

Une pulvérisation localisée par robot

Christelle Gée¹, Ghislain Salis¹, Eric Busvelle², Benoît Gobin¹, Gawain Jones¹, Jean-Noël Paoli¹, Sylvain Villette¹

Résumé. Dans le cadre de la réduction des apports de produits phytosanitaires sur une parcelle cultivée, la gestion localisée des cultures (gestion du désherbage, de l'épandage, de la récolte) nécessite le développement de systèmes innovants et non destructifs. On s'attache ainsi à prévenir les risques de dégradation de l'environnement et à renforcer le caractère durable de ces agrosystèmes. Cela passe en particulier par l'utilisation de machines toujours plus performantes car dotées de technologies innovantes : capteurs, systèmes optiques, systèmes automatisés, systèmes de positionnement par satellites, etc. Pour une pulvérisation localisée, l'utilisation combinée de la vision et de l'informatique se révèle être un précieux procédé qui vise à éliminer une mauvaise herbe identifiée en temps réel. Notre équipe de recherche travaille sur un robot de désherbage chimique localisé. Le projet repose sur la réalisation d'une petite plate-forme mobile autoguidée. Elle devra se déplacer de façon autonome sur des parcelles en suivant par GPS une trajectoire qui lui aura été définie au préalable. La première utilisation d'un tel robot sera pour une pulvérisation localisée : appliquer l'herbicide uniquement sur les adventices. Pour ce faire, nous miniaturiserons le concept de l'ILS (intelligent localized spray) développé par notre équipe pour un pulvérisateur agricole de précision. Il s'agit d'un dispositif de pilotage séquentiel de rampe de pulvérisation par imagerie pour une gestion localisée des adventices.

Mots clés : agroécologie, pulvérisation, robotique, GPS, imagerie

Introduction

Depuis quelques années, les nouvelles technologies, les systèmes de navigation, l'informatique, la robotique sont de plus en plus présents dans le milieu agricole rendant les machines plus sophistiquées et plus intelligentes pour caractériser l'hétérogénéité des parcelles (Pierce et Nowak, 1999 ; Stafford, 2000). Dans ce contexte de réduction des intrants chimiques, il est nécessaire de repenser l'agriculture d'aujourd'hui en développant des outils qui permettent la modulation automatique des apports de produits phytosanitaires sur une parcelle cultivée et d'ajuster la dose aux besoins de la plante.

Parmi les systèmes commercialisés de désherbage localisé, la gestion automatique de la coupe de tronçons d'une rampe de pulvérisation grâce à l'utilisation d'un système de positionnement GPS (global positioning system) s'est standardisée. On notera également l'émergence de systèmes optiques. Couplés à une buse de pulvérisation (i.e. module Weedseeker développé par la Société Trimble), ils permettent de détecter la présence d'adventices et de pulvériser un herbicide spécifiquement sur celles-ci. Ce type de système fonctionne sur l'information spectrale pour détecter la présence de végétation sur sol nu. Ne permettant pas de faire la distinction entre culture et adventices, il est nécessaire de positionner un module par inter-rang. Pour une pulvérisation efficace, il faudra autant de modules que d'inter-rangs à pulvériser. Son principal inconvénient, outre son coût, est la rigidité du système : il est impératif de placer chaque module dans l'entre-rang de la culture car sa faible résolution spectrale ne permet pas la discrimination culture/adventices. Concernant le désherbage mécanique, la Société Garford, présente un système de vision pour optimiser le guidage d'une bineuse.

Les activités de recherche de notre équipe sont axées sur « la réduction des intrants » et plus spécifiquement nous recherchons des solutions innovantes pour augmenter les performances et l'efficacité de machines agricoles tout en intégrant la dimension écologique. Notre activité permet ainsi d'apporter cette dimension « machine » souvent absente du débat politique et scientifique et pourtant indispensable à une production agricole compétitive.

Nous avons axé nos activités sur le traitement d'images en embarquant sur tracteur ou sur drone radiocommandé des systèmes de vision destinés à discriminer les plantes cultivées des adventices (Vioix et al., 2002 ; Vioix, 2004 ; Bossu ; 2007 ; Bossu et al., 2007). Nos travaux ont été récompensés en 2011 par une médaille d'argent au Salon International du Machinisme Agricole de Villepinte pour le développement de l'ILS (intelligent localized spray) conduit en partenariat avec la société Tecnomat. L'ILS est un premier pas vers la modernité annonçant l'agriculture

1 INRA, UMR 1347 Agroécologie INRA/AgroSup Dijon/uB, Pôle ECOLDUR, Equipe Agroéquipements, 26 Bd Docteur Petitjean, F-21000 Dijon, France ; christelle.gee@agrosupdijon.fr

2 CNRS, UMR 6306, Laboratoire Le2i, Site d'Auxerre, Route des Plaines de l'Yonne, F-89000 Auxerre, France

de demain. Une caméra fixée sur l'avant du tracteur permet de discriminer en temps réel les adventices de la culture et du sol pour une pulvérisation localisée (par exemple la bonne dose, au bon endroit et au bon moment). Mieux encore, la robotique se développe de plus en plus pour accompagner l'agriculteur dans des tâches simples et répétitives. C'est dans les bâtiments d'élevage que les premiers robots sont apparus avec les robots de traite puis un robot pousse-fourrage Juno, un robot racleur Discovery ou encore un robot distributeur d'aliment Vector commercialisés par la Société Lely.

Tout laisse à penser que la forte croissance du marché des robots devrait logiquement se confirmer à l'avenir, et démontre que les agriculteurs se laissent séduire par la robotique. Cependant, très peu de produits sont capables d'évoluer en plein champ. Très récemment, la robotique est arrivée en viticulture avec un robot tondeuse proposé soit par la Société Vitirover soit par John Deere (Tango E5). Enfin, concernant le marché du désherbage, la start-up toulousaine 'Naïo Technologies' (Cordelier, 2013) commercialise « Oz », un robot de désherbage mécanique guidé par vision. Concernant la pulvérisation localisée et, qui plus est, guidée par GPS, il n'existe pas de tels robots opérationnels et commercialisés. Néanmoins arriver à moduler les doses de produits phytosanitaires est le nouveau défi de l'agriculture occidentale (pays industrialisés) qui est rendu possible grâce à l'essor de l'informatique et de l'électronique embarquée. La robotique se présente aujourd'hui comme une solution majeure qui doit jouer un rôle important dans cette vision de l'agriculture. Afin de répondre à ces nouvelles contraintes, nous proposons de développer une solution agroécologique : préserver l'environnement en appliquant l'herbicide uniquement sur les adventices, ce qui permettra de diminuer la consommation de produits. A travers cet article nous présentons la réalisation et la conception d'une petite plate-forme mobile guidée par un GPS de haute-précision (RTK -real time kinematic), précision de 2 cm), équipée d'un kit de pulvérisation reposant sur un traitement localisé.

Matériel et Méthodes

Cette plate-forme robotique (**Figure 1**) est guidée par un GPS de haute-précision (RTK). La motorisation est électrique, les batteries assureront une autonomie d'une demi-journée. Le robot se déplace dans l'inter-rang de cultures agricoles et utilise une cuve et un système de pulvérisation sélectif puisqu'en amont de chaque buse est positionnée une électrovanne.

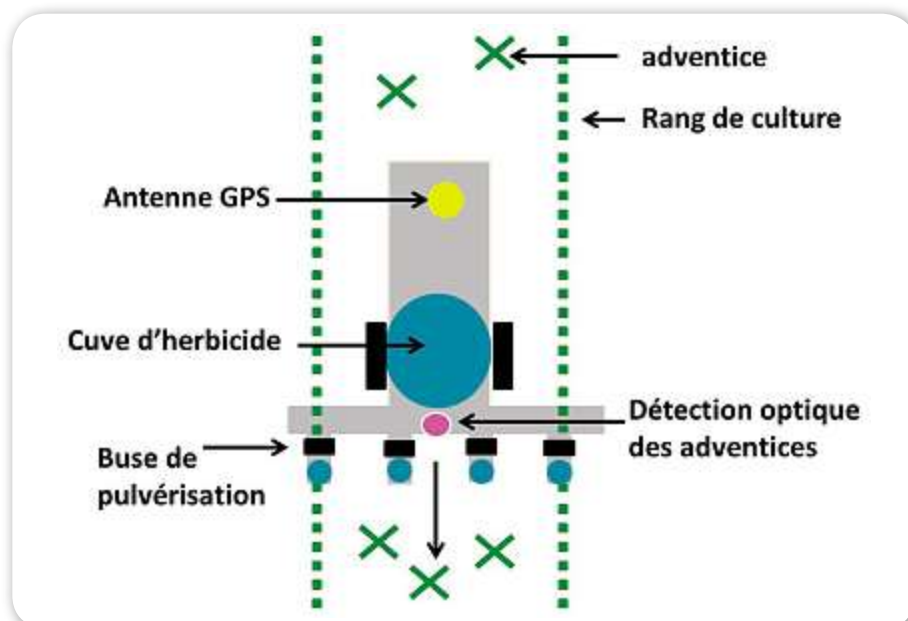


Figure 1. Vue schématique de l'I-Weed Robot au travail.

Le guidage par GPS

Ce robot est actuellement pilotable selon deux modes : radiocommande ou GPS. La radiocommande permet à l'agriculteur de guider le robot jusqu'à la parcelle désirée. Ensuite, il actionne le mode pilotage automatique par GPS pour le guidage du robot dans la parcelle. Ce 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 à Chalon-sur-Saône. Nous avons opté pour un guidage par GPS et non par vision car l'intérêt du GPS est la souplesse du système pour s'adapter à tous les types de situation et de culture. Il suffira d'enregistrer les trajectoires à suivre lors du semis pour qu'I-Weed Robot puisse circuler entre les rangs de la culture en place, et ce quel que soit son type. Il ne sera donc pas nécessaire de développer un algorithme de guidage pour chaque espèce de culture et/ou chaque stade de développement de la culture, ce qui serait indispensable pour un système de guidage par caméra.

Un filtre récursif de Kalman (Kalman, 1960) est utilisé pour optimiser le signal GPS qui peut-être bruité. Les équations de Kalman sont bien connues et peuvent être redécouvertes dans les travaux de Boizot et Busvelle (2007) où d'autres exemples en temps réel sont proposés. Une trajectoire prédéfinie est enregistrée dans une carte SD, ensuite une loi de commande guide le robot entre les rangs de semis jusqu'à ce que le robot arrive en bout de rang (Ortiz et Olivares, 2006 ; Cariou et al., 2009 ; Lenain, 2010). A chaque instant, un correcteur proportionnel-intégral-dérivé (PID controller) ajuste la vitesse et l'orientation du robot à partir de sa position réelle et de sa position théorique (prédéfinie). Nous avons utilisé une carte électronique ARDUINO, permettant de créer des objets électroniques interactifs reposant sur un système open-source. La **Figure 2** résume l'ensemble de ces procédures.

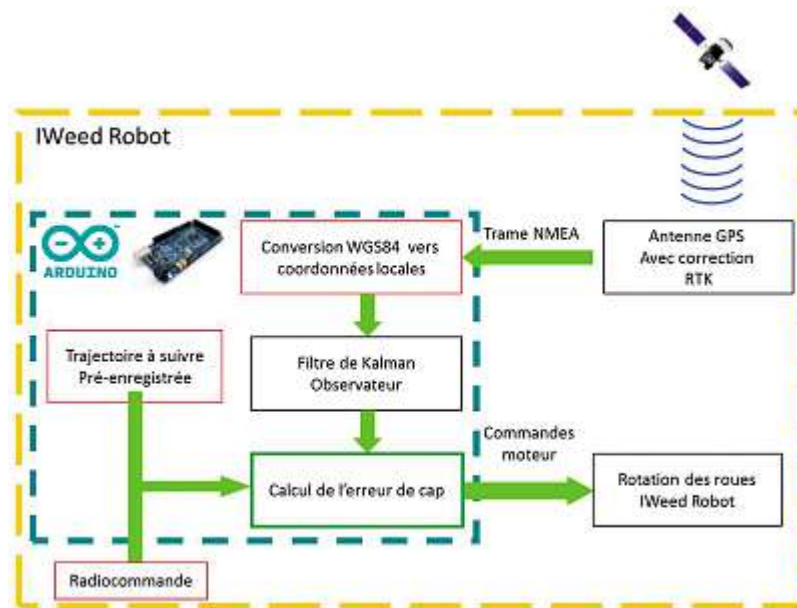


Figure 2. Organigramme général de fonctionnement de l'asservissement de l'I-Weed Robot.

L'utilisation d'un simple PID est suffisante pour travailler en parcelles agricoles puisque dans la plupart des cas, le robot se déplace en ligne droite à vitesse constante. Les trajectoires préenregistrées sont établies à partir de la création d'une droite de référence à partir de deux points prédéfinis manuellement et à partir de la connaissance de l'inter-rang du semis. On peut ainsi déterminer mathématiquement toutes les droites parallèles à droite ou à gauche de la ligne de référence. Après une procédure de demi-tour automatisé, l'algorithme de navigation est capable de déterminer la ligne droite qui lui est la plus proche afin de la suivre.

L'ensemble de ces programmes (filtre de Kalman et PID) permettent de prédire à chaque instant la meilleure position à prendre par le robot ; position déterminée comme étant un compromis entre la position prédéfinie et la position réelle.

La pulvérisation localisée : utilisation d'une caméra

L'I-Weed robot est équipé d'une rampe de pulvérisation où une électrovane est positionnée en amont de chaque buse. Pour l'instant la pulvérisation sur le rang se fera en plein car les algorithmes ne permettent pas de séparer la culture des adventices. En revanche, sur l'inter-rang, nous utilisons une caméra pour réduire les intrants chimiques en reprenant le concept de l'ILS qui repose sur la prise d'image et le déclenchement d'une action de précision. Plus en détail, ce concept se décompose en trois étapes :

- la prise d'images par une caméra monochrome ayant un filtre infra-rouge embarquée à l'avant du robot ;
- l'analyse en temps réel de l'image pour extraire l'information sur les adventices situées dans l'entre-rang. Le traitement de l'image repose dans un premier temps sur l'identification de la végétation du reste de la scène par une approche spectrale. La végétation est identifiée grâce à un signal de réflectance plus élevé dans le proche infra-rouge que celui du sol. Dans un second temps, l'approche spectrale est couplée à une approche spatiale. Par l'utilisation d'une transformée de Hough optimisée (Jones et al., 2010), on identifie les rangs de culture. Ainsi, toute végétation (i.e. culture et/ou adventice) présente dans le rang est alors considérée comme de la culture (**Figure 3**). Cette méthode, qui est en cours d'amélioration, permet actuellement de réaliser une carte de localisation des adventices situées dans l'entre-rang ;
- le désherbage chimique localisé. Une fois la carte d'infestation réalisée, chaque électrovane va être actionnée au bon moment et durant la bonne période.

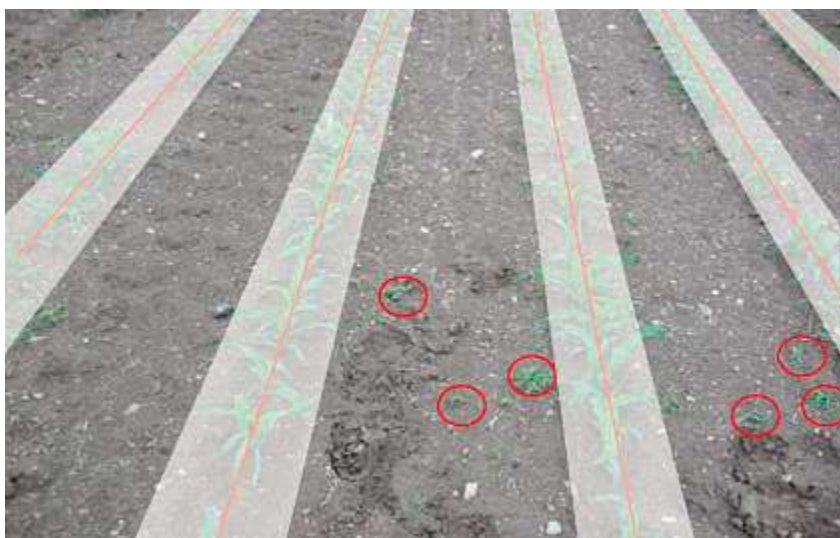


Figure 3. Le traitement d'image pour détecter les adventices dans l'inter-rang d'une culture (crédits photo : C.Gée).

Conclusion

Nous avons présenté un nouveau robot de désherbage localisé qui est électrique et guidé par un système de GPS de haute précision. Le premier marché visé est celui de l'expérimentation végétale, qui est composé d'établissements de recherche mais aussi de sociétés effectuant de la sélection variétale et des instituts techniques. En second lieu, le marché des maraîchers pourrait également être une bonne opportunité. Un prototype est actuellement en cours de réalisation.

Par la suite, après avoir démontré le fonctionnement et l'opérationnalité de la plate-forme en conditions réelles, sur des parcelles cultivées, il sera possible d'embarquer d'autres mini-outils agricoles ou capteurs pour agir localement, uniquement là où le besoin est nécessaire (i.e. désherbage mécanique, greenseeker, weedseeker, etc). Également des capteurs complémentaires pourront être embarqués pour caractériser et analyser la végétation (stress, croissance, etc).



Références bibliographiques

- Boizot N, Busvelle E (2007) Adaptive-gain observers and applications in Nonlinear Observers and Applications, Gildas Besançon (Ed), *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, Vol. 363, Springer.
- Bossu J (2007) Segmentation d'images pour la localisation d'adventices. Application à la réalisation d'un système de vision pour une pulvérisation spécifique en temps réel. Thèse de Doctorat, AgroSup Dijon, Université de Bourgogne.
- Bossu J, Gée C, Truchetet F (2007) Development of a machine vision system for a real-time precision sprayer. Proceedings SPIE 6356, 8th International Conference on Quality Control by Artificial Vision.
- Cariou C, Lenain R, Thuilot B, Berducat M (2009) Automatic guidance of a four-wheel-steering mobile robot for accurate field operations. *J Field Robot*, **26** : 504-518.
- Cordelier J (2013) Bienvenue au pays des robots. *Le Point*, 11avril, **2117** : 1-IV.
- Jones G, Gée Ch, Villette S, Truchetet F (2010) Validation of a crop field modelling to simulate agronomic images. *Optics Express*, Vol.**18**, Issue 10, pp. 10694-10703.
- Kalman RE (1960) A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transaction of the ASME-J Basic Eng* **82** : 35-45.
- Lenain R, Thuilot B, Cariou C, Martinet P (2010) Mixed kinematic and dynamic sideslip angle observer for accurate control of fast off-road mobile robots. *J Field Robot* **27** : 181-196. DOI : 10.1002/rob.20319
- Ortiz J M, Olivares M (2006) A vision based navigation system for an agricultural field robot. Conference : *3rd IEEE Latin American Robotics Symposium*, pp.164-172.
- Pierce FJ, Nowak P (1999) Aspects of precision agriculture. *Adv Agron*, **67** : 1-85.
- Stafford JV (2000) Implementing precision agriculture in the 21st Century. *J Agric Eng Res*, **76** : 267-275.
- Vioix JB, Douzals JP, Truchetet JP, Assémat L, Guillemin JP (2002) Spatial and spectral methods for weed detection and localization. *EURASIP J Appl Signal Process* **2002** : 679-685.
- Vioix JB (2004) Conception et réalisation d'un dispositif d'imagerie multispectrale embarqué : du capteur aux traitements pour la détection d'adventices. Thèse de Doctorat, AgroSup Dijon, Université de Bourgogne.