Sens. 10* (elle engendrait un nombre trop important de faux négatifs), nous obtenons 73 % de sensibilité et 85 % de spécificité. La sensibilité

est intéressante à étudier puisqu'elle correspond au nombre de plantes correctement détectées et donc traitées. La spécificité, quant à elle, indique la capacité du système à éviter les faux positifs (sol ou résidus considérés comme une plante). Dans le cas d'une pulvérisation localisée, une valeur de spécificité élevée indique une pulvérisation idéale, uniquement ciblée sur les plantes adventices ; c'est donc une économie de produits phytopharmaceutiques mais aussi une réduction de l'impact environnemental.

Tableau II : Analyse de la sensibilité et de la spécificité du système de cartographie des adventices (Sensibility and specificity analysis of the mapping system)

<b>Configuration</b>	<b>Sensibilité moyenne (%)</b>	<b>Spécificité moyenne (%)</b>	<b>Précision globale (%)</b>
<i>Sens. 5</i>	0,79	0,81	0,81
<i>Sens. 6</i>	0,77	0,82	0,82
<i>Sens. 7</i>	0,78	0,83	0,82
<i>Sens. 8</i>	0,66	0,88	0,87
<i>Sens. 9</i>	0,65	0,89	0,84
<i>Sens. 10</i>	0,44	0,92	0,84

#### IV CONCLUSION

Cette première étude nous a permis de mettre en place un protocole de test d'outils de détection de plantes adventices via l'utilisation de la plateforme I-Weed robot. Des premiers essais ont été effectués pour valider le fonctionnement du WeedSeeker à l'aide d'une comparaison avec un système d'imagerie.

Le système de cartographie présenté a produit des résultats concluants pour une parcelle de maïs. Des tests supplémentaires doivent être menés afin d'augmenter la précision des trajectoires suivies par le robot qui permettront d'améliorer les résultats de cartographie.

À terme, le robot sera utilisé afin de tester et de comparer, au champ, des algorithmes de détection d'adventices reposant sur le Weedseeker ou l'imagerie permettant ainsi de caractériser une population végétale pour une pulvérisation localisée, pour du phénotypage, etc.

#### V REMERCIEMENTS

Le travail présenté est financé par le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007).

#### VI BIBLIOGRAPHIE

Andújar, D., Ribeiro, A., Carmona, R., Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2010). *An Assessment of the Accuracy and Consistency of Human Perception of Weed Cover: Human Perception of Weed Cover*. *Weed Research*, 50(6), 638–647.

Andújar, D., Ribeiro, Á., Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2011). *Accuracy and Feasibility of Optoelectronic Sensors for Weed Mapping in Wide Row Crops*. *Sensors*, 11(12), 2304–2318.

ArduPilot Dev Team. (2016). *ArduPilot Documentation*. Retrieved July 25, 2016, from <http://ardupilot.org/ardupilot/index.html>

Armbrust, C., Braun, T., Föhst, T., Proetzsch, M., Renner, A., Schäfer, B.-H., et al. (2009). *RAVON—the Robust Autonomous Vehicle for off-Road Navigation*, in: *Proceedings of the IARP*

- international workshop on robotics for risky interventions and environmental surveillance*, (pp. 12–14). Retrieved July 28, 2016, from <http://agrosy.cs.uni-kl.de/fileadmin/Literatur/Armbrust09.pdf>
- Boizot, N., Busvelle, E. & Sachau, J. (2007). *High-Gain Observers and Kalman Filtering in Hard Real-Time*, in: *RTL 9th Workshop*. Retrieved July 25, 2016, from <http://www.lsis.org/busvellee/papers/Boizot.pdf>
- Burgos-Artizzu, X. P., Dollar, P., Ribeiro, A. & Perona, P. (2012). *Real-Time Weed/crop Discrimination through Fast Direct Image Registration*. *First RHEA International Conference on Robotics and associated High-technologies and Equipment for Agriculture*. Retrieved July 28, 2016, from <http://pdollar.github.io/files/papers/RHEA12stabilization.pdf>
- Donald, W. W. (2006). *Estimated Corn Yields Using Either Weed Cover or Rated Control after Pre-Emergence Herbicides*. *Weed science*, 54(2), 373–379.
- Gée, C., Gobin, B., Busvelle, E., Villette, S., Jones, G. & Paoli, J.-N. (2013). *I-Weed Robot : Un robot autoguidé pour un désherbage localisé*. *22e Conférence du COLUMA, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Retrieved July 25, 2016, from <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:261557>
- Kalman, R. E. (1960). *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*. *Journal of basic Engineering*, 82(1), 35–45.
- Li, M., Imou, K., Wakabayashi, K. & Yokoyama, S. (2009). *Review of Research on Agricultural Vehicle Autonomous Guidance*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2(3), 1–16.
- Lowe, D. G. (2004). *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*. *International journal of computer vision*, 60(2), 91–110.
- Meyer, G. E. & Neto, J. C. (2008). *Verification of Color Vegetation Indices for Automated Crop Imaging Applications*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2), 282–293.
- Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., de Castro, A. I., Kelly, M. & López-Granados, F. (2013). *Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images* (O. D. Suarez, Ed.). *PLoS ONE*, 8(10), e77151.
- Rees, S., McCarthy, C., Fillols, E., Baille, C. & Staier, T. (2013). *Evaluating Commercially Available Precision Weed Spraying Technology for Detecting Weeds in Sugarcane Farming Systems*. *Sugar research*. Retrieved July 20, 2016, from <http://elibrary.sugarresearch.com.au/handle/11079/14045>
- Sebesta, K. D. & Boizot, N. (2014). *A Real-Time Adaptive High-Gain EKF, Applied to a Quadcopter Inertial Navigation System*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(1), 495–503.
- Sui, R., Thomasson, J. A., Hanks, J. & Wooten, J. (2008). *Ground-Based Sensing System for Weed Mapping in Cotton*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60(1), 31–38.