

Robot de désherbage mécanique en maraîchage et grande culture, une solution d'avenir ? Etat des lieux, validation et retour d'expérience

Conférence – Foire de Libramont – 28/07/23 – LEC3



Centre wallon de Recherches
agronomiques



**Robot désherbeur: technologie
mature et adaptée au
maraîchage en Wallonie ?**

Contexte

La lutte contre les adventices est un enjeu majeur en production végétale, d'autant plus grand en maraîchage biologique où le désherbage est mécanique, chronophage et parfois manuel.

Objectif général du projet

Évaluation de robots de désherbage, mécaniques et autonomes, qui permettraient de s'affranchir de l'utilisation d'herbicides et de diminuer la main d'œuvre pour des tâches à forte pénibilité de travail.

Etudier, évaluer et valider ces nouvelles techniques dans les conditions régionales

Les 4 robots évalués

Robots enjambeurs



Travail IR: Soc, lame Lelièvre, doigt Kress

Vitesse de travail : ≈ 3 km/h

Guidage: GPS et Caméra

Poids: 1500 kg 1000 kg

Robot monorang



Travail IR: Soc de binage

Vitesse de travail: ≈ 2 km/h

Guidage: GPS Caméra sur
cordeau couleur

Poids 150 kg 400 kg

Multi-tâches: implantation et récolte

Cobot enjambeur



Expérimentations 2021-2022

Objectif: Itinéraire technique visant le « zéro-adventice »

2021

Chou-fleur

Plantation

75cm*40cm

Vert-gris

4 désherbages



2022

Betterave

Semis

50cm*20cm

Vert

3 désherbages



Evaluations réalisées

Aspects évalués

Qualité de désherbage

Sélectivité, dégâts à la culture

Précision du guidage

Autonomie et consommation électrique

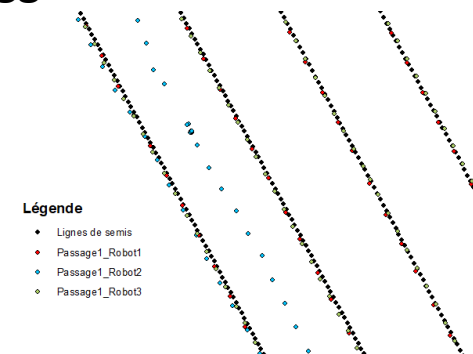
Evaluation de la faisabilité économique

Les données récoltées

Comptages au champ avant chaque désherbage



Enregistrement via datalogger



Qualité de désherbage – Sélectivité

Années d'essais différentes et dynamique d'enherbement différents (levée, nombre de désherbage, implantation de la culture)

Conclusions similaires pour les robots et le tracteur

Paramètre	Conclusion
Qualité de désherbage hors-rang	Enherbement contrôlé Efficacité totale > 90%
Qualité de désherbage sur le rang	Faible impact Efficacité totale 16-40%
Sélectivité (dégât à la culture)	Pourcentage moyen de perte 5 à 10%

→ **Développer une gamme d'outils sur le rang**

→ **Réglage prudent des outils et vérification dans une zone de test**

Qualité du guidage

Hors champ - Robot



Au champ - Outils



Précision (cm)	Robot	Cobot
Robot-Hors champ - 95% du temps	<5	
Outils Au champ - 95% du temps	<10	<5,6
Outils Au champ - 50% du temps	<4	<2,3

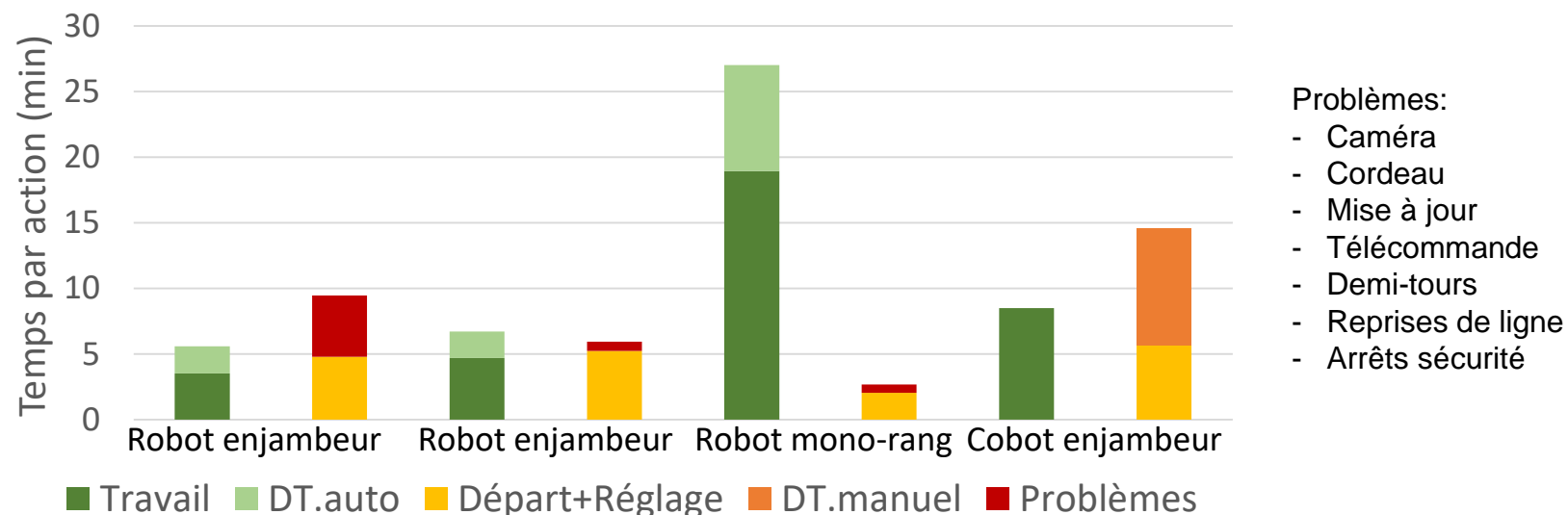
La précision de positionnement des outils par rapport à la culture est :

- dépendante du facteur humain
- améliorée avec la technologie embarquée (évolution 2021 et 2022)

Possibilité d'affiner le réglage des outils mais une évolution est encore nécessaire

Autonomie

Temps moyen pour le travail de 225m² (50m*4,5m) – Répartition robot/humain (2021-2022)



Avantage de la technologie: augmente la **rapidité** de travail

Désavantage de la technologie : augmente les risques d'avoir des **problèmes** et complexifie la **résolution**

-> **Améliorer la fiabilité de la technologie et le SAV**

Etude de faisabilité économique

Méthodologie

Coût total de désherbage = Coût de propriété + Coût d'utilisation

Coût de propriété	Coût d'utilisation	→ Données de terrain
Valeur d'achat (€)	Consommation d'énergie	
Valeur résiduelle (€)	Temps humain	
Durée de vie (an)	Réparation et maintenance	
Taux d'intérêt (%)		
Taxe, assurance, abonnement RTK (€)		
Utilisation (h/an)		

Conditions idéales (H_0): pas de bug, faible pente, sans dévers, sans caillou, travail autonome autorisé de jour comme de nuit

Etude de faisabilité économique

Méthodologie

Les données de terrain ont été extrapolées à 4 types d'exploitation maraîchère

- MPS: maraîchage sur petites surfaces - 2,5ha - 0,1ha/parcelle
- MSS: maraîchage sur moyennes surfaces - 10ha - 0,5ha/parcelle
- MGS: maraîchage sur grandes surfaces - 25ha - 0,75ha/parcelle
- PCG: production en grande culture - 35ha - 3ha/parcelle

Les scénarios retenus sont plausibles au regard de la période propice au travail de désherbage:

$$2400h = 20 \text{ semaines} * 5 \text{ jours} * 24h$$

(1000h pour le cobot)

Etude de faisabilité économique

Résultats pour les différents scénarios

€/ha	MPS	MMS	MGS	PGC	MGS ≈130 ha	PGC ≈135 ha
Robot enjambeur						
Robot enjambeur						
Robot mono-rang						
Cobot enjambeur						

Rouge: Coût robot > tracteur ; Vert: Coût robot < tracteur

Robot: coût de propriété >>> coût d'utilisation → utilisation annuelle, valeur d'achat

Cobot: coût de propriété </= coût d'utilisation → main d'œuvre

→ Multiplier les tâches, mutualiser

→ Paiement à l'usage, diminuer le prix d'achat

Conclusions brèves

Aspects évalués	
Qualité du désherbage	Inter-rang: ✓ Rang: améliorer le guidage, oser Développer une gamme d'outils
Sélectivité	✓
Qualité du guidage du robot - idéal	✓
Qualité du guidage du robot - champ	Améliorer
Autonomie	X Diminuer la main d'œuvre - bug chronophage - Efficacité du désherbage sur le rang -> nouveaux outils
Etude de faisabilité économique	X Diminuer le prix d'achat Multiplier les tâches Mutualisation

Perspectives d'évolution

Nécessité de réduire le coût

Diminuer le prix de vente et augmenter l'utilisation annuelle, multitâche
Etudier les options de mutualisation (CUMA), paiement à l'usage, prestation de service via des entreprises agricoles

Frein législatif

Adaptation des directives et des normes ISO à l'utilisation de matériel autonome avec surveillance à distance

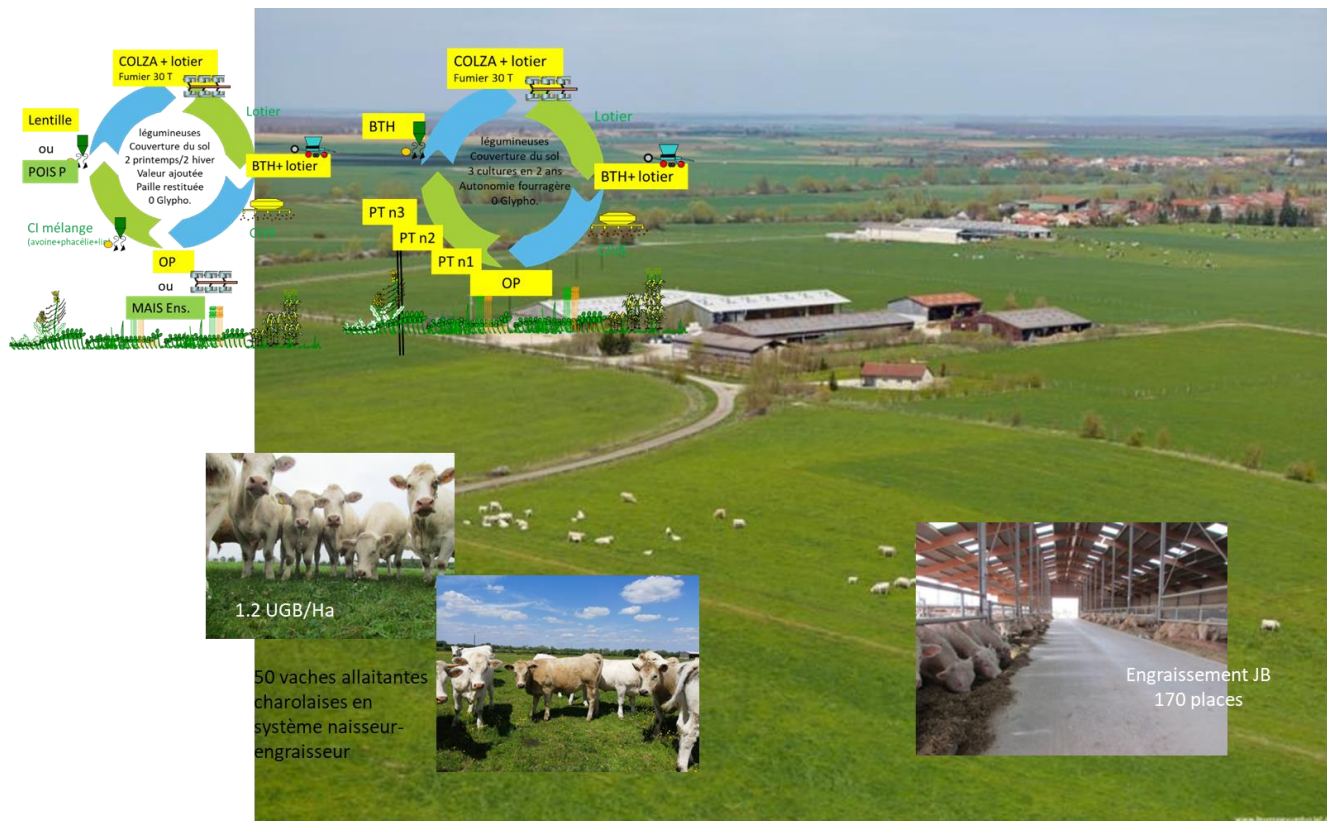
Adaptation à la complexité des exploitations

Les robots, actuellement développés pour des schémas simples de monoculture sur grande surface, pourront-ils être adaptés à la complexité à venir des exploitations (mélange de culture, mélange de variété, nouvelles cultures, diversification des exploitations...)?

The logo for ARVALIS features a stylized graphic on the left composed of three overlapping, curved shapes in yellow, teal, and blue. To the right of this graphic, the word "ARVALIS" is written in a bold, teal, sans-serif typeface. A thick, teal, horizontal brushstroke underline is positioned beneath the text, starting from the left and tapering off to the right.

ARVALIS





Station Expérimentale de Saint Hilaire en Woëvre (55)

Une Digiferme® de polyculture élevage
Les innovations technologiques au service de la transition agroécologique

Traduction opérationnelle

- Produire du fourrage face au changement climatique : fauchage de précision en inter-rangs

Conception de systèmes innovants



Communication et transfert



Désherbage



- Désherbage mécanique robotisé
- (Désherbage électrique)
- La détection et pulvérisation ciblée
- La précision de positionnement dans une parcelle

Des Fourrages et l'élevage



- Capteur infrarouges fourrages
- Sondes VigiThermik
- Monitoring
- Clôture virtuelle



- Tableau de bord
- Outil Web multicritère
- Tests d'applications smartphones (géolocaliser les agriculteurs et optimiser leur temps de travail)

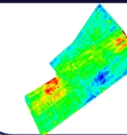
La prise de décision



La lutte contre les bioagresseurs



Du sol et des ressources

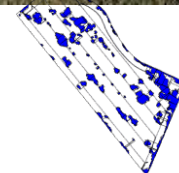
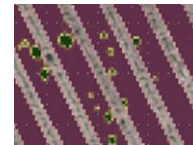


- Méthodes de Caractérisation : IR
- La modulation base RU (densité semis, mélanges variétaux)
- Pilotage dynamique de la fertilisation azotée via capteurs

- Pièges connectés (E-Gleek; LimaCapt) : évaluation et amélioration d'algorithmes

2018 à 2020

2020 à 2023



Désherbage ciblé



A wide-angle photograph of a large agricultural field. In the foreground, a long, straight row of dark brown, freshly tilled soil runs towards the horizon. On either side of this row, there is green grass and some dry, yellowed plant matter. In the far distance, a white tractor with a green implement is visible, moving along the same path. The sky is overcast and grey.

Désherbage mécanique en grandes cultures

Les robots autonomes : évaluation de Dino (NALO Technologies)

Le désherbage en grandes cultures : DINO de NAI0

Dino est robot de désherbage mécanique destiné au maraîchage. Il n'est donc pas optimisé pour désherber de grandes parcelles. L'objectif global est de voir les potentiels d'un tel robot en grande culture.

L'objectif du test de guidage

caractériser le déplacement de Dino via le GPS RTK pour déterminer l'inter-rang nécessaire en culture

L'objectif du test d'efficacité

déterminer le nombre de passage optimal permis et possible pour obtenir un désherbage efficace

L'objectif du test débit de chantier

déterminer le temps nécessaire pour désherber une parcelle type GC en France (temps de recharge inclus)

Destiné à du désherbage en « planche » en maraîchage

- Poids : 600-700kg
- 4 roues motrices/directrices
- Alimentation sur batterie, autonomie 4h
- Vitesse maxi de 4 km/h
- Guidage autonome via GPS RTK et guidage de l'outil via une caméra RGB
- 4 éléments bineurs qui travaillent dans l'inter-rang, peut être combiné à herse étrille sur le rang



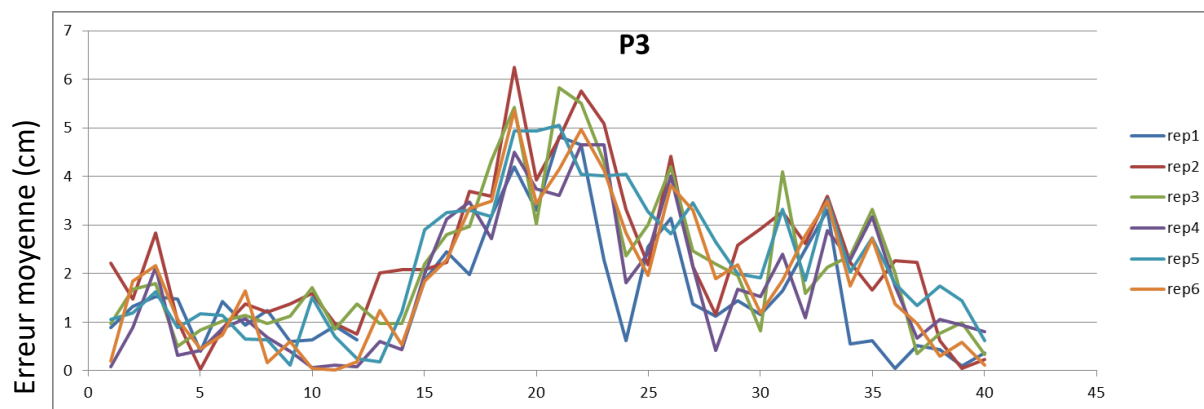
24/07/2023

Test guidage

→ Evaluation sur une plateforme plane sans contrainte pour évaluer sa capacité à se déplacer dans une parcelle grande culture car le guidage de l'outil via la caméra ne fonctionnait pas.

→ Installation d'un GPS « mouchard » en RTK, à l'aplomb des dents de l'outil, pour enregistrer ces trajets.

→ D'un point de vue du fonctionnement, les trajets doivent être enregistrés au semis; l'enregistrement est arrêté à chaque demi-tour afin de ne garder que les zones où le robot doit se guider.



Exemple de résultats obtenus : erreur mesurée entre la ligne de guidage et Dino sur 2 passages

→ Erreur de $\pm 5\text{cm}$ dans 95% du temps, soit un inter-rang de 30cm en céréale.

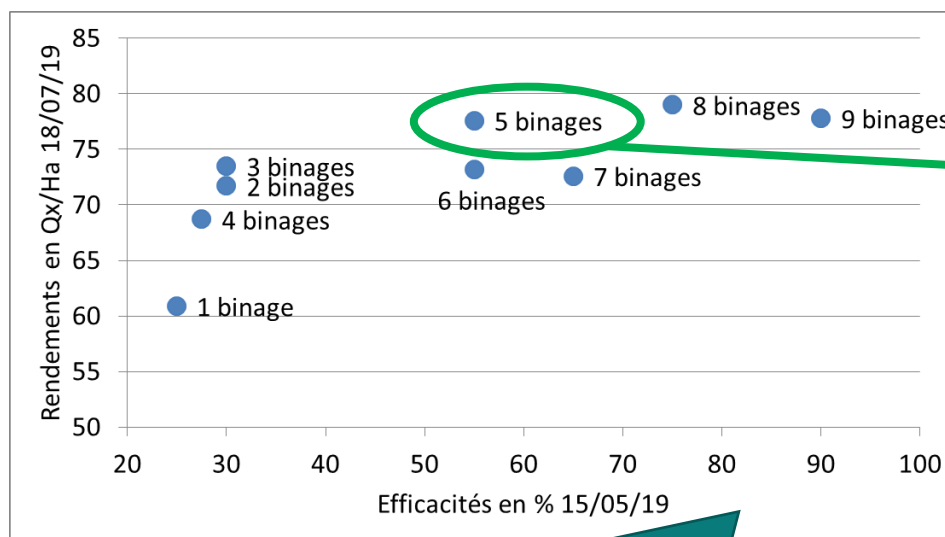
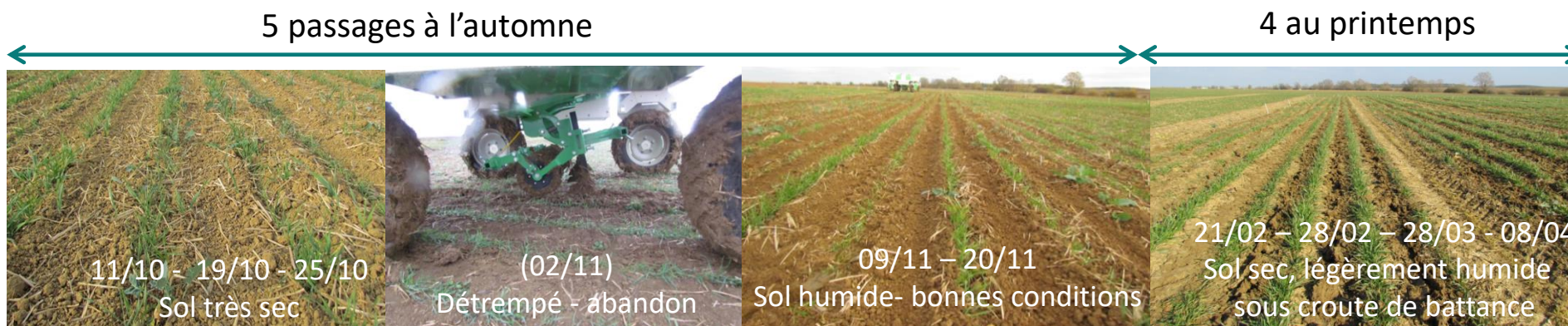


L'antenne « mouchard » est alignée avec l'antenne Trimble qui guide Dino



Installation des antennes GNSS lors de l'acquisition des lignes de référence.

Test efficacité blé

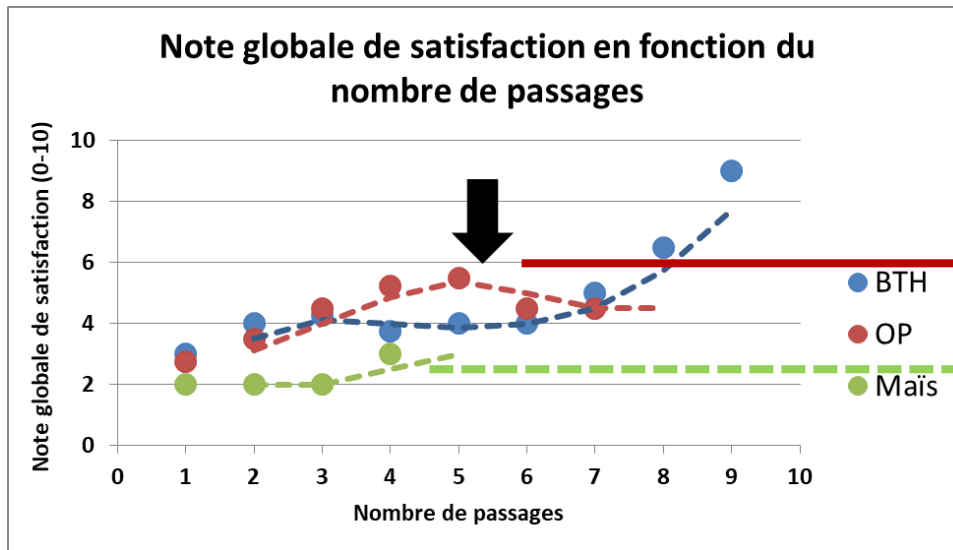
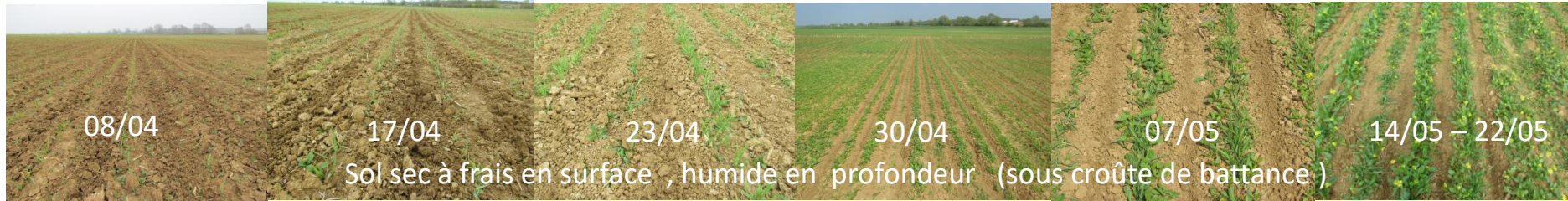


→ Optimum efficacité/rendement
à 5 passages



Test efficacité orge de printemps et maïs

orge printemps : 7 passages au printemps



→ Un effet fréquence validé sur OP
→ *Essai non conclusif sur maïs (sol très sec, croûte de battance, levée difficile et hétérogène)*

Test débit de chantier

→ Calcul 1 : débit de chantier ramené à l'Ha

Le demi-tour est un réel désavantage , temps moyen pour le réaliser 1 mn

Temps simulé pour une parcelle d'1Ha parfaitement carrée : 3H40 (hors perte de connexion RTK)

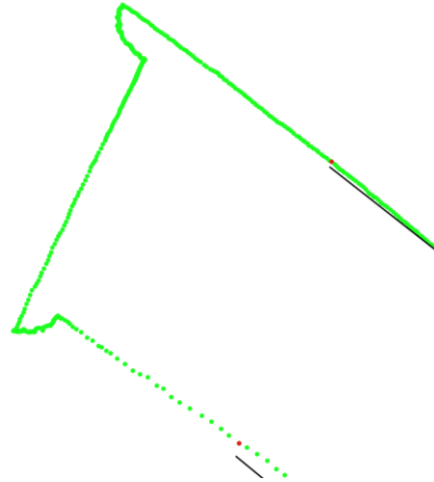
→ Calcul 2 : débit de chantier ramené à une parcelle Française moyenne (10 Ha)

Temps de ½ tour 1 mn, vitesse max 4 Km/Ha : le robot demande 13 à 15 H pour biner la parcelle

Prise en compte d'une autonomie de 4H pour un temps de recharge équivalent : 10 Ha désherbées en 25 à 27 H



Localisation de l'antenne mouchard sur DINO : à l'aplomb de l'outil.



demi-tour « type » avec en vert, la circulation du robot, en rouge les points utilisés pour le calcul du temps nécessaire au demi-tour et en noir, la ligne de guidage entrée dans DINO.

→ 3h40 /Ha

→ Parcelle Fr "type" (10 Ha) = 25 à 27H

Le désherbage en grandes cultures : les apprentissages

→ Dino est robot de désherbage autonome destiné au maraîchage. Il n'est donc pas optimisé pour désherber de grandes parcelles présentant de la pente ou des obstacles (passages de roue en travers, ...).

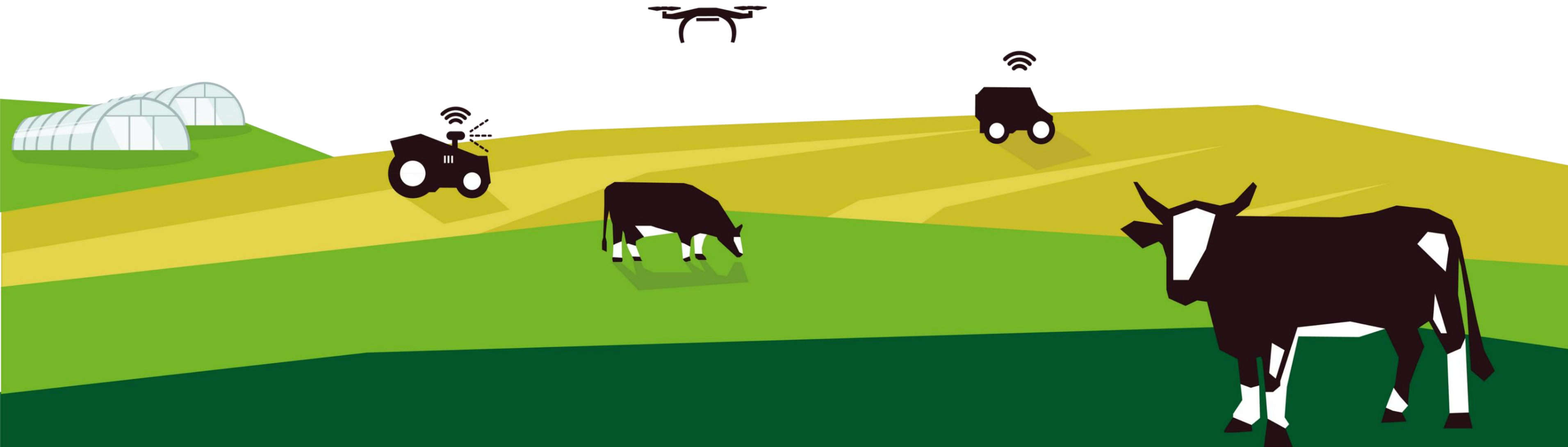
→ Le guidage est uniquement assuré par le RTK puisque la caméra qui gère normalement l'outil n'était pas calibrée pour cette culture. Ce guidage présente une précision de ± 5 cm dans 95% du temps.

→ Compte tenu de son poids, DINO pourrait biner plus souvent qu'un tracteur. Au niveau de l'efficacité, l'optimum est obtenu pour 5 passages d'outil.

→ Un débit de chantier contraint par la vitesse, le temps de demi-tour et de recharge



Le Grand Défi de la robotique agricole porté par RobAgri



Le Grand Défi de la Robotique Agricole porté par RobAgri



RobAgri: L'association de
robotique agricole



Le retour terrain : le terreau des
améliorations



Le Grand Défi
de la Robotique Agricole

RobAgri

l'association de

Robotique Agricole



RobAgri:

Une association pour la robotique agricole associant industriels, chercheurs et agriculteurs



Start ups



Industriels

Recherche et
formation



Agriculteurs



- Produire des connaissances communes
- Promouvoir une vision pour la robotique agricole
- Représenter la filière auprès des institutions

Une association pour la robotique agricole

Nos membres sont divisés en 4 collèges

► A. Concepteurs, fabricants de robots agricoles commercialisables



► B. Fournisseurs de solutions pour la robotique



► C. Instituts de recherche, technique, enseignements, pôles de compétitivité et cluster



► D. Représentant des utilisateurs finaux



RobAgri

85 Membres

A. Industriels et Start-ups



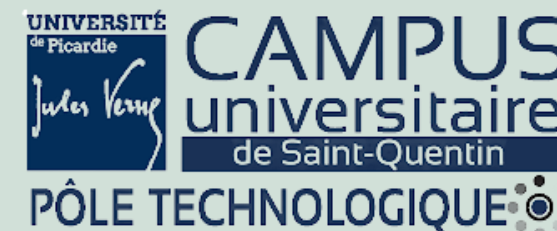
85 Membres

B. Équipementiers



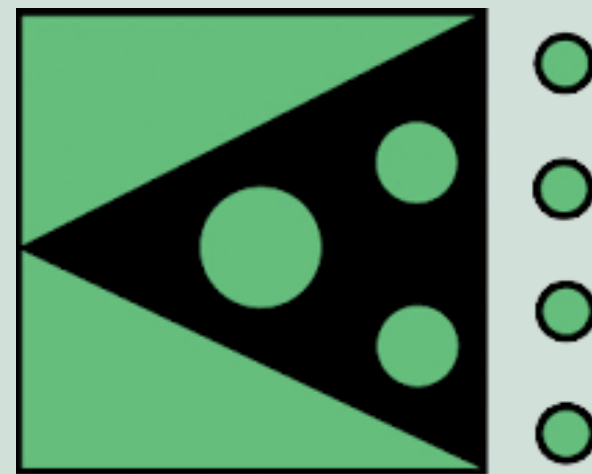
85 Membres

C. Instituts techniques et de recherches



85 Members

D. Agriculteurs



FNAMS

cérèsia



SOFIPROTEOL



Exemples de robots de nos membres



AgreenCulture



Aisprid



Carré



Ecorobotics



Exxact Robotics



Instar



Jeantil



Kuhn



ManuRob



Meropy



Naïo



Octopus



Osiris



Sabi Agri



Sitia



Sylektis



ToutiTerre



Vitibot



Vitirover



Yanmar



Zasso

Activités principales



SCIENTIFIQUE :

- Rédaction d'un livre blanc sur la robotique agricole en France
- Bibliothèque d'algorithmes et de données
- Organisation de colloques scientifiques



REGLEMENTATION:

- Travaux sur la directive machine
- Requête auprès de l'état Français pour réaliser des tests de traversée de route
- Proposition d'approche pour l'évaluation du niveau d'autonomie basé sur la directive machine
- Référent robotique pour l'OCDE

TECHNOLOGIQUE :

- Analyse de sécurité
- Réseau d'infrastructure de test

AUTRES ACTIONS

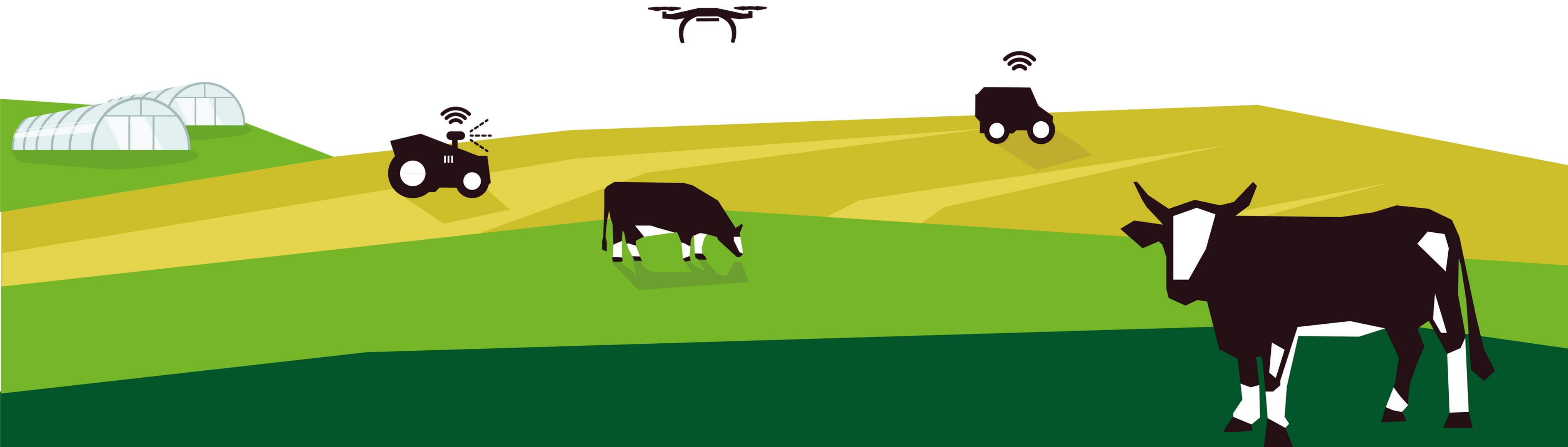
- Propositions d'Equipex+
- Projets SolRob A
- Organisation du Grand Défi de la Robotique Agricole



RobAgri



Le retour terrain



Le retour du terrain



Techniques, économiques et agronomiques



Polyvalence outils
ROI robot
Débit de chantier
Itinéraires adaptés
Métriques



Normatifs et réglementaires



Autonomie réelle?
Confiance



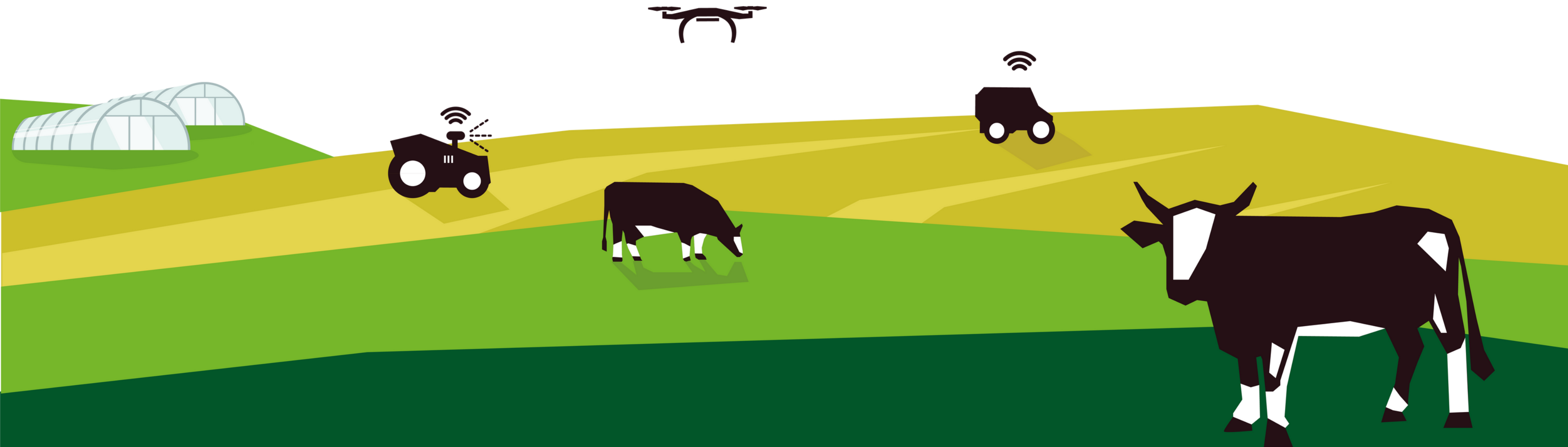
Sociétaux



Acceptabilité - Appropriation
Place des l'agriculteur

Grand Défi

pour la Robotique Agricole



4 piliers clés pour répondre aux enjeux



Appropriation des outils robotiques et perception des bénéfices pour la société

Mise en place de nouvelles pratiques grâce à la robotique



Développer des outils et référentiels partagés

Maturation de technologie



Un Grand Défi relevé par qui?



Nos adhérents
Union des forces



Les agriculteurs
Expérience du terrain



Les autres acteurs
de l'environnement agricole
Union de tous

Le GDRA au profit des agriculteurs



Techniques, économiques et agronomiques



Polyvalence outils → Collaboration machinistes - robots

ROI robot → Appropriation et recommandation Instituts techniques

Débit de chantier → Recherche sur une nouvelle approche du chantier

Itinéraires adaptés → Création de nouveaux itinéraires

Métriques → Lisibilité des offres robotiques



Normatifs et réglementaires



Autonomie ? → uniformité des niveaux de sécurité et autonomie

Confiance → Interprétation commune des règlements et directives



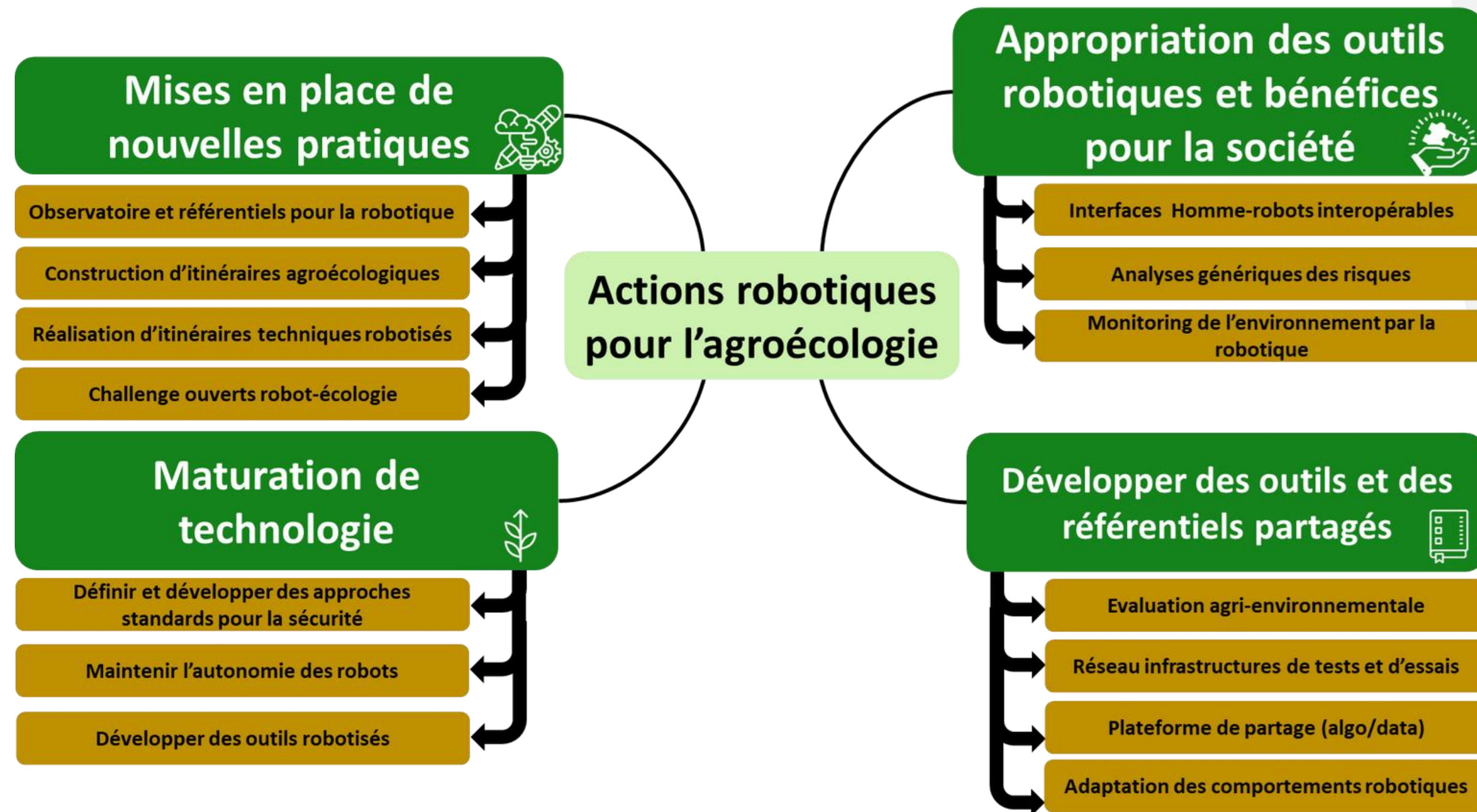
Sociétaux



Acceptabilité – Appropriation → Etudes sociologiques - IHM

Place de l'agriculteur → Construction avec les agriculteurs

Différents projets basé sur les 4 piliers de la robotique





MERCI POUR VOTRE ATTENTION



Rejoignez le Grand Défi !



Merci de votre attention !

Rejoignez nous !



[07 69 31 80 18](tel:0769318018)



association-robagri



stephane.duran@robagri.fr
adrian.couvent@robagri.fr



www.robagri.fr/



Domaine des Palaquins
40 route de Chazeuil
03150 Montoldre