



anr<sup>®</sup> INRAE

CULTIVER  
PROTÉGER  
*autrement*



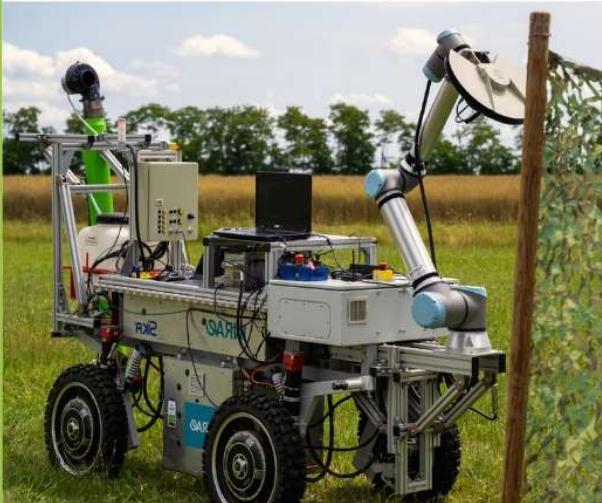
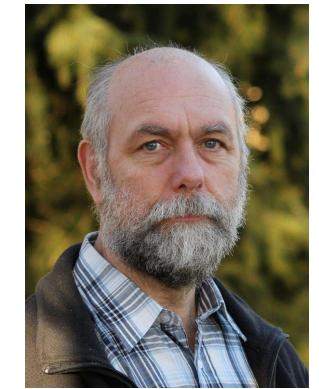
Carrefours de l'innovation INRAE  
Agriculture / Alimentation / Environnement

agreenium



# Quelle place des agro-équipements dans la protection durable des cultures ?

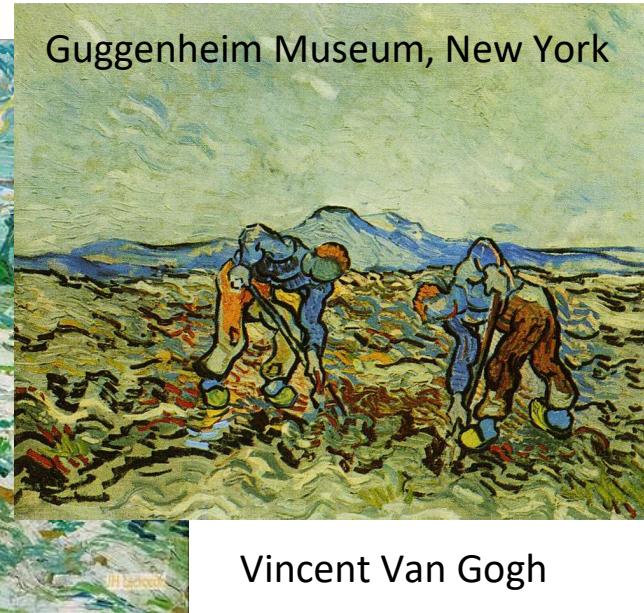
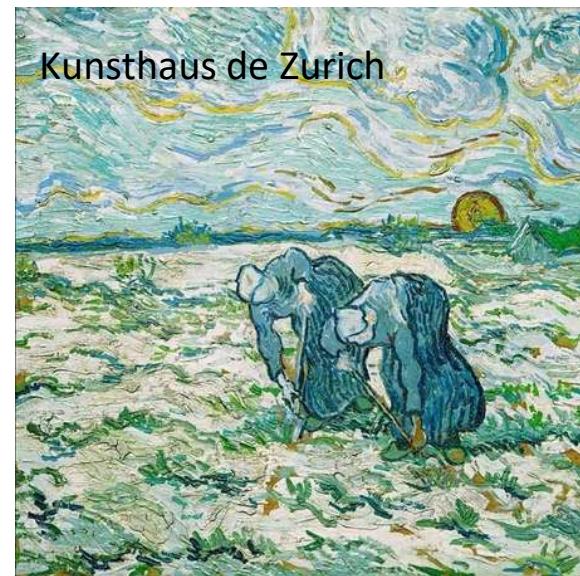
Session introductory – Xavier Reboud (UMR Agroécologie - INRAE Dijon)





# La chimie et la mécanisation comme les deux piliers de l'agriculture actuelle dominante

- En réponse à l'évolution de la main d'œuvre
- Ayant permis l'augmentation de la taille des exploitations
- Ayant fait reculer la pénibilité des travaux agricoles en 75 ans



Vincent Van Gogh

## Automating Agroecology: How to Design a Farming Robot Without a Monocultural Mindset?

Lenora Ditzler<sup>1</sup>  · Clemens Driessen<sup>2</sup>

Accepted: 19 December 2021 / Published online: 22 January 2022

*“When considered as a potential systems innovation for accelerating sustainability transitions in agriculture, the lack of attention given to tools that enable agrobiodiversity demonstrates a lock-in within the monocultural system. The dominant socio-technical regime is robust, favoring developments that fit within a monoculture approach and positioning diversified cropping systems in a niche outside the boundaries of the prevailing innovation landscape.”*

**“In part, this lock-in is influenced by the fact that heterogenous field designs pose many more agronomic and technical challenges than monocultures: it is simply more difficult to mechanize or automate the management of a polyculture compared to a sole crop**

...

**Some see the lack of attention put on automation as a barrier to the amplification of agroecology”**

*Voir aussi : Bellon-Maurel & Huyghe (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology. Ocl, 24(3), D307.*





Poser la définition de l'**agroécologie** : une conduite qui vise à mobiliser une ensemble de processus naturellement présents dans le but de diminuer son empreinte sans concéder aux objectifs de production

Une pratique sera qualifiée d'**agroécologique** si elle renforce les processus naturels pour bénéficier au mieux des propriétés qui en découlent : sobriété et efficience, protection mutuelle, régénération des ressources, optimisation de la biomasse

<https://agriculture.wallonie.be/... /prevention-et-lutte-contre-l-erosion-des-sols>

Réponse paysagère :  
topographie et zonage



Réponse biologique  
avec un sol couvert



Réponse physique  
stratégie basse pression





Le fil rouge est donc l'ambiguïté de la technologie : elle peut soit renforcer le modèle dominant, soit jouer en faveur de la transition agroécologique

Facteurs	Favorable à une agroécologie durable	Favorable à la standardisation / industrialisation
<b>Robotique</b>	permet la diversification, intervention précise	remplace la main-d'œuvre, homogénéise
<b>Données &amp; numérique</b>	gestion complexe des cultures, suivi variétés	dépendance fournisseurs, optimisation intrants
<b>Agroéquipements</b>	outils modulables, soutien tâches complexes	agrandissement exploitations, intensification
<b>Modèle d'affaires</b>	possibilité R&D sur durabilité	verrouillage sociotechnique, maintien du modèle dominant



# Changement disruptif permis par la technologie : la prise en charge de la complexité

- La tendance actuelle : la course à la puissance pour réduire la dépendance à l'humain – Ici à travers le débit des moissonneuses batteuses
- L'automatisation et la robotisation génèrent la capacité à se passer totalement des humains. Il est possible de remplacer une grosse machine par plusieurs petites. Une flotte spécialisée peut gérer des situations complexes

Capacity and Efficiency drivers...  
...Mechanics have been driving the past, Digitalization will drive the Future



Tour d'horizon : quelques avancées où les agroéquipements sont (déjà) mis à contribution

## Avec des implications sur la protection des cultures



Des agroéquipements au service de la transition agro-écologique

Découvrez comment les agroéquipements accompagnent la transition agroécologique.



Photos : Entraid, Osez-Agroécologie



## Semis en association



## Semis direct dans un couvert

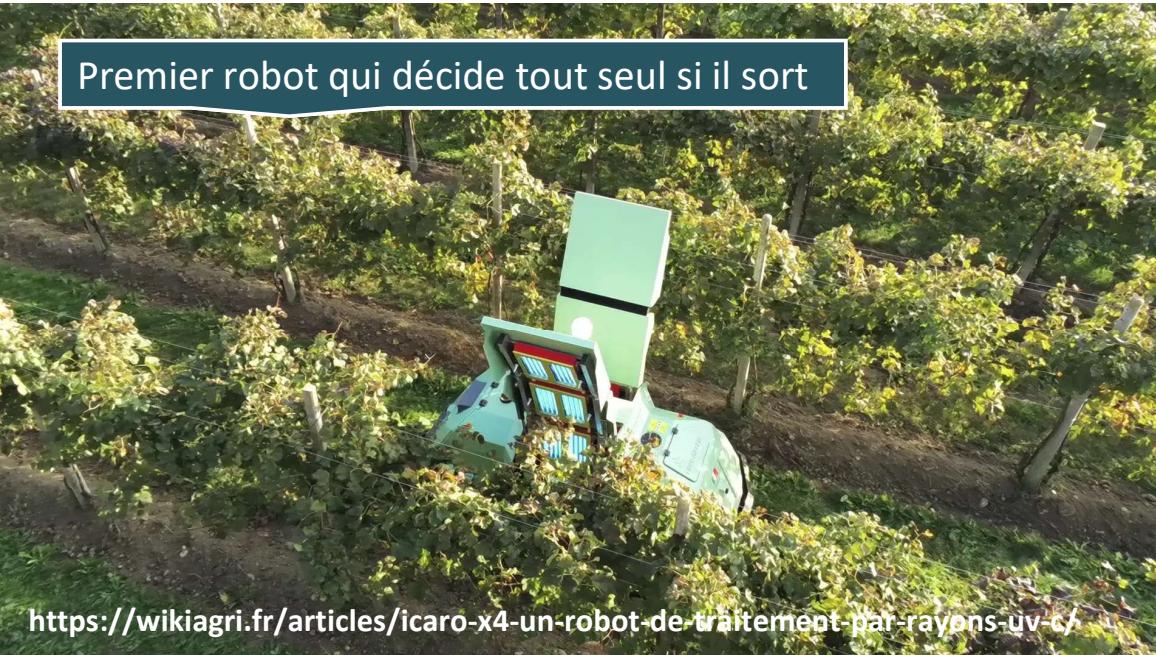




# Moyens alternatifs ou complémentaires de lutte

- Moins d'interventions antifongiques avec les UV-C.
- Une version robotisée pilotée par une station météo
- Environ moitié moins de traitements les années favorables, **à confirmer**

Premier robot qui décide tout seul si il sort



<https://wikiagri.fr/articles/icaro-x4-un-robot-de-traitement-par-rayons-uv-c/>

Déclinaison en maraîchage,  
viticulture et arboriculture  
avec des succès variables



★★★★★ (0 Avis) - Ajouter un Avis

Date de dernière mise à jour : Oct 28, 2024 2:13 pm

Thorvald est un robot autonome modulaire conçu pour contrôler la maladie de la vigne par traitement UV-C et effectuer d'autres tâches autonomes dans les fermes ou vignobles, améliorant ainsi la productivité et la sécurité agricole.

Voir plus

Catégories:



Filtres:



Kubota entre au capital de UV Boosting, spécialiste de la stimulation par UV-C

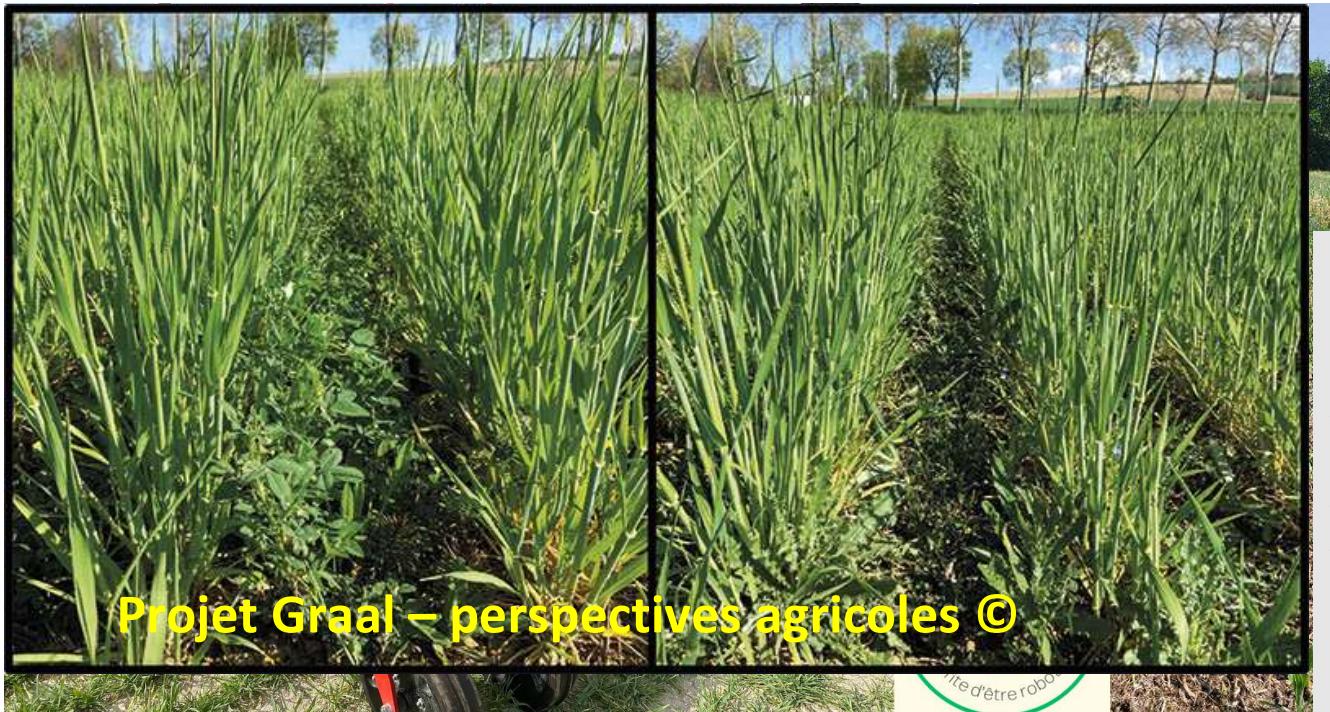


Tour d'horizon : des agroéquipements  
pour des conduites en rupture



# Conduire une culture annuelle dans un couvert vivant pérenne

- Expérimental en vraie grandeur : Bbsocoul, SYPPRE Béarn, Graal, etc.



*Il faut prévoir 2 à 3 passages sur la surface à désherber **pour** avoir une pleine efficacité et **se passer totalement d'herbicides**.*



*« Mon retour d'expérience sur l'usage de l'Orbis dans le cadre de ce projet est très positif, mais pour le moment je n'envisage pas d'investir dans cet outil pour ma ferme, pour des questions de rentabilité. En effet, j'ai chaque année 35 ha de maïs, il me faudrait plus de 10 ans pour amortir l'achat. Le coût d'un programme herbicide à l'hectare est moins élevé, le débit de chantier pour l'Orbis est moins élevé, les charges de mécanisation sont plus élevées. Par contre si je devais passer en bio, la question de l'achat se poserait et serait pertinente. »*

*Source : Bionalan, Site de l'APAD*



Nécessite un **semoir adapté** et de la précision

**Composantes agroécologiques** recherchées :

- Efficience des ressources
- Capture de biomasse
- Étalement des risques
- Ajout de plantes de service (pièges / répulsives)
- Moindres interventions chimiques



**lancer dans  
relay cropping**

Si maximiser la photosynthèse toute l'année grâce aux couverts végétaux est un objectif déjà atteint par de nombreux ACSites, remplacer le couvert par une seconde culture récoltable est une opération plus compliquée sur la même saison. La recherche explore le relay cropping, tullage habile entre culture d'hiver et culture d'été pour assurer la maturité de la seconde culture et une bonne récolte. Enjeux, premiers résultats et perspectives de cette nouvelle approche pleine de promesses.

Dossier réalisé par Sylvain DELZON, Inrae et Frédéric THOMAS



Centre National  
d'Agroécologie

## LE RELAY CROPPING

Sylvain Delzon



sol couvert



### RENDEMENTS COMPARATIFS ENTRE CULTURE EN PLEIN, RELAY CROPPING ET DÉROBÉ

	Culture en plein	Relay cropping		Dérobé
		Rendement céréale (t/ha)	Rendement céréale (t/ha)	Rendement soja (t/ha)
Orge d'hiver	6,9	6	1,5	1,4
Blé tendre	7,5	6,4	2	1,2

Source : Inrae.

Les résultats mettent en évidence un gain de rendement global (céréale + soja ; LER (*Land equivalent ratio*) = 1,6), et économique (54 %) en relay cropping comparé au semis de blé et orge en plein.

et des technologies numériques pour une protection durable des cultures



# Des besoins d'équipements pour industrialiser le contrôle biologique

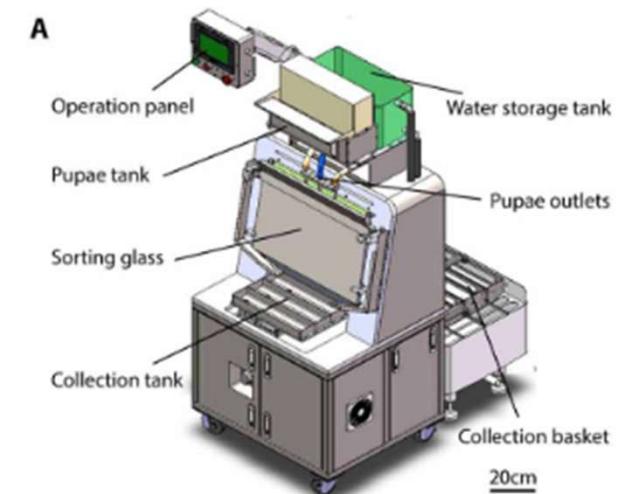
**Ici, l'évaluation expérimentale d'une approche éprouvée de 'contraception à l'échelle de la population' qui nécessite de produire les insectes en nombre, de le sexer et de les stériliser avant de les lâcher. Un process industriel en amont et un quad le jour du lâcher**



<https://www.reussir.fr/fruits-legumes/l-envol-des-insectes-steriles>



<https://agrobonsens.com/recherche/oksir/>



Science Robotics

HOME > SCIENCE ROBOTICS > VOL. 9, NO. 92 > UPSCALING THE PRODUCTION OF STERILE MALE MOSQUITOES WITH AN AUTOMATED PUPA SEX SORTER

f x w in d g m

**Upscaling the production of sterile male mosquitoes with an automated pupa sex sorter**

JUN-TAO GONG, WADAKA MAMAI, XIAOHUA WANG, JIAN ZHU, YONGJUN LI, JULIAN LIU, QIXIAN TANG, YUANHUI HUANG, JIN ZHANG, [..], AND ZHIYONG XI  
+7 authors Authors Info & Affiliations

SCIENCE ROBOTICS • 31 Jul 2024 • Vol 9, issue 92 • DOI:10.1126/scirobotics.ad6261

<https://www.ctifl.fr/carpotis-noix-technique-de-l-insecte-sterile-contre-le-carpocapse-du-verger-de-noyers-infos-ctifl-401>



# Synthèse – prise de recul critique

- Des exemples qui relèvent de l'**agriculture de précision**. Bienvenu, incontournable avec le risque de maintenir les limites des systèmes actuels
- Des équipements en lien avec des **formats particuliers d'agriculture** : conservation des sols, régénérative, agroforesterie, etc.
- Des exemples où l'équipement est **dans la phase industrielle amont** comme ce sera le cas pour le biocontrôle ou **aval** avec le tri post-récolte

Mais aussi

- Faible **équipement de la diversification à échelle fine en saison** : semis associés, gestion de l'entre-rang, entretien du couvert végétal en saison.
- La tendance à la **réduction de puissance des engins** agricoles n'est pas encore enclenchée



# Une vision futuriste / la quête du graal ?

- La récolte sélective « plante à plante » qui permet d'envisager toutes les configurations d'associations de culture indépendamment de leur degré de précocité-tardivit 



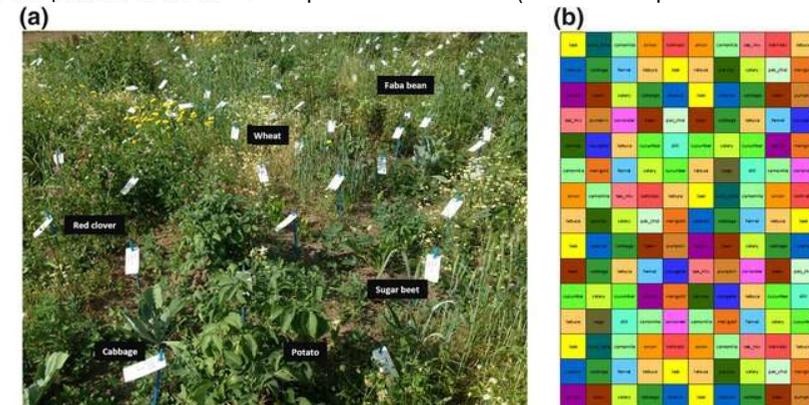
Des machines pour sortir une production homog ne d'une situation qui ne l'est volontairement pas.

11 D cembre 2025

Rencontre Chercheurs – Professionnels (#RCP25)

- Pixel cropping pour b n ficier des effets de voisinage

A pixel cropping plot at the Wageningen University field trial on the Droeveda al Organic Experimental and Training Farm, NL in which six crops are planted in  $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$  pixels in plots of  $9\text{ m} \times 12\text{ m}$  (a); and a subset of the 2020 pixel field planting plan at the Lochem, NL trial in which 30 crops are planted in  $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$  pixels in a 1 ha field (each color represents a different crop) (b)



Journal of Agricultural and Environmental Ethics (2022) 35:2  
<https://doi.org/10.1007/s10806-021-09876-x>

ORIGINAL PAPER

Automating Agroecology: How to Design a Farming Robot Without a Monocultural Mindset?

Lenora Ditzler<sup>1</sup> · Clemens Driesssen<sup>2</sup>

Accepted: 19 December 2021 / Published online: 22 January 2022

23



# Une infrastructure dédiée avec l'Agrotechнопôle sur le site INRAE de Montoldre

Scénario 1 :



Rencontre Chercheurs – Professionnels (#RCP25)

<https://www.agrotechnopole.fr/nos-moyens/robotique-agricole-et-mobilite-off-road/>

Banc de test du désherbage



Banc de test des semis





# Conduit à imaginer un partage de l'effort entre faire évoluer les machines et adapter la manière de cultiver



Review

## An Overview of End Effectors in Agricultural Robotic Harvesting Systems

Eleni Vrochidou <sup>1</sup>✉, Viktoria Nikoleta Tsakalidou <sup>1</sup>, Ioannis Kalathas <sup>1</sup>, Theodoros Gkrimpizis <sup>2</sup>✉,  
Theodore Pachidis <sup>1</sup>✉ and Vassilis G. Kaburlasos <sup>1,\*</sup>✉

<sup>1</sup> HUMAIN-Lab, Department of Computer Science, School of Sciences, International Hellenic University (IHU), 65404 Kavala, Greece

<sup>2</sup> Laboratory of Viticulture, Faculty of Agriculture, Forestry and Natural Environment, School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), 54124 Thessaloniki, Greece

\* Correspondence: vgkabs@teiemt.gr; Tel.: +30-2510-462-320



Figure 6. Indicative apple harvesting end effectors proposed by Hohimer et al. (Reprinted/adapted with permission from Ref. [63]. 2019, Hohimer, C.J.).

- Ce qui se joue c'est la capacité à trier profit des atouts biologiques : complémentarité, effet de protection réciproque, extension des ressources mieux exploitées, conjonction d'objectifs différents (denrée agricole + bioénergie ?)

Variété(s) ↔ Conduite(s)

Quels enseignements tirer en 5 points ?



# Place des actions préventives mécanisées dans la perspective d'une agriculture sans pesticide

A condition de partager une vision du futur, l'apport de la technologie et des agroéquipements est potentiellement dans une majorité

1

Les trois scénarios

- Génétique variétale et stimulation des défenses
- Limitation des foyers et étalement des risques via diversification
- Évitement via un microbiote qui 'occupe le terrain'

S'appuient largement sur la technologie, y compris pour renforcer des processus biologiques majeurs

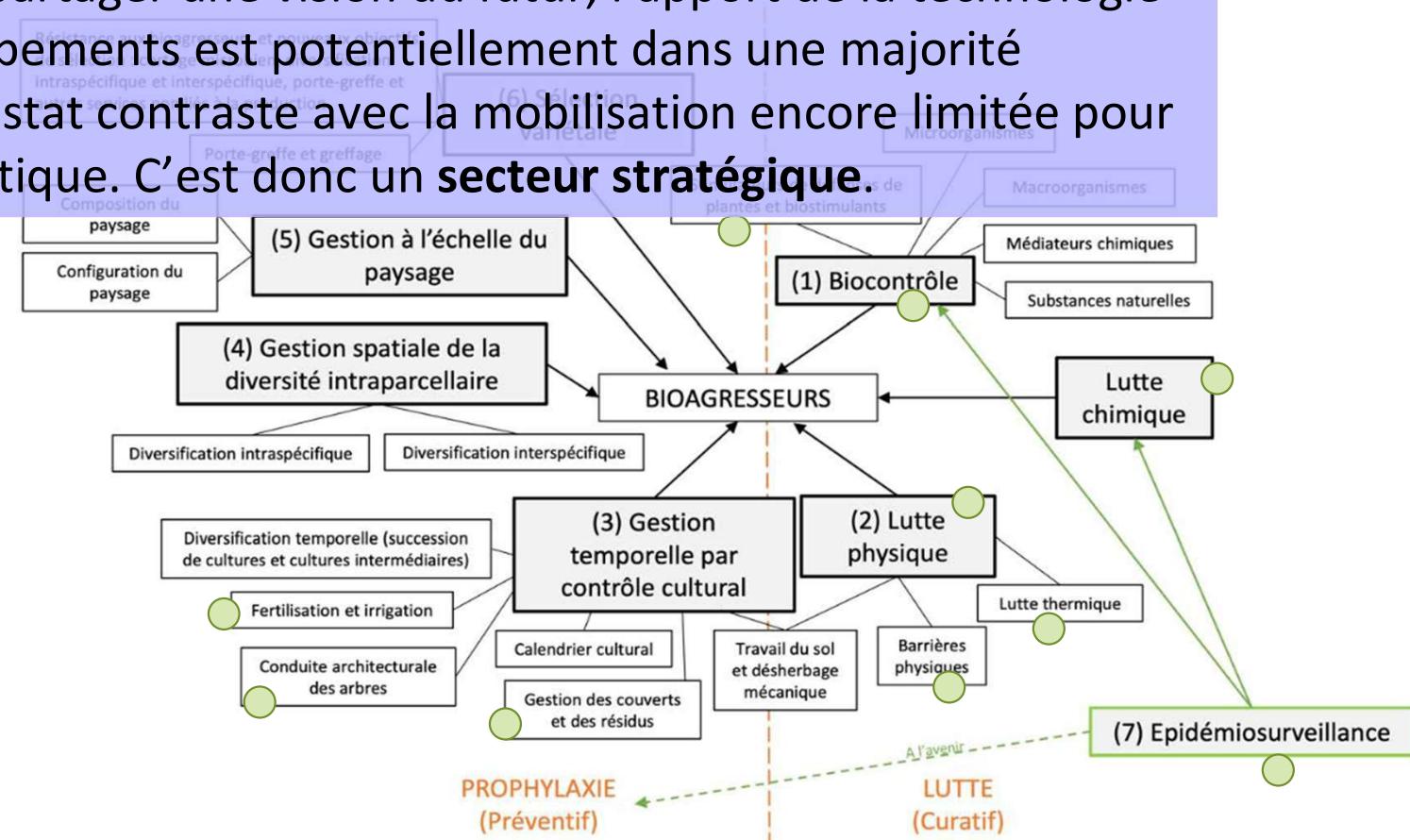


FRANCE  
ANR  
INRAE

Prospective : Agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050

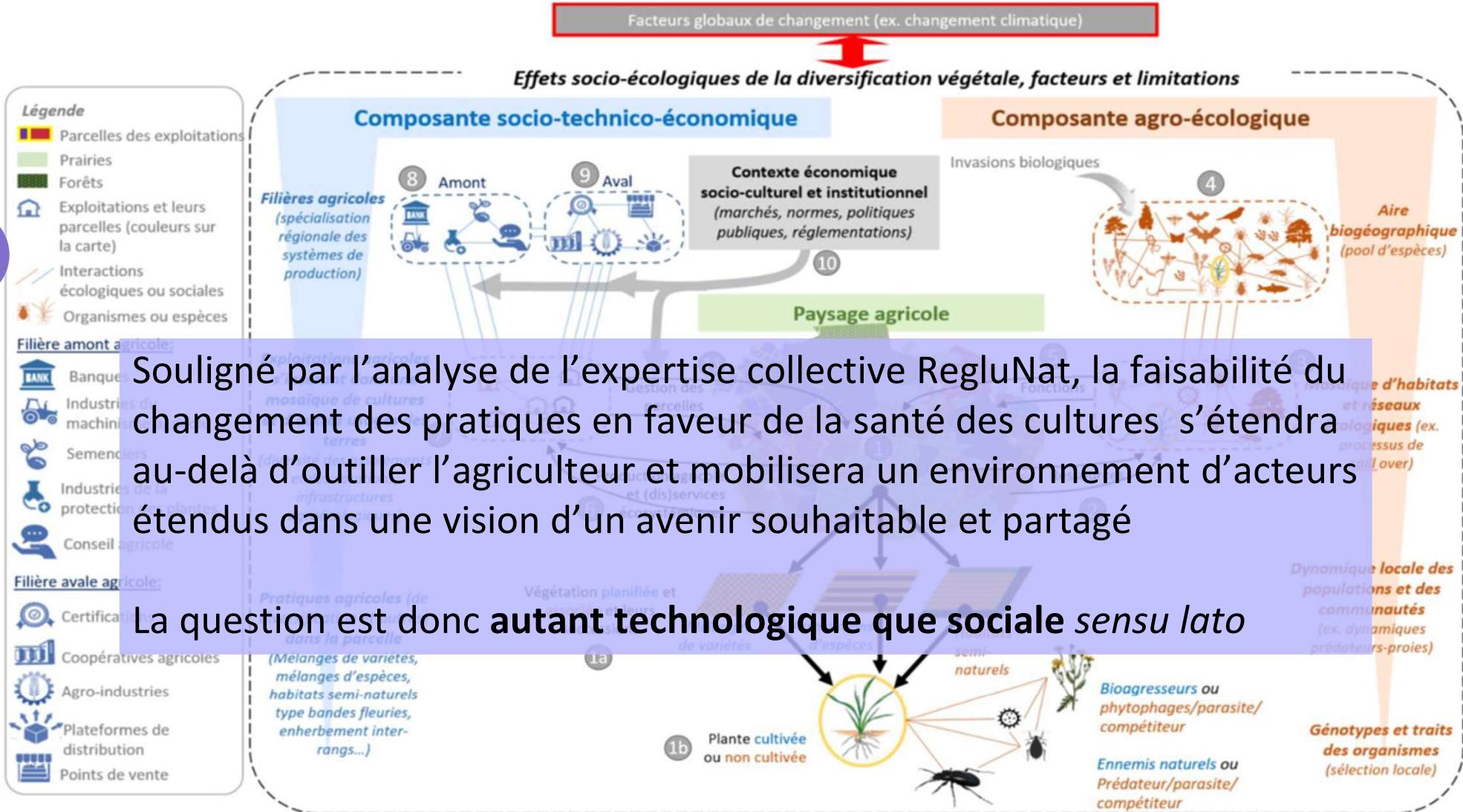
Résumé – Mars 2023

● = action directement dépendante d'un agroéquipement couplé ou non à du numérique



[https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/INRAE\\_prospective2050\\_FR\\_WEB-page.pdf](https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/INRAE_prospective2050_FR_WEB-page.pdf)

## 2



Souligné par l'analyse de l'expertise collective RegluNat, la faisabilité du changement des pratiques en faveur de la santé des cultures s'étendra au-delà d'outiller l'agriculteur et mobilisera un environnement d'acteurs étendus dans une vision d'un avenir souhaitable et partagé

La question est donc autant technologique que sociale sensu lato

Figure 2-1. Cadre conceptuel de l'ESCo RegulNat pour analyser les effets, les facteurs et les limites socio-technico-économiques et agro-écologiques de la diversification végétale dans les paysages agricoles pour réguler les bioagresseurs des cultures. D'après Vialatte et al. (2022).

Les pastilles numérotées guident la lecture du schéma et illustrent les boucles de rétroaction entre les éléments de la composante agro-écologique et ceux de la composante socio-technico-économique (voir le texte pour la description de chaque élément numéroté).



# Impact de la politique de relance – rapport Vertigo Lab – juin 2025

3

FranceAgriMer  
ÉTABLISSEMENT NATIONAL  
DES PRODUITS DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE



Selon les estimations, les équipements financés par le dispositif « Réduction d'intrants » permettent d'éviter, chaque année, ~423 884 IFTeq et 16 614 tonnes de fertilisants minéraux.

Ramené à l'enveloppe accordée au dispositif, cela signifie que pour la durée de vie du matériel estimé à 10 ans en moyenne, 50,7 € ont été investis par IFTeq évité et 1,3 k€ par tonne de fertilisants minéraux évité.

Un investissement que l'on peut juger très rentable



# Ce que cela inspire en termes de champs d'activité à robotiser

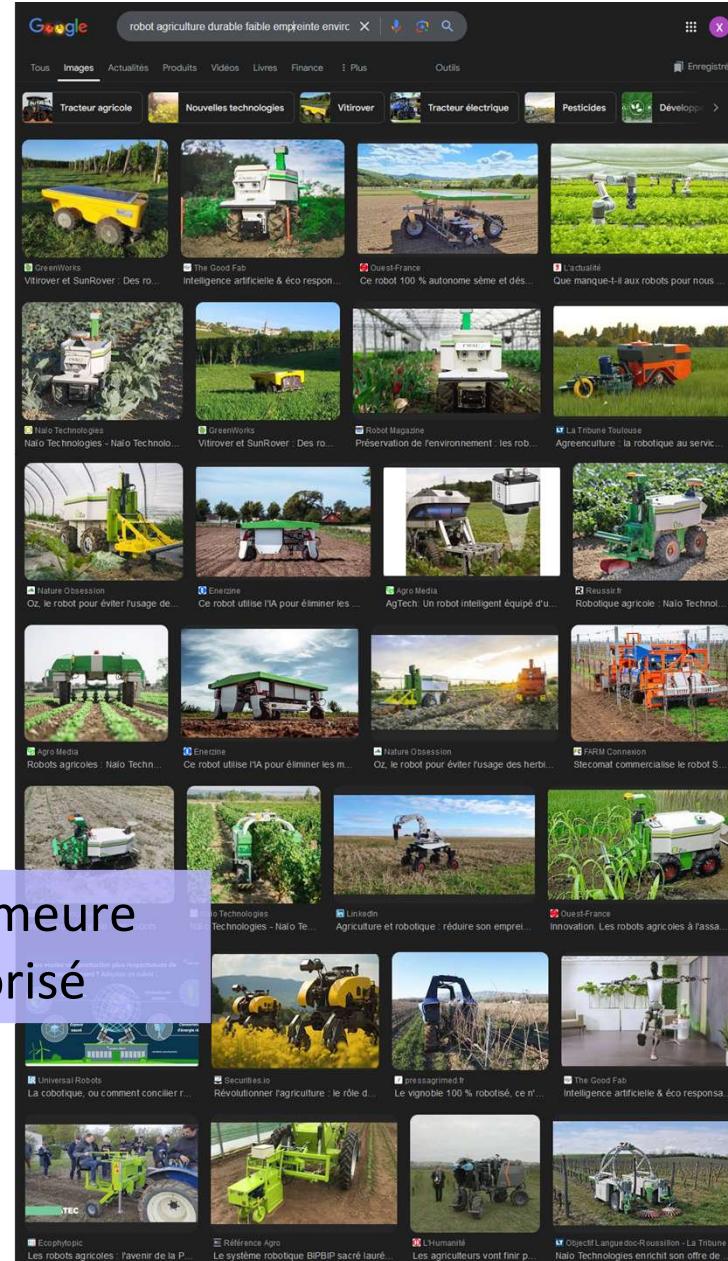
4

- **Automatisation écologique** : Des robots conçus pour minimiser l'empreinte environnementale en s'adaptant aux besoins des écosystèmes (désherbage ciblé, plantation de cultures diversifiées, suivi de biodiversité, etc.)
- **Optimisation des ressources** : Robots capables de gérer l'eau, les nutriments ou la lumière de manière ultraprecise pour éviter les gaspillages. Automatisation poussée dans la gestion de la Mat. Organique
- **Coopération technologique-naturelle** : Une synergie où la technologie sert à restaurer, protéger ou améliorer les écosystèmes agricoles (gestion des haies en bois plaquette, entretien des Infrastructures AE, etc.)
- **Agriculture résiliente** : Solutions en appui aux agriculteurs pour faire face au changement climatique, en combinant robotique et agroécologie pour une production robuste et durable > en faire un critère explicite et quantifié des performances ('on ne change pas un système sans changer les critères pour évaluer ses performances' = la question de la collecte des métriques)

L'articulation de la technologie à l'agroécologie demeure  
un terrain disciplinaire d'interface encore peu théorisé  
= un chantier au sein du Grand Défi et du PEPR



Carte des connaissances du numérique  
et de la robotique pour l'agroécologie



# 5

les économies d'échelle  
l'emporteront toujours

Les complémentarités  
peuvent être améliorées

Agriculture intensive & spécialisée	Agroécologique & diversifié	Verrou décisionnel
Monocultures d'un côté et élevage dans des grosses unités de l'autre > expertise et maîtrise	Diversification temporelle et spatiale à toutes les échelles parcelle, ferme, territoire > flexibilité assurantielle	* Économies d'échelles, * Prix du pétrole (transport) * Besoins de connaissances
Des variétés et races élites uniformes valorisant bien les intrants > la composante G est maîtresse	Une gamme de variétés et races privilégiant l'adaptation aux conditions locales	* La capacité à fixer GxE * La place des labels (AOP, origine contrôlée)
Séparation des productions (verticale et horizontale) > Bonne articulation avec amont / aval	Accent sur la production intégrée, la valorisation > La cohérence locale prime	Le marché, le système alimentaire, la chaîne de distributions secondaires
Homogénéité favorable à une mécanisation poussée & demande réduite de travail d'observation > se faciliter le travail	Demande accrue de travail, d'observation, d'expérimentation et de technicité > Chaque saison est particulière	Le maintien du tissu rural, la capacité de financement du personnel, l'attirance
Un bon fonctionnement du marché & un faible nombre de produits	Renforcement de la cohérence entre les deux types de productions > l'étalement du risque et la valorisation directe	La collecte et la distribution, la demande des circuits courts de proximité, les formes de subvention (quotas)
Usage massif d'intrants générant des prix très concurrentiels	Le recyclage et l'économie 'circulaire'	Les économies d'échelles, la mondialisation des échanges, la densité locale des offres et besoins
La gestion de gros volumes répondant aux standards de la transformation & autorisant les échanges internationaux	Circuits courts et diversifiés	La capacité de l'offre à trouver une demande (saisonnalité), les habitudes alimentaires ('locavore'), les crises alimentaires

L'articulation de la technologie à l'agroécologie s'inscrit dans une réflexion englobante plus large sur la **place accordée aux logiques de gamme** qui peuvent supplanter la recherche d'une économie d'échelle : **autosuffisance alimentaire locale, économie circulaire valorisant les complémentarités, sortie des énergies fossiles**



# Quelles grandes fonctionnalités mobiliser, qui pourraient offrir des marges de leviers d'action ?

	Valoriser les mois d'été		Réduire le poids des équipements et l'énergie consommée
	Profiter du tri post récolte pour cultiver autrement		Fabriquer sur place sa solution de biocontrôle
	Occuper l'espace		Imbriquer production de graines et de biomasse
	Systématiser les leviers prophylactiques		Choisir des pratiques amplifiant les hétérogénéités

## Merci pour votre attention

Le contenu présenté à bénéficié des réflexions conduites dans la cadre du chantier agroécologique au sein d'INRAE, des Programmes Prioritaires de Recherche et Grand Défi, des expérimentations de rupture pour le zéro pesticide

Contact : [xavier.reboud@inrae.fr](mailto:xavier.reboud@inrae.fr) 



Agroécologie  
Dijon  
Unité de Recherche

