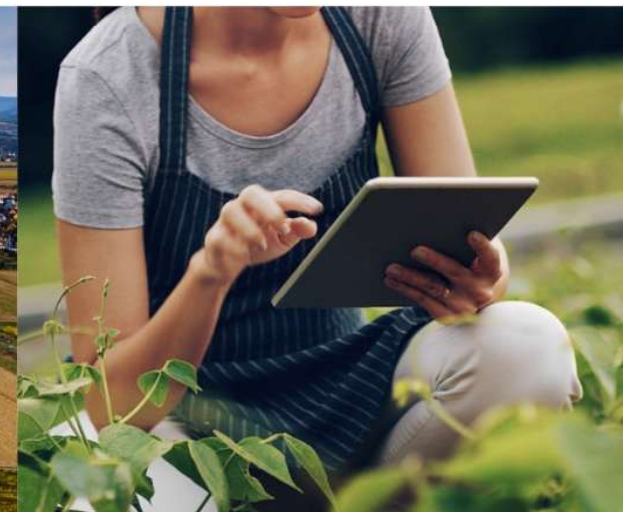
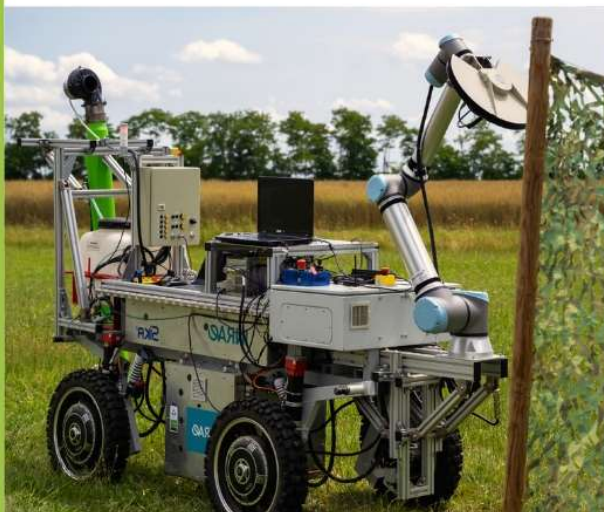
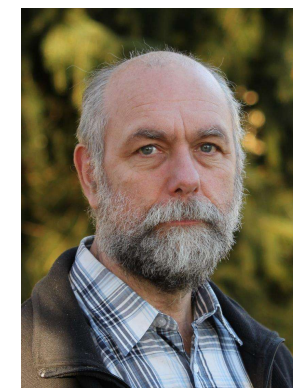




Quelle place des agro-équipements dans la protection durable des cultures ?

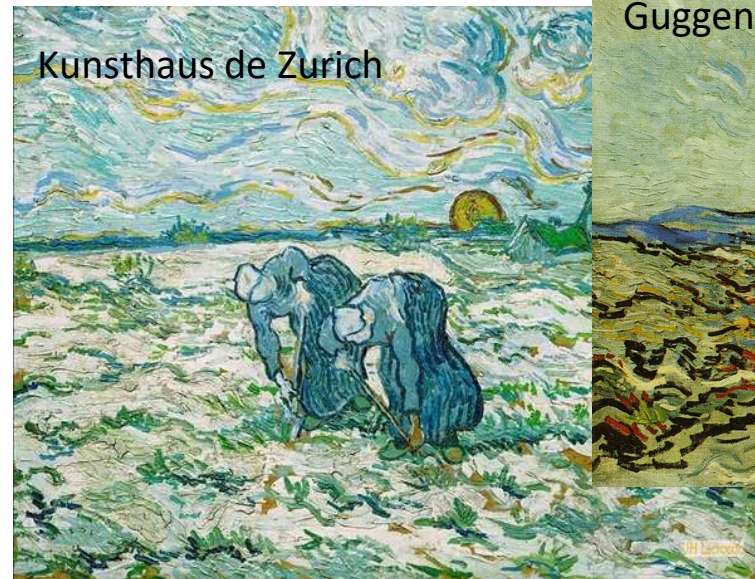
Session introductive – Xavier Reboud (UMR Agroécologie - INRAE Dijon)





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 Ditzler¹  · Clemens Driessen²

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

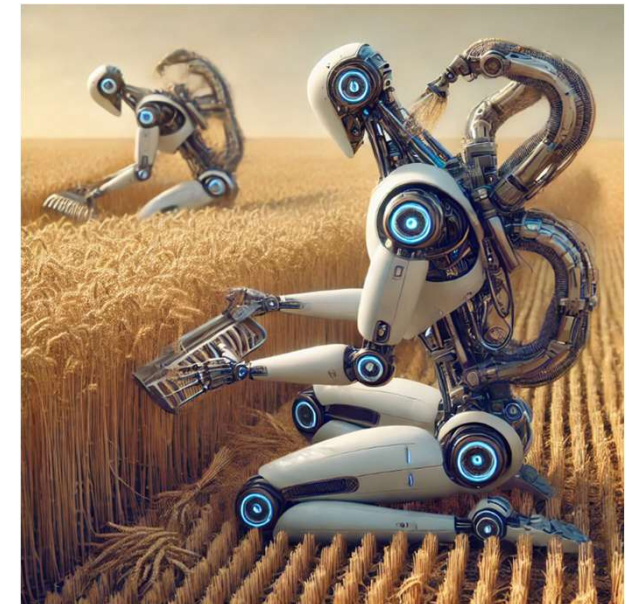
*“ When considered as a potential systems **innovation for accelerating sustainability transitions in agriculture**, the lack of attention given to **tools that enable agrobiodiversity demonstrates a lock-in** within the monocultural system. The dominant socio-technical regime is robust, favoring developments 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. *Oci*, 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 découle : 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
Robotique	permet la diversification, intervention précise	remplace la main-d'œuvre, homogénéise
Données & numérique	gestion complexe des cultures, suivi variétés	dépendance fournisseurs, optimisation intrants
Agroéquipements	outils modulables, soutien tâches complexes	agrandissement exploitations, intensification
Modèle d'affaires	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



Broyage recouvrant

Des agroéquipements au service de la transition agro-écologique

Découvrez comment les agroéquipements accompagnent la transition agroécologique.



- Broyage des couverts
- Désherbage mécanique
- Semis de cultures associées
- Travail cultural simplifié
- Trieur rotatif



Semis en association



Tri post récolte

Photos : Entraid, Osez-Agroécologie



Désherbage mécanique

Semis direct dans un couvert



Source : <https://www.cuma.fr/.../quel-est-le-role-des-agroequipements-dans-lagroecologie.pdf>



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**



ALAIN BARDET, CTFL
MARINE CABACOS, CTFL/AGRO SUP DIJON

INFO CTFL
MAY 2019 V01

Déclinaison en maraichage,
viticulture et arboriculture
avec des succès variables

PROTECTION ALTERNATIVE
DU FRAISIER
ÉVALUATION EN LABORATOIRE
DE L'UTILISATION DES UV-C



★★★★★ (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 mildiou 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

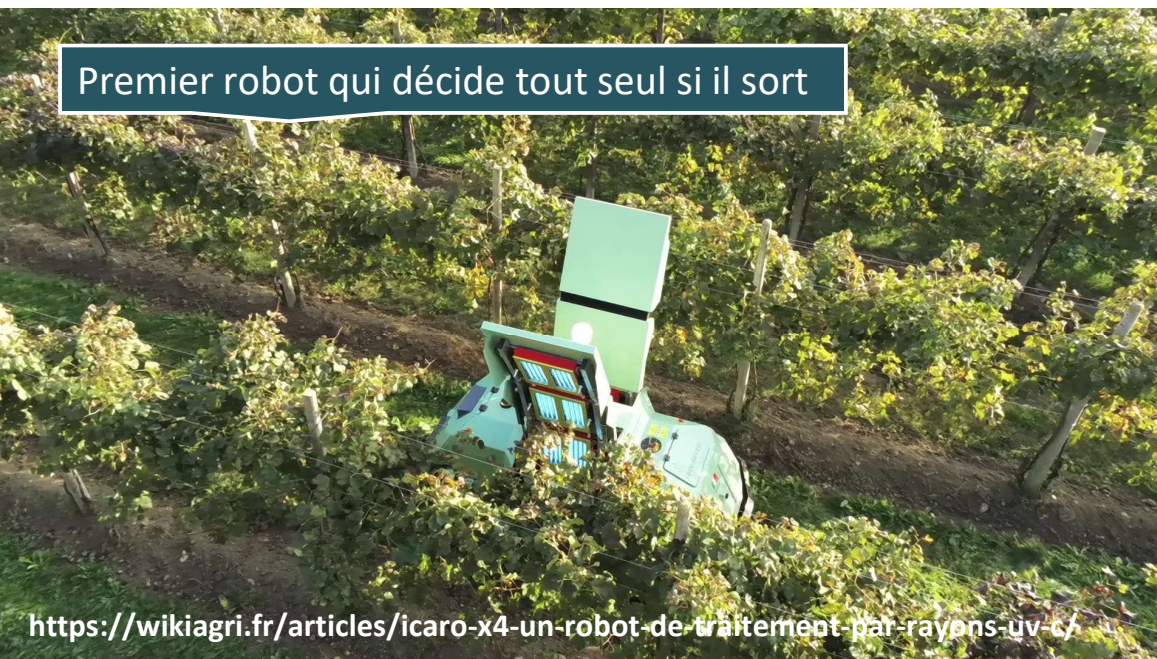
Catégories :

Robot

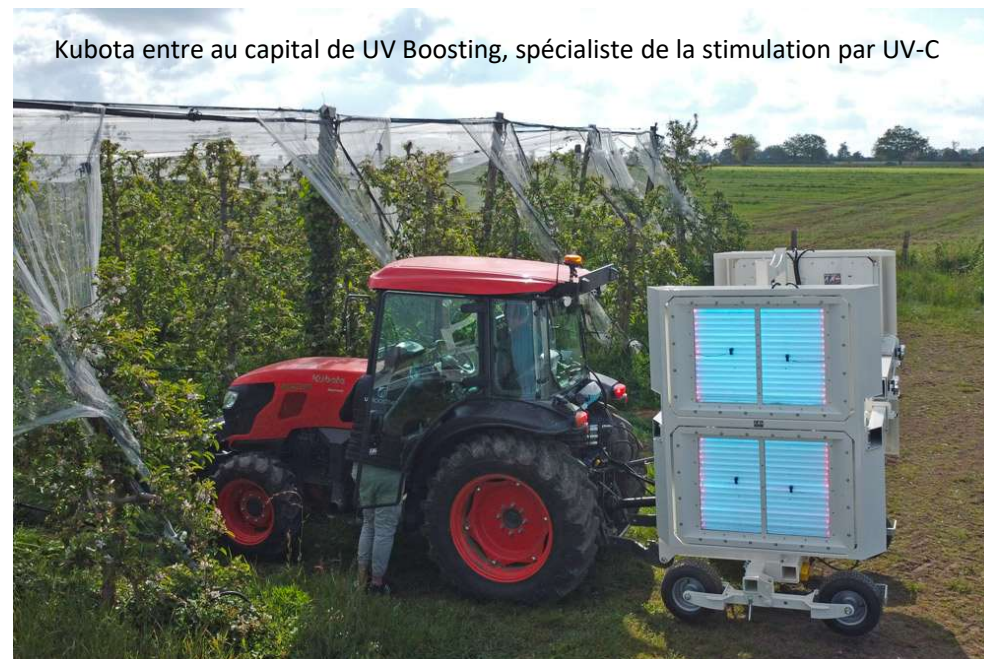
Filtres :

Maraichage

Premier robot qui décide tout seul si il sort



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



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



Projet Graal – perspectives agricoles ©

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

la



Si maximiser la photosynthèse toute l'année grâce aux couverts végétaux est un objectif déjà atteint par de nombreux ACSistes, remplacer le couvert par une seconde culture récoltable est une opération plus compliquée sur la même saison. La recherche explore le relay cropping, tassage 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



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)	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.



Des besoins d'équipements pour industrialiser le contrôle biologique

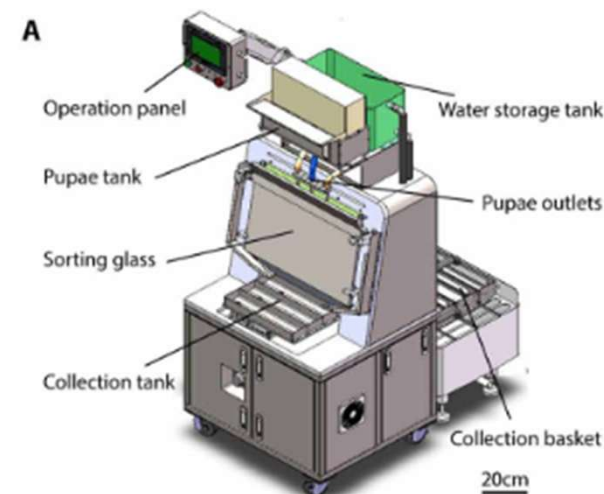
Ici, l'évaluation expérimentale d'une approche éprouvée de 'contraception à l'échelle de la population' qui nécessite de produire les insectes en nombre, de le sexer et de les stériliser avant de les lâcher. Un process industriel en amont et un quad le jour du lâcher



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



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



ScienceRobotics

Current Issue Archive About Submit manuscript

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

RESEARCH ARTICLE INDUSTRIAL ROBOTS

f X in

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

JUNTAO GONG, WADAKA MAMAI, XIACHUA WANG, JIAN ZHU, YONGJUN LI, JULIAN LIU, QIXIAN TANG, YIANHUI HUANG, JIXIN ZHANG, AND ZHIYONG XI

+7 authors Authors Info & Affiliations

SCIENCE ROBOTICS • 31 Jul 2024 • Vol. 9, Issue 92 • DOI:10.1126/scirobotics.aad6281

<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 ?

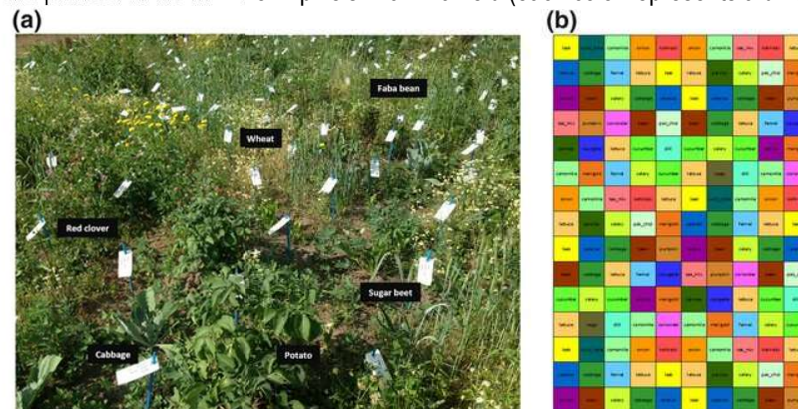
- La récolte sélective « plante à plante » qui permet d'envisager toutes les configurations d'associations de culture indépendamment de leur degré de précocité-tardivité



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

- Pixel cropping pour bénéficier des effets de voisinage

A pixel cropping plot at the Wageningen University field trial on the Droevendaal 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 Ditzler¹ · Clemens Driessen²

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



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

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



Banc de test du désherbage



Banc de test des semis



11 Décembre 2025

Rencontre Chercheurs – Professionnels (#RCP25)

24



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 ¹, Viktoria Nikoleta Tsakalidou ¹, Ioannis Kalathas ¹, Theodoros Gkrimpizis ², Theodore Pachidis ¹ and Vassilis G. Kaburlasos ^{1,*}

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

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

* Correspondence: vgkabs@teiemi.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 ?



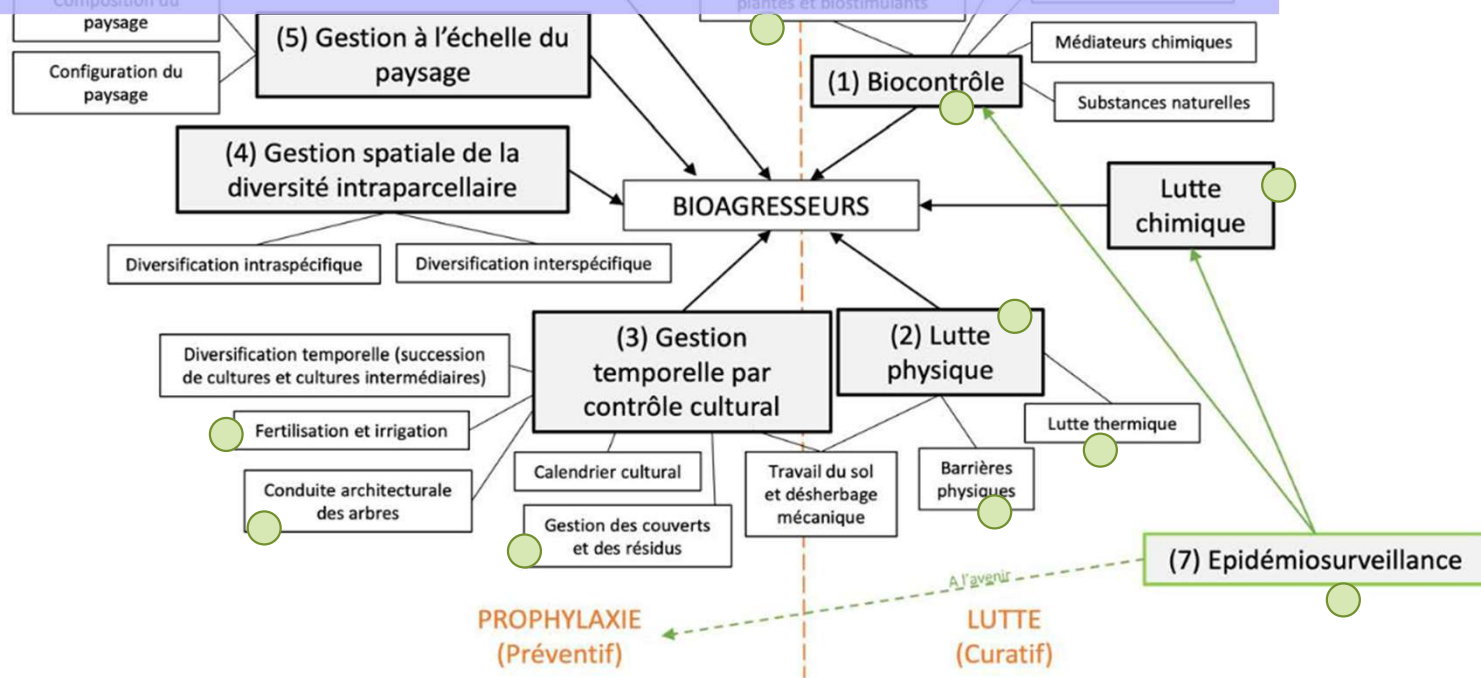
● = action directement dépendante d'un agroéquipement couplé ou non à du numérique

A condition de partager une vision du futur, l'apport de la technologie et des agroéquipements est potentiellement dans une majorité d'action. Ce constat contraste avec la mobilisation encore limitée pour porter la thématique. C'est donc un **secteur stratégique**.

Les trois s

- Génétique des défenses d'action. Ce...
- Limitation des foyers et étalement des risques pour porter la thérapie
- Évitement via un microbiote qui 'occupe le terrain'

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



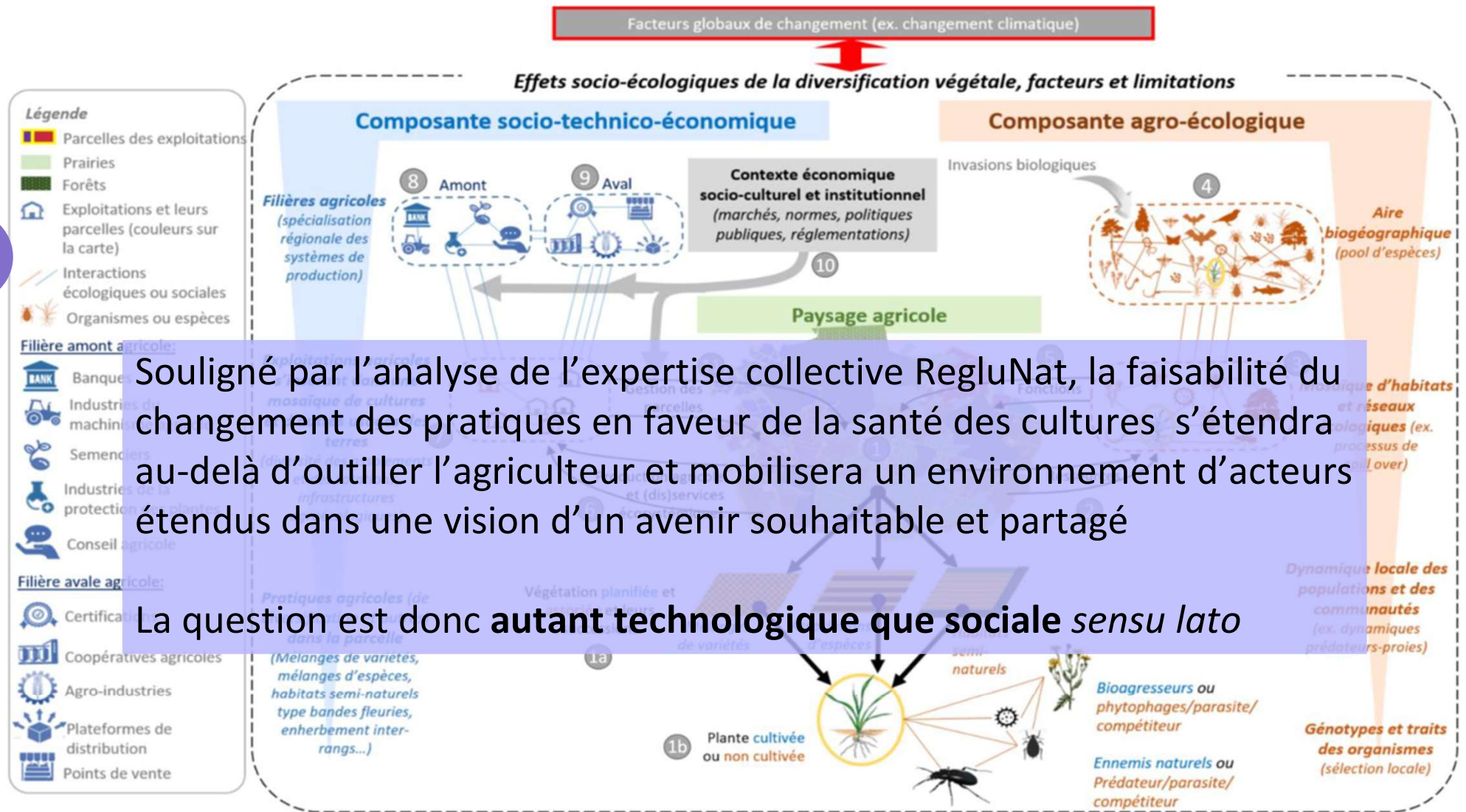


Figure 2-1. Cadre conceptuel de l'ESCo RegulNat pour analyser les effets, les facteurs et les limites socio-technico-économiques et agro-écologiques de la diversification végétale dans les paysages agricoles pour réguler les bioagresseurs des cultures. D'après Vialatte et al. (2022).

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

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté
Égalité
Fraternité*

FranceAgriMer
L'ÉVALUATION NATIONALE
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 ultraprécise 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)

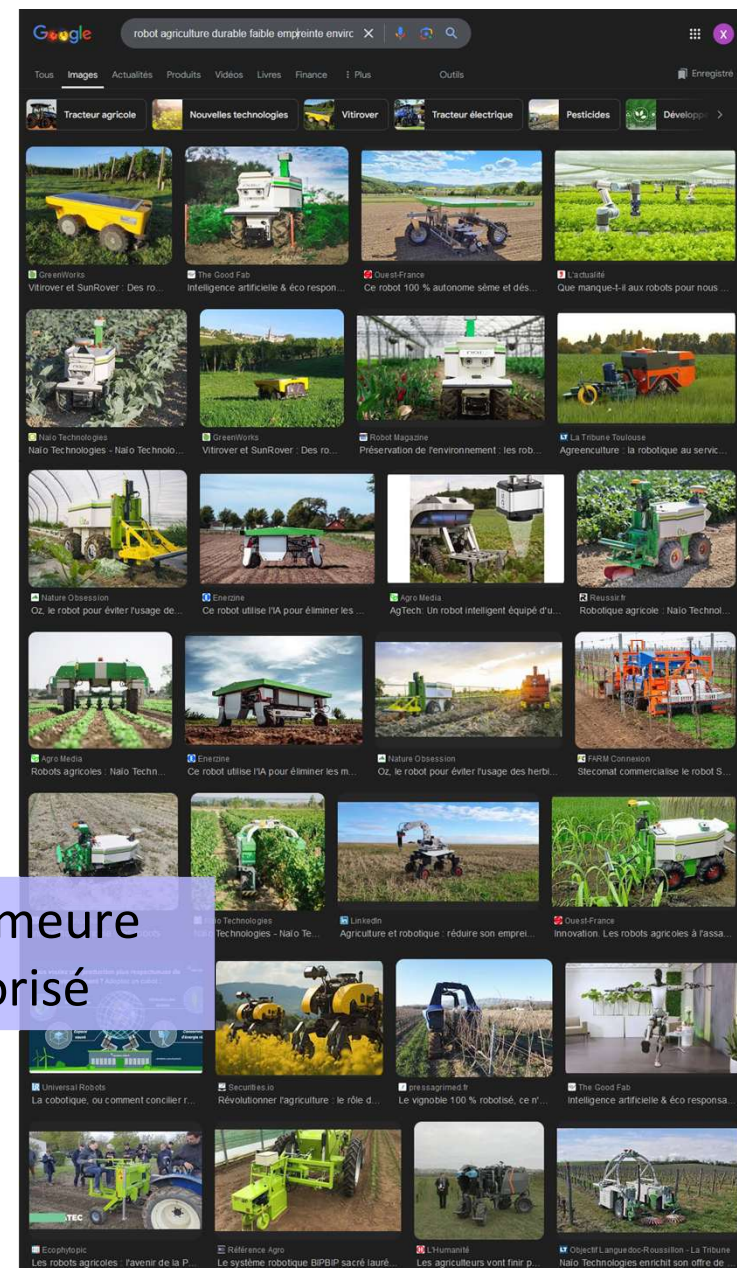


L'articulation de la technologie à l'agroécologie demeure un terrain disciplinaire d'interface encore peu théorisé

= un chantier au sein du Grand Défi et du PEPR

Grand Défi
Robotique
Agriculture

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



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 élitaires uniformes valorisant bien les intrants > la composante G est majeure	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 valeur
Homogénéité favorable à une mécanisation poussée > se faciliter le travail	Demande accrue de travail, d'observation, d'expertise et de technicité > Chaque saison est particulière	Le maintien du tissu rural, la capacité de résilience
Un faible nombre de produits	des 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 a bénéficié des réflexions conduites dans le 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 **INRAE**



Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

