

➤ Impacts environnementaux des robots agricoles et pistes d'écoconception

AT « Robotique et Société » - GDR Robotique
27 novembre 2023



Marilys Pradel

INRAE centre de Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes, UR TSCF

INRAE

technologies et systèmes d'information
TSCF
pour les agrosystèmes

UCA
UNIVERSITÉ
Clermont
Auvergne

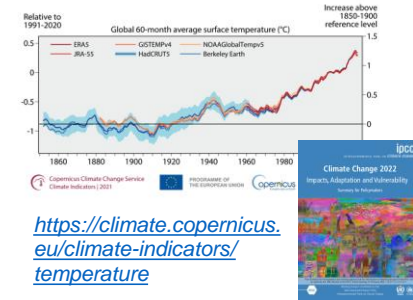


I-SITE
CLERMONT
Clermont Auvergne Project

➤ Besoin de changement de pratiques pour lutter contre le changement climatique tout en préservant la biodiversité

- Agriculture = 19% des émissions de GES
- 45% CH₄ (élevage), 42% N₂O (fertilisants azotés), 13% CO₂ (diesel)
- Une contribution forte à la perte de biodiversité

Global average temperature



millenniumassessment.org



BIODIVERSITY LOSS

Decline of the North American avifauna

Science

Kenneth V. Rosenberg^{1,2*}, Adriaan M. Dokter¹, Peter J. Blancher³, John R. Sauer⁴, Adam C. Smith⁵, Paul A. Smith³, Jessica C. Stanton⁶, Arvind Panjabi⁷, Laura Helft¹, Michael Parr², Peter P. Marra^{8†} 2019

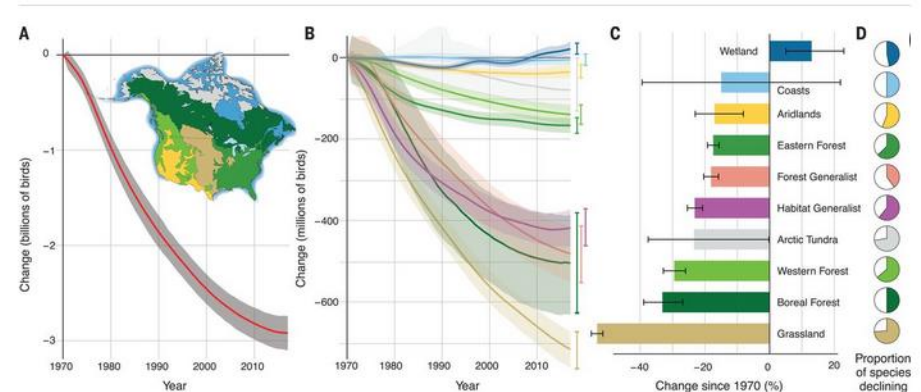


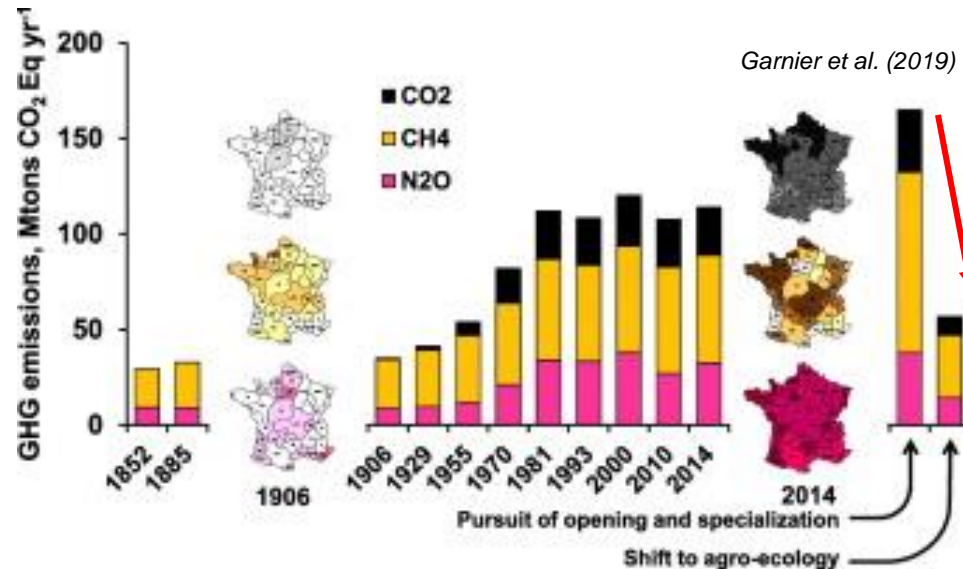
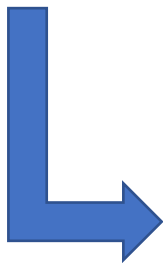
Fig. 1 Net population change in North American birds.

Vers des pratiques agroécologiques....

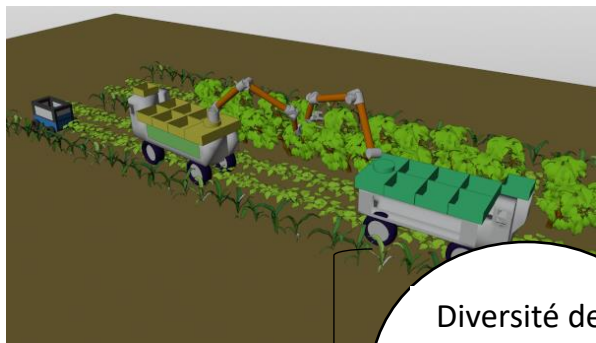
LES FONDAMENTAUX DE L'AGRO-ÉCOLOGIE
L'agro-écologie est l'utilisation intégrée des ressources et des mécanismes de la nature dans l'objectif de production agricole. Elle allie les dimensions écologique, économique et sociale et vise à mieux tirer parti des interactions entre végétaux, animaux, humains et environnement.

Intelligence collective L'agro-écologie s'appuie sur l'émergence d'initiatives collectives. Les interactions humaines, le partage d'équipements et les projets collectifs sont essentiels pour engager le changement. La formation des acteurs permet de mettre en pratique des conduites innovantes mais aussi de mobiliser des réseaux de connaissances.	Couverture & rotation La rotation de cultures favorise l'augmentation des niveaux de carbone et d'azote dans les sols, la prévention de l'érosion ainsi que la suppression de mauvaises herbes. Rotation des cultures, culture de couverture et réduction de travail du sol correspondent à des pratiques fondamentales de l'agriculture de conservation.	Gestion de l'énergie La gestion de l'énergie est un des axes de l'agro-écologie. Toutes les sources d'énergie issues de la biomasse sont valorisées : énergie solaire, biométhanisation, méthanisation etc. Cette dernière permet notamment de produire du méthane ou du biogaz par le recyclage des fumures, lisiers et déchets végétaux.	Biocontrôle Le biocontrôle est un ensemble de techniques de protection des végétaux par l'emploi de mécanismes naturels. Ces techniques associées à d'autres moyens, des techniques à savoir sur les interactions entre espèces dans le milieu vivant et sur la gestion des équilibres des populations d'espèces plaide pour une régulation basée des produits phytochimiques.	Agroforesterie En améliorant la production agricole, tout en restaurant le fertilité des sols et la qualité des eaux, l'agroforesterie fait collaborer sur les terres agricoles des productions bio-diverses (arbres, élevage) et des arbres. Cette technique améliore durablement la productivité des terres agricoles et est favorable à la biodiversité.	Biodiversité La faune sauvage consommant d'insectes, les qui se nourrissent ou les chauves-souris, est très utile pour la lutte contre les insectes nuisibles. La protection et l'utilisation de la biodiversité est l'un des piliers de l'agro-écologie.	
Adaptation climatique Le facteur clé pour 1000 La hausse de la température moyenne dans les sols contribue au stockage des gaz à effet de serre. L'augmentation de 0,4% de la température moyenne des sols permettrait de récolter l'équivalent d'une année entière d'émissions de gaz à effet de serre.	Biodiversité des sols Les organismes vivants dans la terre ont un impact direct sur sa structure qui favorise l'enrichissement, la rétention d'eau et les échanges de nutriments. Ils peuvent protéger les cultures contre les organismes nuisibles et les maladies. Si ce n'est un rôle central dans la décomposition et le cycle des nutriments, une influence sur la croissance végétale et sur les pollinisateurs.	Fixation de l'azote L'azote est un élément indispensable à la nutrition des cultures. Il peut être produit par certaines plantes, notamment les légumineuses. La culture de l'azote présente dans les légumineuses fixe par la plante, à son entrée dans le sol et bénéficie au cultivateur suivant.	Synergie cultures-élevage Les systèmes de production intègrent des cultures et de l'élevage favorisant un recyclage efficace des ressources. Les produits ou sous-produits d'un des composants peuvent être des ressources à l'autre composant — par exemple le foin est un culture et les récoltes nourrissent le bétail.	Pollinisation Les insectes pollinisateurs, et surtout les abeilles, ont permis l'existence de plantes qui font partie de notre alimentation. Les insectes, et notamment les abeilles, jouent un rôle crucial dans le maintien de la biodiversité et sont aussi des auxiliaires indispensables à l'agriculture.	Gestion de l'eau Une démarche de type agro-écologique avec une gestion raisonnée des ressources hydriques dans l'agriculture favorise l'économie agricole. La priorité est de favoriser la rétention de l'eau dans le sol, par le développement de pratiques agro-écologiques qui favorisent le ravalement, l'arrosage et l'évapo-transpiration.	Semences durables Les semences et plants favorisent les systèmes agricoles. Le maintien, la création de semences impliquent un engagement pour faire face aux mutations du monde agricole et de façon plus large de la société. Le traitement de semences saines et adaptées permet de limiter le recours aux produits phytosanitaires.

AGRO-ÉCOLOGIE PRODUISONS AUTREMENT
Grâce à la mise en œuvre de principes agro-écologiques, des cycles vertueux dans la production agricole sont rétablis et pérennisés.



> ... pouvant mobiliser la robotique agricole...



Adaptabilité des robots agricoles dans des systèmes agricoles reconçus

Diversité des systèmes de production agricoles

Reconception des systèmes de production agricoles

Préservation des ressources naturelles

Réduction des produits chimiques

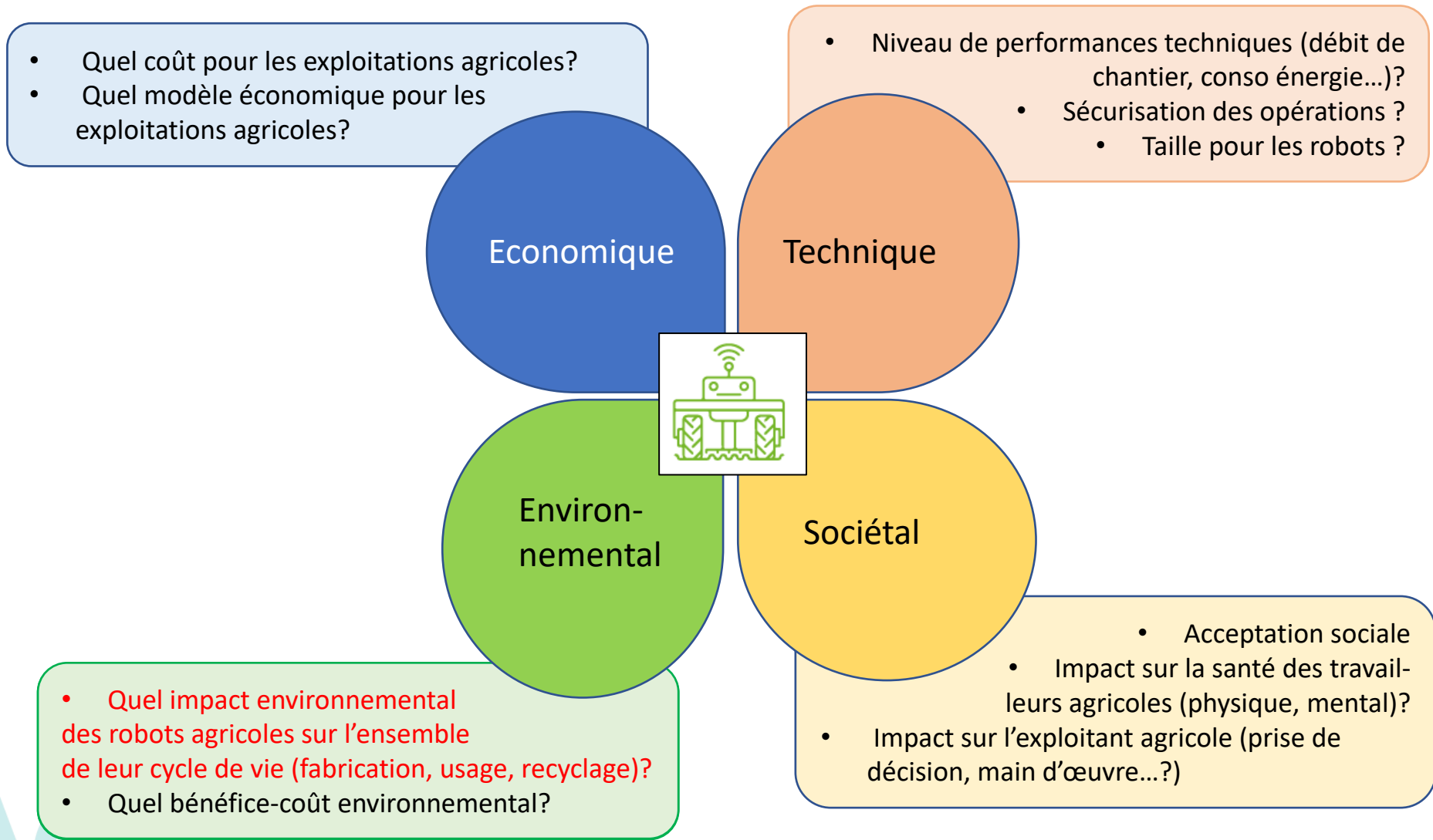
Boucles des cycles biogéochimiques (N, P)

Utilisation de la pulvérisation de précision ou de robots de désherbage mécanique

Utilisation de l'agriculture de précision pour une bonne application au bon moment



> ... mais qui questionne



➤ Pourquoi évaluer les impacts environnementaux de la robotique agricole?

Un manque de données sur les impacts environnementaux des solutions robotisées pour un usage agricole (et agroécologique)

- Solutions robotisées toujours évaluées au regard de leurs performances technologiques (guidage et capteurs de perception, détection, précision, planification...)
- Aucune évaluation des impacts environnementaux à l'usage (tassement du sol, réduction usage d'énergie fossile...)
- Aucune évaluation sur l'ensemble du cycle de vie des solutions robotisées ni sur les conséquences environnementales (changement climatique, toxicité humaine, épuisement des ressources minérales...)

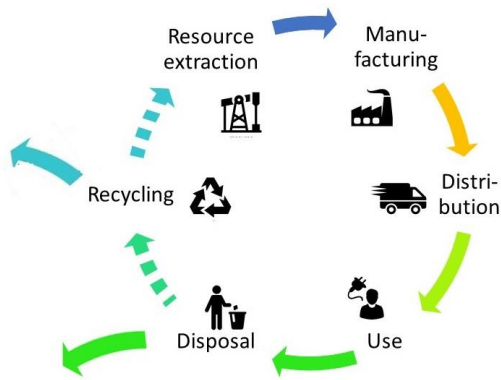
Une nécessité pour faire de l'écoconception des solutions robotisées agricoles

➔ Un besoin global de quantification des impacts environnementaux des solutions robotisées pour un usage agricole (et agroécologique)



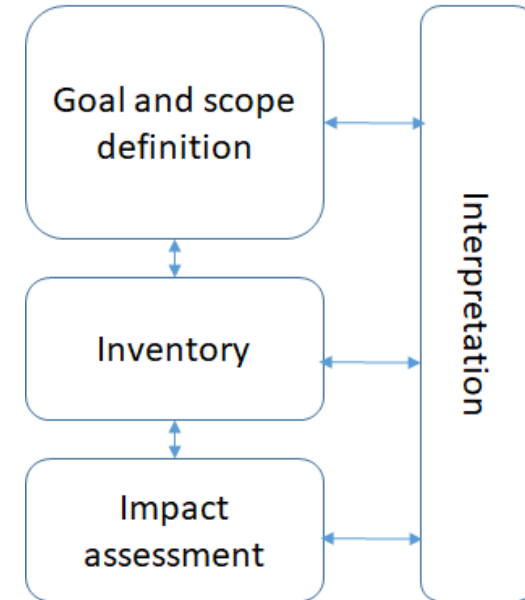
➤ Comment évaluer les impacts environnementaux de la robotique agricole?

Analyse du Cycle de Vie

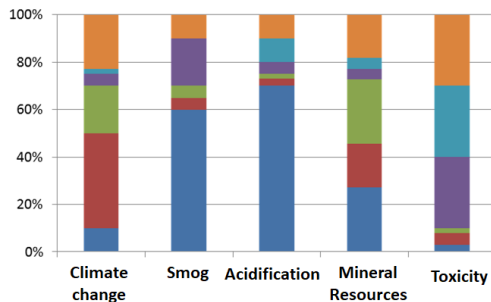


- Evaluation d'un produit ou d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie
- Au moyen d'une quantification des flux entrants (matériel, énergie) et sortants (émissions, déchets) du système utilisés par le produit ou le système
- Traduits en impacts potentiels sur l'environnement au moyen de facteurs de caractérisation

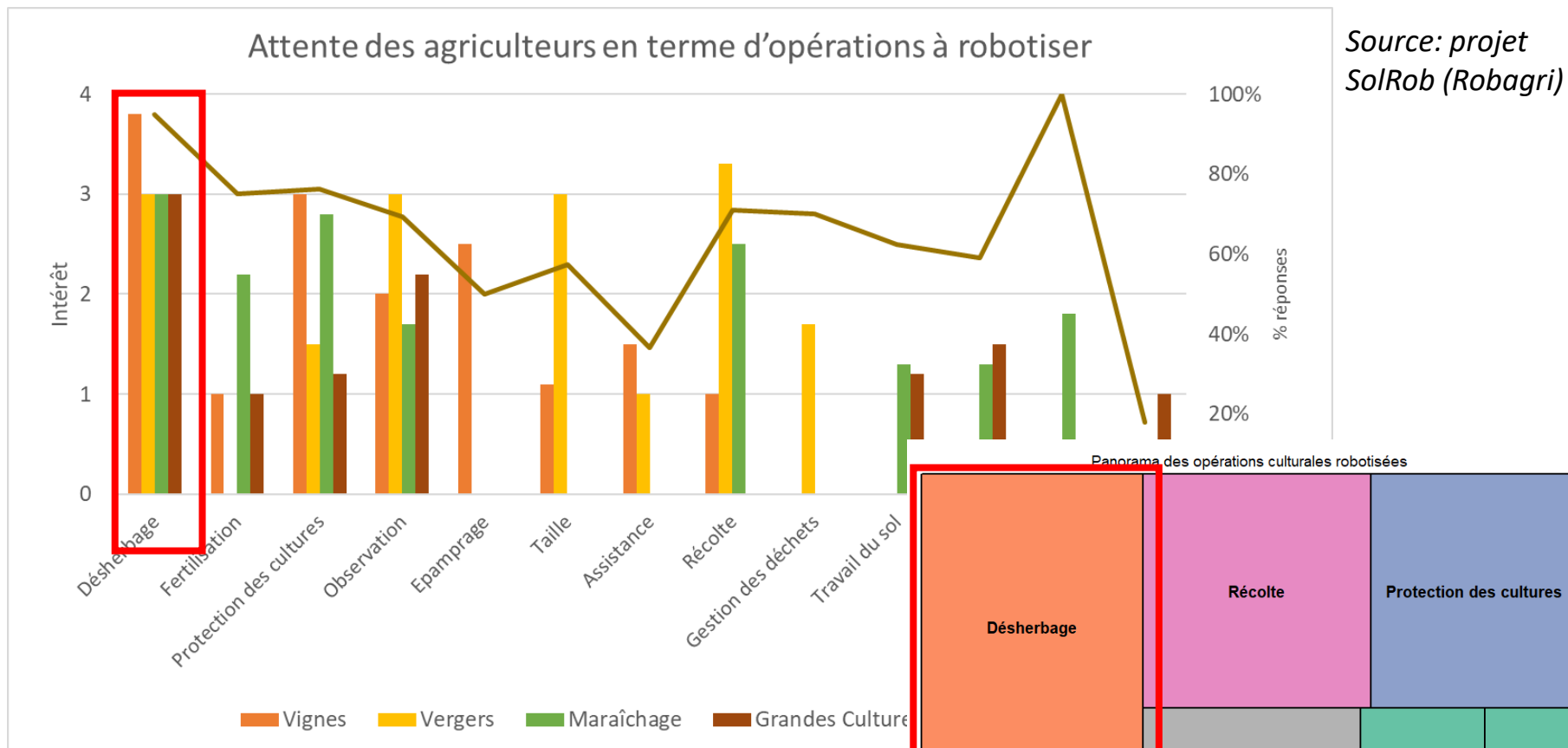
LCA framework



Environmental impact assessment

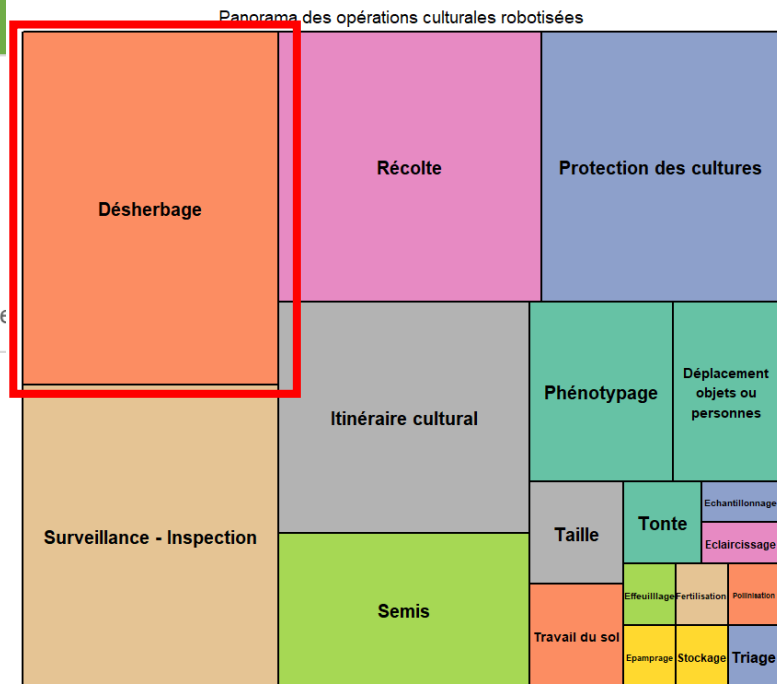


➤ Quelles pratiques mobilisant la robotique agricole évaluer?



Vue d'ensemble des opérations agricoles réalisées par un robot en productions végétales

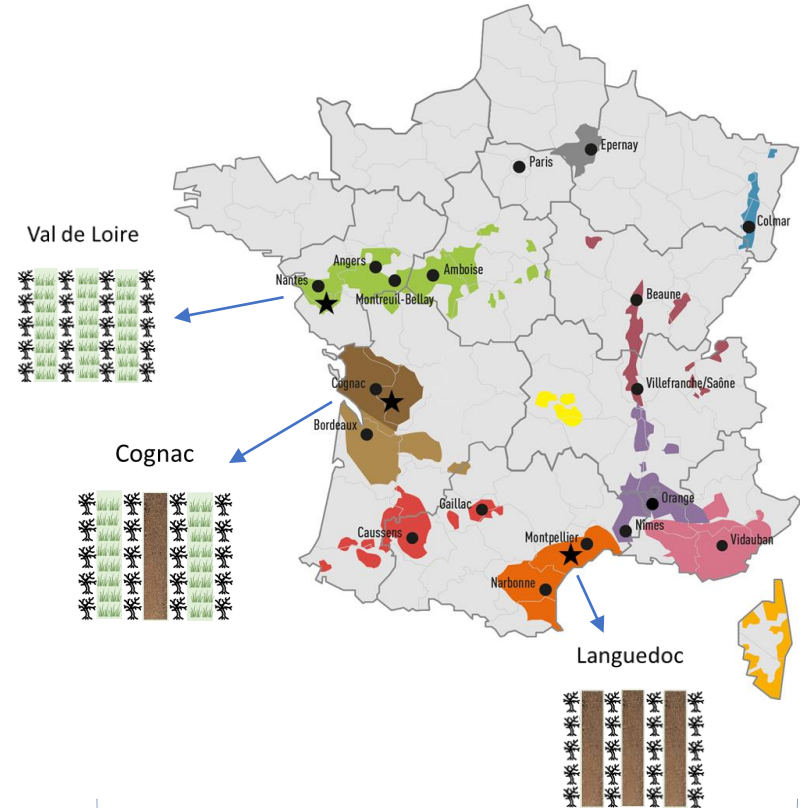
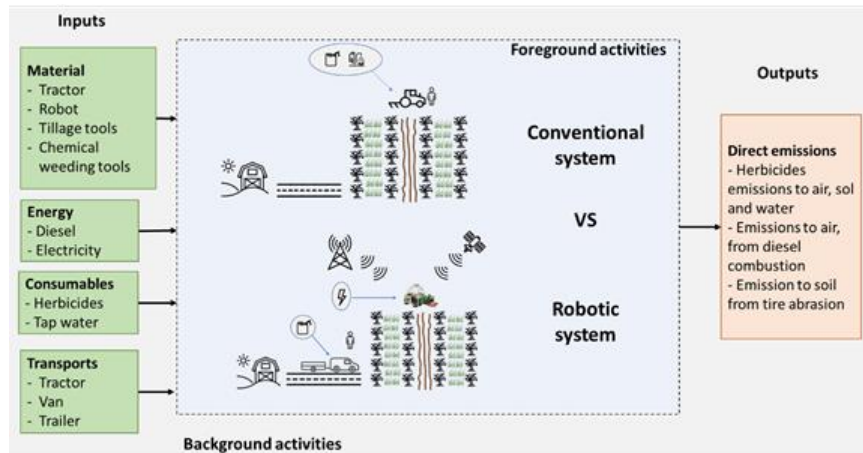
Source : aspexit



➤ ACV du désherbage mécanique robotisé

27 scénarios comparatifs

Frontières du système



Unité fonctionnelle

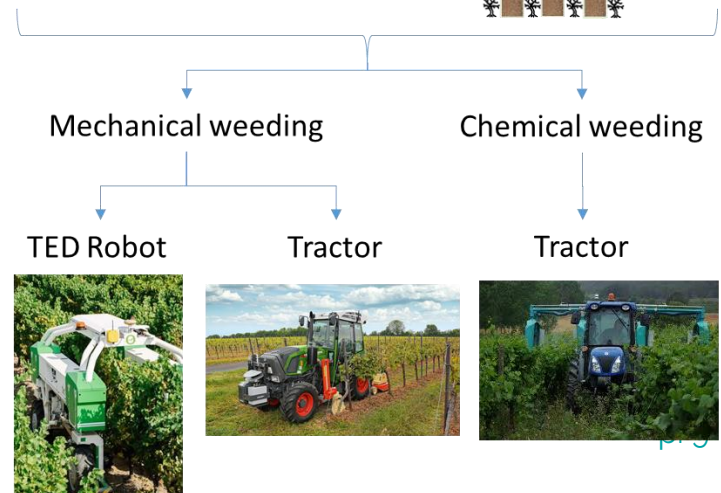
Contrôle optimal des mauvaises herbes dans l'inter-rang et l'intra-rang pour 1 ha de vigne pendant 1 an

Inventaire du Cycle de Vie

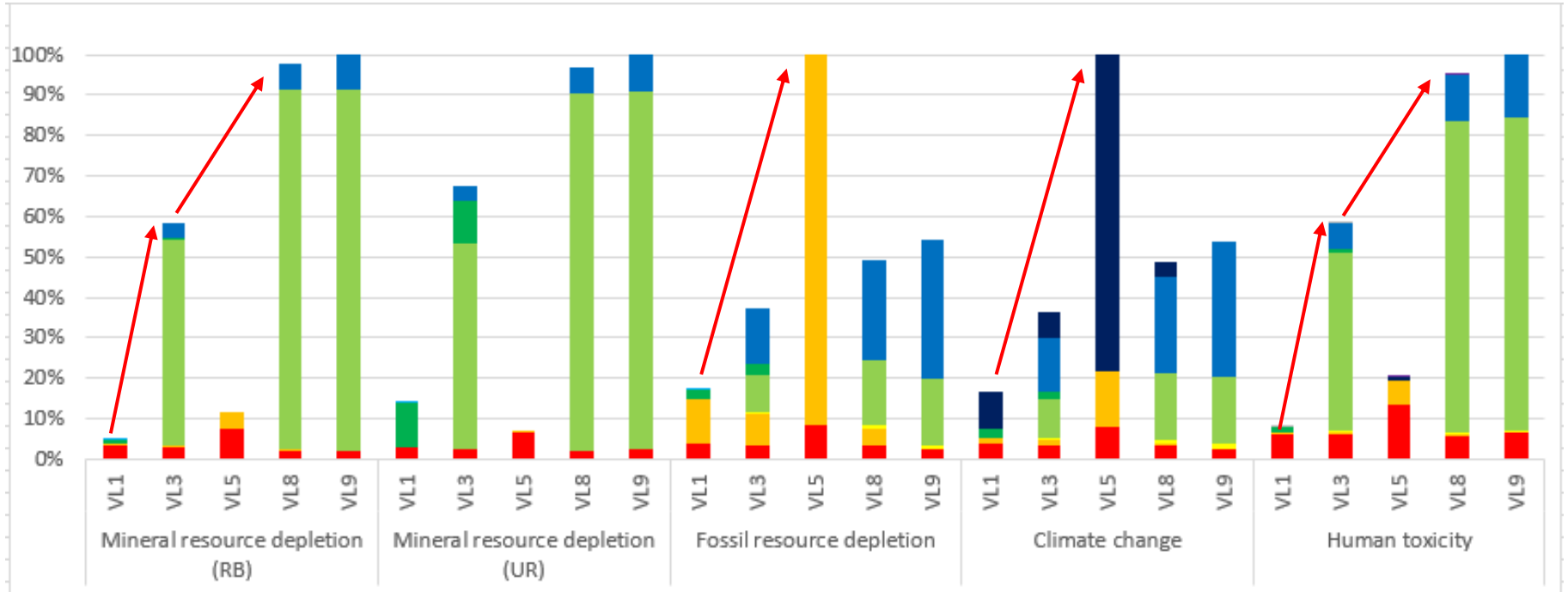
Background data => Ecoinvent v3.7 data/rapports

Foreground data => AgriBalyse et données des ITA, Naïo

Technologies data, modèle OLCAPest



➤ Résultats comparatifs pour le vignoble du Val de Loire (CML-IA)



Gestion des mauvaises herbes dans l'intra-rang / inter-rang :

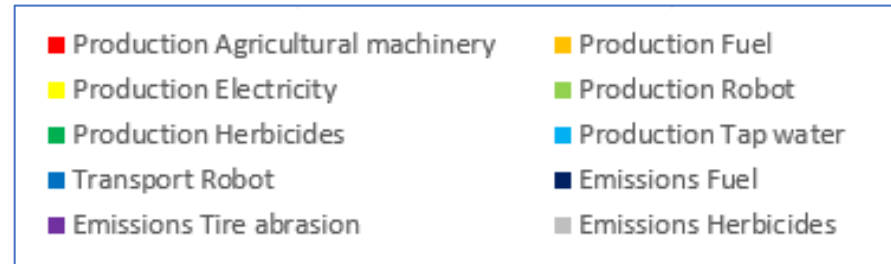
VL1 : Désherbage chimique (T: 2) / Tonte (T: 2)

VL3 : Désherbage chimique (T: 1) + désherbage mécanique (R: 4) / Tonte (T: 2)

VL5 : Désherbage mécanique (T: 7) / Tonte (T: 2)

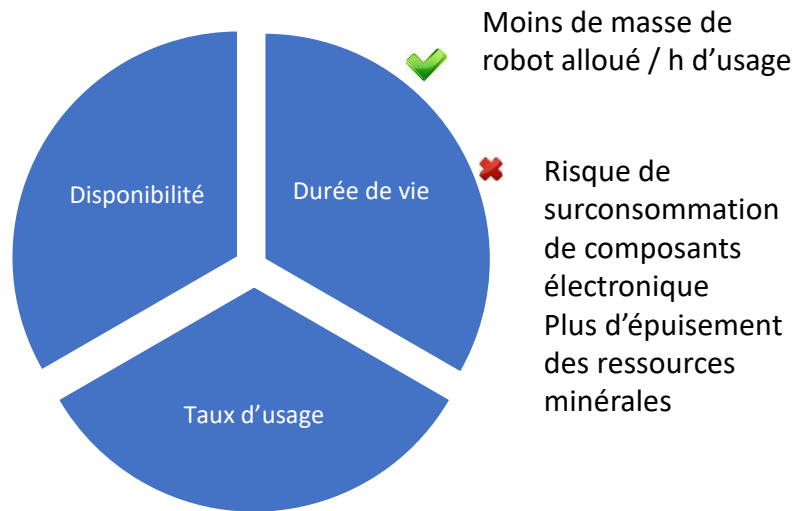
VL8 : Désherbage mécanique (R: 7) / Tonte (T: 2)

VL9 : Désherbage mécanique (R: 7) / Tonte (R: 2)



➤ Facteurs clés à prendre en compte dans l'écoconception des robots agricoles

EcoDesign – principaux contributeurs aux impacts environnementaux du robot



- ▶ Augmentation de la durée de vie
Du prototype (Faible TRL) ➔ pdt° série (TRL élevé)
Robots = toujours impactants sur HT et MRD
Résultats équivalents ou légèrement inférieurs aux opérations classiques pour CC et FRD

➤ Pistes pour l'écoconception des robots agricoles

❑ Liée à la fabrication du robot

Réduction des impacts liés à la fabrication du robot agricole si tout le cuivre utilisé est issu du recyclage

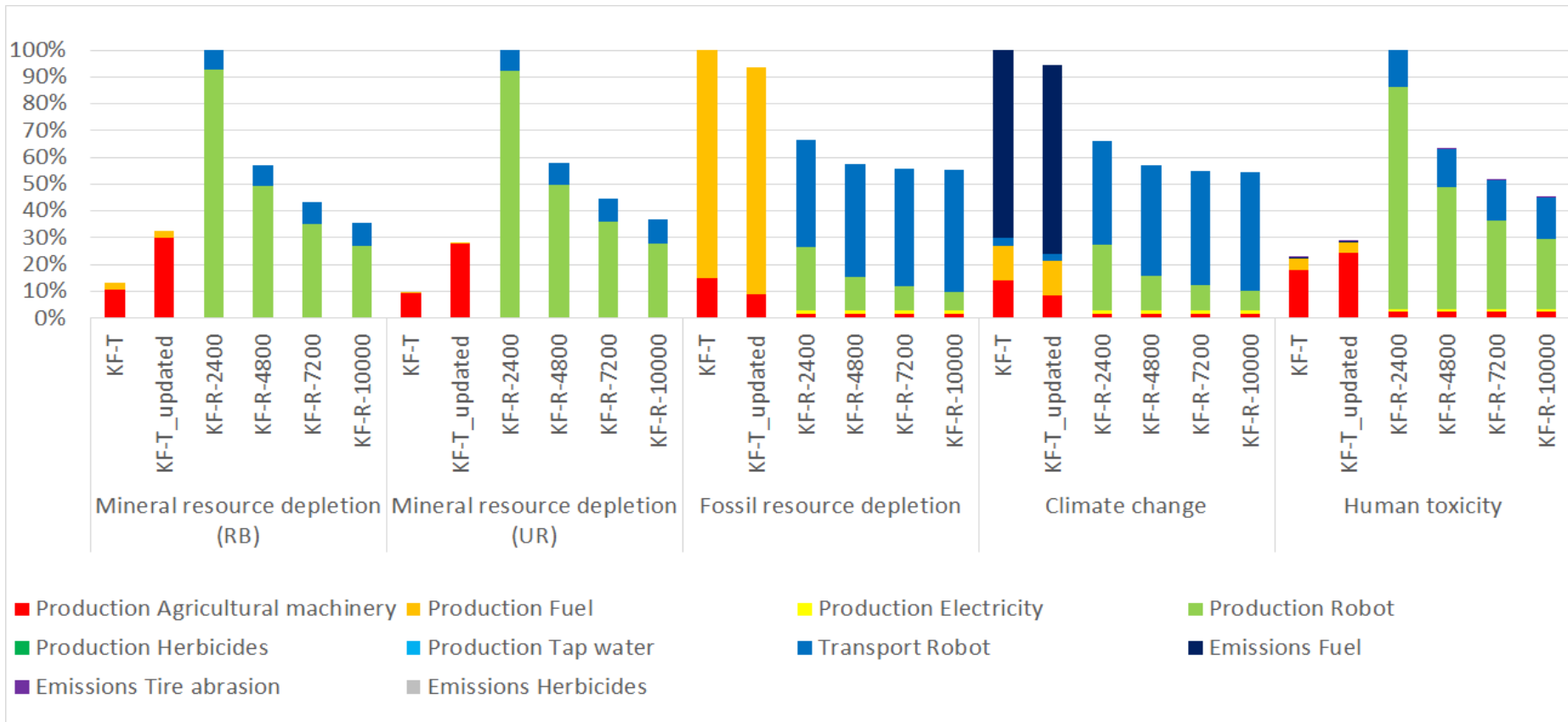
Variation de -7% à -33% selon le type d'impact évalué

Cu recyclé ➔ impact limité sur CC mais important sur toxicité humaine

	% réduction si usage Cu recyclé / primaire
ADP (ER)	-19%
ADP (RB)	-18%
ADP (UR)	-23%
ADP Fossil	-8%
Acid	-15%
FAETP	-26%
GWP	-8%
HTTP	-33%
MAETP	-22%
Eutro	-17%
ODP	-7%
POCP	-10%
TETP	-27%

➤ Pistes pour l'écoconception des robots agricoles

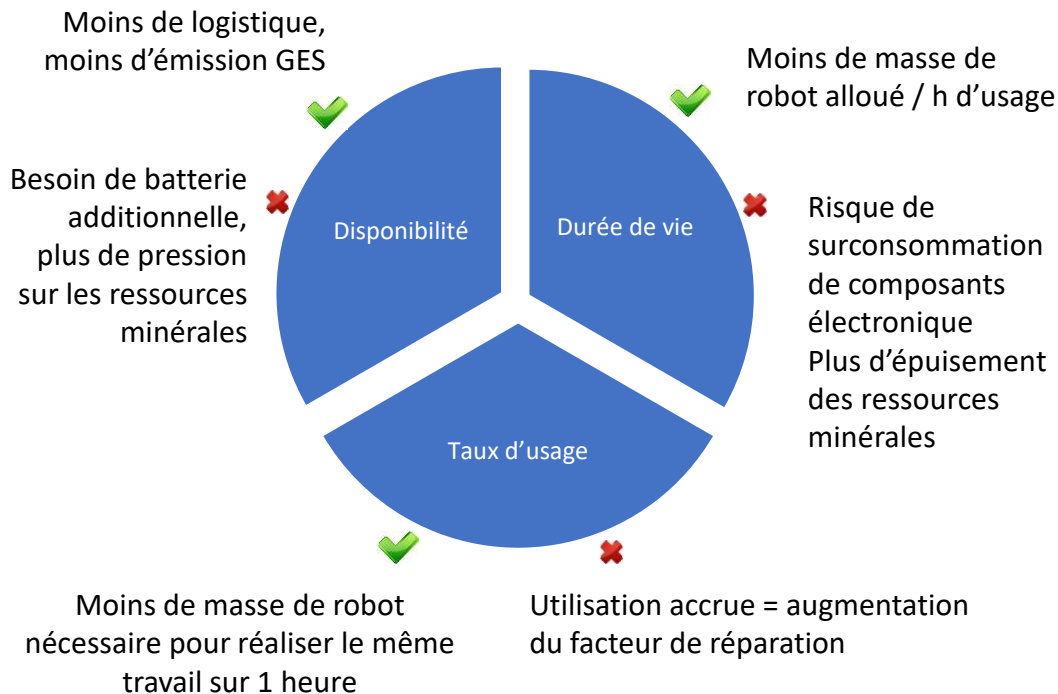
☐ Liée à la durée de vie du robot



Plus la durée de vie est longue, plus faible est l'impact

➤ Facteurs clés à prendre en compte dans l'écoconception des robots agricoles

EcoDesign – principaux contributeurs aux impacts environnementaux du robot



▶ Augmentation de la durée de vie
Du prototype (Faible TRL) ➔ pdt° série (TRL élevé)
Robots = toujours impactants sur HT et MRD
Résultats équivalents ou légèrement inférieurs aux opérations classiques pour CC et FRD

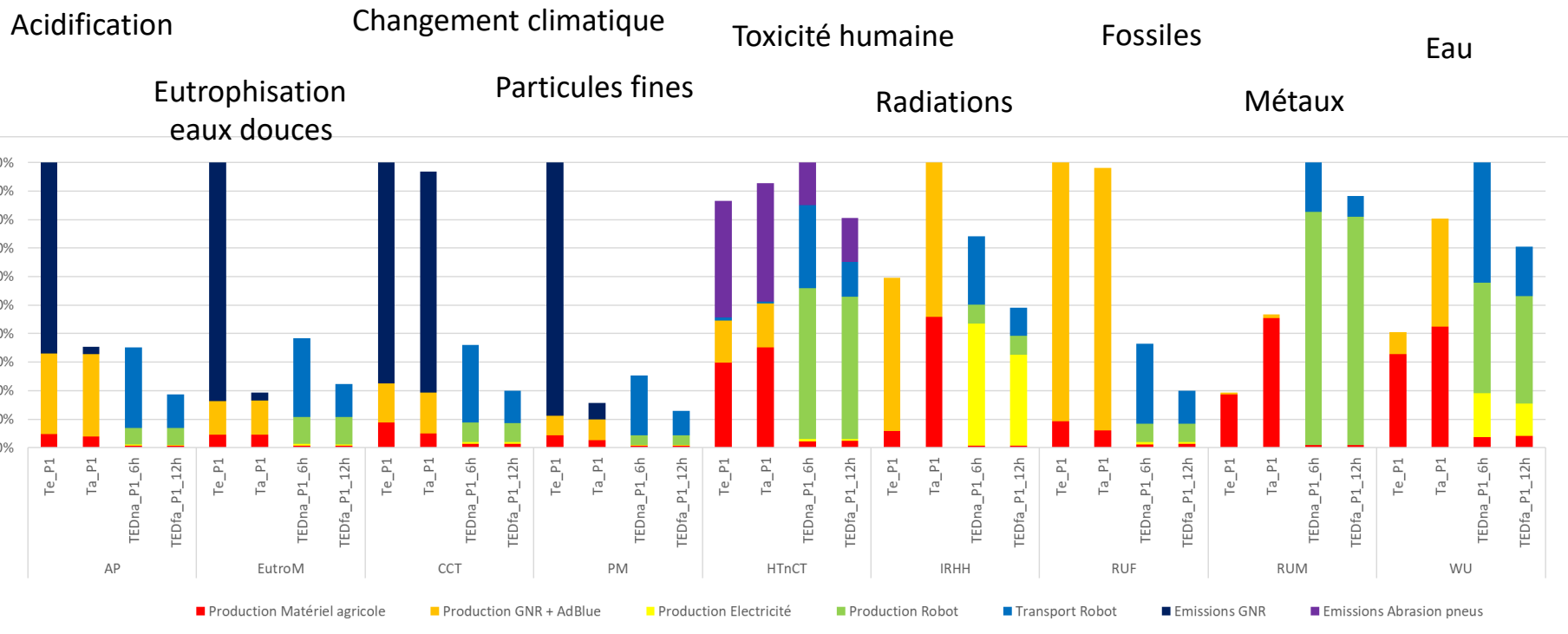
▶ Augmentation de la polyvalence et de la modularité
Durée de vie ➔ liée au taux de renouvellement de la technologie
↗ taux d'utilisation = ↘ impact des opérations de désherbage (relativement moins de matière consommée lors d'une opération)
Multiplier les opérations est un moyen pertinent d'augmenter le taux d'utilisation

▶ Disponibilité des robots au champ :
La logistique et le transport du robot entraînent des émissions supplémentaires. L'augmentation de la disponibilité du mode autonome conduit à un meilleur impact sur le changement climatique



➤ Défis méthodologiques à relever

- Un besoin de **références** pour comparer les impacts des robots aux technologies conventionnelles
 - En fournissant des données précises et récentes sur les ICV des agroéquipements conventionnels (tracteurs...)
 - En fournissant des données pour l'ensemble du cycle de vie des robots agricoles (fabrication, usage, recyclage)



Impacts sur les milieux naturels

Impacts sur l'atmosphère

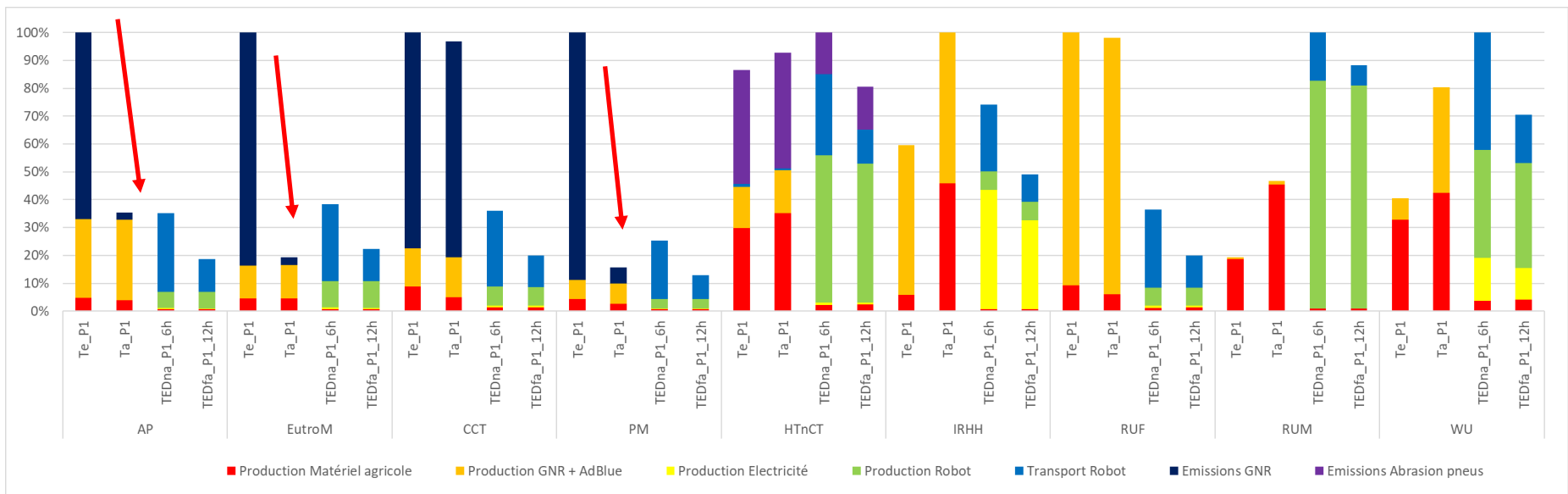
Impacts sur la santé humaine

Impacts sur les ressources

➤ Défis méthodologiques à relever

- Un besoin de **références** pour comparer les impacts des robots aux technologies conventionnelles
 - En fournissant des données précises et récentes sur les ICV des agroéquipements conventionnels (tracteurs...)
 - En fournissant des données pour l'ensemble du cycle de vie des robots agricoles (fabrication, usage, recyclage)

Emissions réduites par le système de dépollution (DOC+DFP+SCR)



Impacts sur les milieux naturels

Impacts sur l'atmosphère

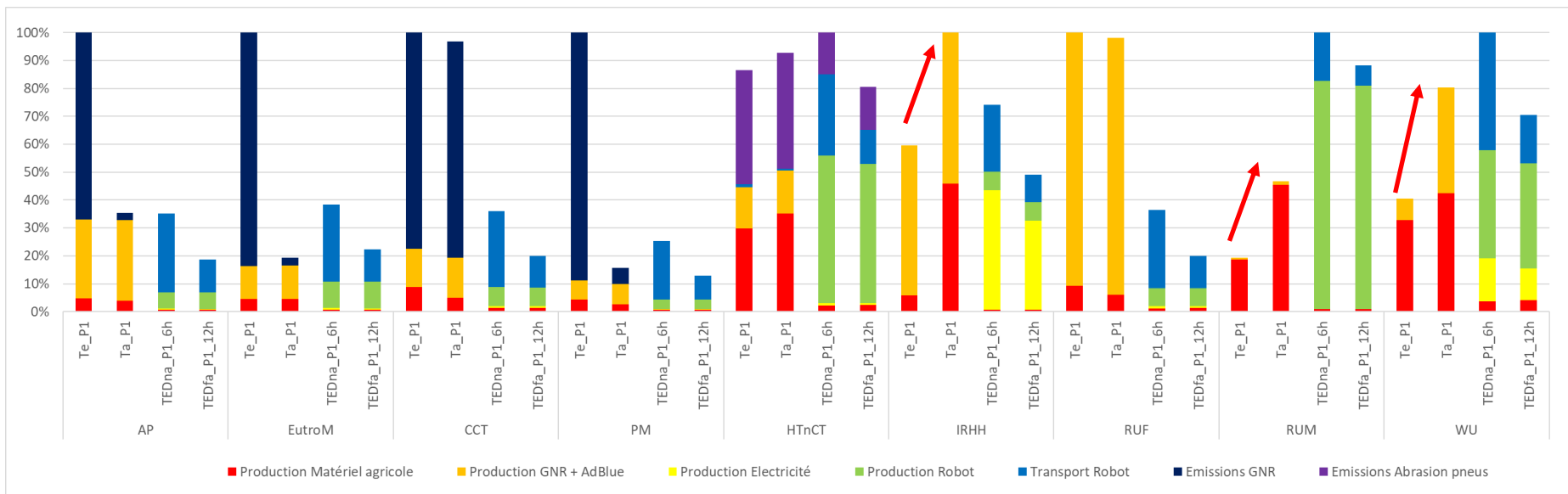
Impacts sur la santé humaine

Impacts sur les ressources

➤ Défis méthodologiques à relever

- Un besoin de **références** pour comparer les impacts des robots aux technologies conventionnelles
 - En fournissant des données précises et récentes sur les ICV des agroéquipements conventionnels (tracteurs...)
 - En fournissant des données pour l'ensemble du cycle de vie des robots agricoles (fabrication, usage, recyclage)

Impacts de la fabrication dus aux composants électroniques (capteurs, cartes électroniques) et au système de dépollution (SCR...)



Impacts sur les milieux naturels

Impacts sur l'atmosphère

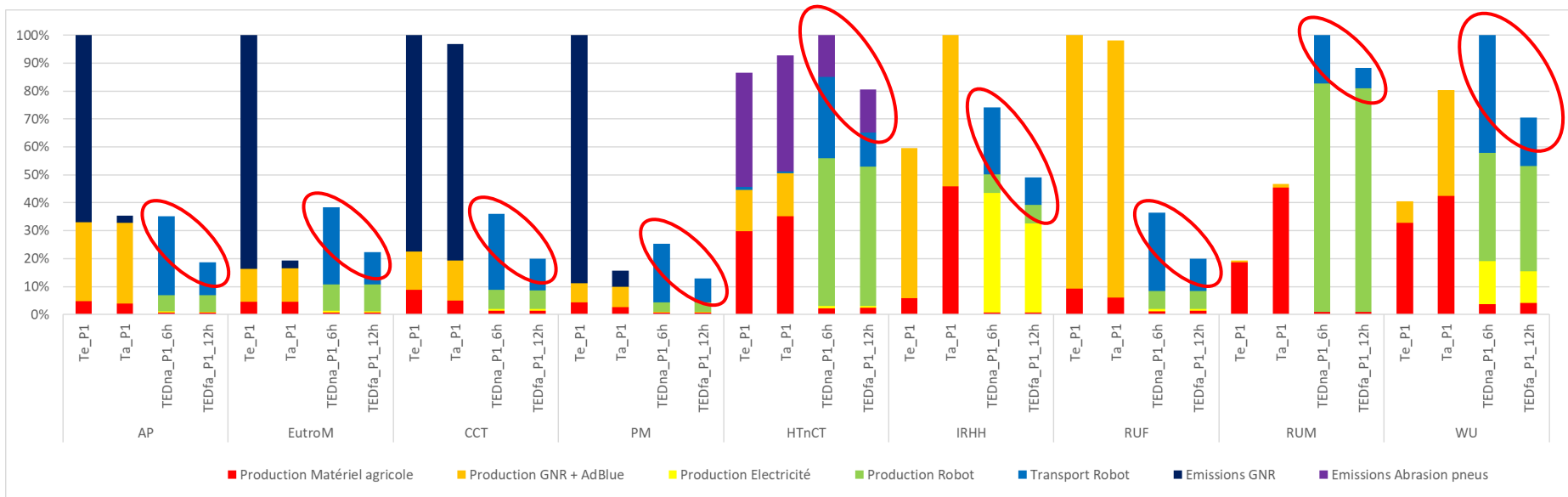
Impacts sur la santé humaine

Impacts sur les ressources

➤ Défis méthodologiques à relever

- Un besoin de **références** pour comparer les impacts des robots aux technologies conventionnelles
 - En fournissant des données précises et récentes sur les ICV des agroéquipements conventionnels (tracteurs...)
 - En fournissant des données pour l'ensemble du cycle de vie des robots agricoles (fabrication, usage, recyclage)

Robot en mode autonome sans intervention humaine permet de réduire tous les impacts



Impacts sur les milieux naturels

Impacts sur l'atmosphère

Impacts sur la santé humaine

Impacts sur les ressources

➤ Autres défis méthodologiques à relever

- Défis méthodologiques liés aux :
 - services additionnels rendus par les robots (sécurité / moins accidents...) ➔ UF ?
 - Fonctions additionnelles fournies par les robots (monitoring...) ➔ multifonctionnalité ?
Comparaison avec les technologies actuelles ?
- Impact de passages répétés de robot de faible poids / passage unique d'un tracteur sur les sols agricoles ➔ quel coût bénéfice/risque pour les sols agricoles? Comment traduire ces impacts en ACV?
- Besoin d'aller au-delà de la seule ACV environnementale en considérant des critères sociaux et économiques pour permettre d'évaluer la durabilité de la robotique agricole ➔ acceptabilité sociale / impact sur le travail des agriculteurs et leur santé (au sens large) / impact sur l'emploi agricole....
- Besoin de quantifier les impacts dans une perspective systémique ➔ impact des robots sur l'ensemble de l'ITK agricole / sur les systèmes agroécologiques



➤ Merci de votre attention !

marilys.pradel@inrae.fr

Pour aller plus loin :

- Pradel, M., de Fays, M., Seguineau, C., 2022. Comparative Life Cycle Assessment of intra-row and Inter-row weeding practices using autonomous robot systems in French vineyards. *Science of The Total Environment*, 838(3), 156441.
- Pradel, M., 2023. Life Cycle Inventory data of agricultural tractors. *Data In Brief*, 48, 109174.
- Pradel, M., 2023. Life Cycle Inventory of agricultural tractors, <https://doi.org/10.57745/JYXPHZ>, Recherche Data Gouv, V11
- Pradel, M., Mastromatteo, L., Malone, M., Seguineau, C., 2023. Impacts environnementaux du désherbage robotisé de l'intra rang des vignes sans intervention d'un opérateur humain - Cas du robot TED équipé d'intercep en Languedoc. INRAE, 50 pages

➤ Emerging agricultural tools and robots

Advanced Driving Assistance Systems



Automatisation conduite



Adaptation outils



Assistance agriculteur



➤ Emerging agricultural tools and robots

Toward concept of autonomous tractor



Tracteurs autonomes



➤ Emerging agricultural tools and robots

The opportunity of defining new concepts ?



Nouvelles architectures

Propriétés différentes

Systèmes robotiques adaptables

