



**AgroÉquipements intelligents et robotique pour
l'agriculture de demain : l'Unité TSCF, lieu d'innovation pour le
développement des nouvelles technologies au service de l'agroécologie**

Avril 2026

Roland Lenain, INRAE

Jean-Pierre Chanet, INRAE

Christine Douchez, INRAE



Etude de cas du département **MathNum** réalisée selon la méthode ASIRPA (Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE.

Résumé

Pour réduire les impacts environnementaux du secteur agricole et limiter les effets de l'agriculture sur le changement climatique, les pratiques fondées sur les principes de l'agroécologie offre un cadre d'innovation prometteur et porteur de solutions.

Créée en 2001 au sein du Cemagref, l'Unité de recherche TSCF "Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes de Clermont-Ferrand" a très tôt adopté une méthode de recherche intégrative pour développer des solutions répondant à ces enjeux en développant des projets de recherche dans les domaines des agroéquipements intelligents, de la robotique, de la collecte et de la gestion de l'information. C'est ainsi que dès 2007, elle a inventé et breveté deux bancs d'essais pour tester et certifier les machines d'épandage d'engrais afin de réduire les pertes et les excès d'engrais au champ.

Forte de ses collaborations avec les industriels du secteur du machinisme, TSCF a contribué au développement de nombreux systèmes d'assistance à la conduite, de navigation autonome, de détection d'obstacles sans contact, de dispositifs de sécurité. Ces systèmes ont généralement été intégrés par les constructeurs des machines qu'ils commercialisent.

L'Unité a également contribué à la conception du Baudet-Rob, un robot de transport de marchandises utilisable en arboriculture et en viticulture qui a amené à la création de la société Effidence qui commercialise cette technologie, actuellement utilisée pour des applications logistiques.

Grâce à l'association avec SABI-AGRI au sein du LabCom Tiara, TSCF a développé différentes approches permettant une navigation autonome précise qui ont abouti à la mise au point de la première flotte collaborative associant un tracteur électrique et un robot.

Elle a développé une forge logicielle partageable, regroupant des algorithmes standardisés correspondant à des fonctionnalités robotiques dans les domaines de la planification, de la perception ou de la commande, algorithmes dont certains ont été repris par des constructeurs pour des machines commercialisées. Ces avancées ont abouti à la création deux autres entreprises : Allegorithmic et 4DV-Virtualize.

Intégrée dans un écosystème régional favorable, (Laboratoire d'excellence IMobS3, Institut Carnot Plant2Pro), l'unité TSCF joue un rôle important dans l'animation de la recherche sur la navigation autonome tout terrain et agricole via son implication dans deux projets principaux qu'elle coordonne : le Roboterrium, une plateforme, regroupant des robots en milieu naturel et un laboratoire, partagée avec d'autres laboratoires de recherche et des industriels et le projet NinSar, porté par INRAE, l'INRIA et le CEA-List dans le cadre du PEPR Agroécologie et numérique.

A l'origine de plus de 600 actes de conférences, TSCF organise de nombreux séminaires et colloques dans le domaine de la robotique et des agroéquipements intelligents, participe au Salon International de l'Agriculture, au Salon international du machinisme agricole, à InnovAgri. Depuis 2017, TSCF contribue à l'organisation du FIRA, le Forum International de la Robotique agricole et met ses installations à la disposition de challenges pour évaluer des robots de désherbage autonomes.

En 2017, TSCF a contribué à la création de l'association RobAgri, qui regroupe l'ensemble des acteurs de la filière robotique française. Suite au lancement du Grand défi Robotique en septembre 2023, TSCF accueille sur son site de Montoldre l'AgroTechnoPôle, une plateforme ouverte au service de tous les acteurs impliqués dans les équipements agricoles innovants pour accompagner leurs développements de solutions technologiques et numériques pour la transition agroécologique.

Les travaux de l'Unité TSCF ont des impacts environnementaux, sanitaires et sociaux : réduction des émissions de CO₂, réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, diminution de l'impact au sol, optimisation de l'épandage d'engrais, diminution de la pénibilité au travail, attractivité du métier d'agriculteur, diminution du risque lié aux produits phytosanitaires, des accidents du travail, ... L'Unité TSCF favorise l'appropriation des nouvelles technologies -et tout particulièrement de la robotique- par sa démarche collaborative, par la dynamique collective portée par la plateforme de recherche et d'innovation AgroTechnoPôle et par le Grand Défi Robotique. Ces dispositifs permettent l'intégration d'agroéquipements adaptés aux transitions au sein des différentes filières agricoles.

Summary

To reduce the environmental impact of the agricultural sector and limit the effects of agriculture on climate change, practices based on the principles of agroecology offer a promising framework for innovation and solutions.

Created in 2001 within Cemagref, the TSCF Research Unit 'Technologies and Information Systems for Agrosystems in Clermont-Ferrand' adopted an integrative research method very early on to develop solutions to these challenges by developing research projects in the fields of smart agricultural equipment, robotics, and information collection and management. In 2007, it invented and patented two test benches for testing and certifying fertiliser spreaders in order to reduce losses and excess fertiliser in the field.

Building on its collaborations with manufacturers in the machinery sector, TSCF has contributed to the development of numerous driver assistance systems, autonomous navigation systems, contactless obstacle detection systems and safety devices. These systems have generally been integrated by the manufacturers of the machines they market.

The Unit also contributed to the design of Baudet-Rob, a goods transport robot for use in arboriculture and viticulture, which led to the creation of Effidence, a company that markets this technology, currently used for logistics applications.

Thanks to its partnership with SABI-AGRI within LabCom Tiara, TSCF has developed various approaches enabling precise autonomous navigation, which have resulted in the development of the first collaborative fleet combining an electric tractor and a robot.

It has developed a shareable software forge bringing together standardised algorithms corresponding to robotic functionalities in the fields of planning, perception and control, some of which have been adopted by manufacturers for commercial machines. These advances have led to the creation of two other companies: Allegorithmic and 4DV-Virtualize.

Integrated into a favourable regional ecosystem (IMobS3 Laboratory of Excellence, Carnot Plant2Pro Institute), the TSCF unit plays an important role in promoting research into autonomous all-terrain and agricultural navigation through its involvement in two main projects that it coordinates: Roboterrium, a platform combining robots in natural environments with a laboratory, shared with other research laboratories and industry partners, and the NinSar project, led by INRAE, INRIA and CEA-List as part of the PEPR Agroecology and Digital initiative.

With more than 600 conference proceedings to its credit, TSCF organises numerous seminars and colloquia in the field of robotics and smart agricultural equipment, and participates in the International Agricultural Show, the International Agricultural Machinery Show and InnovAgri. Since 2017, TSCF has been involved in organising FIRA, the International Forum on Agricultural Robotics, and makes its facilities available for challenges to evaluate autonomous weeding robots.

In 2017, TSCF contributed to the creation of the RobAgri association, which brings together all players in the French robotics sector. Following the launch of the Grand Défi Robotique (Great Robotics Challenge) in September 2023, TSCF is hosting the AgroTechnoPôle at its Montoldre site, a platform open to all players involved in innovative agricultural equipment to support their development of technological and digital solutions for the agroecological transition.

The work of the TSCF Unit has environmental, health and social impacts: reduction of CO₂ emissions, reduction in the use of plant protection products, reduction of the impact on the soil, optimisation of fertiliser spreading, reduction of the drudgery of work, attractiveness of the farming profession, reduction of the risks associated with plant protection products, accidents at work, etc. The TSCF Unit promotes the adoption of new technologies – particularly robotics – through its collaborative approach, the collective dynamic driven by the AgroTechnoPôle research and innovation platform and the Grand Défi Robotique (Great Robotics Challenge). These initiatives enable the integration of agricultural equipment adapted to transitions within the various agricultural sectors.

Problématiques sociétales initiales et contexte externe initial

Pour réduire les impacts environnementaux du secteur agricole et limiter les effets de l'agriculture sur le changement climatique, les pratiques fondées sur les principes de l'agroécologie offrent un cadre d'innovation prometteur et porteur de solutions. Imposant une charge de travail plus importante aux agriculteurs, parfois confrontés à une pénurie de main d'œuvre, la mise en œuvre de ces pratiques nécessite de trouver des solutions pour faciliter la réalisation de tâches pénibles ou répétitives (désherbage manuel par exemple).

A ce titre, les nouvelles technologies et notamment la robotique qui permettent de réaliser des opérations précises, répétitives, parfois longues et pénibles sont un levier déterminant pour le développement de processus de production conformes aux principes de l'agroécologie sans alourdir la charge de travail l'agriculteur. Également facteur d'attractivité pour les nouvelles générations d'agriculteurs, ces nouvelles technologies aident à assurer la qualité et la quantité des productions agricoles tout en réduisant leur impact environnemental.

Dès le début des années 2000, des modes de production plus respectueux de l'environnement comme l'Agriculture de précision (AP) ou l'Agriculture Biologique (AB) qui demandent des opérations plus fréquentes, nécessitent une surveillance accrue sur le terrain et imposent de moduler les traitements sur des zones spécifiques ont été à l'origine des recherches sur l'automatisation des opérations agricoles et sur la mise au point de nouveaux outils.

La robotique est apparue dès les années 60 dans le milieu industriel et plus particulièrement dans le secteur automobile. Son développement pour l'agriculture se révèle cependant plus compliqué. Les variations des conditions extérieures (luminosité, climat, propriétés du sol, ...) rendent plus difficilement contrôlables les interactions entre la machine et son environnement. Pour prendre en compte ces conditions spécifiques, il est apparu nécessaire de développer non seulement des matériels adaptés mais aussi des algorithmes innovants de perception et de contrôle des machines sur le terrain, couplés à des systèmes de collecte d'informations et de gestion des données environnementales.

A l'heure actuelle, le secteur agricole comprend une soixantaine de modèles de robots. Le marché représente environ 3000 robots vendus dont environ 600 en activité en France en production végétale regroupant :

- des robots porte-outils ayant le même rôle que les tracteurs et qui représentent 60% des parts de marché ;
- des robots spécialisés (en maraîchage par exemple ou viticulture) : 30% des parts de marchés ;
- des robots de récolte : en cours de développement pour des productions à haute valeur ajoutée comme le raisin ou les pommes, et qui commencent à être développés pour les grandes cultures et dans le secteur forestier.

Dans le secteur de l'élevage, les robots sont assez courants pour la traite, l'alimentation du bétail, le raclage et le paillage des étables. En extérieur, des drones sont actuellement développés pour diverses applications, dont le comptage des brebis.

Sont souvent couplés à ces robots, des capteurs connectés pour accompagner et optimiser leur utilisation : dispositifs de repérage et de modélisation de la parcelle, dispositifs de guidage autonome, outils d'aide à la décision.

Le développement de l'Intelligence artificielle et de l'informatique embarquée ouvre de nouvelles perspectives dans le traitement d'images, le repérage de maladies, l'optimisation de la gestion des cultures et du bétail, la prédiction de pannes, ... Des outils conversationnels sont également développés.

Créée en 2001, l'Unité de recherche TSCF "Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes de Clermont-Ferrand" a très tôt adopté une méthode de recherche intégrative pour développer des solutions répondant aux enjeux de l'agroécologie. Elle regroupe dans une seule unité de recherche des compétences fortes dans les domaines de la robotique, des agroéquipements, de la collecte et de la gestion de l'information.

Depuis plus de 20 ans, les recherches finalisées de l'Unité portent sur la conception, l'évaluation, l'optimisation de technologies et de méthodes innovantes pour une gestion durable de l'agriculture. Couplant des approches modèles et simulation/expérimentation, ces recherches contribuent notamment au développement d'écotechnologies et de systèmes intelligents dans les domaines de la robotique agricole, de la fertilisation, du semis, de l'impact des machines sur les sols et de l'agriculture numérique.

TSCF était une Unité de recherche d'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) jusqu'à fin 2019. Depuis janvier 2020, elle a intégré INRAE et dépend des deux départements : MathNum et AgroEcoSystèmes.

TSCF est Implantée sur deux sites : le Pôle scientifique et universitaire des Cézeaux à Aubière dans le Puy-de-Dôme et le Site de recherche et d'expérimentation de Montoldre dans l'Allier, une exploitation agricole d'une centaine d'hectares. Elle rassemble environ 60 agents.

Le laboratoire est structuré en **5 thèmes de recherche** :

- Analyse et modélisation de l'environnement,
- Autonomie et autonomisation des équipements,
- IoT et observation sobre,
- Intégration et adoption des nouvelles technologies,
- Outils et pratiques : agroécologie innovante.

Contributions d'INRAE et de ses partenaires

Une recherche appliquée en relation avec l'ensemble des acteurs concernés

Les travaux de l'Unité TSCF se concentrent sur l'analyse des verrous existants pour identifier et comprendre les problèmes avant de les extrapoler pour les résoudre ensuite à un niveau théorique. L'objectif est ensuite d'appliquer les résultats de la recherche à des situations réelles en travaillant principalement avec les fabricants de matériels, les fournisseurs techniques et de logiciels pour adapter les solutions au marché.

Dans sa vision intégrée et multidisciplinaire, basée sur ces expérimentations de terrain, les recherches de l'Unité TSCF reposent sur différents types de partenariats :

- des partenariats avec les industriels et les utilisateurs finaux pour développer une recherche opérationnelle centrée sur les demandes sociales et permettant d'aboutir à des questions scientifiques ;
- des partenariats académiques permettant de rassembler les compétences en matière théorique et donc d'élargir le champ d'expertise de l'Unité tout en augmentant la pertinence de ses infrastructures sur les aspects « test » et « validation ».

TSCF : une unité intégrée dans un contexte régional favorable

L'unité est intégrée dans un écosystème régional au sein du Laboratoire d'Excellence IMobS3 "Innovative Mobility : Smart and Sustainable Solutions" qui a pour ambition de développer des briques technologiques efficaces et respectueuses de l'environnement pour une mobilité innovante des personnes, des biens et des machines en jouant sur le triptyque « Recherche-Valorisation-Formation ». Adossé à 4 établissements présents sur le site clermontois (l'Université Clermont Au-

vergne - porteur du projet, le CNRS, INRAE et le Cerema¹), elle s'appuie sur les compétences pluridisciplinaires et complémentaires de huit laboratoires (ACTÉ² de l'Université Clermont-Auvergne, DLFCF³-Cerema, LAPSCO⁴, LIMOS⁵, LMBP⁶, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, Institut Pascal, TSCF-INRAE).

Le LabEx IMobS3 est une composante majeure du Centre International de Recherche (CIR) "Innovative Transportation and Production Systems" de l'I-Site CAP 20-25 de Clermont-Ferrand auquel contribue l'Unité TSCF. Concernant les applications dans le monde agricole, TSCF coordonne le volet AgroTEchnologies de ce Centre International de recherche et participe également au CIR « Sustainable agroecosystems », dirigé par INRAE.

Membre de l'Institut Carnot Plant2Pro sur la thématique des Systèmes agroécologiques résilients, TSCF est également membre de la Fédération Recherche Eau, environnement et territoires (FR Eau) hébergée par l'Université Clermont Auvergne. Les travaux de recherche de la FR Eau s'articulent **autour de 6 actions** : 5 actions thématiques et **une action transverse sur les capteurs portée par l'Unité TSCF**, le LIMOS et le Laboratoire de Physique de Clermont (LPC).

De nombreux projets de recherche aux thématiques diversifiées

TSCF a contribué à de nombreuses recherches en robotique mobile, notamment sur les aspects perception et contrôle des machines ainsi que dans le domaine de la collecte d'informations et des sciences de gestion de données. Elle a ainsi coordonné 11 projets de recherche ANR sur 18 participations depuis 2004, dont plusieurs marquent particulièrement les inflexions de l'unité sur les aspects des agroéquipements autonomes et de la robotique :

- ANR FAST 2007-2011 [Programme PSIROB]

Il s'agit d'un des premiers projets pleinement orientés vers la robotique en milieux tout-terrain coordonné par l'unité. Visant à développer des approches de contrôle de trajectoire à haute dynamique (vitesse élevée en milieux tout terrain) en maintenant une précision centimétrique, ce projet a permis d'acquérir une connaissance approfondie du comportement de robots en milieux naturels, tout en développant des approches théoriques originales. Regroupant l'Institut Pascal, le LAAS CNRS (Laboratoire de recherche spécialisé dans l'analyse et l'architecture des systèmes), l'ISIR (Institut des systèmes intelligents et de robotique), et la société RoboSOFT, ce projet a permis à l'unité de s'ancrer pleinement dans la communauté robotique.

- ANR Adap2E 2014-2018 [Programme JCJC]

Ce programme Jeune Chercheur, Jeune Chercheuse visait le développement de systèmes robotiques reconfigurables adaptés aux différentes configurations de terrain ou de tâches à réaliser dans un contexte agricole. S'appuyant sur un scénario type d'usage d'agroéquipement, le projet a permis de déployer de nouveaux prototypes de robots conçus et réalisés au sein de l'unité, tout en synthétisant des fonctions robotiques élémentaires permettant d'adapter le comportement du robot au contexte d'évolution et de la tâche. Coordonné par l'unité en relation avec l'UMR ITAP (Technologies et Méthodes pour les Agricultures de Demain, UMR INRAE et Institut Agro Montpellier), le projet a permis de monter en compétence sur les différentes facettes de la robotique tant d'un point de vue théorique que pratique. Adap2E constitue ainsi un point d'inflexion dans la trajectoire de l'unité pour acquérir un rayonnement considérable au sein de la communauté robotique nationale.

¹ Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

² Activité, Connaissance, Transmission, éducation.

³ Département Laboratoires de Clermont-Ferrand

⁴ Laboratoire de Psychologie Sociale et Cognitive du CNRS

⁵ Le Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes

⁶ Laboratoire de mathématiques Blaise Pascal de l'Université Clermont-Auvergne

- ANR NinSAR 2023-2027 [PEPR Agroécologie et numérique]

Ce projet ciblé du Plan Prioritaire de Recherche s'inscrit dans la stratégie d'accélération SADEA⁷, visant la conception et l'exploitation de nouvelles technologies pour accompagner la transition agroécologique. NinSAR, co-coordonné par l'unité aux côtés de l'INRIA⁸ et du CEA-LIST, regroupe 10 laboratoires français pour développer des robots manipulateurs mobiles capables de réaliser des pratiques agroécologiques en rupture (pixel cropping, permaculture, ...). Ce projet, construit sous l'impulsion de TSCF, montre la capacité d'entraînement du laboratoire au sein de la communauté, en insufflant une dynamique collective capable d'amener à des collaborations très étroites pour apporter de nouvelles connaissances dans le domaine de la robotique agricole. Placé sur le plan théorique, cette même dynamique est présente au sein du Grand Défi Robotique Agricole pour l'exploitation auprès des partenaires socio-économiques, et permettre une application concrète des fruits de la recherche.

Au niveau européen elle a participé et contribue activement à 4 projets européens :

- **DIH AgROBOFood**, (Digital Innovation Hub AgROBOFood, 2019-2021) qui vise à développer un écosystème européen pour l'adoption des technologies robotiques dans l'agriculture. Dans ce cadre, de nombreuses actions sont menées, en particulier sur les travaux portant sur des tests et essais (Innovation Experiments). TSCF porte notamment le projet ARPA (Agricultural Robot Performance Assessment focus on Safety functions) sur la construction de protocoles d'essais pour la sécurité des robots.
- **H2020 Metrics**, (Metrological evaluation and testing of robots in international competitions, 2020-2023). Le projet METRICS est porté par le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) pour l'organisation de défis robotiques dans quatre domaines prioritaires identifiés par la Commission Européenne : Healthcare, Inspection & maintenance of infrastructures, Agile production et Agri-food. Dans le domaine agricole le **concours ACRE** (Agri-food Competition for Robot Evaluation) met l'accent sur les robots de désherbage autonome comme une alternative à l'utilisation massive des produits chimiques. <https://metricsproject.eu/agri-food/acre-competition/>. Les partenaires impliqués dans cette action avec l'Unité TSCF sont le Politecnico di Milano (POLIMI, Italie) responsable et animateur de ACRE, et Università degli Studi di Milano (UNIMI, Italie). Les parcelles expérimentales ACRE sont situées sur deux sites, en France sur le site « AgroTechnoPole » de Montoldre et en Italie dans une ferme de la commune de Cornaredo (Milan).
- **AgriFoodTEF**, démarré le 1^{er} janvier 2023 pour une durée de 5 ans. L'objectif du projet est de développer des moyens de validation et de tests d'algorithmes exploitant l'Intelligence Artificielle (IA) et les solutions agrorobotiques afin d'assurer leur large utilisation par les usagers en fournissant des infrastructures de pointe pour les tests et l'évaluation de ces solutions. Le consortium est composé de quatre nœuds : Italie, Allemagne, Pays-Bas, France. Le nœud français regroupe le LNE, l'ACTA⁹ et ses entités affiliées (Arvalis¹⁰, Idele¹¹, IFV¹²), la Chambre d'Agriculture Pays de la Loire, INRIA, INRAE (Département PHASE et Unité de Recherche -TSCF avec l'AgroTechnoPôle). Il s'agit de construire un réseau européen de tests et d'expérimentations en conditions réelles et variées, de fournir des services aux PME de l'Agtech pour tester, améliorer et valider des solutions robotiques basées sur l'Intelligence Artificielle (IA). L'objectif est, in fine, de pouvoir apporter les conditions de mise sur le marché des technologies numériques tout en

⁷ Systèmes agricoles durables et équipements agricoles contribuant à la transition écologique

⁸ Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique

⁹ Réseau des instituts techniques agricoles

¹⁰ Institut technique agricole grandes cultures (céréales, pommes de terre, lin fibre, semences de maïs, sorgho et tabac)

¹¹ Institut de l'élevage

¹² Institut français de la vigne et du vin

garantissant l'encadrement de la propriété intellectuelle, tout en facilitant leur adoption auprès des utilisateurs finaux.

- **MSCA AIGreenBots** : Réseau de 11 doctorats européens (octobre 2024 à septembre 2028) qui vise à faire progresser l'intelligence artificielle, la robotique et les technologies connexes pour l'agriculture de précision. L'objectif principal du projet est de développer et de former une nouvelle génération de chercheurs doctorants en robotique agricole dans un cadre interdisciplinaire et international, en abordant des domaines clés tels que la robotique durable, l'agriculture de précision et l'agriculture numérique.

Ces projets ont permis de nouer de fortes collaborations académiques avec notamment :

- la division « Intelligent Agricultural Machinery Research » du Naro (National Agriculture and Food Research Organization) du Japon avec lequel TSCF partage un Laboratoire Partenarial Associé,
- l'Université de Wageningen aux Pays-Bas,
- l'Université du Queensland basée à Brisbane en Australie,
- le LAAS-CNRS, spécialisé dans l'analyse et l'architecture des systèmes, micro et nano-systèmes en informatique, robotique et automatique,
- l'INRIA, Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique,
- l'ISIR, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique,
- Le XLim, Institut de recherche pluridisciplinaire à Limoges.

Elles ont permis également de développer des liens importants avec des instituts techniques agricoles comme :

- ARVALIS, Institut technique agricole pour les grandes cultures,
- l'IFV, Institut Français de la Vigne et du Vin,
- Le CTIFL, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes,
- l'ACTA, le réseau des instituts techniques agricoles.

Outputs des recherches

Des infrastructures et des prototypes spécifiques conçus pour développer et évaluer de nouveaux matériels et les nouvelles technologies

Pour être développés puis commercialisés, les nouveaux matériels et les nouvelles technologies doivent être préalablement testés et homologués selon des protocoles normalisés. Cette homologation repose sur des protocoles expérimentaux qui doivent être réalisés sur des bancs d'essais ou des champs d'essais spécifiques permettant de produire des données fiables à des fins de simulation, de modélisation et d'analyse.

Le développement de ces protocoles expérimentaux reposant sur des infrastructures spécifiques est très vite apparu comme un point clé au sein de l'Unité TSCF, non seulement pour le volet recherche mais aussi pour tout ce qui relève des tests et de l'évaluation des matériels. L'unité TSCF a donc développé des protocoles de test reproductibles et des bancs de mesures spécifiques permettant le développement, la qualification et, à terme, l'homologation de nouveaux matériels non seulement d'un point de vue technologique mais plus largement en tenant compte de leur impact environnemental jusqu'à la prise en compte de l'analyse de leur cycle de vie (ACV).

C'est notamment le cas des bancs d'essai destinés à mesurer l'efficacité des machines d'épandage d'engrais minéraux et organiques de la plateforme de Montoldre.

1/ Des bancs d'essais pour l'épandage des engrais

Pour limiter les apports excessifs d'engrais, il est important de connaître la répartition réelle de l'engrais au sol. Les aptitudes à l'épandage étant différentes selon le type d'engrais utilisé (formulation), seuls les tests expérimentaux sont pertinents. C'est dans cet objectif que TSCF a imaginé et conçu deux bancs de fertilisation pour réaliser des tests élémentaires sur l'efficacité des machines d'épandage d'engrais : le **CEMIB** pour l'épandage des engrais minéraux, et le **CEMOB** pour les engrais organiques.

Inventé et breveté en 2005 par le Cemagref (exIrstea), le banc **CEMIB** (CEmagref Mineral Bench) mesure la répartition au sol d'un produit de type granulaire, épandu par voie centrifuge. Unique en Europe au niveau institut public, cette plateforme autorise des mesures réelles de performances qui permettent ensuite de réaliser des modélisations expérimentales, moins coûteuses que des développements fondamentaux.

Inauguré en juin 2007, le principe du **CEMIB** est de "scanner" la nappe d'épandage d'engrais centrifuge, secteur angulaire après secteur angulaire, afin d'établir la distribution surfacique des densités d'engrais minéral au sol, en grammes/m². Cet outil établit une image en 3D de la nappe d'épandage en instantané ce qui permet un retour d'information rapide.

Le **CEMOB** est un banc d'essai dynamique permettant non seulement de simuler en 3D les nappes d'épandage d'engrais organique (fumier), mais aussi de les appliquer à une parcelle donnée. Cette installation unique offre la possibilité de réaliser simultanément des essais de répartition longitudinale et transversale. Les gains en temps et en produits à épandre sont significatifs. Cet outil est particulièrement performant pour établir des tableaux de réglages et développer des innovations.

Ces outils ont permis dans un premier temps de comprendre et d'analyser les phénomènes physiques impliqués lors de l'épandage à des fins de simulation et de recherche et ont fait l'objet d'un brevet :

« *Method for measuring spreading distribution for epander particle spreaders, EP DE DK FR FR2871885A1, Emmanuel Piron, Centre National du Machinisme Agricole* », dont le potentiel innovant a été récompensé par une médaille d'argent au SIMA¹³ Awards en 2007.

La technique est parfaitement adaptée au développement de machines d'épandage ou d'organes d'épandage de la phase de modélisation initiale, au prototypage, jusqu'à la conception de nouvelles machines par les constructeurs et l'édition de conseils d'utilisation. Elle a fait l'objet de quatre cessions de licences à 4 industriels européens du secteur des agroéquipements, chacune des licences se montant à 200k€, soit 800 k€ de revenus directs sur licence, auxquels il faut ajouter 75 k€ de projets d'accompagnement de transfert.

Plus récemment, grâce aux avancées technologiques en matière de localisation, ces bancs d'essais permettent d'améliorer les techniques et la précision des épandeurs en fonctionnement et donc de mettre au point des machines intelligentes qui, par le biais de la connaissance de la localisation GPS, sont capables de modifier la forme de la distribution et le débit d'alimentation en engrais ou fumier. En adaptant les nappes d'épandages aux caractéristiques géographiques et physiologiques des parcelles, elles permettent de dispenser la bonne dose au bon endroit et donc d'éviter les excès de fertilisants et de limiter les pertes ce qui a un impact positif à la fois sur le plan environnemental et économique.

L'ensemble des études et projets de recherche menés annuellement grâce au **CEMIB** avec des constructeurs d'épandeurs ou des industriels fabricants de produits de type engrais, anti limaces, semences, produits de biocontrôle ont généré un chiffre d'affaires global d'un peu plus de 2 M € pour environ 325 projets menés depuis 2007 (18 ans).

¹³ Salon International du Machinisme Agricole

2/ Des prototypes de développement pour la navigation autonome intégrée

Ce même processus d'innovation a été développé dans le domaine de la robotique et de l'automatisation des machines. TSCF a d'abord identifié avec des constructeurs de tracteurs comme Renault Agriculture, CLAAS ou AGCO les verrous scientifiques dans le domaine de la conception de systèmes d'aide à la conduite et d'assistance autonome. Elle a ensuite développé des essais terrain avec des machines instrumentées pour appréhender les problèmes physiques liés à l'utilisation de ces tracteurs autonomes.

En collaboration avec des partenaires de recherche locaux comme l'Institut Pascal ou le LIMOS, elle a lancé un programme intensif de recherche dans ce domaine. Étendu à l'échelle nationale, ce sujet a permis à TSCF de contribuer de manière significative aux recherches sur la navigation autonome en conditions tout terrain, avec pour point d'orgue la publication d'un chapitre dans l'ouvrage de référence sur la robotique : *Samson Claude, Morin Pascal, Lenain Roland. Modélisation et contrôle de robots mobiles à roues. Manuel Springer de robotique, 2016, p1235-1266.*

Abordée de manière générique, ces développements sont développés et testés sur une large typologie de robots mobiles acquise dans le cadre du Roboterrium (voir ci-après), permettant d'analyser une diversité considérable de phénomènes rencontrés dans le cadre de l'évolution en milieux naturels et agricoles.

Les approches de navigation autonome ont tout d'abord été exploitées pour le développement de systèmes d'aide à la conduite dans les années 2000. Que ce soit dans un cadre contractuel ou par l'exploitation des produits de la recherche, plusieurs constructeurs ont intégré ou envisagent d'intégrer certains développements dans leurs robots avec des suites concrètes ou potentielles de collaboration décrites dans le tableau suivant (non exhaustif).

AgreenCulture	Intégration des approches de commandes adaptatives et prédictives en 2021	A amené à une collaboration dans le cadre d'une thèse Cifre (Luc Desbos, soutenue en 2025).
Exxact Robotics	Utilisation des publications pour le développement de leurs produits et discussions.	Amenant à un contrat de recherche en 2022 sur le suivi de structures. Puis nouvelles discussions périodiques jusqu'en 2025 et projet de collaboration en 2026.
Cyclair	Discussion en 2022-2023. Puis, thèse Cifre entre 2024 et 2027 sur la localisation. Discussion pour intégrer des développements sur la commande en 2026-2027.	Puis, thèse Cifre entre 2024 et 2027 sur la localisation. Discussions pour intégrer des développements sur la commande en 2026-2027.
SabiA gri	Utilisation de développement commun dans le cadre du développement des capacités robotiques de la société, suite au LabCom Tiara (2019-2025).	Thèse Cifre en cours, et poursuite de la collaboration dans le cadre d'un projet Pacte Ambition Recherche, en cours d'évaluation auprès de la région Auvergne-Rhône-Alpes
Safran E&D	Exploitation des algorithmes de commande haute vitesse et suivi de cible sur publications. Éléments connus en 2018 par l'invitation de Safran à intégrer le projet DGA Furious 2018-2022, puis discussions périodiques. Invitation en 2025 à construire 2 projets Droide (DGA), sur contrôle haute vitesse (poursuite développements) et Jumeaux Numériques (nouveaux sujet).	Discussions également sur la réalisation de thèses Cifre et intégration d'algorithmes
ManuRob	Utilisation des algos par publications dans leurs développements robotiques. Connaissance de ce fait en 2021 lors de la réunion de lancement du projet PSPC Loadix.	Depuis conduite du projet 2022-2025, et discussions périodiques

SITIA	Utilisation des algos développés dans la cadre du projet FUI PumaAgri (2015-2018) pour le développement du robot Trektor. Formation en 2019 pour le transfert d'algos et montée en compétence.	Plusieurs discussions techniques ensuite dans le cadre du projet ANR Muscaa (2023-2027), et dans le projet MSCA AIGreenBots.
Secom	Utilisation des algos dans leurs développements R&D. Réalisation d'une formation en 2020 pour le transfert d'algorithmes	Discussions périodiques tous les 6 mois environ. Pas de collaboration formelle pour le moment

3/ La conception de systèmes de supervision distant et temps réel

Aussi avancés que soient les systèmes robotiques et les nouvelles technologies pour l'exploitation de nouvelles cultures dans un contexte agroécologique, les agroéquipements autonomes demeurent des outils permettant à l'humain de réaliser des travaux complexes, répétitifs et pénibles. Aussi, l'humain doit naturellement être au cœur de tels systèmes de production. A cette fin, il est impératif de disposer d'outils permettant une interaction « naturelle » avec ces nouvelles technologies, capables de faire le lien entre les fonctionnalités robotiques déployées et les travaux agronomiques à réaliser. Dans ce cadre l'unité participe activement au déploiement de dispositifs de supervision distant, autorisant l'humain à contrôler le travail des machines à distance sans être astreint à rester aux côtés des agroéquipements. Elle a ainsi déployé une interface de contrôle distante, permettant de visualiser en temps réel les actions en cours des robots et potentiellement d'apporter des actions correctives (pause, modification des paramètres), afin de pallier un dysfonctionnement potentiel. De tels outils constituent également un moyen de collecte de données pour alimenter les processus d'aide à la décision.

Objets d'une publication : *André, G et al 2023. Lambda grIoT : une nouvelle architecture pour la planification des robots agricoles autonomes : de la conception aux expérimentations. Informatique en cluster 26(5), 2993-3015*, ces systèmes doivent permettre de gérer et traiter un flot important de données pour en extraire des informations exploitables tant en termes de production agricole, que de planification d'actions robotiques.

4/ Comportements robotiques avancés pour la navigation robuste et précise dans des environnements difficiles.

De nombreuses approches robotiques ont été développées pour l'autonomie des robots au sein de l'unité au fil des différents projets successifs qui ont permis de contribuer au contrôle de trajectoire dans des situations complexes. C'est tout d'abord le cas du contrôle à haute vitesse en milieux tout terrain, qui a permis de proposer de nouvelles approches adaptatives et prédictives pour conserver un haut niveau de précision et d'intégrité à haute vitesse, débouchant notamment sur deux publications majeures :

- *Dynamic path tracking control of a vehicle on slippery terrain, E Lucet, R Lenain, C Grand - Control engineering practice 42, 60-73, 2015*
- *A new explicit dynamic path tracking controller using generalized predictive control, M Krid, F Benamar, R Lenain - International Journal of Control, Automation and Systems 15, 303-314, 2017.*

Ces premiers résultats ont ensuite été exploités pour développer une collection d'algorithmes de référence pour la navigation autonome exploitant différentes approche de perception (Lidar, caméra, GPS) et appliquée dans plusieurs contextes (suivi de rang, de cible, contrôle en formation, ...). Ces comportements de bases ont amené à concevoir **une forge logicielle au sein de l'unité, dont une partie est ouverte depuis 2023 à l'ensemble de la communauté sur [github](#)¹⁴**. Ces algorithmes servent aujourd'hui de fondements à la recherche et au développement de machines agricoles auto-

¹⁴ Service web d'hébergement et de gestion de développement de logiciels.

nomes, non seulement pour la navigation, mais également pour le déploiement de nouvelles fonctionnalités sur la conception d'outils innovants. La mise en place de cette forge ouverte formalise et accélère une exploitation croissante des travaux de l'unité par le monde socio-économique.

5/ La conception du BAUDET-ROB

L'objectif principal du **projet BAUDET-ROB** était la conception d'un robot capable de suivre en complète autonomie un groupe de personnes, tout en transportant une partie de leur matériel. Cet outil trouve ses applications dans la viticulture et l'arboriculture où il aide à la récolte et au transport des marchandises. Ces résultats ont amené à la création de l'entreprise Effidence, qui commercialise cette technologie, mais principalement dans les applications logistiques.

Les algorithmes génériques produits sont le résultat des recherches effectuées dans le cadre des projets ANR Safe Platoon « Sûreté des convois de véhicules autonomes (2010-2014) et des projets ANR ASTRID « Baudet Rob (2011-2014) et « ASTRID maturation Baudet-Rob 2 (2015-2018) ».

En parallèle, TSCF poursuit ses travaux sur les robots autonomes travaillant en collaboration, avec le développement d'algorithmes de contrôle de flotte de robots en formation.

Ceci se fait :

- d'une part, avec un véhicule de référence piloté par un chauffeur et un ou deux robots suiveurs ce qui permet d'étendre les capacités d'intervention de l'agriculteur, capable ainsi d'emmener jusqu'à trois outils différents avec lui au champ, les robots pouvant évoluer en colonne ou en décalé,
- d'autre part, avec plusieurs robots effectuant de manière autonome des tâches complémentaires ou similaires. Cette capacité est intéressante pour réaliser plusieurs traitements agricoles de manière simultanée, ou étendre les surfaces de travail en exploitant des machines peu impactantes.

Ces travaux ont fait l'objet d'une publication : *L'assistance d'une flotte de robots mobiles incluant l'interaction avec les humains*, Guillet, A., Lenain, R., Thuilot, B ; et Rousseau, V. (2017). *Contrôle et formation de robots mobiles agricoles : une approche bidirectionnelle à contraintes pondérées*. *Journal de robotique de terrain*, 34(7), 1260-1274).

Circulation des connaissances et intermédiaires

Constitution de réseaux collaboratifs

Débutées au début des années 2000 avec deux laboratoires, le LASMEA¹⁵ et TSCF, les collaborations locales n'ont cessé de se développer et se structurer. Dès 2007, un premier noyau a été constitué au sein de la Fédération de recherche TIMS, « Technologies de l'Information de la Mobilité et de la Sûreté », regroupant le LASMEA, l'unité TSCF, le LAMIH¹⁶ et le LIMOS¹⁷. Ce regroupement a abouti à la création du laboratoire d'excellence IMobS3 pour « Mobilité innovante : Intelligente et durable ». Le Labex IMobS3 est maintenant intégré à l'I-site CAP 20-25, soutenu par l'ANR et le programme France 2030. Il regroupe plus de 15 entités et est porté par l'Université Clermont-Auvergne.

Ce réseau académique s'est développé parallèlement à l'investissement croissant de l'Unité TSCF dans l'animation de la recherche au niveau national et à ses contributions significatives dans le domaine de la navigation autonome en général et en conditions tout terrain en particulier. Il a conduit à la constitution **d'un groupe de travail national regroupant plus de 10 laboratoires (LAAS, Xlim, ISIR,**

¹⁵ Laboratoire des Sciences et Matériaux pour l'Electronique et d'Automatique

¹⁶ Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines

¹⁷ Le Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes

GeorgiaTech Lorraine, Institut Pascal, LS2N¹⁸, Cristal¹⁹, LIRMM²⁰, CEA-List) travaillant sur la **robotique tout terrain et agricole**. Cette Task-force permet de partager des expertises, des algorithmes, des données et des résultats expérimentaux pour accroître l'efficacité des robots et des systèmes d'information communicants en faveur de l'agroécologie. Elle est reconnue aujourd'hui via son implication dans deux projets principaux coordonnés par TSCF :

- **le Roboterrium**, une plateforme de **robots en milieu naturel et laboratoire partagés avec des laboratoires de recherche et des industriels**. Elle est dédiée à la recherche en robotique tout-terrain pour des applications agricoles développée dans le cadre de l'Equipex+ Tirrex (Infrastructure technologique pour la recherche d'excellence en robotique) financé par l'ANR. Cette plateforme vise à développer des robots agricoles adaptés à des terrains complexes, tout en réduisant leur impact au sol et en facilitant l'interaction homme-robot. Le Roboterrium explore des sujets clés comme :
 - la perception des environnements variables,
 - la coopération entre robots,
 - l'interaction avec les milieux naturels déformables tels que les sols et les plantes.

Il s'inscrit dans une démarche collaborative, favorisant le partage d'outils et de données avec l'ensemble de la communauté scientifique pour accélérer les recherches et lever les verrous scientifiques. Actuellement l'Unité TSCF possède 14 robots agricoles et bientôt 18. L'enjeu de cette plate-forme est de pouvoir partager avec l'ensemble de la communauté robotique agricole, des prototypes dotés de caractéristiques différentes, autorisant la mise en commun d'outils de développement et le partage de données d'essais.

- **le projet NinSar (2023-2028)**, porté par INRAE, l'INRIA et le CEA-List dans le cadre du PEPR « Agroécologie et numérique » qui a pour objectif global de définir des pistes agroécologiques réalisables par un système autonome composé de plusieurs robots élémentaires et associables, capable de réaliser des tâches de manière discriminée et précise. Il s'agit de pouvoir développer des robots menant des pratiques agricoles de rupture impliquant des cultures denses et diversifiées (pixel cropping, permaculture).

Création de l'association RobAgri

Suite à des échanges initiés durant les années 2010 avec Axema, le syndicat des fabricants de matériel agricole, TSCF a contribué, en 2017, à la création de l'association RobAgri. RobAGri qui compte aujourd'hui 97 membres (start-up de la robotique, industriels du machinisme agricole et de l'électronique, laboratoires de recherche et d'enseignement, pôles de compétitivité et structures de production agricole) représente la filière robotique française. Elle a pour objectif principal de créer une dynamique collective pour innover toujours plus rapidement et répondre aux besoins des utilisateurs à la fois au niveau national et international. RobAgri assure aussi la représentation de la filière auprès des institutions et notamment de l'Etat. Elle apporte un développement et des références communes et partagées, et peut être considérée comme un think tank dans son domaine.

Outre ces relations avec d'autres laboratoires de recherches ainsi qu'avec l'ensemble des acteurs de la filière, TSCF entretient des relations étroites et de long terme avec les ministères français de l'Agriculture et de l'Ecologie notamment sur l'établissement de normes pour évaluer la sécurité des machines.

¹⁸ Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes

¹⁹ Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille

²⁰ Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

Diffusion de la recherche

Au cours des deux dernières décennies, TSCF a publié plus de 600 actes de conférences. Son investissement dans les réseaux collaboratifs a conduit l'unité à organiser de nombreux séminaires et colloques.

Les différents résultats de la recherche ont fait l'objet de démonstrations au sein de manifestations professionnelles comme le SIMA²¹, le SIA²² ou InnovAgri. Impliquant les chercheurs et les ingénieurs de l'Unité, ces résultats ont également fait l'objet de conférences, de débats et de challenges avec des professionnels ou le grand public.

Pendant plusieurs années, (2019 à 2022), TSCF a animé l'Association francophone pour l'informatique agricole qui contribuait à la diffusion des résultats scientifiques auprès de toutes les parties prenantes de l'agriculture (agriculteurs, conseillers agricoles, enseignants, citoyens, ...).

Elle a également animé de 2014 à 2022, le Groupe de Travail Robotique mobile terrestre du GdR Robotique et anime aujourd'hui son groupe de travail transverse Robotique et Société. Elle siège en outre au Conseil Scientifique de ce GdR depuis 2014.

TSCF contribue également depuis 2017 à l'organisation scientifique du FIRA, le Forum international de la robotique agricole (organisé à Auzeville-Tolosane à proximité du Centre INRAE Occitanie-Toulouse) qui met en lumière les avancées les plus récentes dans ce domaine. Lieu de démonstration et de débat, ce forum annuel est un lieu crucial pour diffuser les nouvelles technologies en agriculture et permettre leur acceptation comme outil d'évolution du secteur agricole à la fois comme facteur de réduction des impacts environnementaux et d'amélioration des conditions de travail des agriculteurs.

Entre 2019 et 2022, le site de Montoldre dans l'Allier (03) a accueilli le **challenge ROSE (Robotique et Capteurs au Service d'Ecophyto)** un appel à projet lancé en 2017 par les ministères chargés de l'Agriculture et de la Transition Ecologique et Solidaire. Financé via l'AFB²³ et l'ANR, le challenge ROSE a pour objectif d'encourager le développement de solutions innovantes en matière de désherbage intra-rang afin de réduire, voire supprimer, l'usage des herbicides. Quatre projets lauréats de l'appel à projets sont mis en compétition au cours du challenge. L'unité de recherche TSCF apporte notamment les infrastructures de son site de recherche et d'expérimentation de Montoldre (parcelles expérimentales, métrologies, systèmes d'information, moyens d'accueil...) sur lequel sont organisées les campagnes d'évaluation.

Le site de Montoldre accueille également la **compétition ACRE** (Agri-food Competition for Robot Evaluation) organisée dans le cadre du projet européen H2020 METRICS décrit plus haut. Dans le domaine agricole, **ACRE** met l'accent sur les robots de désherbage autonome comme une alternative à l'utilisation massive des produits chimiques, une des applications de la robotique à l'agriculture qui présente un des plus grands potentiels d'avantages environnementaux, sociétaux et économiques pour l'Europe.

De tels challenges se comprennent également du point de vue virtuel, avec l'organisation de défis exploitant la forge logicielle ouverte et collaborative initiée par l'unité (voir plus loin). A ce titre deux HAcathon exploitant un environnement de simulation dédiés à la robotique agricole ont été proposés en 2024 et 2025, dans le cadre du Forum International de Robotique Agricole. Ceux-ci vont être prolongés dans le cadre de la formation des filières agricoles à la robotique et inversement.

²¹ Salon International du Machinisme Agricole, participations aux éditions 2007, 2015, 2017, 2019, 2022

²² Salon International de l'agriculture, participations aux éditions 2016, 2018, 2020, 2023 et 2025

²³ Association française de la biodiversité

Collaborations industrielles directes

TSCF a développé un lien étroit avec l'industrie via des conventions de recherche contractualisés directement avec les industriels, comme avec :

- Renault Agriculture de 1996 à 2003,
- CLAAS de 2003 à 2006, le groupe AGCO (marques FENDT, Massey-Fergusson) de 2011 à 2015,
- Nexter Système de 2018 à 2023,
- Exxact Robotics de 2021 à 2023.

Les collaborations avec Sky (Sulky-Burel), Michelin et Khun qui exploitent historiquement les bancs d'essai respectivement depuis 2006, 2007 et 2010 perdurent actuellement, et font l'objet d'accord cadres de longue dates. De tels partenariats sont très structurant pour les activités de l'unité.

Cela se traduit également par le recours au dispositif de thèse Cifre (AgreenCulture [2021-2024], SabiAgri [2023-2026], Cyclair [2024-2027]). Ces collaborations reposent en partie sur l'exploitation des infrastructures de recherche de l'unité dont la conception intègre toujours les besoins des partenaires socio-économiques. Une telle démarche trouve son aboutissement dans la formalisation de la plateforme AgroTechnoPôle décrite à la section Impacts-Politiques dont la convention 2026-2030 est en cours de signature et qui formalise cette démarche intégrant des acteurs privés au sein des processus de recherche (dont les entreprises référentes sont Burel, Kuhn, Michelin, Sherpa-Engineering et les entreprises innovantes Dintec, M-Tecks, Phimeaca, Seres, Sherpa, SolSolution, 4DVirtualiz), ...

Cette implication se fait également au travers de projets partenariaux comprenant une composante forte sur l'innovation comme les dispositifs BPI²⁴, PSPC²⁵ ou plus anciennement FUI²⁶. C'est notamment le cas au travers des projets Loadix (ManuRob, 2020-2024), GeoSur (AgreenCulture, 2022-2026), PumAgri (SITIA, 2015-2018).

Enfin, TSCF est impliquée en région Auvergne-Rhône-Alpes dans les pôles de compétitivité CIMES (Creating Integrating MEchanicla Systems) et Vegepolys Valley ce qui lui a permis de développer des relations privilégiées avec tous les acteurs de l'innovation, de la recherche jusqu'au transfert.

Laboratoires communs

En 2020, les équipes INRAE de l'Unité TSCF et l'entreprise **SABIAGRI** se sont associées dans le Lab-Com TIARA (Laboratoire commun « Toward Intelligent Adaptable Robots for Agriculture ») pour développer des agroéquipements robotiques. Cette association s'est concrétisée par la mise au point de la première flotte collaborative associant le tracteur électrique ALPO et le robot ZILUS qui peuvent travailler de concert et donc démultiplier les tâches dans le même temps de travail cultural. Dans le cadre du laboratoire commun TIARA, plusieurs comportements robotiques, développés avec SABIAGRI utilisent différentes approches de perception pour permettre une navigation autonome précise, en fonction du contexte. Fonctionnant même sans signal GPS, ils permettent de s'adapter aux pratiques agroécologiques comme les associations de cultures, démontrant la capacité de robots à participer au développement de pratiques agricoles nouvelles.

Le 13 mars 2023, l'unité INRAE-TSCF et SHERPA Engineering (Société de Services experte en ingénierie des systèmes embarqués) ont signé un partenariat dans le cadre d'un laboratoire Partenarial As-

²⁴ Banque publique d'investissement

²⁵ Projets de recherche et développement structurants pour la compétitivité

²⁶ Fonds unique interministériel : soutien pour les projets de R&D des pôles de compétitivité

socié : le LPA i-SMART (Innovative and Sustainable Methods for Agricultural Robotics and off-road MobiliTy) dédié aux développements de méthodes et d'outils au service du développement de la robotique agricole. Il s'agit de concevoir des outils d'évaluation des performances agri-environnementales et de la sécurité des agroéquipements, principalement autonomes, pour proposer des outils de conception adaptés à l'évolution des pratiques.

Afin de disposer de capacités d'adaptation pour les équipements « intelligents », le développement de dispositif de reconnaissance de l'environnement apparaît fondamental. Afin de proposer des avancées exploitables, le laboratoire Commun Agrivia, lancé en 2023 avec la société Innodura, a été créé. Financé par l'ANR dans le cadre du programme LabCom 2022, ce laboratoire vise à proposer de nouvelles approches de reconnaissance de scène en s'appuyant sur des capteurs 3D, bénéficiant de l'expertise de l'entreprise sur la conception de capteurs innovants.

Autres collaborations et transferts

INRAE et la société DINTEC qui conçoit notamment des systèmes électroniques embarqués ont dévoilé des protocoles de test innovants pour évaluer les systèmes de détection d'obstacles sans contact. Les résultats ont souligné l'importance du choix des composants pour garantir la sécurité, même dans des conditions météorologiques difficiles ou à vitesse élevée.

Cette collaboration s'inscrit en marge du projet **Loadix** mené par **ManuRob**, une entreprise localisée en Bretagne à laquelle l'unité a proposé des algorithmes de localisation et de commande ayant débouché à la commercialisation d'un robot de manutention agricole capable d'exécuter un grand nombre de tâches différentes dans la cour de ferme (balayage, alimentation animale) mais aussi approvisionnement des méthaniseurs.

Loadix est capable de détecter et de localiser le bon point de chargement de la matière organique à transporter, qu'elle soit en vrac ou en silo, et de l'amener à l'endroit déterminé. Électrique, il peut fonctionner de manière autonome pendant 2 à 4 heures et peut ainsi enchaîner plusieurs sessions de travail dans sa journée avec de courtes pauses de recharge. Dévoilé au SIMA 2022, il a été proposé à la vente et à la location sous forme de pré-série avant une commercialisation complète à l'automne 2025.

Enfin, des approches développées dans le cadre du projet ActiSurTT, sur l'intégrité physique et la stabilité des robots agricoles reprises ensuite par des actions avec la Caisse centrale de la MSA (Mutualité sociale agricole) et le Ministère de l'Agriculture ont fait l'objet d'application spécifiques avec deux partenaires industriels :

- la société Nexter Systèmes d'une part, pour laquelle un prototype de dispositif actifs contre le renversement a été testé sur des véhicules stratégiques pour l'aide à la conduite
- la Commission machinisme agricole du Cetim (Centre technique des industries mécaniques) qui a engagé un projet avec l'unité, à la demande des constructeurs sur le développement de systèmes actifs de sécurité pour équiper les machines avec des outils mobiles.

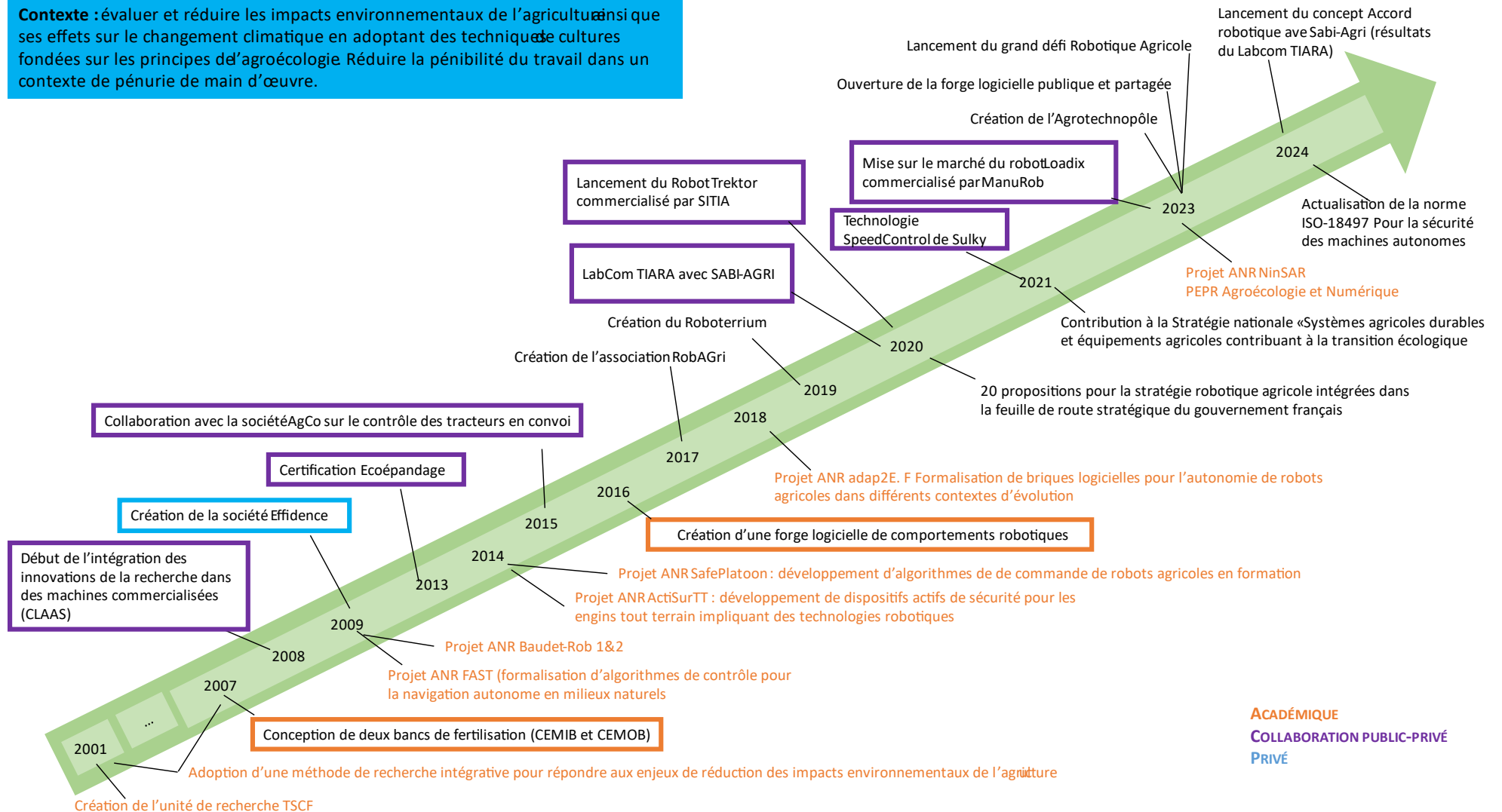
Chronologie

Date	Événement
Contexte	Evaluer et réduire les impacts environnementaux de l'agriculture, ainsi que ses effets sur le changement climatique en adoptant des techniques de cultures fondées sur les principes de l'agroécologie. Trouver des solutions pour limiter la main d'œuvre et la pénibilité des opérations nécessaires grâce à l'adoption de nouvelles technologies et de nouveaux matériels.
2001	Création de l'Unité TSCF (Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes de Clermont-Ferrand) au sein du Cemagref (ex Irstea). Objectif : mobiliser les sciences pour l'ingénieur et les sciences et technologies de l'information et de la communication pour conduire des recherches sur les méthodes et outils pour une ingénierie des systèmes agro-environnementaux.
Début des années 2000	Adoption par l'Unité de recherche TSCF d'une méthode de recherche intégrative pour répondre aux enjeux de réduction des impacts environnementaux de l'agriculture. Regroupement dans une seule unité de recherche des compétences fortes dans les domaines de la robotique, des agroéquipements, de la collecte et de la gestion de l'information. Développement de recherches finalisées sur la conception, l'évaluation, l'optimisation de technologies et de méthodes innovantes pour une gestion durable de l'agriculture couplant des approches modèles et simulation/expérimentation. Développement d'écotechnologies et de systèmes intelligents dans les domaines de la robotique agricole, de la fertilisation, du semis, de l'impact des machines sur les sols et de l'agriculture numérique.
Premier output : 2007/2008	Conception de deux bancs de fertilisation pour réaliser des tests élémentaires sur l'efficacité des machines d'épandage d'engrais : le Cemib pour l'épandage des engrais minéraux, et le Cemob pour les engrais organiques. Ces innovations révolutionnent la métrologie des épandages en proposant un nouveau cadre méthodologique et normatif qui va s'imposer à l'ensemble de la profession.
2009	Projet ANR FAST. Formalisation d'algorithmes de contrôle avancée pour la navigation autonome en milieux naturels
2009	Projet ANR Baudet-Rob 1 & 2. Suivi de cible mouvante par un robot pour l'assistance à la réalisation de travaux logistiques difficiles
2014	Projet ANR ActiSurTT portant sur le développement de dispositifs actifs de sécurité pour les engins tout-terrain, impliquant des technologies robotiques
2014	Projet ANR Safeplatoon sur le développement d'algorithmes de commande de robots agricoles en for-

	mation.
2015	Collaboration avec la société AGCO sur le contrôle de tracteurs en convoi
2016	Création d'une forge logicielle de comportements robotiques basés sur un middleware commun
2018	ANR Adap2E. Formalisation de briques logicielles pour l'autonomies de robots agricoles dans différents contextes d'évolution
2019	Création du Roboterrium : plateforme de robots partagée entre des laboratoires de recherche et des industriels
2020	Création du LabCom Tiara
2023	Ouverture de la forge logicielle publique et partagée
2023	ANR NinSAR – PEPR Agroécologie et numérique
2023	Lancement du Grand Défi Robotique Agricole
Impacts	
Dès 2008	Intégration des innovations issues de la recherche dans certaines machines commercialisées : Système CLAAS Autoguide
2009	Valorisation du projet Baudet-Rob par la création de la société Effidence qui commercialise des robots pour la logistique en exploitant les fruits de ces recherches.
2013	Certification Ecoépandage
2017	Création de l'association RobAgri
2020	20 propositions pour la stratégie robotique agricole intégrées dans la feuille de route stratégique d'accélération du gouvernement français
2020	Lancement du Robot Trektor, commercialisé par SITIA, qui embarque des technologies robotiques issues du projet PumAGRI (FUI), intégrant des comportements développés par l'unité.
2021	Contribution aux stratégies d'accélération agricoles et alimentaires du 4e Programme d'investissements d'avenir (PIA4), et notamment à la stratégie nationale "Systèmes agricoles durables et équipements agricoles contribuant à la transition écologique" (SADEA)
2021	Technologie speed control de Sulky
2023	Agrotechnopôle : plateforme de recherche ouverte au service de tous les acteurs impliqués dans les équipements agricoles innovants (constructeurs, équipementiers, instituts techniques, clusters technologiques, laboratoires de recherche, ...)
2023	Mise sur le marché du robot Loadix, robot de maintenance commercialisé par ManuRob exploitant des briques technologiques issues des travaux du projet éponyme
2024	Actualisation de la Norme ISO-18497, norme de sécurité pour les machines autonomes en relation avec l'OCDE.
2024	Lancement du concept Accord Robotique par SabiAgri, exploitant des avancées obtenues dans le cadre du Lab-Com Tiara

Chronologie

Contexte : évaluer et réduire les impacts environnementaux de l'agriculture ainsi que ses effets sur le changement climatique en adoptant des techniques de cultures fondées sur les principes de l'agroécologie. Réduire la pénibilité du travail dans un contexte de pénurie de main d'œuvre.



Récapitulatif des partenaires principaux associés

Nom du partenaire associé aux recherches (5 maximum)	Type (académique, privé, instance publique, institut technique)	Connaissances apportées disciplines, compétences spécifiques	Moyens apportés (financiers, infrastructures..)	A participé depuis le début des recherches ?
Sky (ex Sulky-Burel)	Privé	Technologie épandage Développement de bancs de tests	Partenariats de recherche Adhésion Agro-Technopôle	oui
Kuhn	Privé	Technologie épandage et semis Développement de bancs de tests	Partenariats de recherche Adhésion Agro-Technopôle	oui
SabiAgri	Privé	Conception agroéquipements électriques robotisables à faible impact Outils actifs	Plateformes de développement Cas d'usage	non
SITIA	Privé	Développement robots agricoles Vision artificielle	Cas d'usages	non
AgreenCulture	Privé	Développement robots agricoles Vision artificielle	Cas d'usages	non
INRIA	Académique	Planification et contrôle robotique	Construction projet	non
CEA-List	Académique	Algorithmes d'IA Observation et commande adaptative	Financement thèses Construction projets	non
Institut Pascal	Académique	Lois de perception et de commande Manipulation mobile	Prototypes routiers	oui

Impacts

Économique

1/ Création et développement d'une certification

L'exploitation des bancs de fertilisation Cemib et Cemob a permis la création en 2013, de la **certification « Ecoépandage »** qui identifie les épandeurs qui répondent aux exigences du référentiel de contrôle des performances des matériels d'épandage de produits organiques liquides et solides. L'usage de ce référentiel permet d'établir que les performances annoncées par le fabricant sont atteintes tout en permettant à l'opérateur de maîtriser l'impact environnemental de l'épandage du fait des caractéristiques de la machine.

Impulsée en 2010 par les constructeurs d'épandeurs, les entreprises Rolland et Pichon en partenariat avec Les Chambres d'Agricultures, IRSTEA (devenue INRAE) et VetAGroSup, cette certification avait pour objectif de renforcer les exigences de la norme européenne EN 13080 jugée insuffisante sur la répartition des produits organiques solides. L'objectif était de mettre au point un nouveau référentiel pour garantir la maîtrise des doses sur toute la surface d'épandage.

Eco-épandage est la première certification environnementale dans le domaine des agroéquipements, devenue une marque depuis 2020 pour faciliter sa mise en œuvre.

Prononcée de manière impartiale par un organisme certificateur agréé COFRAC (CERTIPAQ), elle est exploitée par AXEMA, le syndicat français des acteurs industriels de l'agroéquipement et des espaces verts qui qualifie les performances de ces machines d'épandage (une centaine de machines testées à ce jour). Elle est ouverte à tous les constructeurs français ou étrangers.

La certification est réalisée sur le site de Montoldre grâce au banc d'essai CEMOB. Cette initiative des constructeurs va plus loin que les normes européennes, elle est bénéfique à la fois sur le plan environnemental, économique et en termes d'image de la profession.

2/ Des innovations intégrées dans des machines commercialisées

Dès 2008, les innovations issues des recherches de l'Unité TSCF ont été intégrées dans des machines commercialisées : cas du système autoguide utilisé par le constructeur CLAAS.

Le Robot Trektor lancé en 2020 par la société SITIA embarque des technologies robotiques issues des du projet PumAGRI (FUI), intégrant des comportements développés par l'Unité.

En 2021, des travaux avec la société SULKY (Groupe Burel situé en Bretagne) devenue SKY Agriculture en 2023, spécialisé dans les outils de travail du sol (préparation du sol, semis, fertilisation) ont abouti au développement de la **technologie SPEED CONTROL** qui permet d'adapter l'épandage d'engrais en fonction de la vitesse du véhicule afin qu'il soit le plus homogène possible. Cette innovation s'appuie sur un concept breveté par l'équipe TSCF d'INRAE Clermont-Ferrand et des expérimentations menées avec INRAE et AgroSupDijon. Elle a obtenu la médaille d'argent dans la catégorie « Sols et cultures » au SIMA en 2021. Commercialisée depuis plus de 10 ans sous le terme ECONOV par SKY Agriculture sur ses épandeurs d'engrais modèles X40 et X50, cette technologie garantit une distribution homogène sur toute la parcelle, supprime les surdoses et les sous doses et donc réduit la consommation d'engrais. Un système d'épandage de bordure est également développé qui évite d'épandre les fertilisants en dehors des parcelles (le long des routes ou des lotissements). Des essais sont également menés avec le groupe BUREL sur le pilotage de la largeur avec **une publication** sur la base d'une éco-évaluation pour prouver le gain environnemental et économique de ces dispositifs dans différentes conditions et différents types de parcelles.

La collaboration entre INRAE et le groupe BUREL remonte à de nombreuses années. Démarrée avec le Cemagref devenu IRSTEA, elle repose sur la confiance et la complémentarité entre les chercheurs d'INRAE qui certes, disposent d'une compétence technologique forte mais sont aussi reconnus par BUREL pour leur compétence agronomique. Selon Lionel Leveille, Directeur recherche et innovation de Burel Group : *« Les moyens d'essai et de recherche pour l'agronomie disponibles sur la plateforme de Montoldre fournissent au groupe Burel des outils de simulation et d'apprentissage performants pour les matériels et les ingénieurs du groupe. Le partenariat entre INRAE et le Groupe BUREL repose sur un contrat cadre de 3 ans renouvelable assorti de conventions particulières sujet par sujet dans un objectif gagnant/gagnant en matière de résultats scientifiques, de développements technologiques et de publications ».*

Plus généralement 10 brevets ont été obtenus par TSCF dans le secteur de la fertilisation et sont actuellement exploités par les industriels comme SULKY, DE SANGOSSE, RAUCH, KHUN et ROLLAND.

En 2023, la société ManuRob met sur le marché le robot Loadix, robot de manutention exploitant les briques technologiques issues des travaux du projet éponyme.

Le développement de nouvelles références sur le marché, plus performantes, tirent les standards vers le haut et permettent de conserver l'attractivité des entreprises, de maintenir l'outil industriel et donc de l'activité dans des bassins d'emploi régionaux.

3/ Des solutions dans le domaine de la surveillance à distance des conditions sur le terrain et de la sécurité des machines autonomes :

Développés dans le cadre du projet ANR ActiSurTT « Dispositifs actifs pour la sécurité des véhicules en environnement tout terrain » (2010-2014) ainsi qu'au travers de conventions avec le Ministère de l'Agriculture, la Caisse centrale de la MSA de l'Aveyron, Nexter System ou encore le Cetim, les recherches de l'Unité TSCF ont conduit au déploiement de dispositifs de sécurité active et ont ouvert la voie à des travaux sur l'évaluation des protocoles de sécurité des machines autonomes.

Ces travaux sur les dispositifs actifs de contrôle s'étendent à la surveillance des machines avec la proposition de systèmes de supervision à généraliser dans le cadre du Grand Défi Robotique Agricole pour développer des systèmes normalisés de communication avec des agroéquipements autonomes.

4/ Création d'une forge logicielle et de spin-offs

Pour rendre utilisables et opérables les algorithmes développés et ainsi faciliter la recherche collaborative et le transfert vers les entreprises, l'Unité TSCF a créé une forge logicielle partageable regroupant des algorithmes standardisés. Il s'agit de briques logicielles correspondants à des fonctionnalités robotiques, que ce soit dans le domaine de la planification, de la perception ou de la commande, permettant aux robots d'évoluer dans différents types de contextes agricoles. Ainsi, au travers de conventions directes ou de partenariat public/privé, certains de ces algorithmes ont été repris par des constructeurs d'engins et sont désormais utilisés pour des machines commercialisées par des PME ou des fabricants traditionnels (Loadix – ManuRob, Zilus et Pom – SabiAgri, Trektor – SITIA, ...).

De telles avancées ont également donné lieu à la création de 3 entreprises issues du laboratoire :

- **Allegorithmic** fondée en 2003 par Sébastien Deguy dans le prolongement de sa thèse à l'Université de Clermont-Ferrand et qui a été rachetée par ADOBE en 2019. Aujourd'hui ADOBE 3D est leader mondial du rendu 3D et emploie une trentaine de salariés. .
- **Effidence Robotics** (spécialiste de la navigation intelligente appliquée aux véhicules robotisés), créée en 2009 par un thésard de l'Unité suite au projet Baudet-Rob. Menés dans différents domaines d'applications (Agriculture, Défense, BTP, Industrie ou Logistique), les projets d'Effidence Robotics ont abouti essentiellement au développement et à la commercialisation de robots autonomes pour des applications industrielles et entrepôts logistiques (préparation de commandes, approvisionnement en bord de ligne de production), avec la création du robot de manutention autonome et collaboratif : **EffiBOT** sorti en 2015 et

capable de transporter des charges de 300 kg (500 kg pour les charges tractées) avec une autonomie de 8 heures.

Effidence s'est associé en Juillet 2020 avec le Groupe français Manitou, concepteur et distributeur de matériels de manutention pour distribuer ses robots en Europe.

Placée en redressement judiciaire début octobre 2024, elle a été reprise début 2025 par la société Lundi matin Logistique (éditeur de logiciels spécialisé dans les solutions de gestion omnicanale pour les entreprises) dans le cadre de sa reprise du site logistique DISPEO à Beauvais (200 collaborateurs, 15 millions d'€ de Chiffre d'affaires).

- **4DV-VIRTUALIZ** qui propose 4DV-SIM, une plateforme de simulation 3D temps réel et Hardware-In-the-Loop²⁷ pour la génération de données de capteurs contextualisées dans des environnements tout terrain. Ces outils constituent des aides au développement et au test des algorithmes de perception et de contrôle utilisés par les systèmes robotiques mobiles tels que : Robots mobiles, véhicules, drones. Elle employait entre 6 et 9 salariés en 2022. 4D-VIRTUALIZ a rejoint Opal-Technologie, leader mondial dans le développement de simulateurs en temps réel basé à Montréal en juin 2024.

5/ Mise au point d'une flotte collaborative avec l'entreprise SABI AGRI

SABI AGRI est un constructeur français d'agroéquipements électriques (tracteurs, chenillards, enjambeurs viticoles). En 2024, SABI AGRI a développé le concept d'« Accord robotique » qui exploite des avancées obtenues dans le cadre du Lab-Com Tiara impliquant l'unité TSCF (financé depuis 2019 par l'ANR).

Il s'agit en fait d'une association entre le tracteur électrique ALPO et le robot ZILUS qui peuvent travailler de concert et donc démultiplier les tâches dans le même temps de travail cultural, permettant à l'agriculteur de réaliser ses opérations culturales comme le travail du sol ou le désherbage mécanique à bord du tracteur et de superviser le robot qui réalise les mêmes opérations ou des opérations complémentaires. Entièrement électrique, cette association n'émet pas de CO₂, elle préserve les sols, réduit l'utilisation des pesticides et favorise le confort de l'agriculteur (gain de temps pour le désherbage mécanique par exemple). Elle rend donc possible et viable la mise en place de pratiques agroécologiques avec une forte plus-value économique mais aussi environnementale et sociale.

Testée et éprouvée en viticulture, la flotte collaborative développée avec SABI AGRI est disponible pour les agriculteurs depuis 2023.

Un prochain Lab-com financé par la région Auvergne-Rhône-Alpes est en cours de dépôt entre SABI-AGRI et l'Unité TSCF qui permettra de poursuivre cette collaboration.

Politique

1/ Actualisation de la norme ISO-18497

Le travail mené par l'unité TSCF dans le cadre du projet ARPA (Agricultural Robot Performance Assessment, issu du projet européen AgROBOfood) a permis de proposer des protocoles d'essais dans un objectif plus général de développement des activités d'évaluation de la robotique agricole. À la suite de ce travail, ces protocoles ont été partagés avec différents partenaires, dont les membres de l'OCDE.

Ils ont contribué aux travaux d'actualisation de la norme ISO-18497 (Tracteurs et matériels agricoles — Sécurité des machines hautement automatisées — Principes de conception) dont la nouvelle version a été publiée en juillet 2024.

Parallèlement à ses activités, TSCF a rapidement identifié la nécessité de rassembler tous les acteurs de la filière pour accompagner l'évolution du secteur agricole vers les nouvelles technologies.

²⁷ méthode essentielle qui permet aux ingénieurs de tester et de valider des systèmes de contrôle dans un environnement virtuel sûr et contrôlé, sans avoir recours à des prototypes physiques.

2/ Contribution à la « Stratégie d'accélération pour des systèmes et équipements agricoles durables »

En 2020, RobAgri a formulé plus de 20 propositions au gouvernement français qui ont servi à construire une feuille de route dans le programme France 2030, pour la " Stratégie d'accélération pour des systèmes et équipements agricoles durables ".

Cette contribution s'est concrétisée, par le lancement, le 22 septembre 2023, du Grand défi Robotique agricole par la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le Ministre de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, et du Secrétaire général pour l'investissement. Opéré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et confié à l'association RobAgri pour le pilotage global, avec l'appui scientifique d'INRAE, le Grand Défi « Robotique Agricole » financé par l'Etat à hauteur de 21 millions d'euros dans le cadre de France 2030 doit permettre de consolider la filière robotique agricole pour accélérer la transition agroécologique, en apportant aux agriculteurs des solutions pour le pilotage de leur exploitation. L'accent est mis sur la levée des verrous technologiques et réglementaires au déploiement de la robotique agricole.

Selon Patrick Armangaud, (INRIA, manager du PEPR Agroécologie et numérique) : « *L'association RobAgri est un atout de la filière. Elle permet d'assurer un continuum Recherche/constructeur de matériels/CUMA et acteurs socioéconomiques/Chambres d'Agriculture. Elle rassemble une communauté dynamique et constitue un écosystème favorable pour le développement de solutions robotiques dans un objectif d'agroécologie (santé des sols, réduction des pesticides, de la pénibilité au travail, attractivité du métier d'agriculteur, ... »).*

3/ Construction de l'AgroTechnoPôle

Le lancement du Grand Défi Robotique en septembre 2023 a été l'occasion pour les ministres et le PDG d'INRAE de poser la première pierre de l'AgroTechnoPôle sur le site d'INRAE à Montoldre (Allier). Envisagée depuis 2017, cette plate-forme d'innovation relie la recherche, l'ingénierie, les essais et la formation. Elle est ouverte au service de tous les acteurs impliqués dans les équipements agricoles innovants (constructeurs, équipementiers, instituts techniques, clusters technologiques, laboratoires de recherche, ...) pour accompagner leurs développements de solutions technologiques et numériques pour la transition agroécologique. Il s'agit d'accélérer aussi bien les innovations incrémentales (améliorations de machines existantes) que les innovations de ruptures (nouvelles machines, process) afin de répondre aux défis de l'agriculture.

Son action est de pouvoir lever les verrous scientifiques et technologiques qui lui seront posés par ces différents acteurs, leur apporter des solutions grâce à la capacité de mobiliser les compétences plurielles et complémentaires en termes de Recherche / Ingénierie / Essais / Formation auprès de ses partenaires académiques (CEA, CEREMA, UCA, VetAgro Sup, LP Gustave Eiffel, INRAE) et/ou de son Réseau d'Entreprises Innovantes spécialisées en Mécatronique / Robotique, Terramécanique, IA, IoT, Modélisation / Simulation, ...

Grâce à la construction future sur le site de bancs de semis codéveloppés avec INRAE et Khün, la société SKY, par exemple, envisage de mener des essais sur :

- le semis multi-espèces pour associer plusieurs types de cultures (colza + féverole par exemple) ou l'association de différentes variétés de blé pour augmenter la résistance aux maladies et réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.
- L'apport d'un engrais organique (bouchons de fientes de poules) en même temps que le semis de maïs bio.

Ces bancs de semis constitueront également des outils d'apprentissage pour les agriculteurs et les agronomes.

Hébergeur du vivarium de robots de l'Equipex+ TIRREX, l'Agrotechnopôle aura également un rôle de démonstration et de formation.

Social/Territorial

La contribution de l'Unité TSCF à la définition des normes de sécurité sur les véhicules et matériels agricoles réduit les risques d'accident pour les agriculteurs et leurs salariés.

Le développement de robots prenant en charges des tâches répétitives, longues, pénibles voire dangereuses a un impact social important sur la pénibilité du travail agricole et sur ses risques potentiels. L'utilisation d'un robot agricole (loué pour 300 heures) pour la préparation des lits de semences et des semis de printemps a permis, par exemple, à Jean-Charles Zwaenepoel, agriculteur dans la Nièvre de gagner 270 heures sur ses 2000 heures annuelles de conduite de tracteur lui permettant de consacrer ce temps à des tâches professionnelles à plus haute valeur ajoutée ou à sa vie personnelle, l'objectif étant à terme pour lui de réduire de 700 heures le temps passé sur son tracteur (source Entraïd media 16 juillet 2025).

Plus globalement, l'Unité TSCF contribue, via ses infrastructures et son implication essentielle dans la création d'intermédiaires, à la montée en capacité des acteurs de la filière robotique et agroéquipements intelligents, à la création de standards, à la structuration d'approches collectives visant à faciliter l'adoption de solutions robotiques par les agriculteurs, à accélérer la mise sur le marché de robots conformes et sécurisés, à favoriser l'émergence de pratiques agroécologiques robotisables...

Environnemental

En développant des technologies favorisant la mise en œuvre des principes de l'agroécologie, les travaux et les résultats de l'Unité TSCF jouent un rôle important dans la réduction des impacts de l'agriculture sur l'environnement.

La certification Ecoépandage qui identifie des épandeurs d'engrais permettant une meilleure localisation des doses, une réduction du recouvrement dû aux aller-retour, une application de la bonne dose au bon endroit, la suppression de l'épandage aux abords des champs, réduit l'impact environnemental de la fertilisation.

Le développement et la commercialisation de robots capables de réaliser un désherbage mécanique plutôt que chimique, d'optimiser les traitements phytosanitaires sont également des facteurs de réduction de l'impact environnemental de l'agriculture.

Les concepts de robots associés permettent en outre, d'exploiter des machines de taille réduite et donc moins impactantes sur les sols.

Les flottes de robots développées sont essentiellement électriques ce qui permet de réduire les émissions de CO₂.

Sur le plan énergétique également, une collaboration avec MICHELIN a mis en lumière le rôle clé des pneumatiques dans la réduction des pertes énergétiques des tracteurs. Grâce à une approche combinant mesures expérimentales et modélisation, l'objectif est de concevoir des pneus toujours plus performants, favorisant à la fois l'économie d'énergie et la durabilité des machines agricoles.

Selon Lionel Leveille (Burel-Group) : « *Innovations développées sur des matériels existants et développement de la robotique sont deux activités complémentaires, les premières ayant peut-être une diffusion plus large en termes d'utilisation et donc un impact plus fort sur le plan environnemental* ».

Sanitaire

Le développement de robots de désherbage alternatifs à l'usage des produits chimiques de synthèse qui limite l'utilisation des produits phytosanitaires réduit les risques sanitaires pour les agriculteurs, leurs salariés et le voisinage des exploitations.

Impacts généralisés

Les recherches menées pour le développement d'engins autonomes en agriculture s'inscrivent dans la thématique plus globale des technologies numériques pour les véhicules, notamment en milieux naturels et au-delà. Aussi, certaines avancées trouvent des applications dans les domaines de la défense et la sécurité civile notamment. C'est le cas des travaux menés dans le cadre des projets DGA²⁸ et Furious (PEA²⁹-DGA), qui ont vu l'application d'approches de commande appliquées à des robots de défense, et d'assistant du fantassin. Plus récemment, le projet MobiTER, mené dans le cadre du challenge Mobilex (pilote par l'ANR), revêt une application militaire prépondérante, ainsi qu'un volet d'exploration planétaire. Enfin, un travail collaboratif avec Nexter Systèmes, mené entre 2018 et 2023 a amené à appliquer les dispositifs d'aide à la conduite pour le maintien de stabilité sur des véhicules tactiques du groupe.

Au-delà de l'aspect tout-terrain, certains développements théoriques, menés notamment en lien avec l'institut Pascal trouvent des applications dans le développement de navettes autonomes (Ligier, Navya), ainsi que dans la conduite autonome, avec notamment une thèse Cifre avec Renault, menées en collaboration avec l'Institut Pascal, appliquées au parking automatique de véhicules.

Impacts potentiels

Du fait de ses contributions scientifiques et de sa démarche collaborative, l'unité TSCF a un impact potentiel très important sur la transformation des pratiques agricoles et sur l'évolution de la filière agroéquipements intelligents qui y est associée. En effet, les dynamiques collectives portées par la plateforme de recherche et d'innovation AgroTechnoPôle sur les moyens de développement des agroéquipements, conjuguée à la trajectoire proposée au sein du Grand Défi Robotique Agricole constituent des dispositifs visant à faire émerger une réelle réponse structurée à la contribution des équipements à la transition agroécologique. L'enjeu est de pouvoir disposer d'outils de production agricole capables de mettre en œuvre les principes agroécologiques à grande échelle.

Les moyens de tests et de validation permettent d'apporter des réponses aux besoins de référentiels, tandis que les outils de développement partagés amènent à accélérer le processus d'innovation en matière d'agroéquipements adaptés aux pratiques culturales nouvelles. Ils doivent en outre rendre possible la levée des verrous scientifiques et technologiques persistants, par une recherche collaborative et ouverte sur les acteurs de terrain. Ceci implique la capacité à créer des projets pluridisciplinaires (comme le projet transverse PARAD³⁰ du programme PARSADA³¹) afin de faire converger les recherches dans le domaine de l'agronomie en relation avec les recherches sur les nouvelles technologies. Celles-ci doivent également inclure la prise en compte de leur impact environnemental propre, ce qui amène une dimension supplémentaire à explorer par ces collectifs : la notion de technologie frugale.

La stratégie mise en œuvre permet aussi de définir de nouveaux protocoles, adaptés à l'évolution des machines, répondant aux besoins d'adaptation des pouvoirs publics à la réglementation afin de faciliter l'essor de ces technologies en assurant un haut niveau de sécurité. Au-delà de la contribution à l'établissement de nouvelles normes pour des équipements de nouvelles générations, le caractère collaboratif et intégratif des collectifs animés, reprenant l'ensemble des acteurs de la filière, est de nature à favoriser l'appropriation des nouvelles technologies, en particulier robotiques, pour permettre l'intégration d'agroéquipements adaptés aux transitions au sein des filières agricoles.

Enfin, les actions de valorisation et de dissémination menées au sein de ces dispositifs conduisent à faire évoluer la vision de la société vis-à-vis des métiers de l'agriculture et de contribuer à son attrac-

²⁸ Direction générale de l'armement

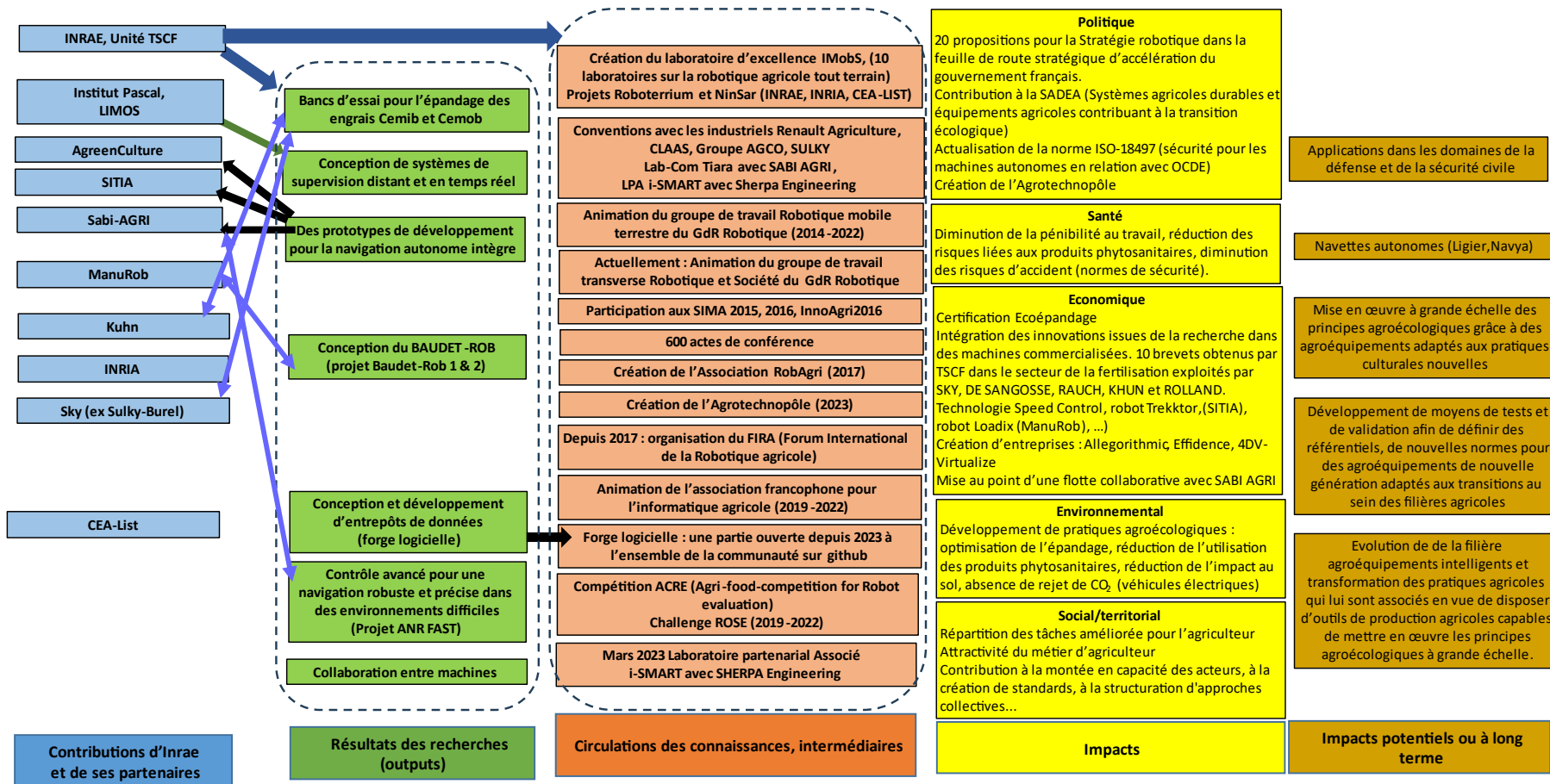
²⁹ Programme d'Etude Amont

³⁰ PARAD : Pour anticiper, innover et accompagner la transition agroécologique de la gestion des adventices

³¹ Plan d'action stratégique pour l'anticipation du potentiel retrait européen des substances actives et le développement de techniques alternatives pour la protection des cultures

tivité, en particulier au regard de ses évolutions. Dépassant largement le cadre de la contribution aux avancées scientifiques et techniques, les impacts potentiels des activités de l'unité s'inscrivent clairement dans l'accompagnement d'un changement drastique des pratiques agricoles pour le respect des limites planétaires, en exploitant de manière raisonnée les nouvelles technologies. L'enjeu socio-économique est donc très important et l'impact potentiel global est à l'échelle de la mutation d'une filière tout entière.

Contexte : enjeu de réduction des impacts environnementaux des activités agricoles (travail du sol, engrais, pesticides) et de développement de pratiques répondant aux principes de l'agroécologie dans un contexte de pénurie de main d'œuvre et de pénibilité du travail. Développement de la robotique et des systèmes d'information



Chemin d'impact

Les impacts en résumé

Dimension d'impact	Notation de l'importance de l'impact : de 1 à 5 ou faible, moyen, fort	Résumé de chacun des impacts
Economique	3	Certification Ecoépandage Intégration des innovations issues de la recherche dans des machines commercialisées. Technologie Speed Control, robot Trekkor, (SITIA), robot Loadix (ManuRob), ...) Création d'entreprises : Allegorhythmic, Effidence, 4DV-Virtualize Mise au point d'une flotte collaborative avec SABI AGRI
Environnemental	3	Développement de pratiques agroécologiques : optimisation de l'épandage, réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, réduction de l'impact au sol, absence de rejet de CO ₂ (véhicules électriques)
Sanitaire	3	Diminution de la pénibilité au travail, réduction des risques liées aux produits phytosanitaires, diminution des risques d'accident (normes de sécurité).
Territorial-social	4	Contribution à la montée en capacité des acteurs, à la création de standards, à la structuration d'approches collectives... Répartition des tâches améliorée pour l'agriculteur. Attractivité du métier d'agriculteur.
Politique	3	20 propositions pour la Stratégie robotique dans la feuille de route stratégique d'accélération du gouvernement français. Contribution à la SADEA (Systèmes agricoles durables et équipements agricoles contribuant à la transition écologique) Actualisation de la norme ISO-18497 (sécurité pour les machines autonomes en relation avec OCDE). Création de l'Agrotechnopôle.

Source des données – Références

Liste des entretiens réalisés (personnel INRAE + acteurs socio-économiques)

Lenain Roland, Directeur de l'Unité TSCF

Chanet Jean-Pierre, Ingénieur de recherche, Unité TSCF, Chef de département adjoint de MathNum

Armengaud Patrick, INRIA, Manager du PEPR Agroécologie et numérique France 2030

Chapuis Roland, Professeur d'Université, Institut Pascal, Université Clermont-Auvergne, responsable du Centre International de Recherche de l'I-SITE CAP2025

Cros Camille, responsable du développement et de l'impact, SABI-AGRI

De Buyer Laurent, Directeur Général, Axema

Leveille Lionel, Directeur recherche et innovation, Burel Group

Lucet Eric, Chercheur en robotique, CEA-List

Liste des documents et sites web consultés

AGCO : <https://www.agcocorp.fr/>

AgreenCulture : <https://www.agreenculture.fr/fr>

AgroTechnoPôle : <https://www.agrotechnopole.fr/>

ANR : <https://anr.fr/>

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

Axema : <https://www.axema.fr/> et Axema, rapport économique, édition 2025

BUREL Group : <https://sky-agriculture.com/burel-group/>

CLAAS : <https://www.claas.com/fr-fr>

ManuRob : <https://www.manurob.com/fr/>

Naïo technologies : <https://www.naio-technologies.com/>

SABI-AGRI : <https://sabi-agri.com/>

SITIA : <https://www.sitia.fr/>

Cette étude de cas a été réalisée par le département **MathNum** selon la méthode ASIRPA (Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE.

Pour en savoir plus sur la méthode : <https://www6.inrae.fr/asirpa/>

Auteurs principaux : Roland Lenain, Directeur de l'Unité TSCF du Centre Clermont Auvergne-Rhône Alpes, Jean-Pierre Chanet, Ingénieur de recherche, Unité TSCF, Chef de Département Adjoint Math-Num d'INRAE, Christine Douchez, Chargée de mission ASIRPA à la Direction de l'évaluation d'INRAE.

Photo de couverture : Crédit Unité TSCF Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes de Montoldre. Centre INRAE Clermont Auvergne-Rhône-Alpes

Ce document est sous licence Creative Commons BY NC SA : Attribution – Utilisation non commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions.



> Pour citer ce document : AgroEquipements intelligents et robotique pour l'agriculture de demain : l'Unité TSCF, lieu d'innovation pour le développement des nouvelles technologies au service de l'agroécologie. Rapport ASIRPA, 2026, INRAE, 31 pages.

HAL: <https://hal.inrae.fr/hal-05594489v1>>

Contact : asirpa@inrae.fr