



ACTES DU
COLLOQUE



Robots : acteurs d'une agriculture du futur ?

Rencontres régionales de la recherche,
du développement et de la formation
Jeudi 5 décembre 2019 de 9h à 16h30
Lycée agricole Les Vaseix (87)



SOMMAIRE

Éditorial.....	3
Programme	5

LA ROBOTIQUE EN PRODUCTIONS VÉGÉTALES

La robotique en arboriculture

Christophe Oudart	8
--------------------------------	---

Rose, un challenge pour le désherbage intra-rang : l'exemple du projet BipBip

Virginie Barbosa, Jean-Pierre Da Costa	12
---	----

La robotique en milieu naturel : de nouvelles approches pour l'agriculture

Roland Lenain	16
----------------------------	----

LA ROBOTIQUE EN ÉLEVAGE

La robotique en bâtiments d'élevage de ruminants

Jean-Luc Ménard	22
------------------------------	----

Témoignage du constructeur Dussau Distribution

Florian Laran	27
----------------------------	----

Témoignage d'un éleveur de la Haute-Vienne : les gains de la distribution robotisée

Loïc Cottin, Céline Boyard	30
---	----

AU-DELÀ DE LA TECHNOLOGIE

Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde

Karine Daniel 36

Éditorial

La 3^e édition des Rencontres régionales de la recherche, du développement et de la formation (3RDF) en Nouvelle-Aquitaine, se propose de traiter des perspectives offertes par la robotique et plus largement des incidences du numérique dans les exploitations agricoles.

Organisée par le Réseau régional innovation (RRI) en agriculture avec le concours actif du lycée agricole de Limoges-les-Vaseix, elle sera relayée par Agrosmart Campus pour l'ensemble des établissements d'enseignement agricole de Nouvelle-Aquitaine. Comme les précédentes, cette édition 2019 associe très étroitement l'établissement d'enseignement agricole qui nous accueille. Une intervention est réservée aux étudiants en introduction du colloque afin de présenter les résultats d'une enquête auprès des lycéens et étudiants visant à mieux connaître leur perception de la robotique et plus largement de la transition numérique.

Cette rencontre professionnelle fait écho aux États généraux de l'innovation (EGI) lors du Salon de l'agriculture Nouvelle-Aquitaine le 4 juin 2019, qui ont traité de la même thématique.

Avec de nombreux robots qui arrivent sur le marché pour les différentes filières, ce sujet est totalement d'actualité. Les perspectives à moyen terme laissent entrevoir une pénétration importante du marché des agroéquipements sur de nombreux créneaux et filières. Des robots pour remplacer la main d'œuvre sur des tâches répétitives, assurer des tâches pénibles ou se substituer à l'usage d'intrants et en particulier des produits phytosanitaires, sont de réelles « voies de progrès ».

L'usage de ces nouveaux agroéquipements va aussi poser des questions sur la gestion des exploitations telles que l'organisation du travail, les relations avec l'animal, le rôle d'observation de l'agriculteur dans ses parcelles ou au sein de son troupeau, la place de la main d'œuvre dans les exploitations... En élevage le développement des robots de traite permet déjà d'observer, au-delà de la diminution du travail, les incidences de cette innovation : augmentation de la production mais aussi des charges, meilleur suivi individuel des animaux. Une vision globale et systémique doit donc être portée sur ces nouvelles technologies.

Les 3RDF vont permettre d'approfondir différents services actuels et à venir de la robotique au travers d'exposés de chercheurs et de professionnels. Le fait d'organiser ces rencontres à Limoges a orienté le choix des interventions. Traiter de la robotique en élevage de ruminants était incontournable : une session se concentre donc sur la robotique pour les éleveurs. En productions végétales, nous avons privilégié l'arboriculture et la culture des pommiers mais aussi les perspectives de désherbage sur le rang des plantes sarclées. Une dernière session permettra d'ouvrir le champ vers l'ensemble des outils numériques qui « envahissent » le monde agricole avec les outils d'aide à la décision, les possibilités offertes par internet en matière de gestion et enregistrement des données, et de la commercialisation des produits. Au-delà des technologies de la robotique, un exposé sur les enjeux économiques et sociologiques permettra un débat ouvert sur l'arrivée de ces innovations en agriculture.

Cette journée s'inscrit dans une dynamique de communication et de transfert d'innovation portée par le RRI en agriculture et nous espérons que cette édition 2019 générera des projets et partenariats en Nouvelle-Aquitaine et contribuera au développement d'une agriculture multi performante. Ces rencontres doivent en effet contribuer aux débats, échanges et actions sur les

territoires. Nous appelons de nos vœux la pérennisation de tels rendez-vous dans l'espace régional en innovant dans les moyens de communication qui rendront ces échanges ouverts au plus grand nombre.

Le comité d'organisation

Le RRI rassemble la Chambre régionale d'agriculture et le réseau des Chambres d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, les organismes de recherche et d'enseignement supérieur (INRA, IRSTEA, BSA), les instituts techniques représentés par l'ACTA, l'ACTIA, le pôle de compétitivité Agri Sud-Ouest innovation, Ovalie Innovation (établissement de R&D au service de coopératives), des structures de soutien et de valorisation de l'innovation telles qu'Agrinove et l'ADI-NA, l'État au travers de la DRAAF et le Conseil régional Nouvelle-Aquitaine.

Il a pour ambition d'orienter et prioriser les thématiques d'innovation et d'optimiser et mobiliser des moyens. Il se fixe aussi comme objectif de favoriser, au travers de rencontres et échanges sur la région, un « écosystème » propice à l'innovation. Ces rencontres constituent donc un temps fort de ce réseau.

LA ROBOTIQUE EN PRODUCTIONS VÉGÉTALES

La robotique en arboriculture

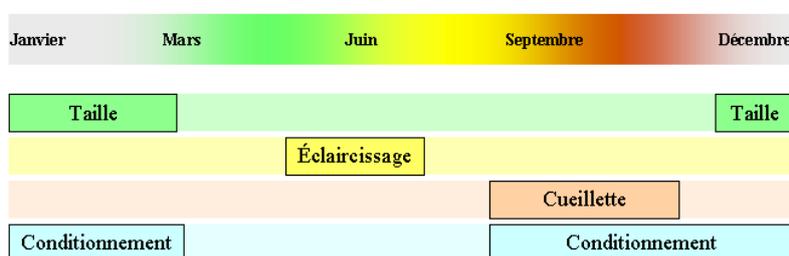
Christophe Oudart

CTIFL, 28 route des Nebouts, 24130 Prignonrieux

christophe.oudart@ctifl.fr

RÉSUMÉ

Les principaux travaux en vergers de fruits se résument à la taille, l'éclaircissage, la récolte et le conditionnement, dont les périodes sont variables dans l'année selon la variété de fruits.



Source : FNPF

Figure 1 : Exemple d'un calendrier des principaux travaux en verger de fruits à pépins.

Les attentes de la profession arboricole en solutions robotiques varient selon la destination des fruits produits (consommation en frais, transformation), selon le type de récolte (récolte sur l'arbre, récolte au sol...), selon la physiologie des différentes espèces, selon la fragilité du produit.

Les attentes exprimées vis-à-vis de la mécanisation/robotisation concernent essentiellement l'amélioration :

- de la rentabilité des opérations par une diminution des coûts de production ;
- des conditions de travail et du confort de l'opérateur.

L'arrivée de nouvelles technologies dans les domaines de la sélection variétale, la protection phytosanitaire, la télésurveillance, la mécanisation, la robotique, la vision, peut révolutionner rapidement les travaux des futurs vergers.

Mais où en est-on dans la robotique agricole pour répondre à ces attentes et pour quelles opérations ? En effet, faut-il continuer dans la voie de la réalisation d'un robot d'assistance spécialisé ne réalisant qu'une tâche spécifique saisonnière au cours d'une année, ou bien s'orienter vers l'assistance robotique et entrevoir le développement de petits robots collaboratifs souples, très agiles et facilement reprogrammables ? Une nouvelle génération de robots pourrait-elle être habilitée à réaliser plusieurs tâches spécifiques dans les vergers, durant toute l'année, quasiment 24h/24 (dont les principaux travaux : taille, assistance à l'éclaircissage, désherbage, surveillance sanitaire des vergers, prévision de récolte, récolte des fruits, etc.) ?

Mots-clés : arboriculture, robotique, récolte

1. OPÉRATIONS POUVANT ÊTRE ROBOTISÉES EN ARBORICULTURE

Récolte

Pour la majorité des exploitations, la récolte est manuelle et représente jusque 70% des coûts de production. À court terme, il est plus prioritaire d'améliorer l'existant, notamment au niveau des plateformes de récolte. Les axes d'amélioration doivent porter sur la limitation des chocs et sur la diminution de la pénibilité du travail. Un focus sur la récolte est présenté au §2.

Éclaircissage

L'éclaircissage en arboriculture est une étape essentielle dans la conduite d'un verger pour obtenir un calibre correct et limiter l'alternance. Des solutions mécaniques existent pour les cultures de type mur fruitier afin de réduire voire supprimer les solutions chimiques (exemple : conduite du pommier où le développement de la haie fruitière est contrôlée par une taille mécanique annuelle réalisée avant floraison). On peut lister l'Eclairvale, machine polyvalente d'éclaircissage des vergers, éclaircissage à fleur et à fruit, qui montre des résultats encourageants. Une nouvelle étape dans la robotisation pour ce type de machine consisterait-elle à les rendre autonomes par la conduite d'un tracteur autonome porteur ?

Taille

La taille ou plus précisément la pré-taille mécanique constitue une attente forte. L'objectif de cette opération est bien sûr de diminuer le temps d'intervention manuelle, mais aussi dans certaines situations de diminuer la hauteur des arbres et rendre ainsi la récolte des fruits plus facile, sans utilisation de plateformes. La rendre autonome supprimerait cette tâche répétitive.

Entretien du sol et désherbage

Le robot de tonte pourrait être une alternative intéressante pour l'entretien des bandes qui sont habituellement désherbées le long des rangs de plantation. L'idée étant que si on arrivait à tondre suffisamment fréquemment pour laisser l'herbe très courte, la concurrence entre l'herbe et les arbres pourrait ne pas être plus importante qu'avec l'utilisation des herbicides. Cette fréquence de tonte pourrait être assurée par un robot afin ne pas mobiliser de main d'œuvre ce qui pourrait devenir très intéressant pour les exploitants.

Protection sanitaire

La protection des arbres contre la pluie et les maladies qui s'en suivent comme la tavelure, peut se faire par le biais de solutions type bâches automatiques commandées selon des paramètres météorologiques (température, vent, pluie) configurées par l'opérateur. Ce type d'installation est une forme de robotisation dans la protection sanitaire des vergers. Pour les systèmes classiques d'application de produits phytosanitaires, des solutions avec tracteur autonome limiteraient les risques d'exposition pour l'opérateur et préserveraient les pollinisateurs dans un cas d'usage de nuit.

Conditionnement

Des solutions robotiques de conditionnement existent déjà pour mettre en bushle les pommes par exemple.

Nota : Le mode de conduite du verger est en relation directe avec les possibilités de réalisation d'une taille mécanique et robotique. Par exemple, les conduites en haies fruitières (2D) plutôt qu'en axe vertical favorisent l'intervention. Modes de conduite, densités de plantation, matériel végétal (porte greffe) sont autant de facteurs à prendre en compte dans une optique de mécanisation/robotisation de la taille.

2. FOCUS SUR LA ROBOTISATION DE LA RÉCOLTE

La robotisation en récolte de pommes avait fait de larges progrès avec le robot Magali développé par le Cemagref (actuel Irstea) dans les années 90. Depuis, des prototypes sont apparus mais complexes et coûteux. Pourtant des avancées technologiques permettraient d'envisager de développer des solutions intermédiaires sur des plateformes existantes.

2.1 État de l'art du robot de récolte

La demande de remédier au manque de main d'oeuvre pour la récolte par des solutions robotiques se fait pressante face aux difficultés de recruter de la main d'oeuvre disponible, qualifiée et capable de travailler dans des conditions difficiles.

Il n'existe pas aujourd'hui de solutions qui répondent à l'ensemble des producteurs qui ont leurs spécificités de récolte selon les variétés de fruits, leur localisation et les contraintes environnementales et de cultures associées, le mode de conduite, et qui soient accessibles (ergonomiques, simples d'utilisation, abordables).

L'état de l'art met en avant des solutions diverses (avec système de préhenseur à pince, à air) mais plutôt au stade de prototype/début de commercialisation.



Figure 2 : *Ffrobotics (Israël) : Système de préhension à pinces + Abundant Robotics (US) : système de préhension à air*

2.2 Besoins des producteurs et solutions robotiques

Pour avancer sur les besoins en robotisation de la récolte, il est nécessaire d'identifier les différentes tâches/opérations et le pourcentage de temps et du coût associé à la récolte, les moyens actuels utilisés. Le besoin n'est pas forcément d'avoir une plateforme complexe robotique à hautes technologies et donc aussi à un risque de fiabilité/durabilité moindre et à coût élevé, mais plutôt de disposer de briques technologiques en capteurs de vision, de bras robotisés modulables, ajustables qui viendraient en complément des plateformes mécaniques existantes ou à améliorer. Réduire la pénibilité du travail et faciliter les opérations de récolte pourraient aussi attirer davantage de main d'oeuvre, avec une nouvelle main d'oeuvre plus prompte à assurer la récolte des fruits en saisonnier grâce à des solutions d'assistance robotique, ce qu'on appelle la cobotique.

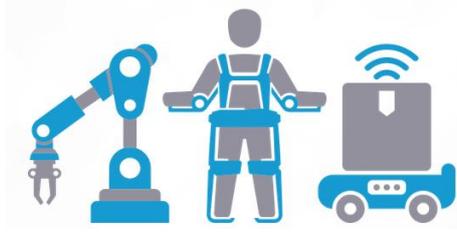


Figure 3 : *Illustration du principe de cobotique (collaboration Humain-robot)*

BIBLIOGRAPHIE

Roche L., Codarin S., Mathieu V., Saffray C., 2010. L'Eclaircissage mécanique pour réduire l'utilisation de substances chimiques Infos-Ctifl, n°261 p.45-49.

Dunglas J., 28/10/2013. Mécanisation, automatisation, robotisation. Manuscrit issu d'un groupe de travail sur les potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

<https://www.usinenouvelle.com/editorial/le-robot-revient-dans-les-vergers.N807830>

Rose, un challenge pour le désherbage intra-rang

L'exemple du projet BipBip

Virginie Barbosa¹, Jean-Pierre Da Costa²

¹Laboratoire National de Métrologie et d'Essais - ²Bordeaux Sciences Agro.

Virginie.Barbosa@lne.fr, jean-pierre.dacosta@agro-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

En 2017, les ministères chargés de l'Agriculture, de la Transition écologique, de la Recherche ont lancé en partenariat avec l'Agence nationale de la recherche (ANR), un appel à projets de recherche "Challenge Rose" (Robotique et capteurs au service d'Ecophyto). Il s'agit de susciter la mise au point de solutions technologiques innovantes contribuant aux objectifs du plan Ecophyto II : réduire de 50% l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, mieux maîtriser les risques et diminuer la dépendance de l'agriculture à ces produits. Les quatre projets retenus sont focalisés sur le désherbage intra-rang en grandes cultures à fort écartement et en cultures légumières de plein champ. Pendant quatre ans, les équipes se confrontent à l'AgroTechnopôle d'Irstea (Montoldre, Allier) à l'occasion de campagnes d'évaluation menées par le LNE et Irstea. Le projet BipBip, choisi ici à titre d'illustration, mêle des compétences en imagerie, mécanique, robotique et agronomie pour développer un bloc outil robotisé permettant le désherbage mécanique sur le rang de culture. Après une présentation des objectifs, du calendrier et des projets lauréats du Challenge Rose, les acteurs, le cahier des charges et les réalisations du projet BipBip seront ensuite décrits.

Mots-clés : Stratégie de désherbage, détection, évaluation des performances, campagne d'évaluation intelligence artificielle, robotique, adventices, maraîchage, grandes cultures.

1. LE CHALLENGE ROSE

1.1 Objectifs du Challenge

Les challenges sont des instruments de financement de l'ANR visant à encourager plusieurs équipes à travailler simultanément sur une même problématique en cherchant des solutions nouvelles pour y répondre. La comparaison des performances des solutions proposées permet de stimuler la créativité, d'inciter les chercheurs à confronter leurs idées et de favoriser l'établissement de standards pour comparer des approches. Ainsi, les challenges permettent la structuration et la mobilisation d'acteurs industriels et académiques, afin de lever des verrous scientifiques et d'accélérer les développements et transferts technologiques. Plus concrètement, les équipes sélectionnées et financées participent à intervalles réguliers à des campagnes d'expérimentations conjointes, dans un esprit alliant coopération et compétition.

Le challenge Rose a pour objectif d'encourager l'innovation en matière de désherbage intra-rang afin de réduire, voire supprimer, l'usage des herbicides. Il met en compétition quatre projets lauréats sous l'égide du consortium organisation LNE/Irstea. Le challenge porte non seulement sur l'évaluation des modules individuels de la chaîne d'intervention (détection des plantes, décision et action de désherbage) mais aussi sur l'évaluation globale de l'efficacité du désherbage et des impacts économiques, sociologiques et écologiques.

Le challenge ROSE est le premier au niveau mondial à mettre en œuvre une évaluation en conditions réelles sur parcelle agricole. Les outils développés dans le cadre du challenge constitueront donc des référentiels nécessaires à la caractérisation des futures recherches dans ce domaine : les bases d'images annotées seront particulièrement utiles à la communauté et la méthodologie d'évaluation permettra de définir des standards pour l'évaluation des performances de systèmes robotisés agricoles, bien au-delà du challenge Rose.

1.2 Le macro-planning du challenge Rose

Le challenge Rose se déroule sur 4 ans (2018-2021) et se compose de 4 campagnes d'évaluation. Une collaboration entre les équipes participantes et les organisateurs permet d'établir les conditions de déroulement des campagnes d'évaluation. Il s'agit notamment de :

- spécifier clairement les tâches sur lesquelles les systèmes seront évalués ;
- définir les environnements de test (parcelles, cultures et adventices à mettre en place) ;
- formaliser les différents aspects techniques, organisationnels et de sécurité ;
- définir les métriques permettant une mesure des performances des systèmes qui soit quantitative, rigoureuse, comparable, répétable et acceptée par tous ;
- spécifier les formats des données en entrée et sortie des systèmes.

L'ensemble de ces éléments constituant le protocole d'évaluation est retranscrit dans un plan d'évaluation, document de référence pour le déroulement des campagnes d'évaluation.

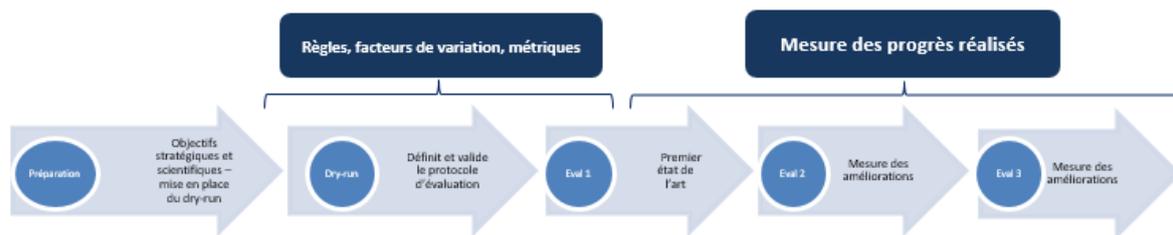


Figure 1 : Macro-planning du challenge Rose

Deux rencontres sur le terrain dites « dry-run » (en 2018 et 2019) ont permis aux équipes d'éprouver leur prototype dans les conditions qui seront mises en œuvre au cours des campagnes d'évaluation. Pour l'équipe organisatrice, cette étape permet de valider le plan d'évaluation et les outils de comparaison mis en place. La campagne d'évaluation 1 est en cours jusqu'à janvier 2020. La rencontre sur le terrain associée s'est déroulée en septembre 2019. Les prochaines rencontres sur le terrain auront lieu en juin 2020 et juin 2021.

1.3 Quatre projets, quatre solutions

Le projet PEAD développe une solution robotisée autonome pour un binage des cultures, en inter et intra-rangs. Il soulève des verrous liés à la robustesse, à la précision de détection des plants et des adventices et à la régularité d'intervention dans des conditions variables et vise également la collecte de données pour la construction de cartographies multi-échelle.

Le projet Roseau consiste en la création d'outils réalisant des opérations de désherbage sur le rang en s'appuyant sur des robots et caméras pour distinguer cultures et adventices et optimiser les interventions de désherbage. Il se base sur l'utilisation d'un robot agricole multi-usage et intègre des solutions de perception, d'interprétation et d'action.

Le projet Weedelec propose une alternative au désherbage global chimique combinant l'utilisation d'un drone pour détecter les mauvaises herbes, couplé à une solution robotisée terrestre procédant au désherbage par utilisation de l'énergie électrique sous haute tension.

Enfin, l'équipe BipBip propose un bloc-outil robotisé décrit plus en détail ci-dessous.

2. FOCUS SUR LE PROJET BIPBIP

2.1 Le consortium BipBip

BipBip allie les compétences en imagerie (IMS), robotique (LaBRI) et conception mécanique (Elatec) nécessaires au développement du bloc-outil. Il bénéficie de l'expertise d'un producteur (Fermes Larrère) et de la compétence agronomique d'un centre technique (CTIFL) nécessaires à l'expression de spécifications et à la validation expérimentale.

2.2 Le cahier des charges

Afin de garantir son efficacité et son acceptabilité par la profession, la solution de désherbage proposée dans le projet BipBip se veut compatible avec de multiples cultures, itinéraires techniques et conditions de travail et applicable aux stades les plus précoces, critiques pour la culture. Elle doit assurer un débit de chantier suffisant, tout en étant efficace sur les adventices sans détériorer les cultures ni l'état de surface du sol. Dans ce schéma, les points cruciaux sont le choix des outils de binage, la logique décisionnelle et le système d'action. Le porteur, robot autonome ou tracteur, n'est pas crucial ; la solution doit avant tout être utilisable dans différentes configurations de taille d'exploitation, de taille de parcelle, de culture à protéger que de mode de conduite de ces cultures.

2.3 La solution développée

Le développement n'est pas axé sur le porteur mais sur une machine de désherbage, embarquable sur différents engins. Ce choix, pragmatique, vise à faciliter le déploiement de la solution et son adoption par la profession. Le système développé est un bloc-outil de binage intra-rang assisté par imagerie de précision. Dédié au désherbage d'un rang unique, il opère sur une bande de 30 cm de large. Ceci permet de couvrir la plupart des cultures maraîchères et des grandes cultures à fort écartement aux stades précoces, en complément des solutions de binage inter-rang. Chaque bloc-outil est constitué de trois ensembles :

- un module de vision artificielle détectant les positions des cultures et les transmettant au système de contrôle du bloc outil ; il s'appuie sur une caméra RVB opérant dans un tunnel opaque, en luminosité contrôlée, et sur un ordinateur embarqué permettant

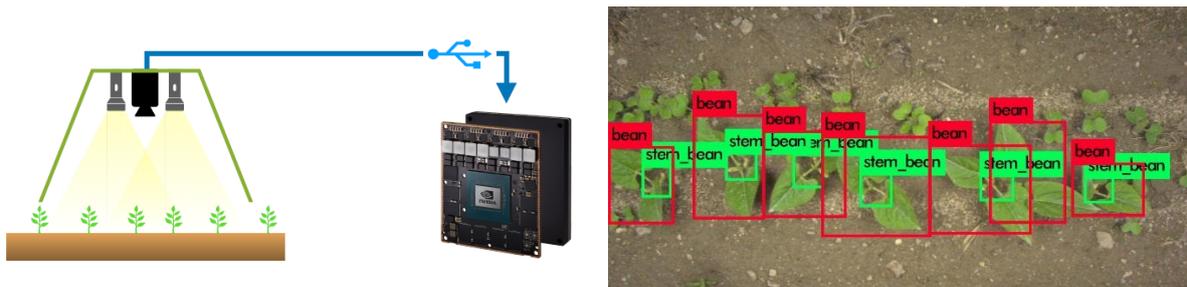


Figure 2 : *détection de cultures par la solution BipBip ; à gauche, principe du système d'acquisition et de traitement embarqué ; à droite, détection de plants et tiges de maïs.*



Figure 3 : à gauche, porteur électrique e-tract d'Elatec ; à droite, bloc-outil BipBip composé d'une chambre de vision et d'un outil de désherbage (ici, un doigt mobile).

d'exécuter des algorithmes d'intelligence artificielle, cf. Figure 2.

- un bloc-outil configurable : actionneurs électriques et jeux d'outils pour s'adapter à des configurations multiples : outils fixes de binage pour les bords du rang, différents outils mécaniques mobiles entre les plants.
- un système de contrôle du bloc-outil assurant le pilotage des outils, sur la base des informations reçues du module de vision et d'un capteur télémétrique, tout en optimisant les efforts mécaniques, les besoins énergétiques et le débit de chantier.

Le principal défi réside dans le compromis à assurer entre un débit chantier raisonnable et une précision centrimétrique nécessaire à l'action de binage. La solution mise sur une compacité maximale du système de binage, une maîtrise totale de la posture du bloc-outil sur la planche maraîchère et une stratégie de détection visant à identifier précisément l'architecture et la posture des cultures. En outre, les choix technologiques réalisés laissent envisager la possibilité d'embarquer le bloc-outil sur une plate-forme autonome, comme illustré à la figure 3, permettant de garantir un débit chantier suffisant. Enfin, de conception modulaire, le bloc-outil pourra être utilisé seul ou en association à d'autres modules identiques traitant en parallèle les différentes lignes d'une ou plusieurs planches maraîchères.

CONCLUSION

L'équipe BipBip et les trois autres équipes participant au challenge Rose ont neuf mois pour poursuivre leurs travaux de recherche et optimisation avant la prochaine rencontre sur le terrain qui se déroulera en juin 2020. De leur côté, les organisateurs du challenge (LNE et Irstea) analysent les résultats obtenus par les solutions robotisées lors de la rencontre terrain de septembre 2019 et se préparent à mettre à disposition de la communauté les premiers outils d'évaluation (bases d'images annotées, méthodologies pour l'évaluation...).

BIBLIOGRAPHIE

Jacquet F., Avrin G., Barbosa V., Boffety D., El Khoury M., Sabarly L., (2018). Le challenge ROSE (2018 - 2021) : évaluation itératives d'approches de recherche parallèles pour le désherbage intra-rang. Numérique en productions végétales : prédire et agir – CIAG.

Lac L., Gréteau G., Keresztes B., Rançon F., Bardet A., Da Costa J.P., Deep learning for early weed vs crop discrimination applied to intra-row hoeing of vegetables, European Conference on Precision Agriculture, 2019, Montpellier, France.

Challenge ROSE, Robotique et Capteurs au service d'Ecophyto (Robotics and Sensors for Ecophyto). <http://challenge-rose.fr/> (last accessed 10/10/2019).

Plan Ecophyto II – 20 octobre 2015.

La robotique en milieu naturel

De nouvelles approches pour l'agriculture

Roland Lenain

Irstea

roland.lenain@irstea.fr

RÉSUMÉ

Les progrès réalisés en robotique mobile, tant au niveau de la perception de l'environnement que du contrôle des déplacements dans des milieux incertains, permettent aux robots de sortir du cadre très structuré des ateliers de production. À l'instar du domaine des transports, l'agriculture constitue un champ applicatif très prometteur pour cette nouvelle génération de robots. En effet, les tensions sur la main d'œuvre dans ce domaine, ainsi que la nécessaire réduction de l'impact environnemental imposent la transformation des méthodes de production, tant au niveau des procédés que des outils. En ce sens, la robotique peut accompagner utilement cette mutation en réalisant des tâches précises et répétitives, nécessaire pour développer les principes de l'agroécologie, mais difficilement envisageables par des opérations manuelles. Bien que la commercialisation de robots en extérieur pour des opérations élémentaires est effective, la réalisation par des robots d'opérations agricoles complexes, en complète autonomie, requiert encore de lever plusieurs verrous. Ceux-ci ne sont pas uniquement d'ordre scientifiques et techniques, mais revêtent également un caractère sociétal et législatif. Aussi, l'essor de la robotique agricole doit être accompagné par la structuration d'une filière agricole transversale, aujourd'hui en pleine émergence et portée par plusieurs initiatives nationales et internationales.

Mots-clés : Robotique agricole, navigation autonome, contrôle avancé, maintien d'intégrité

1. L'ESSOR DE LA ROBOTIQUE EN MILIEUX NATURELS

La nécessaire réduction de l'impact environnemental des activités humaines, impose le développement de nouveaux outils, capables de proposer des méthodes de production respectueuses de l'environnement. Ce problème est particulièrement prégnant en agriculture, où l'utilisation de produits phytosanitaires, classiquement utilisés pour obtenir des rendements élevés avec un temps de travail limité, est en question. Néanmoins, les approches alternatives, au premier rang desquelles apparaissent l'agroécologie et l'agriculture de précision, requièrent un nombre accru d'opérations dans les champs, à des fréquences plus élevées. Si l'agriculture numérique permet d'accroître la surveillance des parcelles pour amener à prendre des décisions optimisant ces traitements, la réalisation concrète des opérations entraînent un surcroît d'activité, dans un contexte difficile. Aussi, la pénibilité du travail risque d'augmenter fortement, tandis que le recours à plus de main d'œuvre semble difficile, étant donné que le

secteur fait d'ores et déjà face à un déficit de recrutement. Dans ce contexte, l'utilisation de robots [1] constitue une alternative prometteuse¹.

1.1 Premières solutions commerciales

Pour améliorer le confort de l'agriculture et la productivité, le développement des nouvelles technologies en agriculture a historiquement été tourné vers l'automatisation de certaines tâches, notamment la conduite. Ainsi, ces dernières années ont vu l'avènement de dispositifs d'assistance à la conduite [2], ainsi que de pilotage automatisé de fonctionnalités de l'outil porté ou tracté. Ces dispositifs d'assistance n'apportent qu'une première réponse partielle car ils imposent toujours la présence d'un opérateur sur la machine, et considèrent uniquement l'automatisation du travail dans une vision classique de l'agriculture. Néanmoins, ils ouvrent la voie à une première vision du développement de la robotique, centré sur le concept de tracteur autonome. Bien que faisant l'objet de plusieurs démonstrations, ce type de concept (développé notamment par les constructeurs historiques, comme John Deere, CNH, ou Kubota), demeurent indisponibles à la vente, compte-tenu de la complexité et de la diversité des opérations à mener de façon autonome, ainsi que pour des raisons législatives.

Aussi, la commercialisation de robots agricoles est aujourd'hui focalisée sur des robots dédiés à une tâche spécifique (comme le désherbage mécanique en maraîchage, ou la pulvérisation, voir figure 1). Dans de tels points de vue, les conséquences d'un dysfonctionnement demeurent limitées. En outre la spécialisation de la tâche permet de réduire le nombre de capteurs (et donc le coût d'acquisition), tout en réduisant la complexité algorithmique. Ainsi, ces premiers robots commerciaux permettent de réaliser des tâches pénibles, comme le désherbage mécanique, à des fréquences élevées, et de pallier ainsi la pénurie de main d'œuvre.

L'utilité de ces robots est manifeste et ils constituent une première réponse aux problèmes auxquels l'agriculture est confrontée [3]. Pour autant, le champ d'application de ce type d'approche demeure restreint, ainsi que le cadre d'évolution. Ils laissent néanmoins entrevoir 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. Pour cela, les développements sont encore requis, tant du point de vue technologique que scientifique, pour garantir un degré suffisant d'efficacité et de robustesse.



Figure 1 : Illustrations de plusieurs concepts concrets de robots agricoles

¹ À ce titre, l'agence Tractica évalue le chiffre d'affaire de la robotique agricole à 74 milliards d'euros à l'horizon 2024, contre 3 milliards en 2015.

1.2 Nouvelles approches tournées 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 avancées récentes en termes de recherche et développement permettent d'envisager des robots plus versatiles, capables 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 (figure 2) sont ainsi développés [4], comme par exemple : le suivi de trajectoire précis et garanti, le suivi de contours ou d'empreintes (barrière, rang de végétation, passages de roues), l'analyse de la traversabilité et le maintien de l'intégrité, la supervision et détection de défauts/fautes, la poursuite de cibles et de personnes, ou encore la coopération de robots.



Figure 2 : Illustrations de comportements élémentaires dans différents contextes

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 autonomes, 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.

2. DES VERROUS PERSISTANTS

2.1 Verrous scientifiques et technologiques

Si les comportements précédents ont fait l'objet de développements permettant d'envisager une autonomie des robots compatible avec la réalisation de tâches agricoles complexes, plusieurs développements restent nécessaires pour les doter des capacités d'adaptation adéquates. En premier lieu, il est nécessaire de pouvoir sélectionner en temps réel les comportements en fonction de la tâche et du contexte, ainsi que de modifier leurs paramètres. En ce sens, les outils de l'Intelligence Artificielle [5] s'avèrent prometteurs pour prendre de telles décisions de haut niveau. Ceci suppose de pouvoir disposer de bases d'apprentissage représentatives des travaux agricoles et des différents cas d'usages de ces robots.

En outre, pour bien appréhender les situations et alimenter ces algorithmes de décision, il est important de disposer de systèmes de perception avancés, permettant d'interpréter la situation à laquelle un robot est confronté [6]. Bien entendu ces approches nécessitent l'utilisation de capteurs, robustes face à des conditions diverses et changeantes en milieux naturels, et dont le coût doit être compatible avec la commercialisation. Ainsi, un des verrous technologiques réside dans le choix, l'exploitation et la vérification du bon fonctionnement de capteurs bas-coût, mais également du fonctionnement du robot.

Aussi, les aspects de supervision (notamment en interaction avec l'Humain) et de maintien d'intégrité sont particulièrement importants et demeurent émergents. La sécurité des opérateurs et de l'environnement est ainsi un point fondamental pour l'essor de la robotique agricole qui doit être garantie dans tous les cas d'usage [7]. En fonction des caractéristiques du robot et de son utilisation, cette problématique ne recouvre pas toujours les mêmes aspects et peut nécessiter des développements scientifiques. Quoi qu'il en soit, elle requiert la mise en place de protocoles de tests rigoureux, préalablement à la commercialisation, pour pouvoir garantir une utilisation sans risque des robots.

2.2 Besoins sociétaux et normatifs

L'aspect sécurité, évoqué précédemment, constitue le premier besoin sociétal auquel doivent répondre les robots dans le domaine de l'agriculture, mais il est loin d'être le seul. En effet l'introduction de robots pour la réalisation de tâches agricoles soulève beaucoup de questions, tant du point de vue législatif (la circulation de ceux-ci ne fait l'objet d'aucune norme spécifique²), que du point de vue de l'utilisation. Plusieurs cas de figure peuvent être évoqués. Le premier est que l'utilisateur du robot sera l'agriculteur, auquel cas, il est nécessaire que celui-ci soit formé à son utilisation et puisse disposer de moyens de dialogue efficaces ainsi que de capacités de réglage. Un second modèle est le partage de ressources robotiques, mises en œuvre par des prestataires spécialisés, auquel cas la question du modèle économique et de la répartition reste entier.

En tout état de cause, il convient de pouvoir quantifier les performances agronomiques de ces nouvelles machines, ce qui reste un problème ouvert³. En outre, la maintenance et l'assistance de ces robots est également un problème à résoudre. En effet, les robots rencontreront très certainement des pannes et seront de toutes façons confrontés à des situations nécessitant l'expertise humaine. Aussi, les rayons d'action, la compétence et la responsabilité de chaque acteur de la robotique agricole doivent être définis.

3. STRUCTURATION D'UNE FILIÈRE ÉMERGEANTE

3.1 De grands projets structurants

Comme le laisse entrevoir les sections précédentes, la robotique agricole est une nouvelle filière encore en émergence. Si elle propose d'ores et déjà de nouvelles solutions commerciales pour la réalisation autonome d'opérations agricoles, la dissémination de robots autonomes requiert encore des développements, à la fois aux niveaux scientifiques, technologiques, sociétaux et législatifs. De telles actions nécessitent des moyens considérables, notamment en termes de recherches, de simulation, d'essais et de qualification, qu'il convient de mutualiser, tout en restant au plus proche des besoins de l'agriculture. En conséquence, la structuration de cette thématique émergente qu'est la robotique agricole est en cours pour mettre en commun un

2 La norme NF EN ISO 18497 a toutefois été publiée, focalisée sur la notion de Machines agricoles hautement automatisées.

3 Bien qu'étudié dans certains cadres comme dans le challenge Rose de l'ANR <http://challenge-rose.fr/>

ensemble de concepts et de moyens, permettant à la robotique d'être réellement utile, efficace et sûre. On peut notamment citer trois exemples importants dans ce domaine :

- l'association RobAgri⁴ à l'échelon national ;
- le DIH AgROBOFood⁵ à l'échelon européen ;
- le groupe de travail Robotics in Agriculture⁶, de l'association IEEE-RAS à l'échelon international.

3.2 Repenser la production agricole

Au-delà de l'autonomie d'un robot unique, l'apport de la robotique en agriculture se comprend au niveau d'un système robotique, incluant une ou plusieurs plateformes mobiles, les outils, ainsi que l'environnement, comprenant également l'Humain. Ceci suppose tout d'abord le développement de nouveaux outils rendu possible par la robotique. Le traitement extrêmement localisé sur la végétation en 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 de 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 Humain/machine.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Blackmore S., « Towards robotic agriculture », in *SPIE Commercial+ Scientific Sensing and Imaging*, 2016, p. 986603–986603.
- [2] Baillie C.P., Lobsey C.R., Antille D.L., McCarthy C.L., et Thomasson J.A., « A review of the state of the art in agricultural automation. Part III: Agricultural machinery navigation systems », in *2018 ASABE Annual International Meeting*, 2018, p. 1.
- [3] Bergerman M., Billingsley J., Reid J., et Van Henten E., « Robotics in Agriculture and Forestry », in *Springer Handbook of Robotics*, Springer International Publishing, 2016, p. 1463–1492.
- [4] Lenain R., « La robotique agricole : une (r)évolution ? », *Tech. Ingénieur*, vol. s7786, n° ref. article : s7786, 2018.
- [5] Allgeuer P. et Behnke S., « Hierarchical and state-based architectures for robot behavior planning and control », *ArXiv Prepr. ArXiv180911067*, 2018.
- [6] Petrovskaya A. *et al.*, « Awareness of road scene participants for autonomous driving », in *Handbook of Intelligent Vehicles*, Springer, 2012, p. 1383–1432.
- [7] Almasri M., Tricot N., et Lenain R., « Toward an optimal assignment of diagnosis method to mobile robots faults », in *2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2018, p. 835–840.

4 www.robagri.fr

5 <https://agrobofood.eu/project/>

6 <https://www.ieee-ras.org/agricultural-robotics-automation>

LA ROBOTIQUE EN ÉLEVAGE

La robotique en bâtiments d'élevage de ruminants

Jean-Luc Ménard

Institut de l'Elevage, 42 rue Georges Morel - CS 60057 - 49071 Beaucozé Cedex

Tél. 02 49 71 06 36 ; jean-luc.menard@idele.fr

RÉSUMÉ

Ce document présente une synthèse des connaissances sur les robots en bâtiments d'élevage de ruminants, en particulier sur l'alimentation et l'entretien des aires de vie.

Mots-clés : bâtiment, ruminants, robotisation, alimentation, entretien

Le temps de travail d'astreinte est important en élevage. Par exemple, en élevage bovin laitier, les principaux postes par ordre d'importance sont la traite, l'alimentation, l'entretien du bâtiment (couchage, gestion des déjections) et les soins aux veaux avec respectivement et en moyenne 50 %, 28 %, 14 % et 8 % du temps de travail d'astreinte. Le présent document fait le point sur l'état des connaissances de la robotisation de l'alimentation et de l'entretien des aires de vie.

L'AUTOMATISATION DE L'ALIMENTATION

L'alimentation est le 2^e poste de travail en élevage laitier et le premier pour les autres élevages. Cette tâche est la plus variable avec des écarts de 1 à 4 selon les élevages. L'automatisation de l'alimentation a été développée depuis de nombreuses années en France en ce qui concerne les veaux (Distributeurs Automatiques de Lait), les concentrés (Distributeurs Automatiques de Concentrés), les repousse-fourrages. Pour l'automatisation de la ration fourragère, une offre récente et importante de robots d'alimentation est disponible mais nécessite une réflexion importante en termes d'implantation, de conduite de l'alimentation et de maîtrise des coûts de production. L'agrandissement des troupeaux et l'augmentation des contraintes de main d'œuvre et des temps de séjour en bâtiment, ont mis en avant ces nouvelles techniques qui commencent à se développer.

1. Point sur les équipements

Sur le marché français, 12 constructeurs proposent aujourd'hui des solutions différentes pour automatiser l'alimentation des bovins. Il s'agit d'équipementiers traditionnels de la distribution des fourrages et aussi de fournisseurs de robots de traite. En 2018, on estime que 160 élevages en étaient équipés en France. Une étude menée en 2017-2019 par les Chambres d'agriculture des Pays-de-la-Loire et l'Institut de l'Elevage, en collaboration avec les Chambres régionales d'agriculture de Bretagne et de Normandie, est en cours de finalisation sur la question des robots d'alimentation en exploitation bovine, et de leur impact sur la conception des bâtiments. Cette étude a été financée par la Région Pays-de-la-Loire et les fonds Casdar.

Toutes les solutions permettent une distribution robotisée de la ration et disposent généralement d'une cuisine, lieu de stockage intermédiaire des fourrages et autres ingrédients de la ration. L'agriculteur y approvisionne les tables et stockeurs où sont entreposés les ensilages et

fourrages grossiers, au godet une fois par jour ou tous les 2 jours ou avec une dessileuse cube, en moyenne deux à trois fois par semaine. La ration une fois mélangée est distribuée automatiquement par un robot.

Certains systèmes fonctionnent avec une mélangeuse fixe séparée de l'automate de distribution. Dans le cas le plus simple, la mélangeuse peut être alors alimentée en fourrages par l'éleveur mais dans la plupart des cas cela se fait automatiquement à partir des fourrages entreposés dans la cuisine. Le fait de séparer le mélange de la distribution permet de gagner en volume distribué et en débit, le mélange pouvant être effectué en même temps que la distribution de la ration précédente. Ces systèmes plus coûteux s'adaptent le mieux aux très gros élevages dépassant les 300 à 400 têtes à nourrir. Dans d'autres systèmes, le mélange est assuré par l'automate mobile qui assure également la distribution de la ration. Pour un automate sur roues, la phase de mélange se fait alors principalement quand l'automate est à quai, dans la cuisine pour bénéficier de l'alimentation électrique du secteur. Sur rail, la problématique n'est plus la même, le mélange peut avoir lieu y compris pendant la phase de déplacement du robot.

Une autre différence vient du type de stockage des fourrages dans la cuisine. Ils peuvent être stockés dans des cellules spécifiques qu'on appelle tables ou stockeurs ou être stockés au sol dans une cuisine. L'offre Lely est la seule à proposer cette dernière solution et c'est un grappin mobile automatisé qui va charger le robot. Ce système s'est développé car sa conception et son dimensionnement semblent plus adaptés aux effectifs de 250 à 350 têtes, de plus en plus présents dans les élevages mais très concernés aussi par le manque de main d'œuvre.

Les premiers robots qui ont été mis en place circulaient exclusivement suspendus sur un rail. L'avantage était de pouvoir s'affranchir de la nature des sols, de croiser les circuits sales, de passer au-dessus d'obstacles et de pouvoir se brancher sur secteur. Mais si cette solution reste intéressante dans certains cas, on note tout de même une tendance du marché aux robots sur roues qui fonctionnent sur batteries. L'intérêt dans ce cas est de pouvoir alimenter un troupeau éclaté dans différents bâtiments parfois éloignés sans besoin de renforcer la charpente ou de mettre en place des portiques métalliques coûteux. Les robots sur roues disposent souvent de repousse-fourrages efficaces. Et ils s'adaptent mieux aux situations où les bâtiments sont déjà existants mais sont moins autonomes de par leurs batteries qui nécessitent un temps de recharge. C'est pour cela qu'un troisième système a vu le jour : Trioliet propose depuis moins d'un an un automate sur roues alimenté électriquement par un rail léger qui sert aussi de guide.

Le premier avantage cité par les éleveurs enquêtés est sans conteste le gain de temps permis par ces systèmes. Il est pourtant fonction non seulement de la situation avant automatisation mais aussi du niveau d'automatisation. Sur ce point, le facteur limitant est le temps lié à l'approvisionnement de la cuisine. Tant qu'il sera nécessaire d'entreposer les aliments dans une cuisine on ne pourra réduire totalement le temps lié à l'alimentation du troupeau. Le gain actuel observé dans les enquêtes est en moyenne de 1 heure par jour. Mais, pour des tailles de troupeaux rencontrés (100 à 200 VL) ce n'est pas suffisant pour rentabiliser l'investissement. Il faut sans doute des tailles de troupeau encore plus importantes et nourrir tous les animaux de l'élevage (y compris génisses, engraissement...) pour mieux le rentabiliser et atteindre la saturation du robot (300 à 800 têtes selon les modèles). En effet, ces automates sont coûteux en investissement par rapport aux solutions les plus répandues, dessileuses tractées ou automotrices, mais ils permettent de réduire le temps et la pénibilité de travail, de mieux adapter la ration à des lots spécifiques, et d'augmenter la fréquence des apports. Mais y a-t-il des effets induits à considérer au niveau zootechnique ?

2. Effets zootechniques d'une fréquence élevée de distribution

Les robots d'alimentation permettent une distribution fréquente de la ration qui entraînerait une meilleure efficacité alimentaire. Deux études ont été conduites en utilisant un robot d'alimentation et avec des modalités d'essai avec fréquences élevées de 8 à 12 distributions par jour *vs* 1 ou 2 distribution par jour (Férard *et al.*, 2013 ; Grothmann, 2015). De nombreux auteurs ont conduit des essais avec des fréquences de distributions intermédiaires (3 à 6). Au-delà de 6 distributions par jour, l'ingestion journalière en matière sèche augmente légèrement de l'ordre de 2 à 4 % (4 essais sur 8 recensés ont des écarts significatifs). Les écarts de production laitière standard (4 % de matière grasse) sont faibles et non significatifs dans la grande majorité des essais. En conditions contrôlées et optimales, l'effet de la fréquence élevée de distribution sur l'ingestion et la production laitière est donc limité. Pourtant, après la mise en place de l'automatisation et l'augmentation de la fréquence des distributions, beaucoup d'éleveurs signalent des améliorations des performances des animaux, malgré une gestion simplifiée des refus. Cependant, à partir d'enquêtes en élevage, il a été constaté que ces améliorations sont souvent liées à d'autres facteurs explicatifs comme l'évolution des rations, à l'inadaptation du matériel de distribution précédent, à l'optimisation des pratiques précédentes ou à des facteurs structurels limitant (comme le manque de place à l'auge). Ces éléments ne sont donc pas liés directement à l'automatisation de l'alimentation car pouvant être améliorés par ailleurs.

Le temps quotidien consacré aux différentes activités est peu modifié par la fréquence de distribution (Faucet *et al.*, 2013 ; Grothmann, 2015). Cela peut s'expliquer par le fait que tous les animaux ne se déplacent pas forcément à chaque distribution. Le temps de couchage total a tendance à diminuer avec l'augmentation de la fréquence de distribution mais le temps de repos sans rumination est relativement stable (Grothmann, 2015). En revanche, c'est le temps de couchage avec rumination qui a tendance à diminuer avec l'augmentation de la fréquence, et est alors compensé par un temps de rumination debout plus élevé.

3. Le raclage des déjections

La robotisation du raclage des déjections se développe pour les sols en caillebotis alors qu'elle débute pour les sols pleins.

- **Raclage des sols caillebotis**

Même si les caillebotis sont ajourés pour l'écoulement du lisier, la mise en place d'un raclage est observée dans une majorité d'élevages bovins laitiers car cela contribue à la propreté des sols et des pieds des vaches avec des conséquences positives sur la prévention des boiteries, sur l'hygiène y compris du lieu de traite et donc sur la qualité des produits. La solution la plus fréquente est un robot de raclage (39 % des élevages) avec une large offre commerciale (CRD, Delaval, Joz, Lely, Fullwood...). Contrairement au raclage mécanique classique, les robots de raclage permettent d'entretenir toutes les aires de circulation des animaux, y compris les passages au niveau du lieu de traite ou entre les couloirs des bâtiments avec logettes. La fréquence de raclage est souvent plus élevée. Le robot permet aussi un raclage sélectif selon les zones et leur état de propreté (ex. raclages plus fréquents près du seuil des logettes). Il est aussi moins perturbant pour les animaux : sa largeur limitée permet un évitement par le côté contrairement aux racleurs mécaniques. Des options existent notamment avec une pulvérisation d'eau pour améliorer l'efficacité du raclage. Les fournisseurs recommandent un robot pour 250

vaches ou 1 250 m² maximum. Pour toutes ces raisons, les robots de raclage en élevage laitier devraient encore se développer.

- **Raclage des sols pleins**

Une nouvelle génération de robots racleurs pour les sols pleins est apparue récemment sur le marché avec deux fournisseurs (Lely et CRD). Ils présentent potentiellement les mêmes avantages que les robots sur caillebotis. Mais comme ils « aspirent » le lisier dans leur réserve, l'aménagement de zones de décharge de lisier est nécessaire, ce qui limite leur zone d'action. Des aménagements et des contraintes spécifiques sont à étudier au niveau des sols, ce qui peut en simplifier leur réalisation : faibles pentes, rainurage des sols, absence de marche au niveau des passages entre couloirs... Cette solution n'est possible qu'avec une conduite lisier. Se pose alors la question de la nature et de la quantité de matériau de litière qui est indispensable, y compris avec des tapis ou des matelas (Gervais *et al.*, 2017).

4. Le paillage

Le paillage mécanisé classique (voire manuel) peut être une opération difficile dans des bâtiments de taille importante avec de nombreux lots d'animaux. Il est en général fait une fois par jour en production laitière, et souvent moins souvent en production de viande (plusieurs fois par semaine). Il peut être dangereux avec les poussières, la projection d'objets ou de pierres... Au-delà de la simplification du travail d'astreinte liée à cette tâche, l'automatisation peut apporter des améliorations sur l'hygiène du couchage (fréquence et répartition du paillage) et sur les risques liés à la mécanisation. Le coût en investissement se situe autour de 60 à 70 000 € voire plus.

Deux classes de robots de paillage sont disponibles sur le marché :

- Des pailleuses suspendues sur rail avec balles rondes et/ou cubiques (ALTEC, GEA, KHUN...). Elles nécessitent des aménagements des charpentes voire des portiques spécifiques. Elles sont adaptées pour des couchages avec paille longue comme les aires paillées ou les logettes en conduite fumier.
- Un circuit de paillage avec en amont une réserve de paille assurant le démêlage de la botte, le broyage de la paille selon le réglage choisi, l'approvisionnement du circuit et le dépoussiérage. Ensuite la distribution est réalisée soit par un circuit fermé avec des sorties calibrées pour une bonne répartition (Euromark, Schauer commercialisé par Tardif-Vassal...), soit par une buse suspendue se déplaçant sur un rail (Dussau Distribution). Ces solutions aboutissent à de la paille plus ou moins broyée adaptée aux logettes. L'utilisation pour les aires paillées est possible pour des animaux de petits gabarits.

Certains sujets restent à perfectionner comme l'approvisionnement en bottes et l'élimination des ficelles, les risques liés aux cailloux, l'adaptabilité aux différences de qualité de la paille ou à d'autres matériaux de litière, la bonne répartition de la paille selon les conditions de ventilation.

BIBLIOGRAPHIE

Briand P., Gervais F., Kientz S., 2017. La propreté des sols des bâtiments pour vaches laitières : préconisations d'entretien et perspectives d'amélioration. Institut de l'Élevage, Collection Synthèse, 24 pages.

Faucet S., Mounaix B., Férard A., Cabon G., Protin P.V., Ménard J.L., 2013. Effets de la fréquence de distribution d'une ration complète, gérée par un système automatisé, sur le comportement des vaches laitières. Renc. Rech. Ruminants, 20, 210.

Férard A., Faucet S., Protin P.V., Ménard J.L., Brunschwig P., 2013. Effet de la fréquence de distribution d'une ration complète, gérée avec un système automatisé, sur les performances de production des vaches laitières Renc. Rech. Ruminants, 20, 109.

Gervais F., Capdeville J., David V., Duvauchelle-Waché A., Gautier J.M., Le Clainche D., Le Guénic M., Le Page P., Leruste H., Ménard J.L., Mounaix B., Rousel P., 2017. Des vaches laitières en bonne santé : moins d'antibiotiques avec de bonnes pratiques d'élevage et des bâtiments adaptés. Plan EcoAntibio 2017. Institut de l'Élevage, Collection Synthèse, 88 pages.

Grothmann A., 2015. Einfluss von automatischen Fütterungsverfahren in der Milchviehhaltung auf das Tierverhalten und die Futterqualität. Dissertation. Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Forschungsanstalt Agroscope Tänikon, 274 pages.

Témoignage du constructeur Dussau Distribution

Florian Laran

Dussau Distribution, Zone artisanale, Route d'Aire, 40320 Pecorade

f.laran@dussau-distribution.com

RÉSUMÉ

Dussau Distribution, c'est 40 ans d'expérience, de savoir-faire, d'innovation permanente et l'expertise d'une équipe vouée au service des éleveurs. Son budget R&D est de 10 % par an. Grâce à son bureau d'études Inateco, le constructeur a développé Sentinel : 1^{er} robot de paillage automatique, de surveillance et d'assistance, doté d'une intelligence artificielle.

Mots-clés : innovation ; robot ; paillage ; litière

1. BIEN ÉLEVER LES ANIMAUX ET RESPECTER DURABLEMENT LES HUMAINS ET LA NATURE

Reconnu comme l'expert de l'alimentation des poulets Libertés et des palmipèdes, Dussau Distribution concepteur et fabricant français, devient le spécialiste de la pailleuse automatique pour tous types d'élevages.



Figure 1 : Alain Rousset, président de la Région Nouvelle-Aquitaine, testant la pailleuse Dussau au lycée de Montardon dans les Pyrénées-Atlantiques.

Nos priorités :

- apporter les solutions techniques pour la distribution des litières et la biosécurité ;
- anticiper les évolutions technologiques des méthodes de paillage, de surveillance et d'assistance aux éleveurs ;
- augmenter significativement les performances technico-économiques des exploitations ;
- améliorer le bien-être de l'éleveur, de ses animaux et optimiser le temps de travail.

Dussau Distribution c'est aussi la disponibilité d'une équipe dédiée, aux compétences reconnues, ayant permis à l'entreprise de proposer un service maintenance et après-vente précurseur pour garantir à chaque utilisateur une prise en charge réactive et performante.

En 1984, Christian Dussau, a créé l'entreprise Dussau Distribution à Pécorade.

Au cours de ces 35 dernières années, Christian Dussau a déposé 38 brevets grâce à l'Anvar, Oseo et BPI et le Conseil départemental des Landes et le Conseil régional de la Nouvelle-Aquitaine.

En 2009, il crée la société Inateco, bureau d'études R&D en développement durable qui a pour donneur d'ordres Dussau Distribution, des groupements coopératifs et d'autres d'entreprises.

2. CHRISTIAN DUSSAU ET L'INNOVATION

Une invention c'est l'acte de développer un nouveau produit ou un nouveau service. Une invention qui est adoptée par le marché est une innovation. En bref, l'innovation c'est une invention qui se vend.

L'innovation, c'est pour Christian Dussau, l'interaction permanente entre sa culture familiale d'éleveur et sa vocation d'entrepreneur : Christian Dussau est un innovateur-ingénieur, concepteur-constructeur de machines d'élevage. Il recherche en permanence des solutions aux problèmes rencontrés par ses clients agriculteurs. Le budget R&D est de 10 % par an : c'est à dire environ 5 000 k€ sur 10 ans, soit le tiers de la masse salariale.

L'innovation, c'est également pour lui, le partage de connaissances lors de rencontres improbables dans les salons nationaux et internationaux sur le secteur de l'agriculture mais aussi de la santé, du bien-être de la personne, des jeux vidéo, de l'automobile, du bâtiment...

L'innovation est le résultat d'une de ses convictions intimes : les avancées technologiques conçues doivent impérativement améliorer le bien-être des animaux ET les résultats technico-économiques des éleveurs.

« Innover, c'est être patient, audacieux et passionné... »

3. LE ROBOT SENTINEL

L'épandage de litière est une tâche en constante évolution, hautement influencée par les pratiques des éleveurs, la disponibilité et l'évolution du prix des produits à épandre. Chronophage, couteuse et contraignante, la litière est primordiale pour le bien-être et la bonne santé des animaux d'élevage, comme le démontrent les récentes évolutions réglementaires (antibiorésistance, pododermatite etc.).

Suite à ce constat, Dussau Distribution a souhaité que son bureau d'étude Inateco crée une solution novatrice pour mieux « élever les animaux et protéger ceux qui s'en nourrissent ».

En 2018, Inateco innove avec le robot Sentinel, un équipement qui permet d'épandre automatiquement tous types de produits – paille broyée (2 à 5 cm), paille coupée (5 à 15 cm), menue paille, copeaux, sciure, farine, miettes ou granulés de paille, cosses de sarrasin, balle de riz, miscanthus, plaquettes de bois, etc. – en présence des animaux, sans bruit et sans poussière, sur plus de 200 mètres.

Présenté et récompensé par une médaille d'argent lors de l'édition 2018 du salon Eurotier, le robot Sentinel est destiné à tous types de bâtiments (neufs et anciens sans nécessité de renforcement de la structure) et adaptable à toutes les productions animales (volailles, bovins, porcins, ovins, caprins, ...).

Gestion de la litière

- Détection des zones humides
- Épandage ciblé

Surveillance des animaux

- État de santé, état d'engraissement
- Évaluation du poids
- Nervosisme

Amélioration de l'ambiance

- Mesures : températures de l'air et de la litière, hygrométrie, CO², ammoniac, poussière, vitesse d'air, luminosité...
- Incorporation d'huiles essentielles, de bactéries, d'asséchants, de désinfectants afin d'améliorer l'ambiance en élevage

Collecte de données

- Station d'accueil pour d'autres technologies actuelles et à venir
- Partage des données dans le Bigdata

Les gains de la distribution robotisée

Loïc Cottin¹, Céline Boyard²

¹GAEC Cottin-Séreilhac, ²Chambre d'agriculture de la Haute-Vienne

celine.boyard@haute-vienne.chambagri.fr

RÉSUMÉ

Nous sommes un GAEC familial. Je suis installé avec mon épouse Isabelle, mon fils Cyril et ma belle-fille Aurélie qui vient récemment de s'installer. Le siège social de l'exploitation est situé à Gattebourg sur la commune de Séreilhac mais les bâtiments sont dispersés sur quatre sites qui fonctionnent en quasi autonomie.

Dans le cadre de l'installation d'Aurélie, en 2018, le GAEC a construit sur le même site que le bâtiment des vaches laitières (VL), un bâtiment aire paillée intégrale pour les vaches taries, l'élevage des génisses laitières et l'engraissement des bovins viande.

Mots-clés : bovin ; robot distributeur ; ration ; organisation du travail ; autonomie fourragère, rentabilité

1. L'EXPLOITATION

Notre exploitation couvre 250 hectares dont :

- 40 hectares de céréales à paille ;
- 40 hectares de maïs ensilage.

La totalité des cultures est destinée à l'autoconsommation des animaux.

Nous avons deux systèmes de production :

- un atelier bovin lait avec 110 vaches laitières et une production de 1,15 million de litres de lait en race Prim'Holstein. 100 % des femelles sont inséminées par les exploitants eux-mêmes ;
- un atelier bovin viande avec 75 vaches limousines en système naisseur-engraisseur.

2. UNE MACHINE ENTRE LES ANIMAUX ET NOUS

Nous utilisons depuis plusieurs années l'informatique et la robotisation comme outils de travail.

- Deux robots de traite nous permettent de suivre au jour le jour la production de chaque animal et la qualité de lait produit.
- Un robot racleur gère les effluents dans le bâtiment VL.
- Après avoir testé un robot repousse fourrage, nous avons choisi d'installer un robot distributeur de rations. Il permet d'alimenter les deux bâtiments VL et engraissement grâce à différentes programmations.

Notre expérience de la robotisation et le fait d'avoir utilisé une mélangeuse avant, nous permettent d'appréhender au mieux les capacités du robot distributeur. En effet, cet outil nous permet de moduler plein de paramètres. Il faut savoir utiliser la machine qui est entre nous et nos animaux. Nous décidons de l'ordre des apports des éléments de la ration, le temps d'hachage avec contre-couteaux ou pas et le poids de chaque matière première.

Notre objectif est d'avoir des rations les plus digestes et les plus efficaces possibles.



Figure 1 : *Le robot distributeur de rations suit un chemin programmé, se remplit seul grâce à un grappin avec un grand nombre possible de rations et repousse la ration autant de fois qu'il faut.*

2.1 Un coût important

C'est un investissement important de 180 000 € mais il a fallu aménager la cuisine et le chemin d'accès entre les deux bâtiments. Nous devons changer la mélangeuse et le tracteur qui va devant pour 100 000 €.

La maintenance coûte 4000 €/an : c'est une machine qu'il faut bien entretenir car c'est un petit bol alors il ne faut pas prendre de retard. On passait pour 5000 € de fioul avec la mélangeuse.

2.2 Encore plus éleveur qu'avant

Nous avons déjà pu constater les plus de ce système. Je suis encore plus éleveur qu'avant car cette machine me permet de mieux cibler les animaux à problèmes grâce à la complémentarité entre le robot de distribution et le robot de traite. C'est le même logiciel. En un quart d'heure, j'ai des données techniques – comme l'efficacité de la ration ou les temps de rumination – qui me donnent d'importantes indications.

Nouvelle organisation du travail : - 1h de travail par jour

Le remplissage du robot est automatisé. Nous organisons le remplissage de la « cuisine » comme nous l'entendons : il n'y a plus aucune contrainte horaire. Cet été, la gestion des congés s'est faite facilement.

Meilleure autonomie fourragère : zéro refus

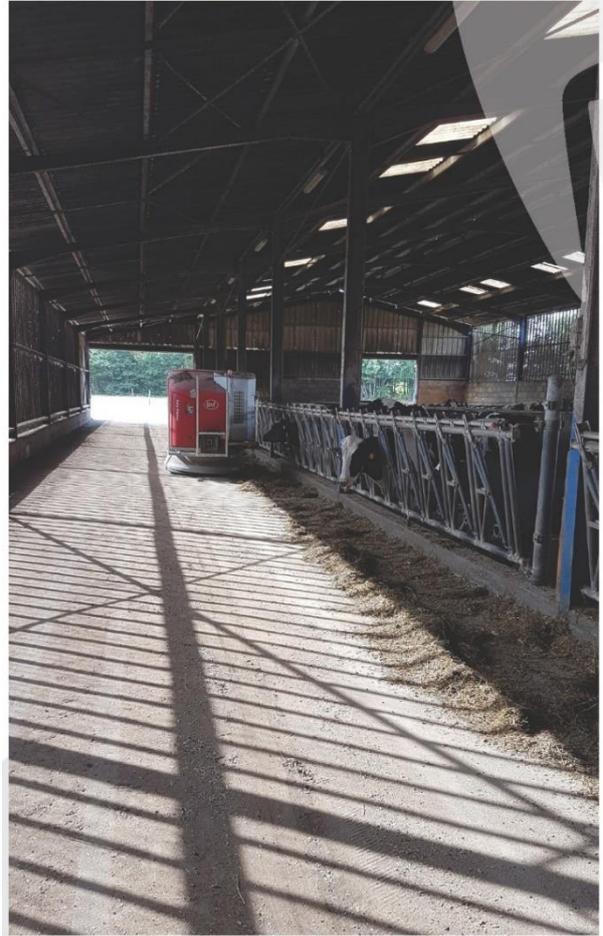
Le robot passe pour repousser la ration et lit ce qu'il reste de la ration dans l'auge. Nous pouvons régler les paramètres de remplissage au jour le jour. Cela nous a permis cet été d'empêcher la ration de chauffer dans l'auge.

Meilleure rentabilité de la ration : + 300g de GMQ

Le robot ajuste les rations aux besoins des animaux au mètre linéaire. Pour les mâles, nous avons trois rations : transition, croissance et finition.

Impact financier positif : - d'euros dans le concentré

Nous économisons des concentrés grâce à l'introduction de l'enrubannage dactyle luzerne dans toutes les rations génisses et vaches tarées qu'il n'y avait pas avant. Le fait d'avoir aménagé dans la cuisine, des boxes pour du stockage de tourteau à plat, nous a permis les achats à terme avec des prix très intéressants.



AU-DELÀ DE LA TECHNOLOGIE

Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde

Karine Daniel

Économiste – Directrice de Recherches – ESA LARESS – ESA Angers

k.daniel@groupe-esa.com

RÉSUMÉ

Applications, bases de données, équipements connectés... : l'agriculture s'inscrit sans conteste dans le mouvement de numérisation du monde. Au-delà des enjeux technologiques majeurs, ce phénomène a, pour les agriculteurs, pour la profession agricole et pour les filières agricoles et agroalimentaires, des conséquences tout à la fois économiques et sociologiques. Se pose également la question de la circulation des données dans les filières agricoles et agroalimentaires. Enjeu majeur en termes de traçabilité et de transparence, cette question implique celle de la gouvernance dans le domaine des données. Et donne aussi à voir l'évolution possible de la relation entre producteurs et consommateurs.

Mots-clés : Robotique agricole, données numériques, partage des données, gouvernance

1. LE NUMÉRIQUE DANS L'EXPLOITATION AGRICOLE ET SON IMPACT SUR LA PROFESSION

Les rencontres professionnelles agricoles voient se multiplier les démonstrations de matériels, de dispositifs mobilisant des nouvelles technologies, l'usage des données et du numérique. Depuis quelques années, les salons de l'agriculture, le SIMA, les salons de l'élevage, du végétal sont les vitrines de ces offres qui s'étoffent et qui rencontrent un certain succès auprès des agriculteurs et des opérateurs des filières agricoles et agroalimentaires. Au-delà des enjeux techniques et technologiques, ce phénomène doit être analysé aux plans économique et sociologique.

Les agriculteurs mobilisent ces technologies qui, dans une certaine mesure, sont susceptibles d'accélérer certaines mutations observées dans le secteur et les filières agricoles et agroalimentaires. Par exemple, le développement des circuits courts repose avant tout sur la nécessité pour certains producteurs et consommateurs de renforcer des liens de proximité. Dans ce cas, le numérique permet un développement de ces formes de commercialisation selon de nouvelles modalités et offre un potentiel de croissance décuplé. Les réseaux d'échange de pratiques étant traditionnellement relativement développés entre agriculteurs, l'essor des réseaux sociaux permet d'élargir, sous de nouvelles formes, le cercle des discussions pour ces individus. Par ailleurs, l'utilisation des outils numériques et d'aide à la décision par les acteurs

du conseil agricole modifient leurs pratiques, réinterrogent leur métier et font d'eux des « conseillers augmentés ».

Au-delà, pour la production agricole, les technologies qui rencontrent un certain succès et qui sont massivement adoptées dans les exploitations améliorent les conditions de production sous certains aspects. Par exemple, en productions végétales, les technologies adoptant la géolocalisation et la robotique permettent de limiter l'usage d'intrants, ce qui est positif en termes d'empreinte environnementale et peut, dans certains cas, limiter les coûts de production. Dans le secteur de l'élevage, la vidéosurveillance des animaux et le développement de robots de traite modifient l'organisation du travail en élevage, question d'importance dans un secteur où ces types de contraintes sont fortes, et peuvent même constituer un frein à l'engagement des jeunes dans ces métiers.

À travers ces exemples, nous observons que le numérique accompagne, accélère parfois des mutations sans forcément créer de rupture forte ou de réel « big bang ». Au-delà de ces constats, et à partir de travaux d'enquête, nous nous demandons si les nouvelles technologies et le numérique seront en mesure d'accompagner les agriculteurs et plus globalement les acteurs de filières agroalimentaires face aux grands défis qu'ils doivent relever.

La question des économies d'intrants et de ressources non renouvelables dans la production est un axe d'action majeur pour les opérateurs de l'agriculture et du numérique. Les entreprises du machinisme agricole, les coopératives et de nouvelles start-up se mobilisent autour de ces enjeux. Au niveau mondial, les agriculteurs doivent se mobiliser contre le changement climatique, réduire leur empreinte environnementale sachant que la population à nourrir augmente simultanément. La multiplication des sources d'économie de ressources (intrants chimiques, carburants) favorisée par l'usage des nouvelles technologies doit contribuer à résoudre cette équation qui est au cœur des défis de l'agriculture.

Ces préoccupations d'économie des ressources positives pour l'environnement et pour la maîtrise des coûts de production doivent aussi se renforcer au sein des filières et, dans ce cadre, le numérique doit aider à lutter globalement contre le gaspillage alimentaire tout au long des filières. Des marges de développement importantes existent dans ce domaine et sont potentiellement porteuses de création de valeur.

2. LA QUESTION SENSIBLE DES DONNÉES

Ces développements se heurtent toutefois à une question stratégique. En effet, si le numérique et les technologies liées se développent dans les exploitations, dans les unités de transformation ou « usines du futur » et dans la distribution, nous constatons que la circulation des données au sein des filières, entre les opérateurs, est plus difficile à mettre en œuvre. Se pose la question de l'interopérabilité des données qui doit trouver des solutions techniques appropriées mais, au-delà, cela pose la question sensible du partage et de la gouvernance des données.

Pour le décideur public, ce partage pourrait éclairer utilement le débat sur le partage de la valeur ajoutée entre les opérateurs des filières agroalimentaires. Dans ce contexte, les freins au partage des données dans les filières sont plus stratégiques que techniques.

Cet enjeu de circulation des données au sein des filières est majeur en termes de traçabilité des produits, de sécurité sanitaire. En effet, le partage des données doit par exemple permettre de retirer quasi-instantanément un produit de la vente dès lors qu'un problème sanitaire est repéré sur un lot. Les cas récents de retraits échelonnés de laits infantiles contaminés nous montrent que des marges de progrès importantes existent de ce point de vue. Plus globalement sur les aspects sanitaires, les derniers développements de l'intelligence artificielle pourraient être utiles à la détection précoce de maladies, sur les plantes notamment – de premières expériences prometteuses existent dans ce domaine. Reste que pour se développer, ces technologies nécessitent des investissements relativement importants en recherche et développement. La question du retour sur investissement se pose inévitablement dans un secteur, l'agriculture, qui présente des niveaux de valeur ajoutée relativement faibles par rapport à d'autres secteurs. Les enjeux de traçabilité impliquent également de passer d'une situation actuelle où dans la plupart des cas les agriculteurs font des choix autonomes de s'équiper ou non en dispositifs numériques pour des enjeux qui relèvent principalement d'objectifs économiques, de travail et environnementaux à l'échelle de leur exploitation, à une situation d'imposition de dispositifs numériques de traçabilité par les filières ou le législateur. Dans cette situation future, les questions de prise en charge des coûts d'entrée pour tous dans ces dispositifs, et de justification politique d'imposer un dispositif de surveillance se posent également. Enfin, les processus de concentration qui s'opèrent entre les organisations professionnelles et les transformateurs posent la question du contrôle des données par des opérateurs de plus en plus puissants. Cette concentration interroge sur la capacité des agriculteurs à être partie prenante de la gouvernance des données.

Un des enjeux majeurs de la pérennité de l'agriculture dans les pays développés est celui de la compétitivité et de la capacité de la main d'œuvre à se renouveler. Cet enjeu économique et social se traduit concrètement dans les exploitations agricoles par une nécessité de produire plus et mieux avec une main-d'œuvre qui se raréfie non pas du fait de la main d'œuvre disponible globalement, mais plutôt du fait d'un certain manque d'attractivité des métiers de l'agriculture. Pour les exploitants actifs, se pose la question des conditions de travail en termes de temps, de fréquence et de pénibilité. Dans ce domaine, les nouvelles technologies mobilisées dans les exploitations peuvent être utiles en termes de gain de temps et de baisse de la pénibilité de certaines tâches. Le potentiel de développement est important dans ce domaine autour du numérique, de la robotique et de la cobotique¹.

¹ Collaboration Humain-Robot

De manière prospective, cet enjeu rejoint à long terme la question de l'attractivité des métiers de l'agriculture pour les jeunes actifs notamment.

Enfin, le développement du numérique dans le domaine agricole et agroalimentaire pose inévitablement, à terme, la question du rapport des activités au développement des territoires ruraux notamment. Les travaux pionniers dans ce domaine de l'économie géographique montrent que la numérisation de l'économie concourt globalement à l'agglomération des activités sous la double nécessité de valoriser au mieux les économies d'échelle dans les entreprises et de limiter les coûts de transport des marchandises. Dans des économies où globalement les activités s'agglomèrent, ce phénomène s'autoentretient et se renforce au fil du temps. Les activités agricoles et agroalimentaires n'échappent pas à long terme à ces phénomènes de concentration géographique, mais sous des formes singulières qui intègrent la spécificité agricole qui est que la terre n'est pas un simple support d'activité mais un facteur de production en soi.

Dans ce contexte, la maîtrise des coûts de production au niveau des exploitations et des filières est essentielle. Une meilleure maîtrise des processus de production accompagnée par les nouvelles technologies pourrait permettre à des territoires agricoles de rester compétitifs dans un moment clé où les aides publiques liées à la production tendent à décroître au fil des réformes de la Politique agricole commune (PAC) en Europe, par exemple. Dans ce contexte, notons que le développement des circuits courts renforcé par l'usage du numérique permet, dans une certaine mesure, de développer des activités agricoles et d'agrotourisme dans des territoires divers, la question de la taille du marché et des conditions d'accès aux consommateurs se posant dans tous les cas.

Par ailleurs, notons que les derniers développements d'une agriculture hautement technologique s'effectuent dans des milieux maîtrisés (aquaponie, hydroponie...) et dans des milieux urbains. Ainsi des start-up comme Agricool qui produit et commercialise des petits fruits cultivés dans des containers, en milieux contrôlés et urbains, rencontrent un vif succès (en termes de levée de fonds et de commercialisation). Dans cette lignée, des travaux prospectifs menés, par exemple, par le *National Farmers Union* en Grande Bretagne place le développement des fermes urbaines et verticales comme un moyen de produire plus en mobilisant moins d'espace et de ressources (NFU (2019) : *Farming in 2040*). Il est intéressant de noter que ce travail prospectif fait une large place au développement des technologies dans le modèle agricole britannique au moment où ce pays quitte l'Union européenne et la PAC.

Il est probable que, à moyen terme, le développement de l'agriculture se situe dans un chemin intermédiaire où les technologies pérennes seront celles qui accompagneront les mutations structurelles de l'agriculture et de l'alimentation : des technologies au service d'agricultures productives et durables aux sens économique, social et environnemental. Au-delà, la grande diversité des technologies mobilisables renforcera aussi probablement la diversité des modèles agricoles dans des marchés de l'agriculture et de l'alimentation qui tendent à se segmenter.

BIBLIOGRAPHIE

Daniel K., Courtade N., Coord (2019) « Les agriculteurs dans le mouvement de numérisation du monde : Enjeux économiques et sociologiques » Ed. Educagri, collection Références, 224 p.

Centre Inra Nouvelle-Aquitaine - Poitiers
Le Chêne - RD 150
CS 80006 - 86 600 Lusignan
www.nouvelle-aquitaine-poitiers.inra.fr

Chambre régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine
CS 45002 - 86 550 Mignaloux-Beauvoir
www.nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr

Avec le soutien financier de :

