



Machinisme et Robotique Agricole

M. Berducat

Irstea – Département Ecotechnologies

Unité de Recherche TSCF
(Clermont-Ferrand)



www.irstea.fr

« Séance commune de l'Académie des technologies
et de l'Académie d'agriculture de France »

20 Nov 2019 - Paris



Machines Agricoles : toujours plus performantes !!

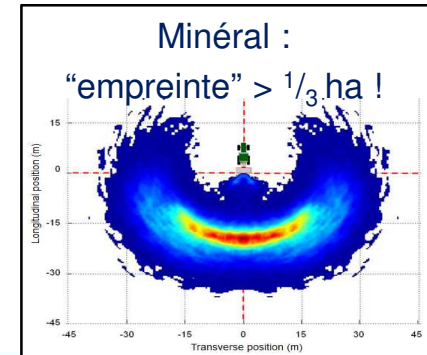


Epandeurs centrifuges 2019 :

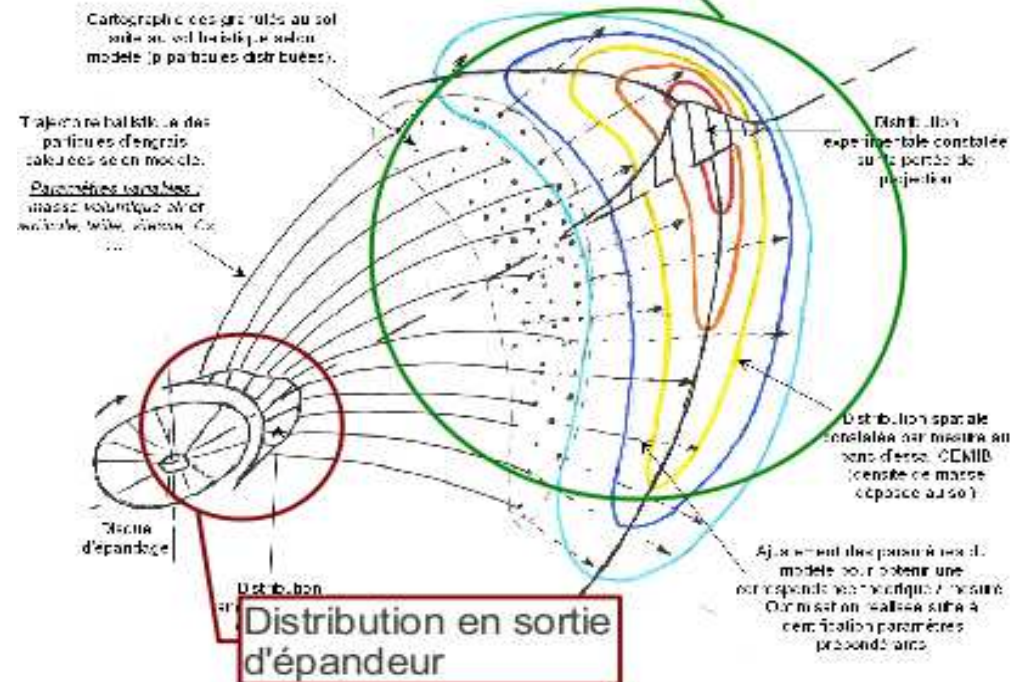
- Largeur entre 2 passages : 53 m
- Empreinte nappe d'épandage : 1/3 ha



source : E. Piron - Iristea



Distribution de l'épandage





Machines Agricoles : toujours plus performantes !!



source : <https://t.co/F82nXOKcu2>



Record Aout 2019 :

- 349,8 tonnes de blé tendre en 8 heures (437 q/h)
- 110 ha – Rügen - Allemagne
- **CLAAS** Lexion 6900 – largeur de coupe 10,8m

source : Terre-net 31/10/19



Quelques balises

Travail

Nombre d'exploitants agricoles: -3% par an en moyenne depuis 1993 (MAAF):

700 000 en 1993

400 000 en 2013

320 000 en 2021

Réponses: augmentation puissances unitaires, externalisation (CUMA/ETA), retour du salariat, robotisation (élevage)

La population augmente en âge et aussi en formation. Elle est plus sensible à sa santé et sécurité





**Evolution des machines agricoles depuis 1 siècle:
« toujours plus grosses, toujours plus puissantes !! »**



source : ONUS_Agronomy - 2016
<https://www.youtube.com/watch?v=6Qy9BgB8EeU&feature=youtu.be>



Evolution des machines agricoles depuis 1 siècle:

« toujours plus grosses, toujours plus puissantes,
mais toujours plus lourdes !! »

Eléments biblio extraits du rapport CE 2004 (EUR 21319 EN/6)
- Groupe de Travail « Stratégie pour la protection des sols » :

« Contrairement à la couche arable, le sous-sol n'est pas chaque année relaxé et le degré de compaction se cumule d'année en année, créant sur le long terme une couche compactée plus ou moins homogène. La résilience du sous-sol à la compaction est faible et la compaction persistante. **La compaction des sols est estimée à l'origine de la dégradation de 33 millions d'hectares en Europe.**

Bien que les conclusions de plusieurs chercheurs sur la compaction des sols soient connues maintenant depuis plusieurs années, **ces connaissances semblent être négligées par les constructeurs et utilisateurs de machines agricoles toujours plus lourdes.** Les savoir-faire techniques sont majoritairement mis au service de l'amélioration du confort du conducteur, des performances de récolte..., tandis que la protection des sols profonds semble être considérée comme un problème secondaire.

Cependant sur le long terme, des nuisances en terme de baisse de la fertilité et de profitabilité des sols surviendront au frais des agriculteurs et de la société toute entière. Une circonstance aggravante est générée également par les changements climatiques. Dans les pays d'Europe de l'Ouest, les précipitations augmenteront en hiver, et seront concentrées en été sur des périodes courtes de fortes précipitations séparées par des périodes de sécheresses plus longues. **La réduction des capacités d'infiltration et de stockage de l'eau par les sols dus au sous-sol compacté conduira à l'accroissement du risques de lessivage et d'érosion des sols**, de la pollution des eaux de surfaces par les substances nutritives ou autres éléments chimiques utilisés en agriculture ».



Evolution des machines agricoles depuis 1 siècle:

« toujours plus grosses, toujours plus puissantes,
mais toujours plus lourdes !! »



Tassements

1/ superficiel (jusqu'à 25 cm)

=> dépend *Pression d'interface*

$$\textit{Pression d'interface}(\textit{bar}) = \frac{\textit{Charge à la roue (kg)}}{\textit{Surface d'empreinte(m}^2\textit{)}}$$

2/ profond (30 cm – 1 m)

=> dépend de la *charge Essieu !!*

$$\textit{Charge} = \frac{\textit{P Vide} + \textit{Charge Utile}}{\textit{Nb essieux}}$$



Evolution des machines agricoles : 2^{eme} voie

« petits robots pour une Agriculture de Précision à l'échelle de la plante »



Concept de petits robots pour l'implantation, suivi, récolte des cultures
(source : **B.S. Blackmore** and all « A specification for an autonomous crop production mechanization system » University of Thessaly, Greece, ICPA, 9th Denver, **July 2008**, 16p)



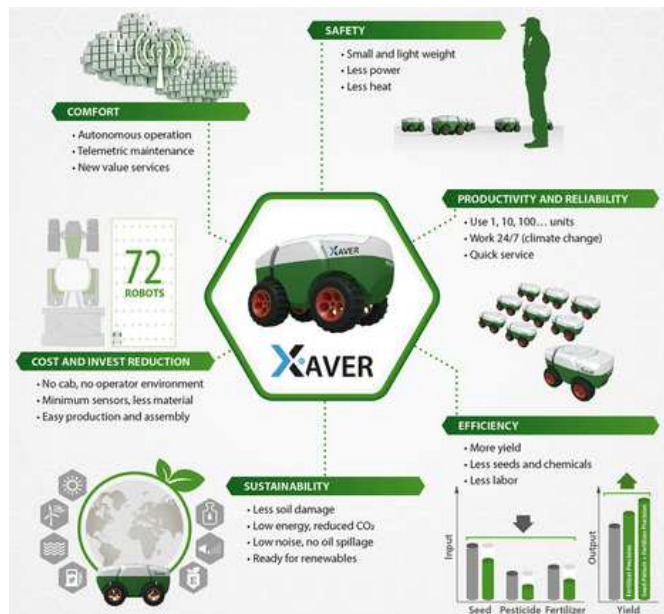
Apport des technologies de la robotique



Evolution des machines agricoles : 2^{eme} voie

2017 : Illustration 2^{eme} voie

FENDT : Projet MARS
(2014-2017)
puis XAVER
(Annonce AgriTechnica Nov 2017)



Source : Landtechnik der Zukunft - 2017 -
https://www.youtube.com/watch?v=a5_kQScrZew&feature=youtu.be

Evolution des machines agricoles : 2^{eme} voie

2017 : Illustration 2^{eme} voie



FENDT :
MARS
(2014-2017)
XAVAR
(AgriTechnica
Nov 2017)



Robotique en essaim

une question cependant :
**“comment le sol
a t il été préalablement
préparé ? ”**

Réponse : “probablement avec !!” →



Optimisation du couple (Machines-Robots / AgroSystemes)
⇒ **Nécessité de raisonner “Approche globale ” !!**
et non pas opération par opération



Machines Agricoles : toujours plus performantes !!



Record de travaux de pulvérisation – Mars 2017 - Australie

- 2638 ha en 24 heures (moyenne 110 ha/h)
- 105 520 litres de bouillie - 13 ravitaillements de 11 mn
- Automoteur Agrifac (NL) – largeur de rampe : 48 m - vitesse moyenne : 25 km/h



source : Terre-net 15/03/17

<https://www.terre-net.fr/materiel-agricole/traitement-epandage/article/agrifac-pulverise-le-record-du-monde-209-126463.html>



A titre de comparaison :
**désherbage mécanique par bineuses intelligentes
guidées par vision et/ou GPS-GNSS**



source : Garford - GB



un rapide calcul :

Rendement de chantier : $3\text{m/s} \times 12\text{ m} \times 3600\text{s} = 129\ 600\ \text{m}^2$ (13 ha/h)
=> 130 ha / 10 heures (hypothèse d'une ligne droite infinie)

=> 300 ha / 24h



Opération de désherbage mécanique (inter-rangs) : Apport des technologies de la robotique



Ladybird + RIPPA
Sydney Univ
(AU)



Angleterre + Norvège
: Thorvald
Lincoln Univ (GB) +
Norwegian Univ of Life Sciences
(2016)



Danemark : AGROINTELLI



des développements dans le monde entier



Opération de désherbage mécanique (inter-rangs) : Apport des technologies de la robotique



Carré :
Robot ANATIS (2015)

source: https://www.youtube.com/watch?v=f_sDzoDUCec



Naïo Technologies :
Robot DINO (2016)

source: <https://www.youtube.com/watch?v=TtsYmA31jIQ>



SITIA & Co
Robot PUMAGRI (2016)



Agreenculture :
Robot CENTEOL (2016)



Vitibot (2017)

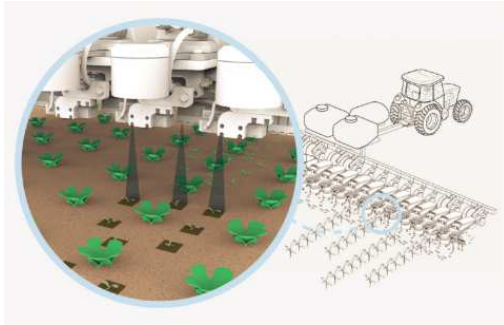
source: <https://fr-fr.facebook.com/VitiBot/>



de nombreux développements aussi en France
(déjà pour cultures maraichères, vignes...)

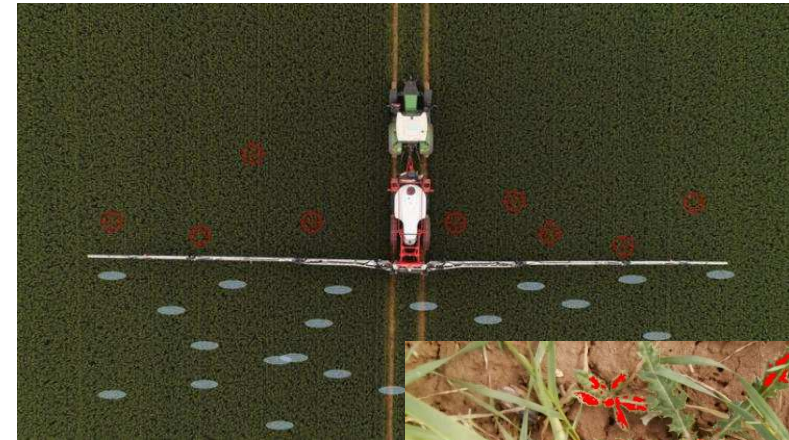


Quid solutions pour grandes cultures ? => arrivée de solutions de traitements chimiques localisés sur outils de pulvérisation



BlueRiver
(USA)

source:
[https://www.agweb.com/mobile/article/
robotic-weed-killer-nears-farmland
-naa-chris-bennett/](https://www.agweb.com/mobile/article/robotic-weed-killer-nears-farmland-naa-chris-bennett/)



Oct 2019 - WeedSeeker® 2
TRIMBLE
(Communiqué de Presse annonce économie
produit phytosanitaire jusqu'à 90 %)

<https://ag.trimble.com/weedseeker2?>

SIMA 2019 - pulvérisation i-SPRAY
KUHNS – CARBON-BEE
(Communiqué de Presse annonce économie produit
phytosanitaire jusqu'à 80 %)



Quid solutions pour grandes cultures ?

=> solutions de traitements chimiques localisés embarquées sur robots



**SwarmFarm Robotics
Australie (2016)**

- 2 tonnes cuve remplie
- Largeur rampe 8 m

source : *SwarmFarm Robotics - 2016* -
<https://www.youtube.com/watch?v=A-51G3oUVA>



**EcoRobotix
(CH)**



(Communiqué Presse annonce économie produit phytosanitaire d'un facteur 20)



John-Deere

Autonomous sprayer concept
+ spot sprays weeds
Agritechnica
Nov 2019

source : <https://twitter.com/TWBFarms>





Vers encore plus de précision pour cultures à moyen et fort écartements et cultures maraichères : => Binage intra-rang



Équipe BIPBIP



Équipe PEAD



2/ Octobre 2017 : Appel à Projet **Challenge ROSE**
ANR et ECOPHYTO 2 / AFB



Objet : Développer des méthodes et outils pour observer, interpréter et intervenir pour éliminer les adventices au sein des rangs de culture

4 projets de recherche financés par ANR :
BIPBIP • PEAD • ROSEAU • WeedElec2017

LNE et Irstea (VetAgroSup) retenus par ANR et AFB pour organiser pendant 4 ans le Challenge ROSE (2018 à 2021)



Culture de maïs



Culture de mâche en planche



<http://challenge-rose.fr/>

RObotique et capteurs au Service d'Ecophyto



Équipe ROSEAU



Équipe WEEDELEC





Vers encore plus de précision pour cultures à fort et moyen écartements et cultures maraichères :
=> **Binage intra-rang**

Généralisation des techniques d'Intelligence Artificielle pour identifier les différentes plantes
(cultures d'intérêt et mauvaises herbes)

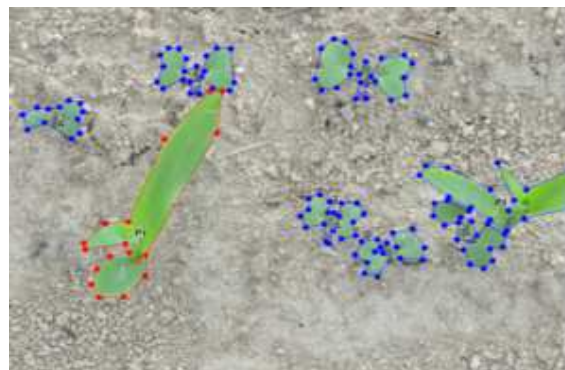
Rose



LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'ESSAIS **LNE**

Outil d'annotation **DIANNE**

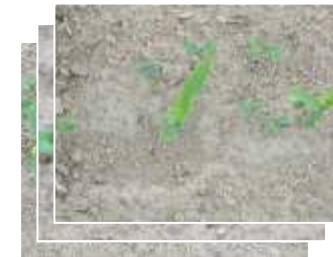
Détourage, Identification et **AN**notation pour l'**E**valuation



Pré-détourage automatique

Correction détourage par l'annotateur

Annotation selon les directives du guide d'annotation



Annotation : un travail conséquent
(la face cachée de l'IA !!)



Quid solutions de binage intra-rang pour grandes cultures (à moyen/fort écartements) ?

Piste 1

si solutions reposent sur actions mécaniques (= lentes)



=> Nécessite de multiplier les modules pour augmenter la largeur de travail !!



Source: **Blue-River**
<https://www.futurefarming.com/Tools-data/Articles/2019/1/John-Deere-connects-to-start-ups-376837E/>

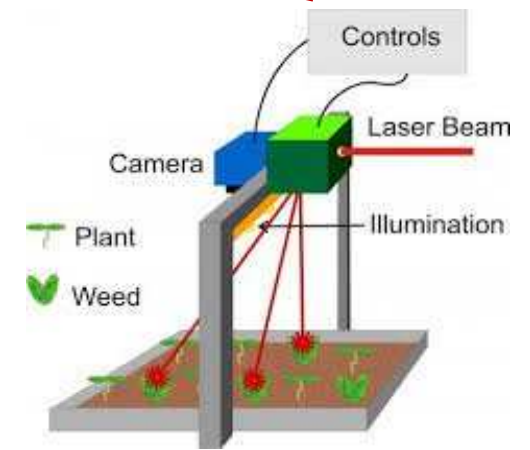
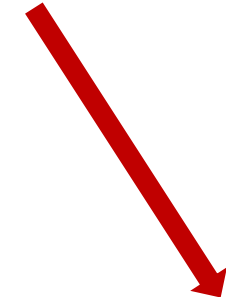
Pistes 2

Attente de solutions de rupture



Melbourne Univ (AU)
(2019)

<https://www.entraid.com/articles/desherbage-thermique-aux-micro-ondes>



Faisceau Laser
Harper Adams Univ (GB)
(2017)

<https://www.harper-adams.ac.uk/research/project.cfm?id=185>



Et si on raisonnait / pratiquait autrement !!! ??? (en terme d'agronomie, de machines (intelligentes))

➔ **Ex: Possibilité de simplifier opération de binage grâce à l'amélioration précision lors de l'opération de semis**

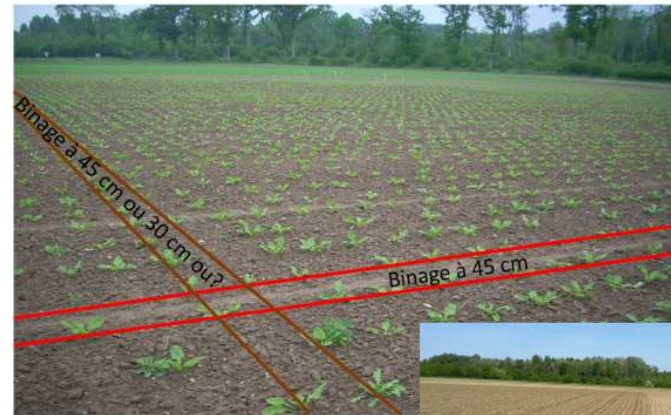


Semis en diamant / carré / rectangle
ex: GEOseed® - KVERNELAND
(système breveté)



Source : <http://fr.kverneland.com/Semis/Semoirs-de-Precision/Semoirs-de-Precision/Kverneland-Optima#130883>

Le semis au carré 45/45 cm ou au rectangle 45/30 cm



Technique du binage intégral

source : ITB – G. Malatesta - 2019



Et si on raisonnait / pratiquait autrement !!! ???
(en terme d'agronomie, de machines (intelligentes))

➔ Ex: Possibilité de revisiter le couplage tracteur / outils



5 équipements / opérations

- Préparation lit de semence
- Fertilisation localisée + Modulation semis
- Fertilisation post-levée
- Pulvérisation
- Binage

<https://twitter.com/search?q=Centeol&src=typd&lang=fr>

Challenge Centeol (2018)

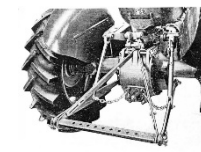
KUHN – AgreenCulture

Pionner – Ausy – CompoExpert - Orange

source: Terre-net -<https://www.terre-net.fr/materiel-agricole/travail-sol-semis/article/challenge-centeol-2018-210-137589.html>

Ex: rupture avec «des largeurs d'outils multiples de la largeur du semoir»

=> largeurs des outils basées uniquement sur la valorisation optimale de la puissance du robot



; -)



Et si on raisonnait / pratiquait autrement !!! ??? (en terme d'agronomie, de machines (intelligentes))



Ex: Effets bénéfiques des interactions mutuelles des cultures associées (?)



"There are so many variables with weather and you can't rely on just a couple of years of data. Long term, with the right hybrids and optimal population, and the right cover crops, that 5% yield drag may disappear. This takes time and years of research to get it right," says Walder. (Photo courtesy of Steve Walder)

<https://www.agweb.com/article/corn-maverick-cracking-mystery-60-inch-rows>

Combined Modular Robotic Solutions



source : C. Cariou - Irstea



Ex: Nouvelles opportunités pouvant être apportées par la robotique



Et si on raisonnait / pratiquait autrement !!! ???
(en terme d'agronomie, de machines (intelligentes))



Exemple : Planteuse Grande Capacité
Irstea – SATT-GC (système breveté)



Ex: Réhabilitation de la plantation pour certaines cultures ?



Evolution des machines agricoles

« **Le toujours plus gros** (y compris solutions robotiques) **est il irrémédiable ?** »



- 500 kW (670 Cv)
- Full électrique

Joker concept

John-Deere – AGRITECHNICA – Nov 2019

<https://twitter.com/TheChadColby/status/1192932520909778944>



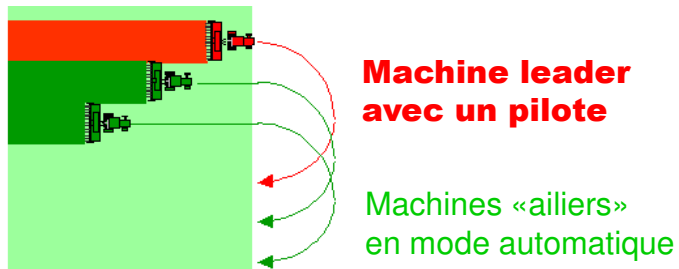
=> 1^{ere} voie n'est pas/ n'est plus l'unique solution !!



Evolution des machines agricoles

« ***Le toujours plus gros (y compris solutions robotiques) est il irrémédiable ?*** »

➔ **Nouvelles alternatives qui apparaissent grâce aux techniques de la robotique :**



Colloque
« Machines intelligentes »
SIMA 2007 - Paris



Projet ANR SafePlatoon (2011-2014)



3^{eme} voie

« **Coopération de machines de taille moyenne** »



Evolution des machines agricoles

« ***Le toujours plus gros*** (y compris solutions robotiques) ***est il irrémédiable ?*** »

➔ **Nouvelles alternatives qui apparaissent grâce aux techniques de la robotique :**

Avantages :

- rendement de chantier compatible avec compétition mondiale
- respect du sol (compromis « *ni trop lourd, ni trop léger* »)
- possibilité de bénéficier plus facilement des retombées des futurs composants de l'automobile (ex: motorisations hybrides, piles à combustible)
- possibilité repenser architectures des véhicules
- ...



3^{eme} voie

« **Coopération de machines de taille moyenne** »



Evolution des machines agricoles

« ***Le toujours plus gros (y compris solutions robotiques) est il irrémédiable ?*** »



Nouvelles alternatives qui apparaissent grâce aux techniques de la robotique :



**VALTRA
ANTS concept
(2011)**

Source Valtra _ 2011 _
<https://www.youtube.com/watch?v=EOFNjKUbOgg&feature=youtu.be>



Mais aussi beaucoup d'autres solutions à encourager (4^{eme}, 5^{eme},... voies) avec l'implication de tous les acteurs de la chaine de la valeur (dont agriculteurs)



Evolution des machines agricoles

« **Le toujours plus gros** (y compris solutions robotiques) **est il irrémédiable ?** »



Nouvelles alternatives qui apparaissent grâce aux techniques de la robotique :

Exemples:



Kuhn - Centeol

<http://www.lafranceagricole.fr/tracteur-et-materiel/challenge-centeol-2018-des-pistes-damelioration-pour-la-robotisation-1,4,2334606482.html>



ELATEC
Tracteur électrique autonome e-tract

<https://www.youtube.com/watch?v=NjUfoCFzm1Q>



Sabi-Agri
Tracteurs électriques ALPO

<https://www.sabi-agri.com/>

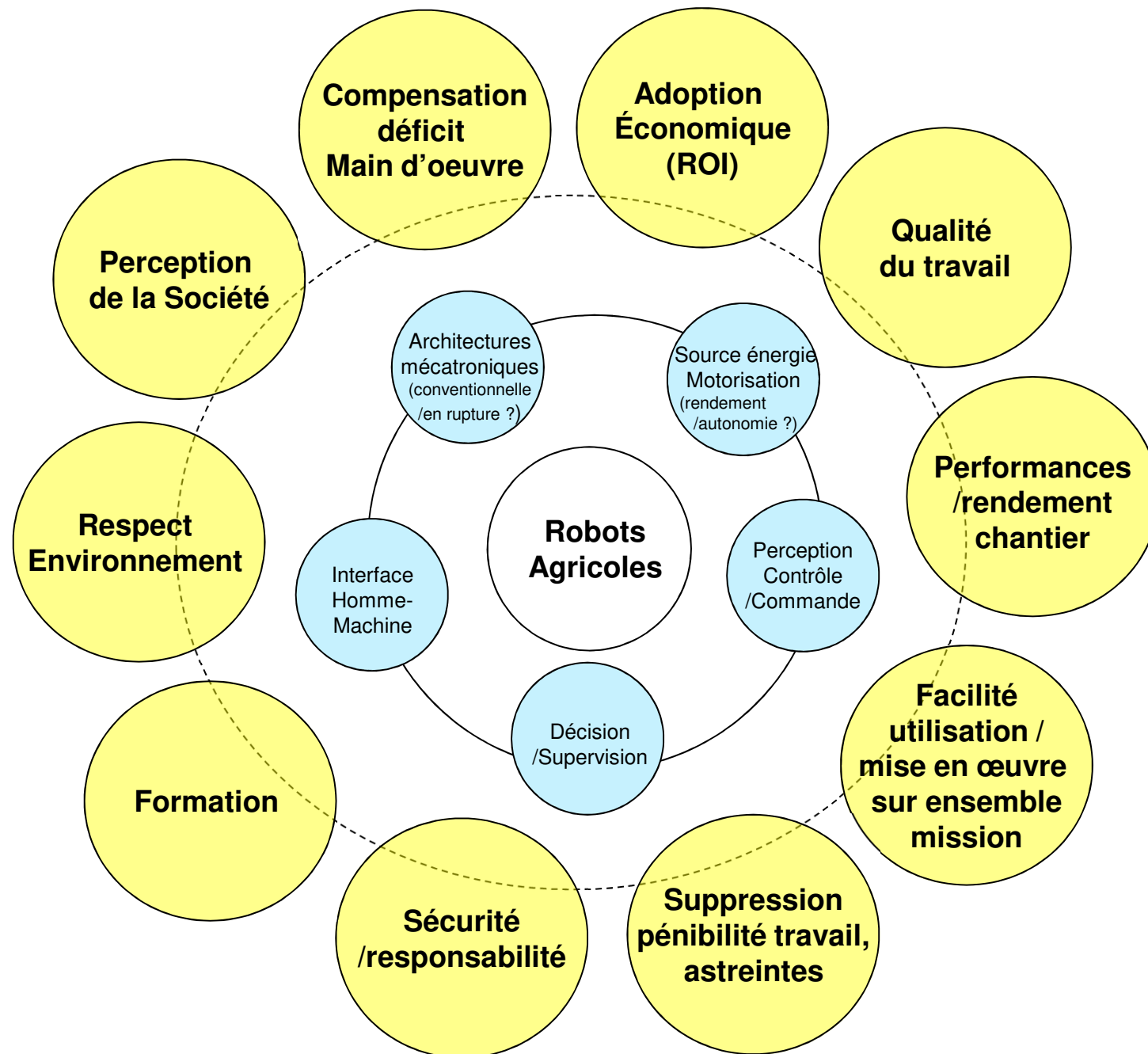


« **OUI** » au foisonnement d'idées, à l'innovation ouverte ...

un rôle à jouer de la plateforme



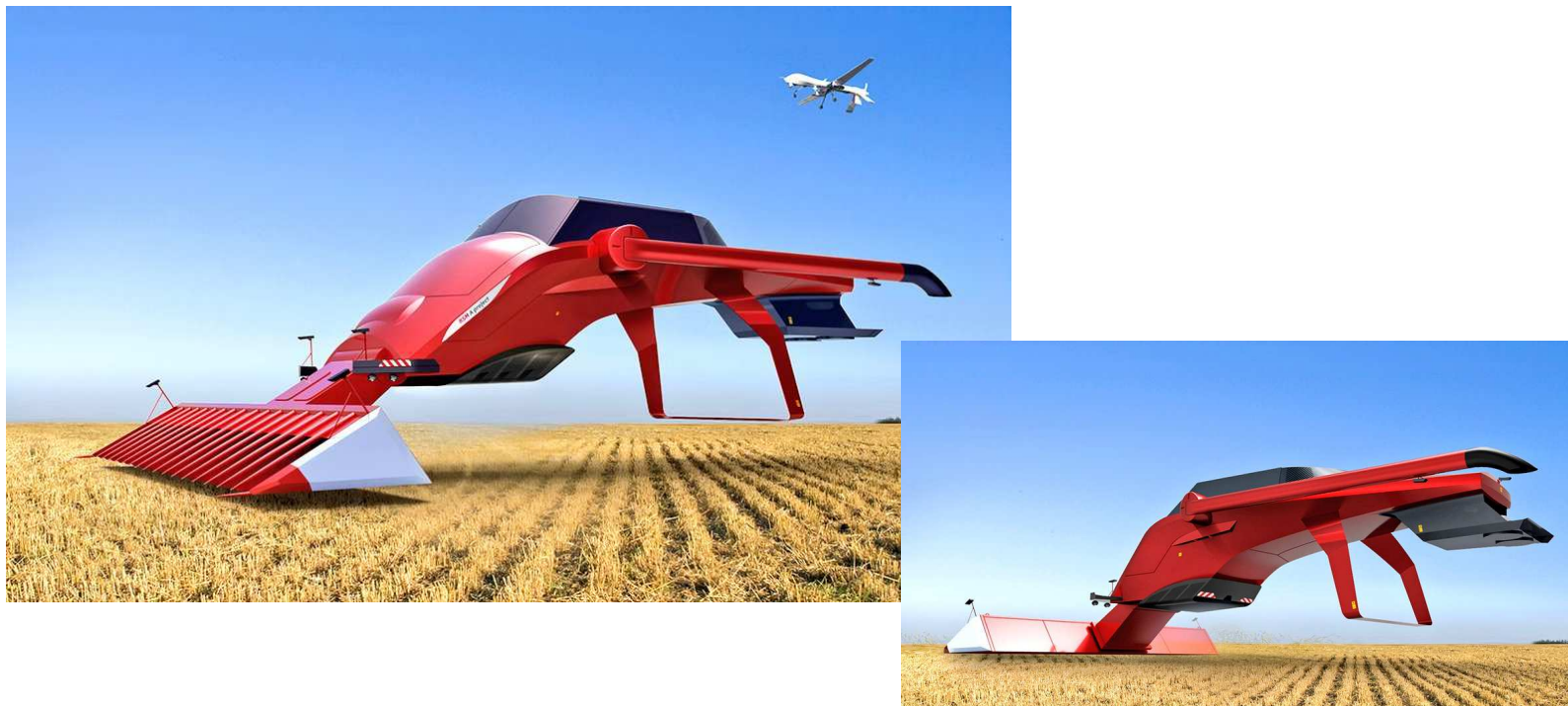
Solutions robotisées : pas seulement une dimension technologique





Evolution des machines agricoles : Vous avez dit «nouveaux champs des possibles?»

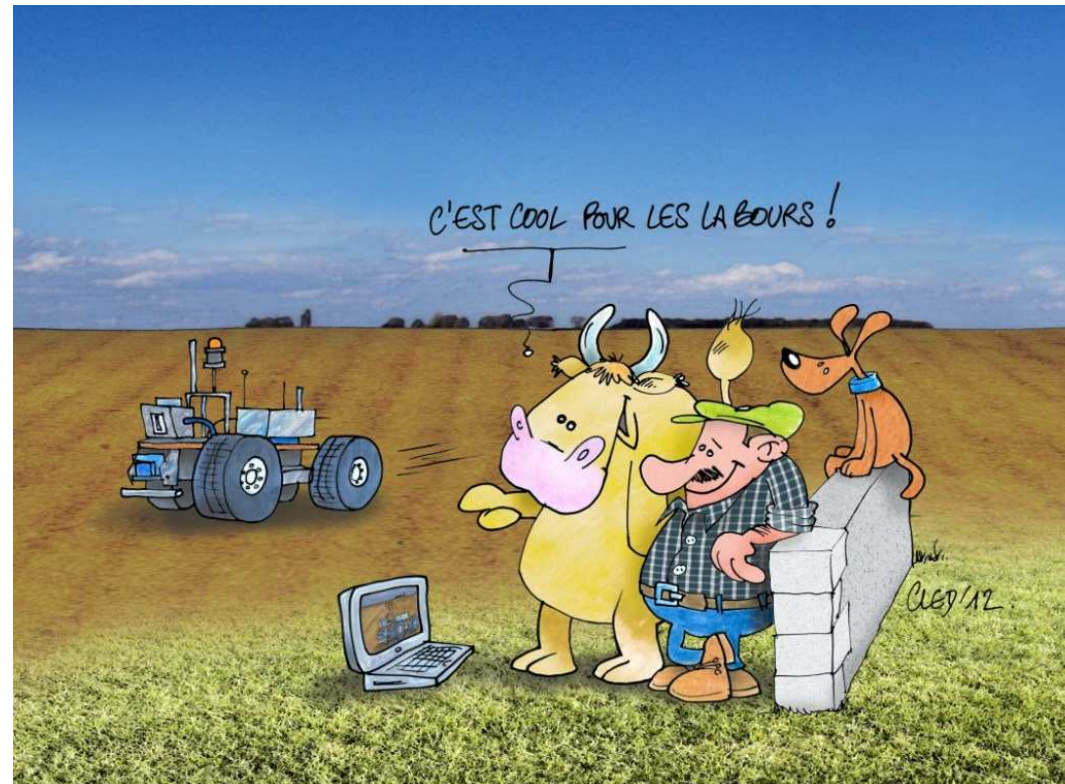
=> 22^{eme} voie ? (cf. 22 siècle) !!




Source : @FuturAgricultur - 2017 -
<https://twitter.com/FuturAgricultur/status/890835754611609600>



Le 1^{er} janvier, l'Inra et Irstea deviennent **INRAE**



michel.berducat@irstea.fr

 @BerducatMichel

<http://www.irstea.fr/tscf>

