



Développement d'un tracteur autonome sarcleur

Marc-Antoine Legault,
Institut du véhicule innovant

L'Institut du véhicule innovant (IVI) [1], en collaboration avec son partenaire industriel Elmec [2], travaille au développement d'un tracteur autonome ayant pour fonctions, entre autres, d'effectuer du sarclage dans les cultures maraîchères. Les motivations derrière un tel développement technologique sont principalement celles de remédier aux difficultés d'embauche de personnel pour effectuer les opérations de désherbage et également de réduire l'usage d'agents chimiques (pesticides, herbicides).

À l'échelle mondiale, un effort significatif de recherche et développement est présentement réalisé pour que de tels tracteurs autonomes soient mis en fonction, testés et déployés. Par exemple, en Europe, la compagnie *Bosch* a créé une filiale *Deep Field Robotics* [3] spécifiquement dédiée à la création de tels robots désherbeurs. Plus près de nous, la compagnie canadienne *DOT Technology* [4] située en Saskatchewan se prépare à introduire une plate-forme robotique visant à remplacer l'usage de tracteur conventionnel.

Dès l'amorce de son projet de tracteur autonome, l'IVI et Elmec se sont assurés de bien saisir les défis quotidiens auxquels font face les agriculteurs québécois du secteur maraîcher. Initiée avec l'appui du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) [5], une première rencontre exploratoire portant sur les technologies d'automatisation de véhicules agricoles et rassemblant des agronomes, des agriculteurs ainsi que l'IVI a d'abord eu lieu. Puis, en collaboration avec le Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA) [6], des sessions de travail ont été réalisées où les ingénieurs de l'IVI, mais surtout plusieurs agriculteurs, ont travaillé conjointement pour définir le cahier de charges du projet. Des tracteurs conventionnels opérant sur des fermes maraîchères ont également été instrumentés pour mieux comprendre leurs cycles d'utilisation.

Nous présentons les travaux de conception réalisés jusqu'à présent et qui mèneront à la création et au déploiement d'un tracteur autonome sarcleur. Ces travaux concernent à la fois la conception mécanique et électrique du tracteur, qui comprend une motorisation hybride rechargeable, de même que le développement de son système de navigation autonome. L'horizon de mise en fonction et déploiement d'un premier prototype est de 12 à 24 mois.

[1] Institut du véhicule innovant, www.ivosolutions.ca

[2] Elmec Inc., www.elmec.ca

[3] Deep Field Robotics – Bosch, www.deepfield-connect.com/en/Weeding.html

[4] DOT Technology, www.seedotrun.com

[5] Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, www.craaq.qc.ca

[6] Centre d'innovation sociale en agriculture,
<http://www.cisainnovation.com/projet/contribution-de-linnovation-sociale-a-la-robotisation-dun-vehicule-agricole-vers-de-nouvelles-relations-agriculteur-technologie>





Institut du véhicule innovant

PORTE-OUTILS AGRICOLE AUTONOME

SURVOL DES ACTIVITÉS R&D EN COURS

TRACTION
ÉLECTRIQUE
ET HYBRIDE

EFFICACITÉ
ÉNERGÉTIQUE

INTELLIGENCE
VÉHICULAIRE

PRÉSENTÉ PAR
Marc-Antoine Legault, Ing. M.Sc.A.
14 février 2018

ivisolutions.ca

InnovÉE
Innovation en énergie électrique







John Deere AutoTrac™ Controller

OPERATOR'S MANUAL
John Deere AutoTrac Controller
OMPPF12060 ISSUE B2 (ENGLISH)

CALIFORNIA
Proposition 65 Warning

Diesel engine exhaust and some of its constituents are known to the State of California to cause cancer, birth defects, and other reproductive harm.

If this product contains a gasoline engine:

▲ WARNING

The engine exhaust from this product contains chemicals known to the State of California to cause cancer, birth defects or other reproductive harm.

The State of California requires the above two warnings.
Additional Proposition 65 Warnings can be found in this manual.

John Deere Ag Management Solutions
(This manual replaces OMP121966)
Worldwide Edition
©2016 John Deere



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



Guidance systems are intended to aid the operator in performing field operations more efficiently. The operator is always responsible for the machine path. Guidance systems do not automatically detect or prevent collisions with obstacles or other machines.

INSTITUT DU VÉHICULE INNOVANT
Innovative Vehicle Institute

John Deere AutoTrac™ Controller



OPERATOR'S MANUAL
John Deere AutoTrac Controller
OMPPF12060 ISSUE B2 (ENGLISH)

CALIFORNIA
Proposition 65 Warning
Diesel engine exhaust and some of its constituents are known to the State of California to cause cancer, birth defects, and other reproductive harm.

If this product contains a gasoline engine:
WARNING
The engine exhaust from this product contains chemicals known to the State of California to cause cancer, birth defects or other reproductive harm.

The State of California requires the above two warnings. Additional Proposition 65 Warnings can be found in this manual.

John Deere Ag Management Solutions
(This manual replaces OMPF12166)
Worshiper Edition
Printed in the U.S.A.



CAUTION: While AutoTrac is activated, operator is responsible for steering at end of path and collision avoidance.

PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

L'INSTITUT DU VÉHICULE INNOVANT

- **Mission:** Supporter les entreprises et organisations dans le domaine de la recherche appliquée, du développement, de la validation et de l'implémentation de technologies véhiculaires innovantes.
- **Domaines d'expertise:** électrification et automatisation des transports
- **Organisation à but non lucratif** reconnu comme centre de R&D par les différentes instances gouvernementales
- **IVI emploie 25 personnes (15 ingénieurs)**
- **Membre de deux réseaux importants:**

Tech-accès Canada

Trans-tech 49 centres
1300 experts
LE RÉSEAU DES CCTT Partout au Québec



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



PROGRAMME ARION

DE QUOI S'AGIT-IL?

Par la réalisation de projets de démonstration, accompagner les PME québécoises dans l'acquisition d'un savoir-faire et d'expériences terrain sur les véhicules autonomes hors route pour que, elles aussi, puisse offrir ce nouveau type de produit dans leur offre commerciale.



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

PROGRAMME ARION

SECTEURS D'ACTIVITÉS

Véhicules autonomes électriques / hybrides pour applications hors route:

- Agriculture
- Manutention industrielle
- Transport lourd spécialisé
- Transport de personnes




MECFOR

FPInnovations 



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

PROJET AGRICOLE

SECTEURS D'ACTIVITÉS

Véhicules autonomes électriques / hybrides pour applications hors route:

- Agriculture



- Manutention industrielle



- Transport lourd spécialisé



- Transport de personnes



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

OBJECTIF TECHNIQUE

Développer un porte-outil agricole autonome apte à effectuer des tâches de désherbage mécanique pour les cultures maraîchères, et ce de manière sécuritaire, efficace et non invasive .



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE



MOTIVATIONS

RÉDUIRE L'USAGE D'AGENTS CHIMIQUES / FAVORISER CULTURE BIOLOGIQUE



Source: radio-canada.ca / la semaine verte



Source: www.europarl.europa.eu



MOTIVATIONS

RÉDUIRE L'USAGE D'AGENTS CHIMIQUES / FAVORISER CULTURE BIOLOGIQUE

Espèce envahissante: *Amarante de Palmer*

- Croisse 5 à 7 cm par jour
- Peut atteindre 2 m
- Devenue résistante au Glyphosate (Round-Up)
- Grandes cultures des É.-U. et du Canada atteintes

Source: radio-canada.ca / la semaine verte

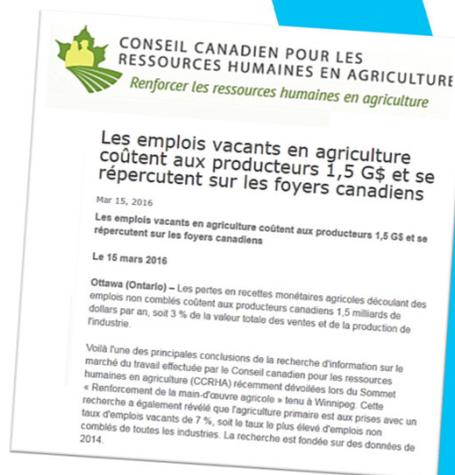


MOTIVATIONS

PÉNURIE DE MAIN D'OEUVRE

- Taux d'emplois vacants: 15%
- Écart entre offre et demande d'emploi:
 - 2004: 30 100 (7.6%)
 - 2014: 59 200 (14.7%)
 - 2025: 114 000 estimé

<http://www.cahrc-crrha.ca/fr/les-emplois-vacants-en-agriculture-co%C3%BBtent-aux-producteurs-15-g-et-se-r%C3%A9percutent-sur-les-foyers-can>



PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE



EXEMPLES DE PORTE-OUTILS



PROJET AGBOT II
(AUSTRALIE)

EXEMPLES DE PORTE-OUTILS



DINO, NAI0
(FRANCE)



EXEMPLES DE PORTE-OUTILS



ANATIS, CARRÉ
(FRANCE)



EXEMPLES DE PORTE-OUTILS



DOT FARMING
(CANADA)



SWARMFARM ROBOTICS
(AUTRALIE)



RIPPA
(AUTRALIE)



PUMAGRI, SITIA
(FRANCE)



AUTONOMOUS TRACTOR CORP.
(É.-U.)



ROBOTTI, AGROINTELL
(DANEMARK)



THORVALD II, SAGA ROBOTICS
(NORVÈGE)



CASE I.H.
(É.-U.)



DEEP FIELD ROBOTICS, BOSCH
(ALLEMAGNE)



GREENBOT PRECISION MAKERS B.V.
(PAYS-BAS)

PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE



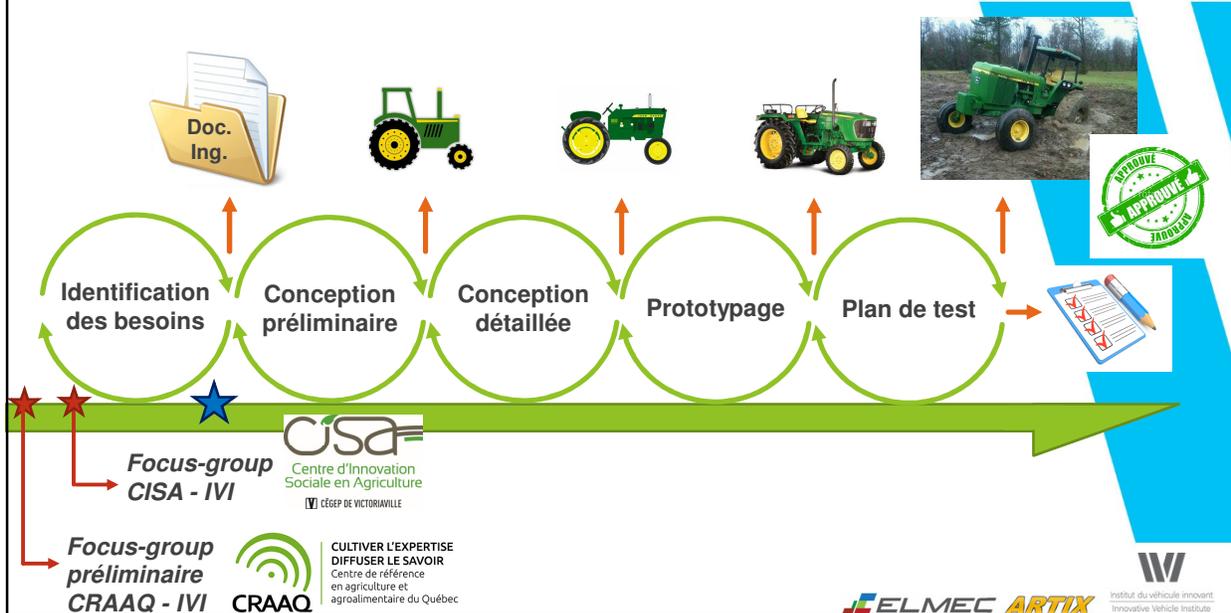
Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC



PROCESSUS DE CONCEPTION

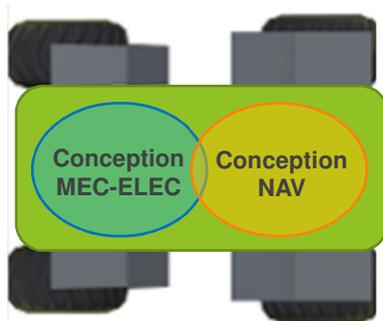


PLAN DE PRÉSENTATION

1. L'IVI ET LE PROGRAMME ARION
2. PROJET AGRICOLE
3. OBJECTIF TECHNIQUE
4. MOTIVATIONS
5. VEILLE TECHNICO-COMMERCIALE
6. PROCESSUS DE CONCEPTION
7. CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

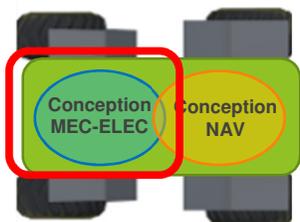
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

DEUX SYSTÈMES À CONCEVOIR



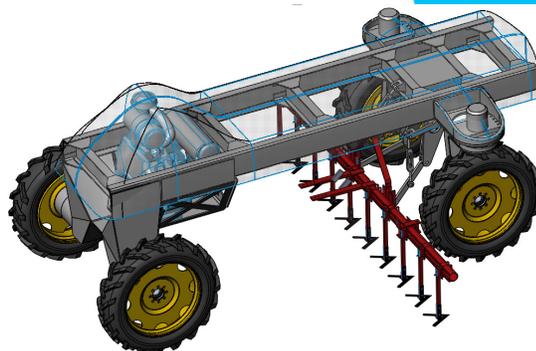
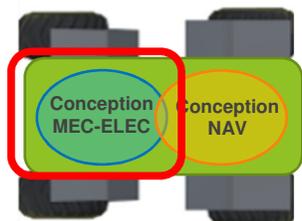
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME ÉLECTROMÉCANIQUE



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME ÉLECTROMÉCANIQUE



- Puissance: 30 HP
- 3pts CAT II
- 4 roues motrices
- 4 roues directrices
- Motorisation 100% électrique ou hybride
- Vitesse d'opération: 3 à 10 km/h
- ...



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC

ARTIX

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME DE NAVIGATION AUTONOME



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC

ARTIX

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME DE NAVIGATION AUTONOME: MISE EN OPÉRATION



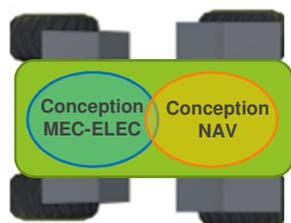
Très (trop) grand défi si la mise en opération est assumée par l'agriculteur propriétaire de l'équipement...

Et si ELMEC demeurait propriétaire et opérateur de l'équipement?



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

RÉFLEXION SUR LE MODÈLE D'AFFAIRE:



Pour vivre des « success story », quel est le meilleur modèle d'affaire?

Vendre un équipement

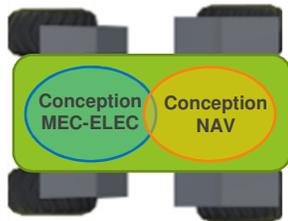
ou

offrir un service?



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

RÉFLEXION SUR LE MODÈLE D'AFFAIRE:



*Pour vivre des « success story »,
quel est le meilleur modèle d'affaire?*

Vendre un équipement

ou

offrir un service?



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

*Pour un agriculteur,
qu'est-ce qui fait qu'une technologie est
pertinente et adoptable?*



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

LE PIVOT DÉCISIONNEL DES AGRICULTEURS

Quel facteur est le plus important dans toute prise de décision d'un agriculteur maraîcher?

Le temps!

Qu'est-ce qui motivera un agriculteur à adopter une technologie de sarclage autonome?

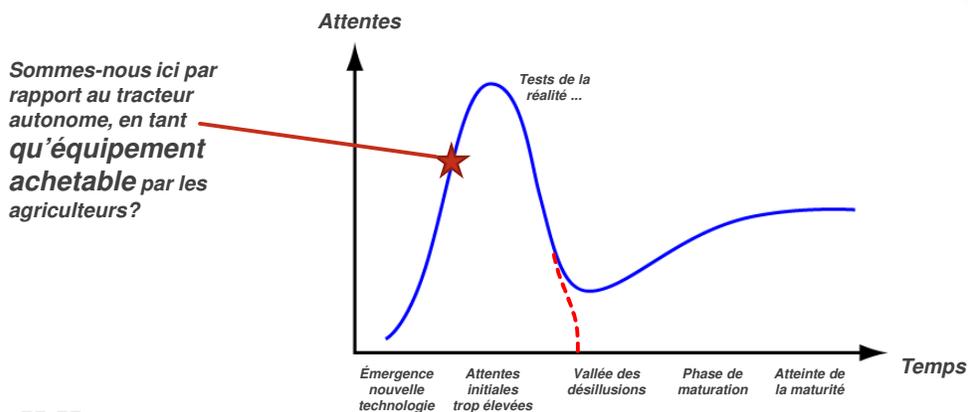
Gagner du temps!



ELMEC ARTIX Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

LES PROMESSES DES TECHNOLOGIES... ET LES ATTENTES GÉNÉRÉES



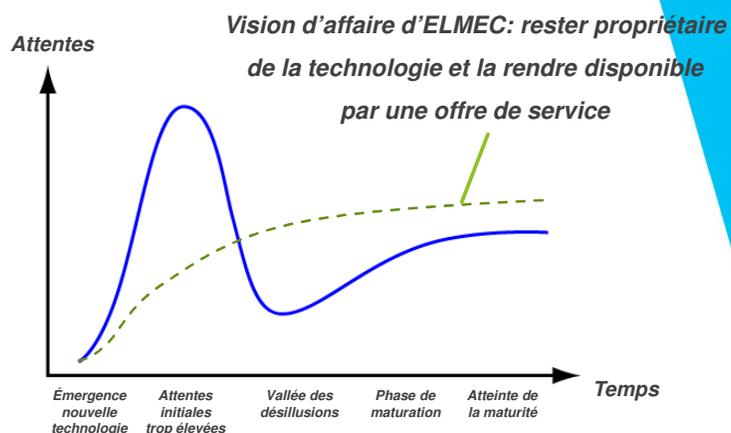
Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

ELMEC ARTIX

EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/HYPE_CYCLE

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

LES PROMESSES DES TECHNOLOGIES... ET LES ATTENTES GÉNÉRÉES



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC

ARTIX

EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/HYPE_CYCLE

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

CHANGEMENT DE PARADIGME

Objectif commercial d'ELMEC:

offrir un service de sarclage forfaitaire basé sur l'usage d'un

système de désherbage autonome.



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC

ARTIX

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

CHANGEMENT DE PARADIGME

Objectif commercial d'ELMEC:

offrir un service de sarclage forfaitaire basé sur l'usage d'un système de désherbage autonome.



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

CHANGEMENT DE PARADIGME

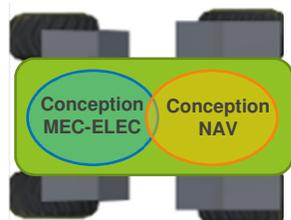
Objectif commercial d'ELMEC:

offrir un service de sarclage forfaitaire basé sur l'usage d'un système de désherbage autonome.



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES



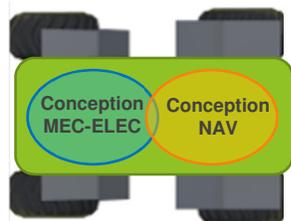
Porte-outils agricole autonome unique

Comment gagner du temps?



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: UNE NÉCESSITÉ



Porte-outils agricole autonome unique

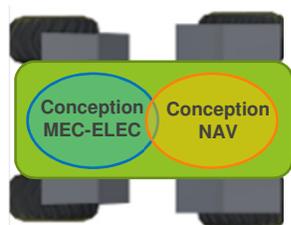
Comment gagner du temps?

Comment déployer 2000 voir 3000 HP au champ pour effectuer du sarclage? (sans compacter les sols!)



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: UNE NÉCESSITÉ



Porte-outils agricole autonome unique

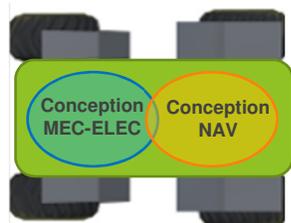
Comment gagner du temps?

Comment déployer 2000 voir 3000 HP au champ pour effectuer du sarclage? (sans compacter les sols!)

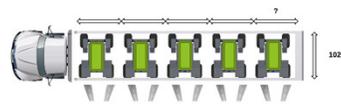


CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

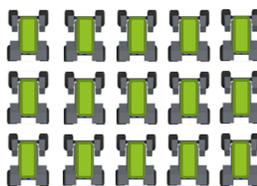
SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: UNE NÉCESSITÉ ... AYANT AUSSI DES IMPLICATIONS



Porte-outils agricole autonome unique

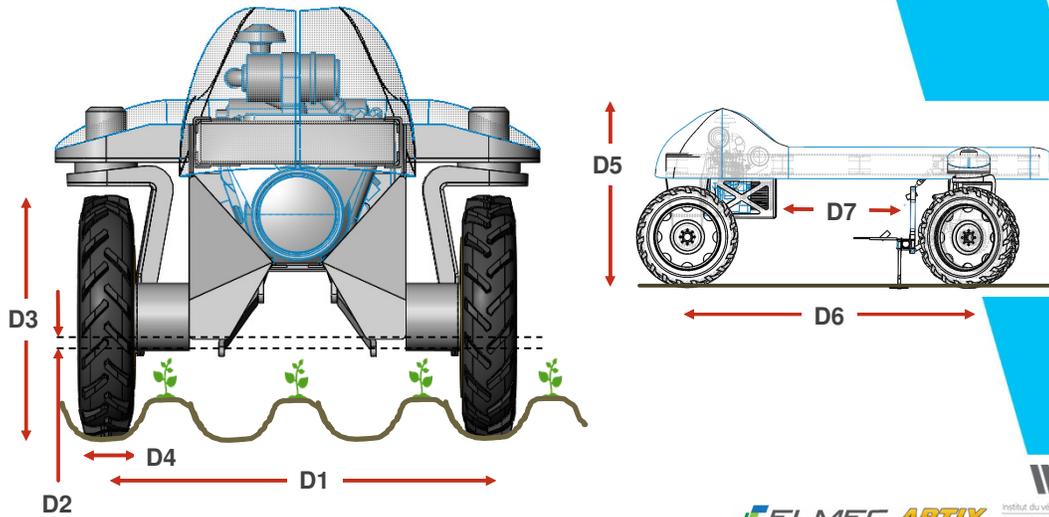


Logistique de transport et d'opération



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

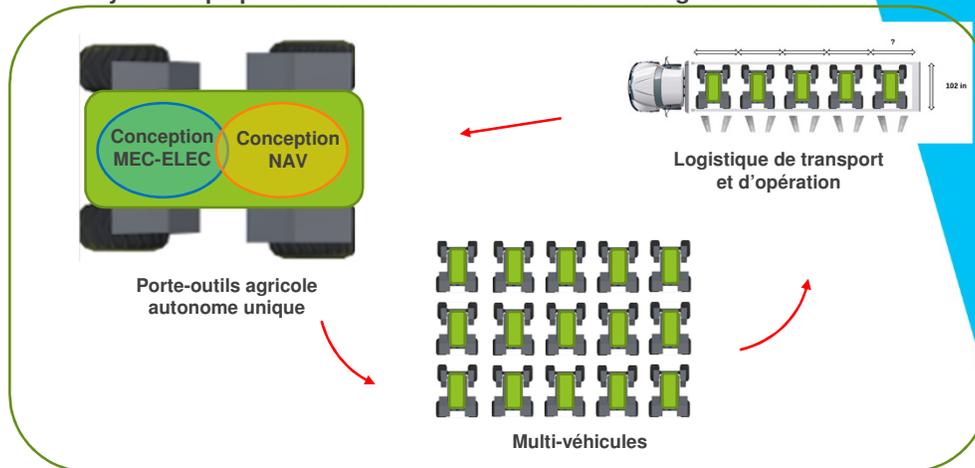
OPTIMISATION REQUISE



CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: UNE SOLUTION COMPLÈTE

Système qui permet d'offrir un service de désherbage intéressant



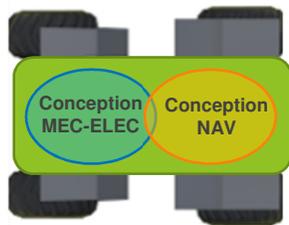
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

VÉHICULE UNIQUE: UN DÉFI TECHNIQUE DÉJÀ « RÉSOLU » (VEILLE)

Une proportion importante des tâches sera exécutée de manière autonome.

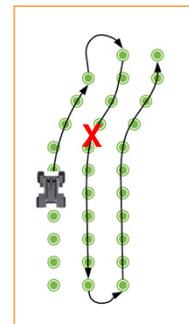
80% Autonome, navigation classique

20% intervention humaine



Porte-outils agricole autonome unique

Suivi de trajectoire



Exécution



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



ELMEC



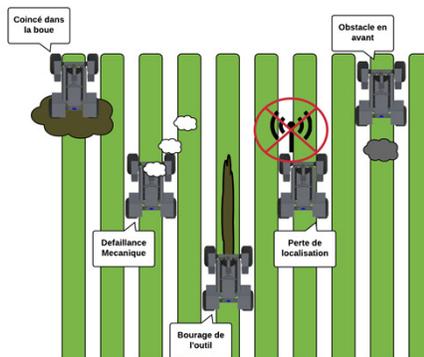
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

VÉHICULE UNIQUE: UN DÉFI TECHNIQUE DÉJÀ « RÉSOLU » (VEILLE)

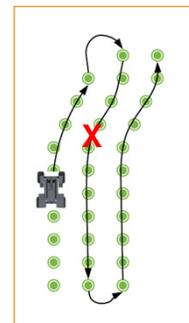
Cependant, des imprévus arriveront nécessairement. Dans le cas d'un seul porte-outil en opération, l'opérateur pourrait se charger de gérer ces imprévus.

80% Autonome, navigation classique

20% intervention humaine



Suivi de trajectoire



Exécution



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute



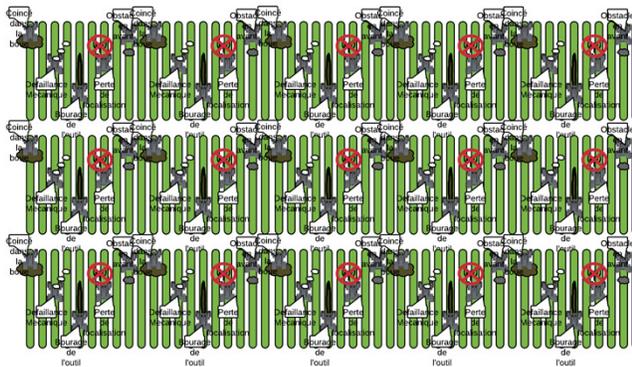
ELMEC

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: LÀ OÙ EST LE RÉEL DÉFI (ET OPPORTUNITÉS!)

Dans le cas d'une flotte de porte-outils opérant simultanément, si tous les imprévus sont gérés manuellement, la situation pourrait devenir ingérable.

80% Autonome, navigation classique 20% intervention humaine



ELMEC ARTIX

W Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SYSTÈME MULTI-VÉHICULES: NÉCESSITÉ DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Nous sommes à créer un agent intelligent (intelligence artificielle) capable de gérer une bonne partie des imprévus pour diminuer la charge sur l'opérateur.

80% Autonome, navigation classique ~~20% intervention humaine~~

80% Autonome, navigation classique 20% Gestion imprévus

15% Intelligence artificielle: gestions d'imprévus 5% Intervention humaine

ELMEC ARTIX

W Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

GESTION DES IMPRÉVUS POUR UN SYSTÈME MULTI-VÉHICULES

L'intelligence artificielle devient une nécessité pour maintenir le plan d'affaire viable...

- 60% bourrage de l'outils
- 20% besoin d'ajustement de l'outil
- 10% coincé dans la boue
- 5% bris mécanique
- 2% obstacles devant
- 3% autres...

15% Agent intelligent des gestions d'imprévus

5% Intervention humaine



ELMEC ARTIX

W
Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

GESTION DES IMPRÉVUS POUR UN SYSTÈME MULTI-VÉHICULES

L'intelligence artificielle devient une nécessité pour maintenir le plan d'affaire viable...

- 60% bourrage de l'outils
- 20% besoin d'ajustement de l'outil
- 10% coincé dans la boue
- 5% bris mécanique
- 2% obstacles devant
- 3% autres...

15% Agent intelligent des gestions d'imprévus

5% Intervention humaine



*Tout un défi
malgré tout...*

ELMEC ARTIX

W
Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

CONCLUSION

1. L'IVI supporte et accompagne les PME dans leurs projets véhiculaires
2. Les projets de porte-outils agricoles autonomes se multiplient dans le monde
3. Les conditions de succès pour que les porte-outils agricoles autonomes soient utiles à nos agriculteurs sont:
 - a) L'introduction se fera par une offre de service de désherbage forfaitaire
 - b) Le service doit faire gagner significativement du temps aux agriculteurs
 - c) L'intelligence artificielle est nécessaire pour gérer les imprévus inhérents aux tâches agricoles

ELMEC ARTIX



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

NOS COORDONNÉES

25 boul. Maisonneuve
Saint-Jérôme, QC
J5L 0A1
450-431-5744

Marc-Antoine Legault, ing., M.A.Sc.
Chef de projet
malegault@ivisolutions.ca



Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute