

La robotique agricole : l'essor de nouveaux outils pour l'agroécologie

Accompagnant la révolution numérique de l'agriculture, la robotique agricole connaît un nouvel essor, comme en témoignent les récents progrès réalisés sur l'autonomie des robots, la reconnaissance d'images, la perception visuelle de l'environnement et la géolocalisation. Ces avancées offrent aujourd'hui de nouvelles perspectives, notamment pour accompagner les pratiques prônées dans le domaine de l'agroécologie.

Une nécessaire évolution des outils de production

Si l'avènement de l'agriculture numérique permet d'améliorer ou d'optimiser les pratiques agricoles, l'application à grande échelle des principes de l'agroécologie nécessite également de repenser les outils de production. Dans une vision classique, les contraintes pesant sur l'agriculture paraissent en effet contradictoires. La nécessaire réduction des produits phytosanitaires impose de mettre en œuvre de nouvelles pratiques nécessitant un nombre de traitements beaucoup plus fréquent et régulier, afin de maintenir un niveau de production suffisant. Celles-ci imposent une main d'œuvre accrue, difficile à trouver, compte tenu de la pénibilité des travaux à effectuer, entraînant trop souvent des pathologies professionnelles et exposant les opérateurs à un certain nombre de risques.

Aussi, les pratiques prônées par l'agroécologie doivent être accompagnées de nouveaux outils capables d'intervenir avec précision, à des fréquences élevées sans être chronophages ou entraînant une charge insoutenable pour les agriculteurs (Blackmore, 2016). La réalisation de tâches répétitives, pénibles ou dangereuses à la place de l'homme constitue une des principales motivations pour le développement de la robotique. Cette technologie est aujourd'hui mise en œuvre avec succès dans les ateliers de production de produits manufacturiers où elle est à présent bien disséminée, réduisant la difficulté des tâches, tout en améliorant la sécurité (Bahrin *et al.*, 2016). Cette implantation a notamment été facilitée dans les usines par la maîtrise des conditions d'interactions

entre les robots et l'environnement. En effet, dans ce contexte, il est possible de structurer l'environnement et de l'adapter aux capacités ou aux caractéristiques des robots (adaptation des pièces à manipuler, installation de support de pièces, définition de zones de sécurité, maîtrise des conditions d'éclairage). Une telle structuration n'est pas forcément possible en milieux naturels, où beaucoup de conditions sont difficiles à maîtriser : interactions avec le sol ou les végétaux, évolution de la végétation, conditions climatiques, etc. À l'instar du véhicule autonome, les robots pour l'agriculture doivent faire face à un milieu en perpétuelle évolution, avec des phénomènes de nature changeante et incertaine (Bergerman *et al.*, 2016). La capacité d'adaptation des robots constitue donc un élément clef pour leur essor dans le domaine de l'agriculture.

Des exemples encore précurseurs

De ce fait, les exemples de robots agricoles réellement utilisés à ce jour demeurent restreints à des tâches très ciblées et des contextes d'évolution limités. Le robot Oz de Naïo en est certainement un des exemples les plus célèbres (figure 1). Ce robot de désherbage d'une quinzaine de kilos tracte un outil de désherbage mécanique en détectant les rangées de végétation par vision ou en exploitant, en plein champs, un capteur GPS RTK. Exploité principalement en maraîchage biologique, ce robot demeure contraint par sa taille et n'est pas doté d'un degré de polyvalence comparable à un tracteur standard, l'autorisant à effectuer d'autres tâches.

1 Robotique agricole : des exemples encore précurseurs.



Robot Oz,
Naïo Technologies



Magnum,
Case IH



John Deere
Autonomous tractor



Robot viticole
Bacchus, VitiBot

Conscient du potentiel de la robotique en agriculture, les constructeurs historiques, comme CNH, Kubota ou John Deere, se sont emparés de la question de l'autonomie en développant des concepts de tracteurs autonomes, présentés dans des salons, mais encore indisponibles à la vente. À la différence des petits robots de désherbage, cette vision s'inscrit dans la continuité des pratiques actuelles et envisage la robotique comme une automatisation des tâches réalisées aujourd'hui par une conduite manuelle.

Au-delà de l'automatisation, l'exploitation des robots en agriculture peut à terme permettre d'envisager de nouvelles pratiques en intervenant à l'échelle de la plante, en tirant parti du fait que le robot n'est pas soumis aux mêmes contraintes que les hommes. Pour cela, il est nécessaire que les capacités d'adaptation des robots intervenant dans des contextes très variés, garantissent un haut niveau de précision et de répétabilité. Des développements sont donc encore requis, tant du point de vue technologique que scientifique, pour garantir un degré suffisant d'efficacité et de robustesse.

Une recherche tournée vers la versatilité

Afin de rendre les robots efficaces en milieux naturels, il est fondamental que ceux-ci aient des capacités d'adaptation importantes, afin de tenir compte de la variabilité des tâches à réaliser ainsi que des contextes d'évolution. Les travaux de recherche menés à Irstea sont ainsi focalisés sur le développement d'approche de perception et de commande, permettant de caractériser en temps réel les conditions d'interactions avec l'environnement et les opérateurs, afin de les prendre en compte dans les déplacements du robot. Ceci lui permet d'évoluer de façon précise et sûre, autorisant un travail adéquat d'un outil embarqué. Afin d'apporter un degré de polyvalence suffisant pour accomplir plusieurs tâches agricoles, plusieurs comportements génériques sont particulièrement étudiés.

Suivi de trajectoire

Il s'agit ici de la première tâche générique pour la navigation autonome d'un robot, consistant à suivre une trajectoire préalablement programmée, indépendamment de la vitesse désirée. Quelle que soit la stratégie de localisation choisie (capteur et algorithme associé, tels que GPS, SLAM Radar, ou fusion de données) et le type de robot, les approches de suivi demeurent génériques et supposent, en milieux naturels, la prise en compte des phénomènes influant sur la dynamique du robot (glissement, relief du sol...) (Lenain, 2011).

Suivi de contour et d'empreinte

Ce comportement consiste à percevoir et interpréter l'environnement comme un profil à suivre (Tourrette *et al.*, 2017). Souvent utilisé en intérieur ou en milieu urbain

pour suivre un mur ou un trottoir, ce comportement est utile en agriculture pour se référencer par rapport à la végétation ou trace de roue laissée lors d'un passage précédent.

Poursuite de cible et de personne

Des fonctionnalités intéressantes en agriculture pour une machine réside dans le suivi de personne pour assister cette dernière dans son travail ou dans le suivi d'une autre machine conduite manuellement, afin d'accroître les capacités de travail de l'ensemble. Ce comportement consiste ici à détecter une cible (par vision, laser, ou GPS) et à la poursuivre à une certaine distance.

Analyse de la traversabilité

Les approches visant à contrôler le déplacement d'un robot sont focalisées sur le maintien de la précision de son positionnement sans tenir compte de la présence potentielle d'obstacle ou de faisabilité des actions demandées (Debain *et al.*, 2010). L'analyse de la traversabilité consiste, à partir d'une représentation 3D de l'environnement à analyser la vitesse maximale permettant de franchir une zone pour éventuellement l'éviter si le passage est impossible (déterminé par une vitesse de passage nulle).

Maintien d'intégrité

L'analyse de la traversabilité peut être étendu à la prise en compte d'autres risques pour le robot tel que le renversement ou la perte de contrôle. Aussi la notion d'intégrité généralise les risques inhérents à l'autonomie d'un robot pour estimer en temps réel les commandes admissibles par le robot (i.e. qui peuvent être appliquées au robot sans risque pour lui-même ou l'environnement). Une telle notion présuppose que le robot soit doté de capacités d'anticipation.

Supervision et détection de défauts/fautes

Afin de vérifier le bon fonctionnement du robot, une fonctionnalité importante pour son utilisabilité par l'homme réside dans la vérification du bon fonctionnement du robot (disponibilité des capteurs, valeurs vraisemblables pour la perception et la commande). Aussi, un axe important de recherche consiste à vérifier que le comportement observé correspond à un comportement attendu et d'identifier le problème si la conformité n'est pas validée, comme le blocage d'une roue, une crevaison, ou encore une défaillance capteur.

Coopération de robots

Un atout important concernant l'utilisation de robot en agriculture réside dans la coopération entre plusieurs robots pour ajuster la puissance ou la taille nécessaire d'un système robotique à la tâche à réaliser et à son contexte. Aussi, il est nécessaire de développer des approches permettant à plusieurs robots de collaborer entre eux, voire de s'associer (Berducat *et al.*, 2009).

2 Exemples de développements intégrés sur différents types de robots ou véhicules automatisés (photos Irstea).



Suivi de personnes



Suivi de contour



Suivi d'empreintes



Coopération véhicule-robots

Ces développements sont réalisés de façon générique et peuvent être intégrés sur différents types de robots ou véhicules automatisés comme illustré par la figure 2.

Ces exemples montrent que pour être efficaces, les robots évoluant en milieux naturels pour l'agriculture, ne peuvent pas être régis par un comportement unique. Pour être complètement autonome, ils doivent en effet choisir le comportement (associant une modalité de perception et de commande) le plus adapté à la situation, supposant des capacités d'interprétation et de décision accrues, comme dans le cas du projet PumAgri ou Adap2E (encadré 1). En ce sens, les outils de l'intelligence artificielle s'avèrent prometteurs pour prendre de telles décisions de haut niveau. Néanmoins, afin de garantir la stabilité de chaque comportement, il demeure important de conserver, à cette échelle, des approches déterministes.

Vers des systèmes robotiques sociables

Au-delà de la sélection de comportement, l'apport de la robotique en agriculture se comprend à l'échelle d'un système robotique, incluant une ou plusieurs plateformes mobiles, les outils, ainsi que l'environnement, comprenant également l'homme. Ceci suppose tout d'abord le développement de nouveaux outils rendu possible par la robotique. Le traitement extrêmement localisé sur la végétation constitue un exemple parmi d'autres, pouvant inclure l'utilisation de plusieurs robots. Il apparaît alors important de pouvoir organiser une flotte de robots, et l'intégrer au système de gestion des exploitations afin d'affecter et planifier les missions de ces robots. Ceci

inclut nécessairement l'expertise humaine à tous les niveaux, que ce soit dans les processus décisionnels, la supervision, la maintenance ou même les phases de travail dans un contexte collaboratif homme/machine.

L'intégration de la robotique en agriculture suppose donc de bien définir ces modalités d'interaction homme/machine et de rendre compréhensible les actions du robot par l'agriculteur et qu'inversement, les robots réalisent pleinement les demandes de celui-ci. Aussi, un effort de développement important doit être réalisé avec les différents acteurs de la filière pour amener l'agriculture à apprivoiser l'outil robotique. Ceci implique également de qualifier les performances des robots et garantir la sécurité, en passant certainement par une normalisation des différentes fonctionnalités robotiques. L'association RobAgri (encadré 2) a ainsi l'ambition de fédérer ces différents acteurs au sein d'une filière robotique agricole permettant de structurer et d'accompagner l'essor de la robotique agricole. C'est une condition nécessaire pour que ces innovations technologiques soient pleinement efficaces, utiles et sûres. ■

Les auteurs

**Roland LENAIN, Nicolas TRICOT
et Michel BERDUCAT**

Université Clermont Auvergne, Irstea,
UR TSCF, Centre de Clermont-Ferrand,
9 avenue Blaise Pascal CS 20085,
F-63178 Aubière, France.

✉ roland.lenain@irstea.fr

✉ nicolas.tricot@irstea.fr

✉ michel.berducat@irstea.fr

EN SAVOIR PLUS...

- ✉ **BAHRIN, M.A.K., OTHMAN, M.F.N., AZLI, N., TALIB, M.F.**, 2016, Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic, *J. Teknol.*, vol. 78, no 6 13, p. 137-143.
- ✉ **BERDUCAT, M., DEBAIN, C., LENAIN, R., CARIOU, C.**, 2009, Evolution of agricultural machinery: the third way, in : *7th European Conference on Precision Agriculture 06/07/2009-08/07/2009, Wageningen, NLD, Precision Agriculture '09*, VAN HENTEN E.J.; GOENSE D.; LOKHORST C. (Eds.), p. 363-369.
- ✉ **BERGERMAN, M., BILLINGSLEY, J., REID, J., VAN HENTEN, E.**, 2016, « Robotics in Agriculture and Forestry », in : *Springer Handbook of Robotics*, Springer International Publishing, p. 1463-1492.
- ✉ **BLACKMORE, S.**, 2016, « Towards robotic agriculture », in : *SPIE Commercial+ Scientific Sensing and Imaging*, p. 986603-986603.
- ✉ **DEBAIN, C., DELMAS, P., LENAIN, R., CHAPUIS, R.**, 2010, Integrity of an autonomous agricultural vehicle according the definition of trajectory traversability, in : *Ageng 2010, International conference on agricultural engineering*, 06/09/2010, Clermont-Ferrand, France.
- ✉ **LENAIN, R.**, 2011, *Commande de robots à dynamiques incertaines : Le cas des robots mobiles tout-terrain*, HDR, LASMEA, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand.
- ✉ **TOURRETTE, T., LENAIN, R., ROUVEURE, R., SOLATGES, T.**, 2017, « Tracking footprints for agricultural applications: a low cost lidar approach », in : *Workshop on Agricultural Robotics*, Vancouver.

❶ LE PROJET ADAP2E

Le projet Adap2E a été financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sur la période 2014-2018 dans le cadre du programme « Jeunes chercheurs, jeunes chercheuses » (JCJC). Au-delà du renforcement d'une dynamique de recherche en robotique agricole, l'objectif de ce projet est centré sur la conception d'un système robotique reconfigurable, capable de s'adapter à la diversité des tâches à réaliser (surveillance, assistance, pulvérisation) et de contextes d'évolution (serres, vignes, champs ouverts...). La conception s'est orientée vers un système robotique composé de plusieurs robots capables de s'associer afin de mettre en adéquation les ressources robotiques à la mission. Un ensemble de dix comportements a été mis en œuvre, avec un processus de planification et décision permettant de sélectionner le meilleur comportement en fonction de la position et du temps. Ce projet a reçu un financement de 364 000 euros et donné lieu à une vingtaine de publications scientifiques.

<https://adap2e.irstea.fr/>

❷ ROBAGRI AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DE LA ROBOTIQUE AGRICOLE

L'association RobAgri a été créée en octobre 2017, sous l'impulsion de l'Axema et d'Irstea. Elle regroupe aujourd'hui soixante-cinq membres (constructeurs, fournisseurs de solutions, laboratoires de recherche, instituts techniques, pôles de compétitivité...) afin de structurer une filière robotique agricole nationale. Cette association a en effet pour but de favoriser l'émergence de la robotique au service de l'agriculture et des agriculteurs en mutualisant des moyens de recherches et développement, de tests et d'homologation. Depuis sa création, plusieurs actions ont été menées pour définir les besoins des adhérents, mettre en œuvre des structures d'échanges et de partage virtuelles, et définir les infrastructures physiques nécessaires aux différents acteurs. Cette initiative nationale a été saluée par le ministère de l'Agriculture, ainsi que par les instances européennes, car servant aujourd'hui d'exemple pour la mise en place du DIH (*Digital Innovation Hub*) agROBOfood, ayant vocation à créer un réseau européen de développement d'une filière robotique pour l'agriculture.

<https://www.robagri.fr/>

<https://www.wur.nl/en/project/agROBOfood-Towards-a-European-network-and-effective-adoption-of-robotics-technologies-.htm>