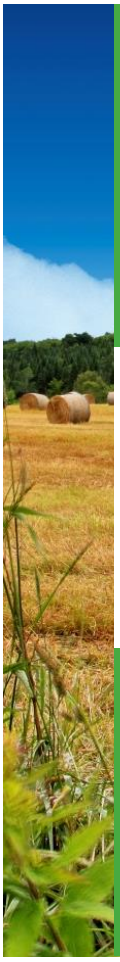


Centre d'Innovation Sociale en Agriculture

www.cisainnovation.com

CONTRIBUTION DE L'INNOVATION SOCIALE À LA ROBOTISATION D'UN VÉHICULE AGRICOLE : VERS DE NOUVELLES RELATIONS AGRICULTEUR-TECHNOLOGIE

Février 2018

PAR
Sandrine Ducruc, M. Sc.
Chargée de projet

COORDONNATEUR
Simon Dugré

CÉGEP DE VICTORIAVILLE
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3

Institut du véhicule innovant
Innovative Vehicle Institute

LE CENTRE D'INNOVATION SOCIALE EN AGRICULTURE (CISA)

La mission du CISA est de piloter des réflexions et des projets de recherche appliquée de qualité dans le domaine des innovations sociales dont les résultats ont une pertinence pratique pour le secteur agroalimentaire et pour la société par la formation, le transfert aux entreprises et l'éducation citoyenne. Le Centre d'innovation sociale en agriculture a été créé en juin 2009 afin de venir prêter main-forte aux producteurs et aux entreprises agricoles, dans le but de développer de nouvelles pratiques au bénéfice de l'ensemble de la société. Unique au Québec, le CISA est reconnu comme un centre collégial de transfert de technologie (CCTT) par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur dont la mission touche les pratiques sociales novatrices (PSN).

Le Centre d'innovation sociale en agriculture est un centre de recherche établi au cégep de Victoriaville, dans la région du Centre-du-Québec, où l'agriculture et l'industrie agroalimentaire occupent une place importante dans les secteurs économique et social. Le Centre vise à contribuer au développement global des différents acteurs du monde agroalimentaire, des communautés rurales et de la société grâce à ses méthodologies et son implication dévouée.

Renseignements :
Centre d'innovation sociale en agriculture
475, rue Notre-Dame Est, Victoriaville (Québec) G6P 4B3
819 758-6401, poste 2361
www.cisainnovation.com

CHAMP DISCIPLINAIRE :
Développement durable

DISCIPLINE :
Innovation et transformation dans le travail et l'emploi

COORDONNÉES DE LA CHERCHEUSE RESPONSABLE DU PROJET :
Sandrine Ducruc
Chargée de projet, CISA
ducruc.sandrine@cegepvicto.ca
Tél. : 819-758-6401, poste 2365

NOM DES CHERCHEURS :
Vincent Bordeleau
Chargé de projet, IVI
vbordeleau@ivisolutions.ca
Tél. : 1 450 431-5744, poste 237

Marc-Antoine Legault
Chef de projet et concepteur, IVI
malegault@ivisolutions.ca
Tél. : 1 450 431-5744, poste 232

ENSEIGNANTS-CHERCHEURS
Philippe Franck-Imbeault
Enseignant-chercheur, CISA
franck-imbeault.philippe@cegepvicto.ca
Tél. : 819-758-6401, poste 2754

Sébastien Demers
Enseignant-chercheur, IVI

ÉTUDIANT :
Émilie Viau-Drouin
Assistante de recherche
viau-drouin.emilie@cegepvicto.ca

ENCADREMENT DE LA RECHERCHE :
Marie-Joëlle Brassard, Chercheuse senior
brassard.marie-joelle@cepgepvicto.ca

PARTENAIRE :
Jean-Marc Pittet
Président-directeur général d'ELMEC
jeanmarc.pittet@elmec.qc.ca
Tél. : 819 533-3888

TABLE DES MATIERES

1. DESCRIPTION DU PROBLÈME À RÉSOUDRE 13

2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE 15

3. MÉTHODOLOGIE 16

3.1 Gouvernance de la recherche 16

3.2 Méthodologie pour la réalisation des entrevues individuelles 17

3.3. Méthodologie pour la réalisation des groupes de discussion 20

4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS 22

4.1 Les résutats des entrevues individuelles 22

4.2 Les résultats des groupes de discussion 32

5. CONSTATS MAJEURS RESSORTANT DU PROJET DE RECHERCHE 42

5.1 La production maraîchère : une cible de vente idéale pour le tracteur autonome 42

5.2 Le désherbage comme fonction prioritaire 42

5.3 Le grand défi : ajustement en temps réel 42

5.4 Les avantages d'une flotte de petits tracteurs autonomes 42

5.5 La sécurité avant tout 43

5.6 Le tracteur autonome n'est pas synonyme de vacances 43

5.7 Une transformation partielle du métier d'agriculteur 43

5.8 Les connaissances des agriculteurs, une source de savoir à valoriser 43

6. RETOMBÉES DU PROJET 44

7. STRATÉGIES ENVISAGÉES EN CE QUI A TRAIT AU TRANSFERT ET À LA DIFFUSION DES RÉSULTATS 45

8. CONCLUSION 48

ANNEXE 1 51

ANNEXE 2 78

ANNEXE 3 96

ANNEXE 4 102

ANNEXE 5 103

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 – *Processus de recherche d'ingénierie sociale déployé par le CISA*.....16
Fig. 2 – *Structure de gouvernance du projet de recherche*.....17
Fig. 3 – *Exemple de matrice des indicateurs de sens pour la thématique des conditions d'utilisation*.....19
Fig. 4 – *Exemple de fonctions de l'arbre fonctionnel*.....39
Fig. 5 – *Scénarios d'utilisation du véhicule en interaction avec différentes personnes*.....39
Fig. 6 – *Stratégie d'interaction avec les humains à distance*.....40
Fig. 7 – *Aspects de sécurité à considérer pour la conception du tracteur autonome*.....40
Fig. 8 – *Les deux concepts visuels du prototype du tracteur autonome à la phase de préconception*.....41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Les caractéristiques des entreprises agricoles enquêtées en entrevues individuelles.....23
Tableau 2 - Les tâches principales de production par type de production.....23
Tableau 3 - Les tâches perçues comme étant pénibles par type de production.....25
Tableau 4 - L'importance relative de la pénibilité des tâches et leurs causes.....26
Tableau 5 - Les fonctions souhaitées et leurs modalités de fonctionnement.....27
Tableau 6 - Les conditions d'utilisation du véhicule autonome.....28
Tableau 7 - Les impacts potentiels de l'utilisation du tracteur autonome.....31
Tableau 8 - Synthèse des facteurs susceptibles de saboter une journée de désherbage.....32
Tableau 9 - Fiche 1, le robot I-WEED.....33
Tableau 10 - Fiche 2, le robot AUTO-HOMME.....36

CODE DU PROJET :
PART-IS 2016A014

TITRE DU PROJET :
Contribution de l'innovation sociale à la robotisation d'un véhicule agricole : vers de nouvelles relations agriculteur-technologie

NOM DE LA CHERCHEUSE PRINCIPALE :
Sandrine Ducruc

NOM DES ÉTABLISSEMENTS :
Cégep de Victoriaville
Cégep de Saint-Jérôme

NOM DU CENTRE :
Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA)
Institut du véhicule innovant (IVI)

NOM DU PARTENAIRE :
Jean-Marc Pittet, ELMEC

RÉSUMÉ

Depuis 2015, l'Institut du véhicule innovant (IVI) et ELMEC, une entreprise située à Grand-Mère, travaillent ensemble à la conception d'un système de navigation pour véhicule autonome hors route, destiné au secteur agricole. Cette innovation technologique vise à effectuer, de façon automatisée, des tâches minutieuses, contraignantes et répétitives propres à la production agricole telles que le désherbage, la détection de maladies et l'application de pesticides.

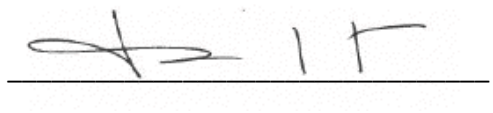
Conscients du fait que cette nouvelle technologie constituera un changement de paradigme important pour les travailleurs du secteur agricole, les deux partenaires ont voulu mieux comprendre la relation qu'entretiennent les agriculteurs avec la venue de la robotisation dans leur environnement de travail.

C'est dans ce contexte que l'IVI et ELMEC se sont alliés au Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA). Le CISA a collaboré au projet en dirigeant le processus d'ingénierie sociale permettant de mettre à contribution les savoir-faire et les connaissances des producteurs agricoles dès le début de la démarche de préconception du véhicule. Le projet visait à créer des espaces de partage et d'interaction entre les savoirs pratiques et technologiques des utilisateurs, des concepteurs et du fabricant de la nouvelle technologie proposée, afin que le véhicule soit reçu par les producteurs agricoles de façon harmonieuse dans leur environnement de travail.

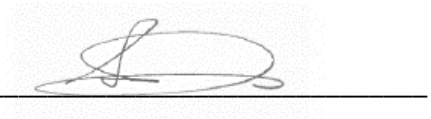
La démarche de recherche consistait en des visites chez les producteurs agricoles suivies d'une série d'entrevues individuelles, pour se terminer avec deux ateliers de réflexion au cours desquels les agriculteurs, l'équipe de l'IVI, du CISA et d'ELMEC ont participé. Les discussions ont permis, entre autres, d'identifier six fonctionnalités souhaitées sur le véhicule. Deux semblaient faire particulièrement l'unanimité, soit le désherbage et l'obtention des informations sur la santé des sols. Deux fiches techniques ont également été

coconstruites avec les agriculteurs. Elles orienteront la conception du véhicule de façon à ce qu'il corresponde à leurs besoins actuels.

Les différentes activités du projet ont aussi permis de mesurer la perception des agriculteurs face à la venue d'un véhicule agricole autonome. De façon générale, les échanges ont révélé que cette technologie est vue positivement, comme un moyen d'améliorer la qualité de vie et la rentabilité des entreprises en agriculture. Enfin, les activités de recherche ont également fourni à Elmec un premier prototype virtuel du véhicule et des pistes d'optimisation de ses stratégies de fabrication et de commercialisation du véhicule.



Paul Thériault,
Directeur général, Cégep de Victoriaville



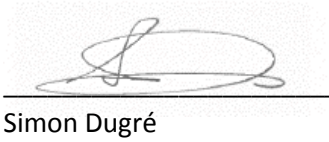
Simon Dugré
Coordonnateur, Centre d'innovation sociale en agriculture

CODE DU PROJET :
PART-IS 2016A014

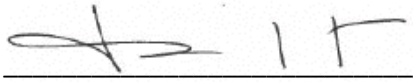
TITRE DU PROJET :
Contribution de l'innovation sociale à la robotisation d'un véhicule agricole : vers de nouvelles relations agriculteur-technologie

SIGNATURES

Sandrine Ducruc
Chargée de projet
Centre d'innovation sociale en agriculture

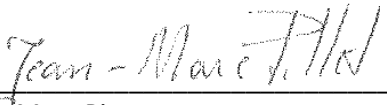


Simon Dugré
Coordonnateur
Centre d'innovation sociale en agriculture



Paul Thériault,
Directeur général
Cégep de Victoriaville

Philippe Franck-Imbeault
Enseignant-chercheur
Cégep de Victoriaville



Jean-Marc Pittet
Président -directeur général
ELMEC

1. DESCRIPTION DU PROBLÈME À RÉSOUDRE

L'agriculture québécoise s'est profondément transformée depuis les soixante dernières années. Elle s'est modernisée et a accru significativement sa productivité en prenant appui sur les avancées de la science et de la technologie (Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, 2008). Malgré ces progrès, l'agriculture moderne fait face à des défis importants. Par exemple, l'utilisation de machineries lourdes compacte les sols et les endommage lourdement. Les entreprises maraîchères sont particulièrement visées par cette problématique, car la régie de production implique de nombreux passages de la machinerie pour le désherbage et l'application de pesticides (Weill et Duval, 2009). D'autre part, les producteurs maraîchers connaissent des problèmes reliés à la pénurie de main-d'œuvre. C'est plus de 28 000 travailleurs qui sont embauchés par le secteur maraîcher au Québec par année (MAPAQ, 2007). Les horaires contraignants et l'intensité du travail sur une courte période augmentent le risque d'accidents de travail et de blessures dus à la fatigue. Pour que l'industrie puisse répondre aux besoins des changements à venir en agriculture, des solutions technologiques doivent être développées.

Pour répondre à ces défis, ELMEC, une entreprise située à Grand-Mère, spécialisée dans le câblage électrique depuis plus de 20 ans et premier fabricant québécois de bornes de recharge à domicile pour véhicules électriques, s'oriente vers la fabrication et la commercialisation de véhicules agricoles électriques et autonomes. En avril dernier, ELMEC a conclu un partenariat avec le centre collégial de transfert de technologie affilié au Cégep de Saint-Jérôme, l'Institut du véhicule innovant (IVI) dans le but de concevoir un robot de petite taille qui se conduit sans chauffeur (autonome). Cette innovation technologique vise à effectuer, de façon automatisée, des tâches minutieuses, contraignantes et répétitives telles que les tâches de désherbage, la détection de maladies et l'application de pesticides. Le partenariat entre ELMEC et l'IVI s'est réalisé dans le cadre du projet de recherche « Innovation dans les collèges et la communauté - Renforcement des innovations » (ICC-RI) du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) de 5 ans intitulé « Projet ARION : Développement de la capacité de recherche pour le guidage de véhicules électriques et hybrides semi-autonomes et autonomes pour applications hors route ».

Le présent projet est venu compléter le projet ICC-RI puisque l'objectif était de développer une approche sociale de nature participative pour permettre l'intégration de cette « innovation de rupture » dans son milieu. Nous savons que le changement de paradigme suscité par cette innovation engendre le besoin de sensibiliser, de démystifier et de rassurer les nouveaux exploitants de ces technologies. Nous pouvons faire le parallèle avec l'introduction des véhicules électriques au Québec qui est apparue dans les trois dernières années et qui a demandé énormément de campagnes d'information et de formation auprès des concessionnaires automobiles, des gestionnaires de flotte et de la population en général afin d'être apprivoisé et accepté par les consommateurs (WWF Canada 2014, L'avenir des véhicules électriques).

Ce projet de robotisation de la machinerie agricole s'inscrit dans un nouveau contexte de société plus large qui pose la question d'une révolution technologique de l'agriculture. En 2014, c'est plus de 2,36 milliards de dollars qui ont été investis dans le monde pour le développement des technologies agricoles, des investissements qui dépassent même ceux de la technologie financière (Agfunder, 2015). La venue de l'intelligence artificielle et de la transformation des technologies de pointe en agriculture marque l'émergence d'un nouveau paradigme,

dans lequel l'ensemble des tâches du métier d'agriculteur et de la gestion globale de son entreprise seront transformées (Isaac, 2015). Pour notre partenaire ELMEC, ce futur est rapproché. Dans la perspective du développement d'un véhicule électrique autonome, ELMEC identifie déjà des défis de nature sociale auxquels l'entreprise sera aux prises. Ces défis comportent deux aspects. D'une part, la fonction électrique du véhicule génère plusieurs craintes chez les agriculteurs qui ont l'habitude de travailler avec des moteurs au diesel. Les principales causes de rejet sont la peur de tomber en panne dans le milieu du champ, la logistique de recharge des véhicules et la gestion de leur autonomie. L'autre aspect tient au caractère autonome du véhicule qui anime aussi des craintes chez les utilisateurs (ex. : la marge d'erreur du robot, la capacité de travailler de nuit, etc.). Une étude fort intéressante effectuée par le Vineland Research and Innovation Centre, situé en Ontario, s'intitulant *State of the Industry: A Review of Labour-Saving Technologies for Horticulture* démontre que le Canada a les atouts techniques pour développer une nouvelle industrie du véhicule autonome agricole, mais recommande une plus grande collaboration entre les manufacturiers, les chercheurs et l'industrie agricole afin de développer ce nouveau marché.

Pour mieux faire face à l'ensemble de la problématique, ELMEC désire comprendre la relation que l'agriculteur entretient avec la venue du tracteur autonome afin de fabriquer et de commercialiser un robot qui trouvera preneur. Cela nécessite de saisir comment l'agriculteur se projette dans cette nouvelle réalité, quelles sont ses attitudes et ses perceptions face à l'utilisation d'un robot, quelles sont ses conditions de production actuelles et quelles sont les fonctionnalités d'usage et d'opération envisagées pour le véhicule électrique autonome. La réponse à ces questions permettra de définir les conditions de couplage entre les agriculteurs maraîchers et le véhicule. À leur tour, ces conditions permettront de guider la conception mécanique et opérationnelle du véhicule ainsi que les stratégies de commercialisation, afin de faciliter l'introduction de cette nouvelle technologie dans le milieu preneur. Ainsi, ELMEC pourra offrir un produit à valeur ajoutée compatible aux besoins, valeurs et attitudes des producteurs maraîchers.

Pour y arriver, le CISA a intervenu, en partenariat avec l'IVI et ELMEC, sur la relation entre les producteurs maraîchers et le véhicule envisagé. Le rôle du CISA était de créer un espace d'échange et de proximité entre les utilisateurs, les concepteurs et le fabricant de la nouvelle technologie proposée afin de capter et de codéfinir les fonctionnalités désirées pour le véhicule. Trop souvent, la technologie est perçue comme une entité étrangère que l'agriculteur doit, soit accepter ou refuser en fonction de conditions qui lui sont internes (attitudes, perceptions, représentations) ou externes (attentes, coûts, contexte organisationnel) (Prokopy et al., 2008; Guerin et Guerin, 1994; Adesina and Zinnah, 1993). Or, le projet d'innovation sociale du CISA proposait de comprendre la relation entre les producteurs agricoles et la technologie de manière symbiotique (Brangier et al., 2009). Le CISA s'est assuré que la technologie ne soit pas seulement acceptée, mais plutôt façonnée par son utilisateur. Ce changement de paradigme était au cœur de l'intervention proposée par le Centre pour répondre au besoin de son partenaire ELMEC.

L'intervention qui a été conduite par le CISA était novatrice, car elle proposait d'utiliser une approche de recherche-action participative pour instaurer en amont du processus de création du véhicule, un dialogue entre les agriculteurs maraîchers, les concepteurs techniques du véhicule et l'industriel qui commercialisera le produit final (ELMEC). Cette intervention n'était pas naturelle pour les industriels qui déploient,

traditionnellement, leur phase de développement des technologies de manière linéaire en prévoyant une phase d'expérimentation et de dialogue avec les utilisateurs en fin de projet. En d'autres termes, l'idée du projet consistait à associer et à impliquer étroitement, la participation de l'ensemble des acteurs concernés dans la chaîne d'innovation pour mettre au point un véhicule à valeur ajoutée répondant aux besoins, valeurs et aux attitudes des agriculteurs.

2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Pour répondre aux défis soulevés par notre partenaire ELMEC dans la perspective de développement d'un véhicule électrique autonome destiné au secteur maraîcher, l'objectif général du projet était **de créer une relation signifiante entre les producteurs maraîchers et le véhicule**. Cet objectif visait à créer une synergie entre les éléments d'interdépendance de la relation agriculteur-concepteur-technologie en agissant sur les conditions de réussite de la symbiose. La réalisation de cet objectif a permis de minimiser les risques de disruption entre l'arrivée de la nouvelle technologie et les besoins, les valeurs et les attitudes des producteurs maraîchers.

Les objectifs spécifiques du projet se déclinaient comme suit :

1. **Réaliser le portrait de l'ensemble des tâches actuelles de production de l'entreprise maraîchère.** Cet objectif visait à mesurer et évaluer, au sein du travail quotidien du producteur maraîcher, quelles proportions concernent directement les tâches visées par l'utilisation du véhicule, soit celles de désherbage, d'application des pesticides et de détection des maladies. Le résultat escompté a permis de mesurer l'importance du besoin attribué par le producteur maraîcher et d'identifier des exigences et des impacts liés aux tâches de désherbage, d'application de pesticides et de détection des maladies.

2. **Caractériser et prioriser les fonctionnalités** que les producteurs maraîchers désirent retirer par l'emploi du véhicule autonome et sous quelles conditions d'utilisation ils sont prêts à le faire. Une grille analytique a permis de définir les tâches de production que les agriculteurs maraîchers désirent conserver et/ou se débarrasser, leurs besoins en termes de véhicule autonome et surtout, leurs attitudes et leurs valeurs face aux contributions du robot. Nous obtiendrons un portrait qualitatif d'un robot souhaitable. Partant du portrait qualitatif dressé, l'objectif visait à produire un premier couplage entre les besoins, les valeurs, les attitudes des producteurs maraîchers et les fonctionnalités désirées du véhicule autonome.

3. Le troisième objectif consistait à **coconstruire le prototype virtuel du véhicule en réunissant, dans une démarche participative et itérative, les concepteurs de l'IVI, les agriculteurs et ELMEC**. Cet objectif visait, d'une part, à valider les fonctionnalités que pourrait proposer le véhicule pour répondre à l'ensemble des tâches de production de l'entreprise maraîchère. D'autre part, il a permis de vérifier la facilité d'utilisation, la résistance au changement, le risque de rejet, la faisabilité et le coût qui lui sont associés. Les résultats ont permis de créer une relation interactive bilatérale entre les producteurs maraîchers et les concepteurs afin que le véhicule électrique autonome soit reçu comme un prolongement intégré des modes de production maraîchère. La réalisation de cet objectif a aussi permis la coconstruction du cahier de charges préliminaire.

3. MÉTHODOLOGIE

De par la nature du projet de recherche proposé, l'approche retenue a été celle de la recherche-action participative (RAP). La recherche-action poursuit des objectifs de promotion de la production collective de connaissances en cherchant à établir des allers et retours entre le monde de la recherche et celui de la pratique pour l'avancement des connaissances (Anadón, 2007). Par cette stratégie de recherche, le CISA a créé une structure « inclusive » afin de soutenir une participation active et démocratique des usagers par l'entremise d'entrevues individuelles et de deux groupes de discussion. Ce processus d'ingénierie sociale a permis de capter, systématiser et valider les besoins des agriculteurs en temps réel (figure 1).

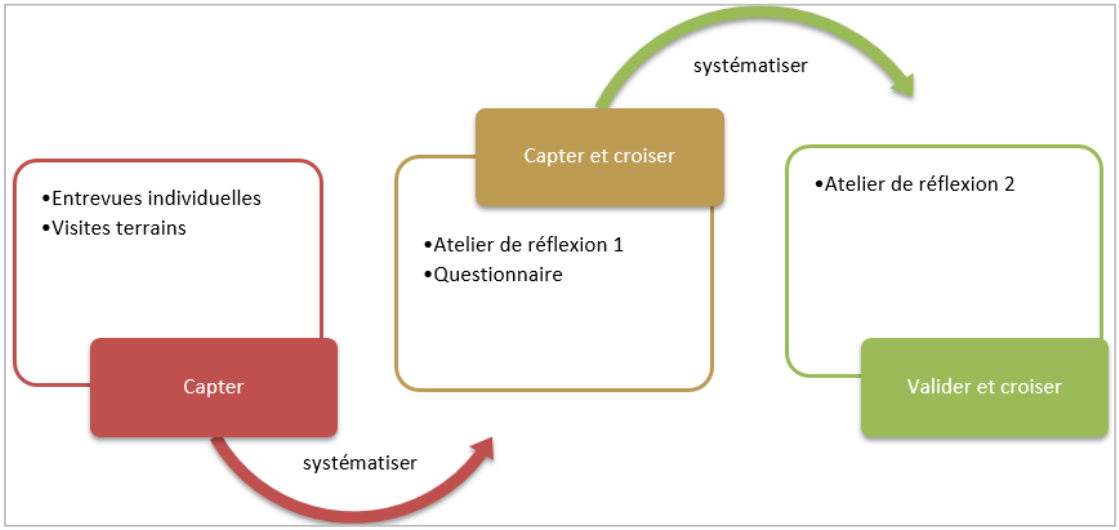


Fig. 1 – *Processus de recherche d'ingénierie sociale déployé par le CISA*

3.1 Gouvernance de la recherche

Un comité de pilotage a été créé pour orienter la logistique et la mise en œuvre du projet. Le comité était composé de Sandrine Ducruc, M. Sc. env., chargée de projet en recherche au CISA; de Marie-Joëlle Brassard, Ph. D. en développement régional; de Philippe Franck-Imbeault, enseignant-chercheur en production maraîchère au cégep de Victoriaville; de Jean-Marc Pittet, ingénieur et président d'ELMEC; de Vincent Bordeleau, ingénieur junior à l'IVI et de Marc-Antoine Legault, ingénieur senior à l'IVI également. L'équipe du CISA était responsable de documenter les besoins et les perceptions des agriculteurs, alors que l'IVI assurait la faisabilité technique du tracteur autonome et ELMEC, le plan de commercialisation. La structure de gouvernance du projet de recherche a permis d'avancer la conception du tracteur autonome selon une démarche centrée sur les besoins des futurs utilisateurs (figure 2).

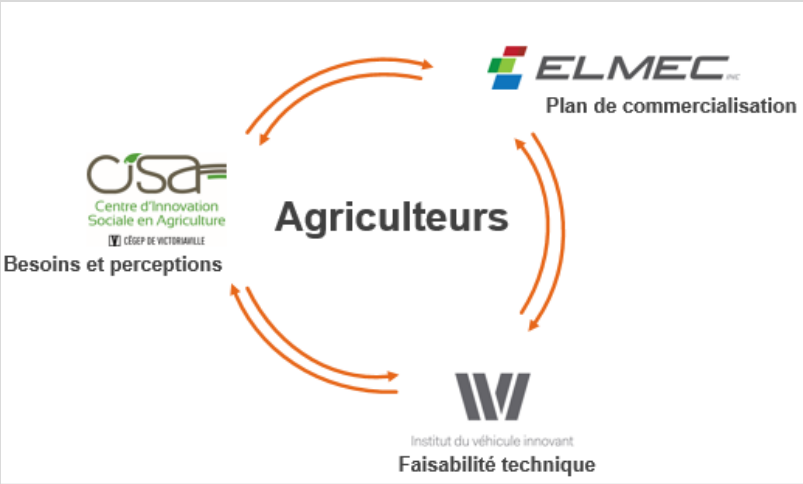


Fig. 2 – *Structure de gouvernance du projet de recherche*

3.2 Méthodologie pour la réalisation des entrevues individuelles

Afin de répondre au premier objectif spécifique, le CISA a conduit neuf entrevues semi-dirigées, d'une durée variant entre une et deux heures avec des producteurs agricoles provenant du Centre-du-Québec, de la Mauricie et de la Montérégie. Le choix de ces territoires se justifie par la concentration d'entreprises agricoles en grandes cultures céréalières et maraîchères et par la proximité territoriale des deux centres de recherche. Dans la majorité des cas, une visite des équipements agricoles et des espaces cultivés ont suivi l'entrevue.

Les chercheurs des deux centres étaient présents lors des rencontres avec les agriculteurs. La chargée de projet du CISA dirigeait l'entrevue alors que l'ingénieur junior de l'IVI codirigeait la rencontre et prenait des notes. L'implication simultanée des deux chercheurs du domaine social et technologique lors de la collecte de données a facilité l'appropriation et la compréhension des nouvelles connaissances terrain véhiculées par les agriculteurs.

La sélection des entreprises agricoles à rencontrer s'est fait en fonction d'une répartition diversifiée des types de production suivante :

- grandes cultures (maïs-soya);
- cultures maraîchères;
- production laitière.

Les autres critères discriminants étaient :

- la superficie de l'exploitation (150 ha et plus en maraîcher et 600 ha et plus en grandes cultures);
- la régie de production (biologique et conventionnelle);
- le nombre d'employés (deux et plus);
- le type de culture;
- la taille du cheptel pour les fermes en production laitière (100 vaches et plus).

Les participants ont été identifiés par le comité de pilotage, par l'Association des maraîchers du Québec et par des conseillers agricoles en grandes cultures et en production maraîchère biologique du CETAB+. Les entretiens ont eu lieu avec :

- 2 entreprises en grandes cultures (maïs-soya) biologiques ;
- 2 entreprises en grandes cultures (maïs-soya) conventionnelles ;
- 2 entreprises maraîchères conventionnelles ;
- 1 entreprise maraîchère biologique;
- 1 entreprise laitière biologique ;
- 1 entreprise laitière conventionnelle.

Le **schéma d'entrevue** a été coconstruit par les chercheurs des deux centres de recherche, soit l'IVI et le CISA. Les thématiques d'entrevue ont porté sur la description de l'environnement de production, l'identification et la description des tâches de production réalisées au champ, le niveau de pénibilité qui leur est accordé, leur exigence en temps, en ressources humaines et en argent. Des éléments cognitifs ont également été enquêtés, à savoir, les perceptions, attitudes des agriculteurs vis-à-vis l'arrivée d'un véhicule autonome électrique en agriculture, les conditions d'utilisation et les critères d'achat d'une telle technologie. En fin d'entrevue, l'acceptabilité sociale a fait l'objet d'une question. Des ajustements ont été apportés au guide d'entrevue pour permettre l'acquisition de données techniques précises jugées nécessaires pour la conception du véhicule autonome.

Ces questions ont été choisies dans le but de mesurer et d'évaluer à quels types de production agricole s'adresse le véhicule ainsi que de faire ressortir les fonctionnalités désirées. De plus, les questions concernant le niveau de pénibilité avaient pour but de connaître les tâches que les agriculteurs seraient prêts à se départir et à attribuer au véhicule autonome. Puis, l'étude des conditions d'utilisation du robot visait à harmoniser les fonctionnalités futures du véhicule avec les besoins des agriculteurs afin de créer une relation signifiante entre les producteurs et la nouvelle technologie. Le schéma d'entretien a été soumis à deux experts de la production maraîchère pour validation. Aucun prétest n'a été effectué en raison de la courte fenêtre de temps pour réaliser l'ensemble du projet.

Approche d'analyse des données

Une approche phénoménologique a été choisie pour effectuer l'analyse des données qualitatives recueillies au moyen des entrevues individuelles. L'objectif de la phénoménologie est de :

> *« Comprendre un phénomène, de découvrir le « comment » du vécu, le sens donné à une expérience de vie (Bracken, 1999 ; Byrne, 2001), et non de l'expliquer par une représentation abstraite de quelques mécanismes généraux intervenant dans son déroulement (Koch, 1995 ; Koivist et al., 2002) ».*

L'approche phénoménologique laisse place à une relation de collaboration entre le chercheur et le participant. Le chercheur n'observe pas objectivement, mais il accompagne. La recherche est alors une relation intersubjective entre le sujet et le chercheur. Cette relation se développe autour du dialogue, lors des

entrevues individuelles (Couturier, 1996 ; Deschamps, 1993). L'approche phénoménologique requiert une disposition particulière du chercheur qui se propose de décrire le phénomène. Cette disposition nécessite que le chercheur et les cochercheurs suspendent leur jugement, leur prise de position sur la vérité ou la fausseté de leurs préconceptions ou de leurs croyances (Wimpenny et Gass, 2000). Les chercheurs n'interprètent pas ce qu'ils étudient à partir de leurs propres repères et normes, mais ils laissent le phénomène se dévoiler, venir à lui.

La méthode d'analyse des données : la recherche du sens

La méthode d'analyse des données choisie est celle de Deschamps, 1993. Cette méthode s'applique essentiellement aux données recueillies par la voie de l'entrevue. L'objectif est de retrouver le sens qu'a construit la personne autour du phénomène vécu. L'analyse se déroule en quatre étapes :

1. Les comptes rendus : Dans un premier temps, l'entretien est intégralement retranscrit dans l'exactitude des propos tenus et du style oral. Dans une première lecture, le chercheur essaiera d'extraire un sens général. Cette étape demande une ouverture d'esprit optimale.

2. La seconde étape consiste à identifier les indicateurs de sens. Ces indicateurs sont des unités de signification qui déterminent le contexte du phénomène exploré en entrevue. La désignation des indicateurs de sens s'est faite par une équipe de cinq chercheurs du CISA. Pour ce faire, l'équipe de chercheurs a lu les comptes rendus, et à chaque fois qu'ils observaient un changement de signification dans le sens, ils notaient un nouvel indicateur (figure 3). Cette procédure d'intersubjectivité des données qualitatives a assuré la meilleure rigueur et l'objectivité scientifique.

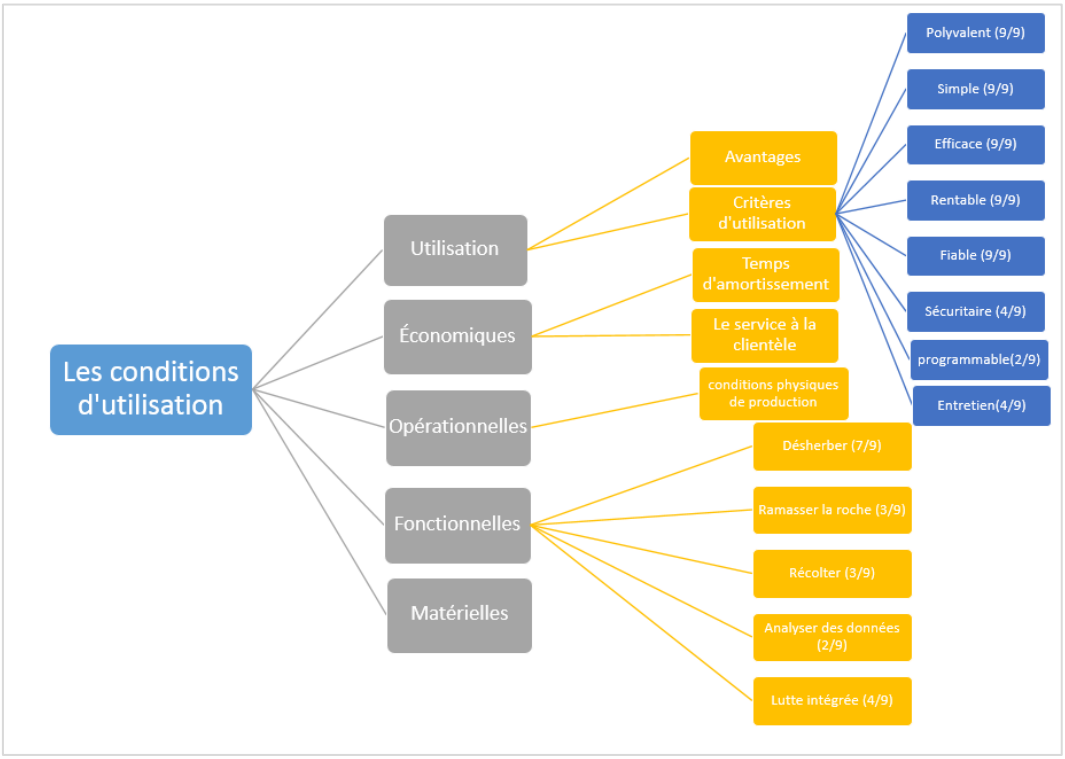


Fig. 3 – *Exemple de matrice des indicateurs de sens pour la thématique des conditions d'utilisation*

3. Le troisième stade est le développement du contenu des indicateurs de sens. Pour cela, il faut rassembler les chercheurs pour qu'ils expliquent le raisonnement derrière l'identification de leur indicateur. Par la suite, l'équipe a dû faire une synthèse des indicateurs à retenir. Une fois cette étape terminée, les propos des participants ont été remis en contexte sous les indicateurs de sens.

Les limites méthodologiques

Cette étude, menée auprès de 9 agriculteurs (seulement 3 en culture maraîchère) a permis d'apporter un éclairage important sur les besoins, les attitudes, les perceptions et les comportements des agriculteurs face à la venue d'un robot agricole autonome et électrique. Toutefois, elle ne permet pas d'avoir un portrait statistiquement représentatif. D'autres études pourraient être menées pour valider statistiquement les résultats obtenus avec un plus grand échantillon.

3.3. Méthodologie pour la réalisation des groupes de discussion

À la suite des entrevues individuelles, le CISA et l'IVI ont mis en place deux groupes de discussion afin d'approfondir la réflexion sur le développement du tracteur autonome tout en mettant à contribution les connaissances et le savoir-faire des futurs utilisateurs du véhicule. Ces deux rencontres ont eu lieu à un mois et demi d'intervalle, soit le 2 février et le 24 mars 2017, au cégep de Victoriaville.

Le premier groupe de discussion se composait, outre les animateurs, les observateurs et les rapporteurs de dix participants, soit huit agriculteurs maraîchers dont quatre en grandes cultures et quatre en culture diversifiée/extensive, un conseiller en horticulture du MAPAQ et un ancien agriculteur président du comité des Producteurs maraîchers de la Montérégie-Ouest. L'objectif de la journée était de valider et bonifier certaines informations obtenues par les entrevues individuelles et de bâtir des fiches techniques pour orienter la conception du futur véhicule. Pour ce faire, les deux équipes de recherche ont bâti un protocole d'animation se déclinant en trois activités, soit :

- La **première activité** : *Sabotage*. Pour bien saisir la réalité quotidienne des agriculteurs, l'objectif poursuivi par l'activité était d'identifier les éléments qui sont susceptibles de saboter une journée de désherbage et de discuter en groupe des solutions envisagées ou déjà expérimentées pour remédier aux éléments présentés. Ces informations ont permis de caractériser l'environnement dans lequel évoluera le véhicule et d'identifier les défis qui lui sont associés.

- La **deuxième activité** : *Ton tracteur idéal*. L'objectif poursuivi par l'activité était d'identifier les valeurs associées aux critères techniques nécessaires pour concevoir le tracteur autonome idéal et de préciser les justifications qui accompagnent les valeurs énoncées. C'est dans cette activité qu'il est possible de voir quel genre de produit les agriculteurs s'attendent à utiliser. Cette activité a donné lieu à la production de deux fiches techniques indispensables à la conception du tracteur.

- La **troisième activité** : *Mise en commun et priorisation*. L'objectif poursuivi par cette activité était de mettre en commun les informations contenues dans les fiches techniques des deux équipes. Les représentants de chaque équipe devaient expliquer les particularités de leur tracteur autonome, les critères techniques principaux et présenter le nom choisi. Par la suite, en groupe, l'exercice était de

créer la liste des critères techniques incontournables pour la conception du robot en prenant soin de distinguer les réalités des petits et gros producteurs maraîchers.

Afin de faciliter les discussions et le processus de priorisation des actions par bloc, des animateurs et des coanimateurs ont été affectés à chaque activité. De plus, des rapporteurs ont été affectés à différentes tables pour opérationnaliser la prise de note des informations échangées lors de la journée. Les rapporteurs étaient, soit des étudiants ou des membres du soutien administratif du CISA.

Un observateur a été attitré à chaque équipe. Le mandat des observateurs, gardé secret tout au long de la journée, était de capter les informations marquantes des discussions au sein de leur équipe (ex. : les besoins, les conditions d'utilisation, les craintes, l'acceptabilité sociale, etc.) et de préparer une synthèse de leurs observations à présenter en fin de journée.

Enfin, un questionnaire a été distribué aux participants sur l'heure du dîner. Ce questionnaire comportait onze questions ouvertes et fermées qui ont permis d'aller enquêter sur des informations précises, notamment sur les sources d'énergie disponibles à la ferme, les dimensions des champs, les types de ravageurs et de contaminants, les aspects techniques importants pour la conception du véhicule, etc. (Le questionnaire complet se trouve à l'annexe 3)

À la suite de la tenue du groupe de discussion, les deux équipes, celle du CISA et de l'IVI, se sont rencontrées pour faire ressortir les constats majeurs utiles pour poursuivre la préconception du véhicule autonome. Ensuite, un compte rendu a été produit par le CISA et validé avec l'équipe de l'IVI et d'ELMEC.

Afin de pousser plus loin la réflexion et de valider les informations captées depuis le début du projet, un **deuxième groupe de discussion** a été organisé, cette fois-ci auprès de six producteurs maraîchers, un intervenant agricole et deux membres d'ELMEC. Cette deuxième rencontre participative visait à présenter et confirmer aux producteurs les spécifications préliminaires de conception élaborées en regard des résultats du premier groupe de discussion. Lors de cette journée, des idées de concepts de tracteur autonome leur ont été présentées afin d'obtenir une rétroaction en temps réel à savoir si l'IVI allait dans la bonne direction. Puis, le modèle d'affaires d'ELMEC leur a été présenté dans le but de recueillir leurs réactions et commentaires.

Afin de répondre à ces objectifs et de construire une réflexion participative avec les connaissances et le savoir-faire des individus invités à cette journée, le CISA et l'IVI ont bâti une proposition d'animation se déclinant en trois activités, soit :

- La **première activité** : *Fiche technique et arbre fonctionnel.* L'objectif poursuivi par cette activité était de présenter la fiche technique et les différents éléments de l'arbre fonctionnel du tracteur. Les participants ont ensuite été invités à apporter leurs opinions face aux aspects présentés. Cette activité a permis de préciser et « challenger » certains aspects de la première fiche technique proposée par l'IVI.

- La **deuxième activité** : *Présentation des idées de concepts de tracteur autonome.* L'objectif poursuivi par l'activité était de présenter certains concepts visuels du tracteur élaborés par l'équipe d'ingénieurs de l'IVI. Une fois les modèles présentés, les agriculteurs ont pu donner leur avis sur les prototypes proposés. De plus, l'IVI a profité de cette période pour présenter d'autres modèles développés ailleurs dans le monde.

- La **troisième activité** : *Présentation du modèle d'affaires d'ELMEC.* L'objectif ici était de permettre au fabricant ELMEC de présenter son modèle d'affaires préliminaire pour la mise en marché du tracteur autonome aux agriculteurs. Cela a permis à ces derniers de « challenger » l'opérationnalisation du modèle d'affaire et d'identifier les défis et avantages perçus.

Les deux premières activités de la journée ont été animées par l'équipe de l'IVI au moyen d'un support visuel PowerPoint. L'IVI a pu illustrer concrètement les éléments techniques et conceptuels du futur visuel. Une fois les éléments présentés aux participants, ces derniers étaient invités à réagir et à partager leur impression. La discussion était ouverte afin que les agriculteurs puissent intervenir à tout moment. La dernière activité s'est aussi déroulée par une discussion ouverte animée par M. Pittet, président de la compagnie ELMEC, qui a pu exposer et « challenger » son plan d'affaires avec le groupe.

4. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

La section suivante présente, dans un premier temps, une synthèse des principaux résultats obtenus à la suite des entrevues individuelles. Il sera question, entre autres, des caractéristiques des entreprises agricoles rencontrées, du portrait de leurs tâches actuelles de production, de leurs perceptions du véhicule autonome, de leurs conditions d'utilisation et des fonctionnalités désirées. Dans un deuxième temps, cette partie du rapport exposera les résultats tirés des deux groupes de discussion. Les rapports complets des entrevues individuelles et des groupes de discussion se trouvent respectivement aux annexes 1, 2 et 5.

4.1 Résultats des entrevues individuelles

4.1.1 Caractéristiques des entreprises agricoles rencontrées

Le tableau 1 présente la fiche signalétique des entreprises agricoles interviewées. Au total, neuf exploitations, dont quatre en régie biologique et cinq en régie conventionnelle, ont été rencontrées. Parmi les fermes biologiques rejointes, deux sont en grandes cultures, une en production maraîchère et une en production laitière. Les entreprises conventionnelles, elles, comptent deux fermes en grandes cultures, deux en production maraîchère et une en production laitière. La plupart des exploitations ont des superficies allant au-delà des 600 hectares, à l'exception de la ferme maraîchère biologique et d'une des fermes en grande culture qui cultivent, respectivement, des surfaces de 65 et 200 hectares. Trois entreprises ont des superficies dépassant les 1000 hectares. Ces dernières fonctionnent avec des équipes de travail variant entre huit et vingt employés. De leur côté, les entreprises maraîchères conventionnelles sont celles comptant le plus de personnel. Par exemple, une d'entre elles embauche, chaque année, plus de 140 personnes pour la période estivale s'étalant d'avril à octobre. Puis, la longueur des parcelles cultivables varie entre 60 et 2 000 mètres. La durée d'autonomie énergétique du véhicule devra en tenir compte.

Tableau 1

Les caractéristiques des entreprises agricoles enquêtées en entrevues individuelles

Nom de code	Type de production	Régie de production	Superficie de l'exploitation	Grandeur parcelle max. (L x l)	Taille du cheptel	Nb d'employés temps plein
Rep1	Grande culture	Biologique	600 ha	1 600 m x 360 m	n/a	4
Rep2	Grande culture	Biologique	1 900 ha	1 800 m x 700 m	n/a	20
Rep3	Laitière	Biologique	388 ha	Photo aérienne	130	4
Rep4	Laitière	Conventionnelle	1 173 ha	2 000 m x 500 m	600	20
Rep5	Maraîchère	Conventionnelle	385 ha	1 000 m x 200 m	n/a	140
Rep6	Maraîchère	Conventionnelle	345 ha	550 m x 60 m	n/a	60
Rep7	Grande culture	Conventionnelle	200 ha	189 m x 600 m	n/a	1
Rep8	Grande culture	Conventionnelle	1 000 ha	1 000 m x 300 m	n/a	8
Rep9	Maraîchère	Biologique	60-65 ha	366 m x 152 m	n/a	5

4.1.2 Le portrait et les caractéristiques des tâches actuelles de production agricole

Les exploitants agricoles et les gestionnaires d'exploitations agricoles doivent accomplir un certain nombre de tâches dans l'année pour assurer la production de leurs cultures. Cette section identifie les types de tâches de production qui sont réalisées au champ durant l'année ainsi que la perception de leur niveau d'intensité et de pénibilité.

Les types de tâches de production réalisés au champ

Le tableau 2 révèle les principales tâches qui sont réalisées au champ selon les types de production.

Tableau 2

Les tâches principales de production par type de production

Tâches principales de production	Tâches secondaires de production	Type de production					
		Grandes cultures		Maraîchères		Laitière	
		Bio.	Conv.	Bio.	Conv.	Bio.	Conv.
Préparation du sol	1. Nivellement		X				
	2. Ramasser roche	X	X	X	X	X	X
	3. Herser + engrais	X	X	X	X	X	X
	4. Faux-semis	X					
Semis	5. Semis	X	X	X	X	X	X
	6. Transplants			X	X		
Désherbage	7. Sarclage mécanique	X		X	X	X	
	8. Sarclage chimique		X		X		X
	9. Sarclage manuel			X	X		
	10. Application engrais	X	X	X	X	X	X
	11. Lutte intégrée			X	X	X	
	12. Récolte	X	X	X	X	X	X

Plusieurs tâches sont transversales aux types de production, à savoir le ramassage de la roche, la préparation du sol, les semis, l'application d'engrais chimique et la récolte. Le désherbage est aussi une tâche commune. Cette pratique compte différentes techniques selon la régie et le type de production. Par exemple, en régie conventionnelle, l'usage d'herbicides est employé tandis qu'en biologique, le sarclage se pratique mécaniquement ou manuellement ou par une combinaison des deux. De plus, le tableau indique que les productions maraîchères biologiques et conventionnelles sont celles qui nécessitent le plus de tâches de production au champ et dont la plupart des travaux de désherbage et de récolte se font manuellement.

Les tâches de production les plus exigeantes

Les tâches de production sont marquées par des niveaux d'intensité variables selon le temps de l'année et le type de production. Le niveau d'exigence est défini selon le degré de mobilisation des capacités humaines (temps vs coûts) requises et de la fenêtre de temps nécessaire pour réaliser la tâche de production. Donc, plus une tâche est exigeante en ressources humaines dans un court intervalle de temps, plus elle sera jugée exigeante. Selon les résultats des entrevues, les trois tâches de production avec le niveau d'exigence le plus élevé sont **les semis,** le **désherbage** et la **récolte.**

L'opération des semis est toujours une période de l'année qui est intense et stressante pour les producteurs agricoles. La pression est grande, car la fenêtre de temps est petite pour semer la totalité de leurs cultures. Cette tâche leur demande parfois de mobiliser du personnel tard le soir ou même durant la nuit.

Du côté des grandes cultures biologiques, la tâche de désherbage mécanique nécessite jusqu'à sept passages de la machinerie, et ce, avant que les plants atteignent 50 cm de hauteur. Par exemple, sur une des entreprises agricoles rencontrées, trois personnes à temps plein sont nécessaires, sur une période d'environ 45 jours, pour couvrir une superficie de 600 hectares.

En production maraîchère conventionnelle, les trois approches de sarclage sont utilisées pour lutter contre les mauvaises herbes (chimique, lorsque des produits homologués existent, mécanique et manuel). Sur une des grandes fermes maraîchères rencontrées en entrevue d'une superficie de 384 hectares, les 90 employés passent 50 % de leur temps à désherber. Le coût pour le temps des employés s'élève à 245 $/hectare, ce qui équivaut à un coût total annuel de 94 080 $, soit 15 % des coûts totaux de l'entreprise.

Par ailleurs, le désherbage prend une plus grande ampleur lorsque les cultures sont pérennes (implantées pour plusieurs années), comme les asperges ou les cultures fruitières, car les mauvaises herbes vivaces deviennent de plus en plus difficiles à contrôler avec le temps. Il faut donc développer des stratégies de sarclage de façon continue.

La récolte des cultures se fait, en grande partie, manuellement. Ainsi, les entreprises maraîchères embauchent de nombreux travailleurs pendant la saison estivale pour remplir cette fonction. Du coup, les fermes peuvent dépenser jusqu'à 400 $ par hectare en coûts de main-d'œuvre. Dans le brocoli et le chou-fleur, les dépenses peuvent s'élever à 10 000 $ par jour.

La perception de la pénibilité des tâches de production

Cette sous-section présente les tâches de production perçues comme étant les plus pénibles pour les producteurs agricoles et les justifications liées à leur pénibilité.

Tableau 3

Les tâches perçues comme étant pénibles par type de production

Tâches pénibles	Types de production			
	Grandes cultures		Maraîchères	
	Biologique	Conventionnel	Biologique	Conventionnel
1. Désherber	X		X	X
2. Ramasser la roche	X	X		
3. Lutte intégrée	X		X	X
4. Récolter	X			X
5. Faire de l'administration	X			X
6. Faire du dépistage				X
7. Semer/transplanter	X			X

Selon les résultats présentés au tableau 3, les grandes cultures biologiques et le maraîchage conventionnel ressortent comme les deux types de production avec le plus de tâches considérées pénibles. En grandes cultures, le ramassage de la roche est souvent problématique tandis qu'en culture maraîchère, cette tâche est rarement qualifiée de pénible. Étant situées dans les terres noires du Québec où les pierres sont quasi inexistantes, les entreprises maraîchères rencontrées ne se sont pas positionnées sur ce problème. Cependant, il est envisageable que d'autres fermes en production maraîchère doivent exécuter cette corvée et qu'elle soit aussi pénible que pour les grandes cultures. Les données ne doivent pas être interprétées comme une fin en soi, mais comme des tendances générales. Le tableau 4 présente plus en détail le degré d'importance accordé aux tâches pénibles et leur justification.

Tableau 4

L'importance relative de la pénibilité des tâches et leurs causes

l'importance relative du discours des répondants a été codée par un système d'étoiles :
*** très présent; ** moyennement présent et * peu présent dans le discours

Tâches pénibles	Importance relative dans le discours	Justifications relatives à la pénibilité de la tâche
1. Désherber	***	Très astreignant, car l'opérateur doit être très concentré et en constante vigilance. Par conséquent, il se fatigue vite, ce qui augmente les risques d'erreur. Si le désherbage est mal fait, il y a des répercussions majeures sur le rendement des cultures. Cette tâche demande beaucoup de temps et un haut niveau de précision.
2. Ramasser la roche	***	Difficile de trouver de la main-d'œuvre. Personne ne veut faire cette tâche. De plus, si c'est mal fait, ça brise la machinerie.
3. Lutte intégrée	**	Difficile de trouver et de gérer la main-d'œuvre pour le faire. Si les opérations de lutte intégrée sont mal faites, cela peut engendrer d'énormes pertes de rendement.
4. Récolter	**	C'est une tâche difficile physiquement qui demande beaucoup de temps et représente des coûts élevés. Difficile de trouver de la main-d'œuvre locale, il y a beaucoup de recours à de la main-d'œuvre étrangère qui est exigeante en coûts.
5. Administration	**	Pénible, car ça prend beaucoup de temps et ça fait beaucoup de paperasse. La qualité du travail n'est pas constante.
6. Dépister	**	Très coûteux. Si cette tâche est donnée à une firme, cela peut représenter des coûts allant jusqu'à 25 000 $ par année. Si mal exécutée, cela représente d'importantes pertes de rendement.
7. Semer/transplanter	**	Stressante et demande beaucoup de précision. Plus la fenêtre de temps est courte, plus la pression est grande. Très physique et en maraîchage, la posture de travail engendre souvent des douleurs au dos.

Les rencontres individuelles ont aussi permis de mesurer la perception des agriculteurs face à la venue d'un véhicule agricole autonome. De façon générale, cette nouvelle technologie est majoritairement perçue de manière positive, car elle est vue comme un moyen d'améliorer la qualité de vie des producteurs agricole et la rentabilité de leur entreprise.

4.1.3 Les fonctions souhaitées sur le véhicule

Lors des entrevues, les agriculteurs ont identifié des types de fonctions et des modalités de fonctionnement qu'ils souhaitent retrouver sur le tracteur autonome (tableau 5). La collecte de données a permis d'identifier six fonctionnalités souhaitées sur le véhicule. Deux semblaient faire particulièrement l'unanimité, soit d'être en mesure d'effectuer le désherbage et d'obtenir des informations sur la santé des sols.

Tableau 5
Les fonctions souhaitées et leurs modalités de fonctionnement

Fonctions souhaitées	Modalités de fonctionnement
1. Désherber	– Désherbage de la zone inaccessible, celle à 1,5 po de chaque côté du rang; – Désherbage de l'entre-rang et entre les plants d'un même rang; – Désherber en même temps que les semis; – Passer le plus proche possible du plant sans abîmer les racines; – Arracher ou couper les mauvaises herbes au niveau des racines; – Enlever les doublons sur le même rang; – Désherber 24 h/24 h; – Ne pas compacter le sol.
2. Ramasser de la roche	– Détection des roches
3. Générer une cartographie d'informations agronomiques en temps réel	– Faire des échantillons de sol géoréférencés pour analyser le niveau de pH, azote, phosphore; – Prendre la tension de l'eau; – Analyser la couverture du feuillage (variation de la couleur).
4. Faire de la détection et de la lutte de maladies	– Analyser les quantités de spores dans l'air; – Installer les parasitoïdes utilisés en lutte intégrée (ex. : trichogrammes).
5. Récolter	– L'exemple de la récolte d'asperges : – Respecter le temps d'exécution de 15-20 acres par jour; – Couper les asperges à 20 cm et laisser les autres dans le champ; – Détecter les asperges croches et les laisser dans le champ.
6. Niveler	– Bien travailler le sol selon ses caractéristiques pour obtenir une surface plane ayant des pentes, longitudinale et latérale, les plus appropriées à l'évacuation de l'eau de surface.

4.1.4 Les conditions idéales d'utilisation du véhicule par les agriculteurs

Les résultats soulignent que l'utilisation du véhicule doit apporter un certain nombre **d'avantages au producteur** agricole pour que ce dernier souhaite l'utiliser. En effet, il doit lui permettre de :

- gagner du temps;
- rendre l'arrosage de produits chimiques moins dangereux;
- améliorer la qualité du désherbage en augmentant la précision et l'uniformité de l'opération;
- augmenter le rendement global de l'entreprise;
- s'adapter au manque de main-d'œuvre;
- uniformiser le travail et le coût de production;
- diminuer les heures de travail au champ;
- diminuer la compaction du sol en minimisant les passages de machinerie dans le champ et en travaillant sur des petites unités;
- favoriser la qualité de l'environnement;
- exécuter des tâches 24/24 h.

Aussi, un véhicule polyvalent qui répond aux conditions d'utilisation des agriculteurs sera accueilli plus favorablement par la communauté agricole. Le tableau 6 présente les conditions d'utilisation qui ont été identifiées lors des entrevues.

Tableau 6
Les conditions d'utilisation du véhicule autonome

Conditions d'utilisation	Description
Polyvalent	Pouvoir faire plus d'une fonction en même temps (ex. : sarcler et prendre des échantillons du sol).
Facile d'entretien	L'agriculteur veut être en mesure de faire l'entretien général du véhicule sans toujours dépendre d'un expert qui ne peut pas donner de service immédiat.
Programmable	L'agriculteur doit être en mesure de faire une programmation de base et de faire les mises à jour facilement.
Simple d'utilisation	Entretien et utilisation simples.
Efficace/performant	Être d'une bonne taille afin de couvrir une grande superficie de travail et de ne pas rester pris dans le champ ou lors d'un moindre obstacle. Opérer 24 h/24 h Fonctionner dans des conditions humides sans compacter le sol.
Sécuritaire	Éviter les obstacles et les personnes pouvant se retrouver au champ. Ne pas rester pris. Cohabiter avec les autres véhicules sur la route.
Adaptable/ajustable	Être adaptable à différents types de sol (sableux, argileux, terre noire) et à différentes cultures.
Précis	Effectuer les tâches demandées sans abîmer les cultures et augmenter la précision des opérations de production (ex. : désherbage).
Rentable	Le véhicule doit montrer sa rentabilité en permettant de diminuer et d'uniformiser les frais d'opération et de main-d'œuvre.
Autonome	Ex. : 12 heures de travail sans recharge.

Transportable	Le véhicule doit être déplaçable, car il y a des terres à différents emplacements.
Ne pas interférer	Ne doit pas faire d'interférence avec les GPS sur les tracteurs.
Fiable	Qui ne brise pas.
Contrôlable	Pouvoir avoir un contrôle à distance en tout temps s'il arrive quelque chose dans le champ.

4.1.5 Les perceptions positives et négatives à l'égard du véhicule autonome

En général, les agriculteurs ont une perception positive de l'automatisation de la machinerie agricole. Cette technologie est vue comme un avancement et comme une réponse aux enjeux qui traversent le monde agricole moderne, soit la pénurie de main-d'œuvre et de main-d'œuvre qualifiée, la qualité de l'environnement et les changements climatiques.

> *« Les robots vont me permettre d'uniformiser le travail et les opérations de production. Puis, ultimement, mon coût de production »*. (REP 6)

> *« J'envisage l'arrivée des robots positivement, nous sommes rendus là. La robotisation est de plus en plus accessible. C'est inévitable que ça va arriver en agriculture et en plus nos besoins en main-d'œuvre sont chaque année plus durs à combler ».* (REP1)

> *« L'arrivée des robots ça ne m'inquiète pas, car ils vont permettre à des agriculteurs de garder leur ferme à défaut de ne pas avoir de main-d'œuvre ou de relève. En plus, ça diminue beaucoup la pollution ».* (REP9)

De plus, l'utilisation de véhicule autonome est perçue comme une réponse aux conditions de travail exigeantes qui sont associées au métier d'agriculteur.

> *« Je vais faire faire d'autres tâches moins exigeantes et ennuyeuses à mes employés ».* (REP5)

Puis, plusieurs perçoivent l'achat du véhicule autonome comme une solution pour leur permettre de gagner du temps. Néanmoins, le temps sauvé ne sera pas automatiquement pris en vacances, mais ils l'utiliseront différemment, comme pour diversifier leur entreprise et pour augmenter sa rentabilité.

> *« Avec le temps sauvé, je vais améliorer ma production pour augmenter mes revenus et par la suite prendre des vacances ».* (REP4)

> *« Avec le robot je ne vais pas avoir de misère à prendre des vacances, mais en même temps il ne faut pas ralentir ».* (REP8)

Bien que la plupart des agriculteurs envisagent positivement l'arrivée des véhicules autonomes en agriculture, ils n'en ont pas pour autant une confiance absolue. Au contraire, les résultats révèlent que plusieurs incertitudes, liées à l'utilisation du véhicule, existent dans la communauté agricole.

D'abord, **l'entretien du véhicule** génère des craintes. Les agriculteurs sont des gens très manuels, qui réparent par eux-mêmes leur machinerie agricole. La nouvelle technologie utilisée dans le véhicule ne sera pas maîtrisée

par les agriculteurs. L'idée d'être dépendants des experts pour faire leur entretien génère des inconforts liés à la peur de perdre une certaine autonomie.

« Je ne veux pas dépendre de quelqu'un qui ne peut pas donner de service immédiatement ». (REP8)

La question de **la sécurité** a été soulevée par plusieurs agriculteurs qui s'inquiètent de laisser fonctionner seule une machine dans leurs champs.

« Une machine qui vaut 300 000 $, moi je ne suis pas prêt à laisser ça tout seul dans le champ ».
« S'il y a un capteur qui fait défaut et qu'elle ne détecte pas une personne ou un animal dans le champ, ça devient dangereux et c'est moi le responsable ». (REP7)

L'**autonomie** (sans conducteur) et la capacité énergétique du véhicule semblent en rendre certains perplexes

« Le robot ne pourra pas tout faire, nous devrons tout de même passer un ou deux coups de sarcloir, car tout faire seul lui demanderait trop d'énergie ». (REP1)

« Si le robot bourre, brise ou reste coincé quelque part, il n'y a personne, pas d'opérateur pour réagir au problème rapidement ». (REP7)

« Je vois ça positivement les robots, mais de façon générale je ne lui ferais pas confiance, car je ne fais pas confiance aux voitures qui se conduisent toutes seules comme les Tesla ». (REP4)

« L'obstacle, ça va être de déterminer quelle tâche on laisse le robot faire tout seul sans opérateur. Je ne pense pas qu'il va y en avoir beaucoup, car même avec des opérateurs qui supervisent mes robots, il y a du dommage. Il faut qu'il soit ajusté parfaitement. Au début ça va être dur de gagner la confiance des agriculteurs ». (REP5)

Puis, la **transformation du rôle du producteur agricole** et la redéfinition de son travail par l'utilisation d'une telle technologie semblent aussi soulever des inquiétudes chez certains producteurs.

« Le grand défi sera la perception de travailler avec des robots au lieu qu'avec des humains. Moi, j'aime travailler avec les gens, avoir le contact humain. Il n'est pas certain que je vais apprécier les interactions avec le robot autant qu'avec des humains. Mais le problème de main-d'œuvre fait qu'on n'aura pas le choix de les utiliser les robots ». (REP5)

4.1.6 Les impacts du tracteur autonome sur les différents aspects de la vie de l'agriculteur

Les résultats des entrevues ont également permis d'identifier les impacts potentiels de l'utilisation du tracteur autonome sur la vie et l'environnement de travail des agriculteurs (tableau 7).

Tableau 7

Les impacts potentiels de l'utilisation du tracteur autonome

Aspects impactés	Impacts potentiels
Qualité de vie du producteur	– Soulagement par la diminution de l'intensité du travail. – Diminution de la pollution sonore (par la machinerie agricole). – Diminution du stress. – Diminution des tâches pénibles à réaliser. – Plus grande liberté pour l'agriculteur qui n'a plus besoin d'être dans le champ, car il peut suivre le véhicule à distance.
Contact humain	– Perte au niveau des relations interpersonnelles entre le propriétaire et ses employés. Avec le véhicule autonome ils passeront d'une relation de nature organique (homme-homme) à fonctionnelle (homme-technologie).
Métier d'agriculteur	– Perte de **compétences** et de connaissances **agronomiques** et environnementales. – Perte de **compétences techniques** qui sont liées au fait de ne plus effectuer certaines tâches de production (conduite de tracteur, sarclage mécanique, semis, etc.) qui demandent un talent qui s'acquiert avec l'expérience et le temps. – Perte d'autonomie par rapport à l'entretien de la machinerie et de l'équipement. – Perte potentielle de la vision d'ensemble de leur production, car ils iront moins souvent dans leurs champs.
Rentabilité de l'entreprise	– Diminution des coûts de main-d'œuvre et d'opération. – Précision dans les opérations et une meilleure connaissance des coûts de production. – Uniformiser les coûts de production. – Uniformiser la réalisation des tâches de production. – Effectuer des tâches hâtives au moment où la machinerie lourde ne peut pas (ex. : conditions humides, la nuit, forts vents).
Qualité de l'environnement	– Utilisation d'énergie renouvelable. – Diminution des problèmes de compaction des sols. – Conservation de la structure et de la qualité des sols.
Qualité des cultures	– Amélioration de la performance au niveau de la phytoprotection (ravageurs, maladies, mauvaises herbes, etc.) et donc inévitablement des rendements).
Prises de décision	– Amélioration de la rapidité des prises de décision et diminution de leurs coûts (ex. : si le véhicule autonome vient avec la possibilité d'analyser des données en temps réel, plus besoin d'envoyer au labo, il est tout-en-un).

4.2 Les résultats des groupes de discussion

Cette section présente les résultats obtenus à la suite des deux groupes de discussion réalisés avec les agriculteurs, les ingénieurs de l'IVI et notre partenaire ELMEC. Il sera notamment question des facteurs de sabotage du désherbage, des informations contenues dans les fiches techniques et des prototypes virtuels du tracteur autonome.

4.2.1 Facteurs de sabotage

Les discussions autour des éléments de sabotage ont permis à l'équipe de chercheurs de bien comprendre l'environnement de travail dans lequel évolue le producteur maraîcher et de documenter les défis reliés à une de ses tâches les plus pénibles, soit le désherbage. Le tableau 8 propose une synthèse des discussions à propos des facteurs de sabotage.

Tableau 8
Synthèse des facteurs susceptibles de saboter une journée de désherbage

Catégorie	Récurrence	Synthèse des facteurs de sabotage du désherbage
Météo	7	Conditions météorologiques trop humides (ou trop chaudes)
Mécanique	6	Bourrage des sarcleurs, bris mécanique, mauvais ajustement
Environnement	6	Élément de l'environnement irritant (roches, topographie, sol, MH, etc.)
Temps	5	Fenêtre de temps très courte pour faire le désherbage dans tous les champs / stade des mauvaises hernes dépassé
Humain	4	Erreur humaine (inattention, manque de précision, oubli, etc.)
Cultural	2	Mauvaise levée du semis et densité des mauvaises herbes
Phytoprotection	1	Les délais (avant et après) l'arrosage de pesticides : ne peut pas entrer dans le champ

4.2.2 Coconstruction des fiches techniques préliminaires du véhicule

Les deux équipes d'agriculteurs ont bâti respectivement deux fiches techniques en associant des valeurs précises à des critères techniques nécessaires pour orienter la conception du véhicule. Dans les tableaux 9 et 10, les résultats sont présentés en différenciant les propos amenés par les petits producteurs des gros producteurs.

Tableau 9
Fiche 1, le robot I-WEED

Critères techniques	Valeurs et justifications (petits producteurs)	Valeurs et justifications (gros producteurs)
Puissance du tracteur (hp)	– **15-20 hp,** car pas d'outils durs à traîner et ils travaillent 1 planche à la fois. – 15 à 20 hp par planche.	– **50-70 hp**, parce que besoin de faire plus d'une planche à la fois (ex. : 6 rangs/30 pi). – Besoin de 50 à 70 hp s'il y a un outil à tirer ou si plus d'une planche (ex. : avec 60 hp, possible de sarcler 4 rangs de pomme de terre au 36 po).
Vitesse maximale (km/h) (déplacement seulement, sans charge)	– 15 km/h, mais rarement utilisé.	– 30 km/h entre les champs et jusqu'à 50 km/h entre les champs de patate. – 50 km/h vitesse de transport.
Vitesse maximale (km/h) (lors de tâches agricoles)	– 12-13 km/h en travail.	– 12-13 km/h en travail.
Masse du tracteur (sans « ballasts »)	– Un tracteur de 1 000 lb (10 forces) c'est correct pour un petit producteur. – L'important c'est qu'il soit stable.	– 2-3 tonnes c'est correct. L'important est qu'il soit stable.
Ajout de masse possible? (ballasts)	– Oui, dans la culture diversifiée.	
Masse totale incluant les ballasts	– 1 000 lb, ok, mais dépend de la stabilité. – Pas trop lourd, mais il ne faut pas qu'il glisse.	
Dégagement par rapport au sol	– Minimum : 20 po, car il y a des buttes : brocoli et chou-fleur ont besoin de 3 pi de dégagement. – Maximum : 27-30 po.	– Minimum : 20 po, car il y a des buttes : brocoli et chou-fleur ont besoin de 3 pi de dégagement. – Maximum : 27-30 po.
2WD ou 4WD?	– 2WD s'il n'y a pas de pente. – Tout dépend de la performance.	– 4WD, c'est plus facile à diriger et plus précis, mais plus cher.
Roues ou chenilles?	– Roues, car c'est moins cher.	– Chenilles même si c'est plus cher, car chenilles ont une bonne portance. Par contre, elles nécessitent plus d'entretien, mais sont plus durables. – Largeur : 12 po. – Écrase les feuilles?

Distance pour tourner au bout du champ	– Les producteurs ont 15-20 pi de jeu pour tourner au bout du champ.	
Largeur des pneus	– 8 po, car permet plus de jeu, d'ajustements et de flexibilité.	– 13-14 po.
Avec ou sans PTO?	– Hydraulique de base, car c'est plus économique. – Le PTO optionnel, si outil rotatif. – Pompe hydraulique indépendante + PTO, si plus de rang.	– Hydraulique de base, car c'est plus économique. – Le PTO optionnel, si outil rotatif. – Pompe hydraulique indépendante + PTO, si plus de rang.
Puissance au PTO (hp)	– Va avec la puissance du tracteur. – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler.	– Va avec la puissance du tracteur. – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler.
Avec ou sans attache 3 points?	– Non, car un 3 points : complique la mécanique, mais si c'est pour arroser (par ex.) pas le choix. – Oui, si l'outil est ventral, il faut quelque chose qui travaille derrière les roues, qui permet de tourner plus facilement.	– Non, pas besoin. Barre avec cylindre correct pour mettre quelque chose derrière les roues (drawbar). – Oui, si l'outil est ventral, il faut quelque chose qui travaille derrière les roues, qui permet de tourner plus facilement.
Catégorie d'attache 3 points (I, II, III…)	– II + adaptateur. – Standard qui va avec la force du tracteur.	– II + adaptateur. – Standard qui va avec la force du tracteur.
Avec ou sans « drawbar »?	– Non, pas besoin sur un sarcleur et si je mets quelque chose derrière, quand ça tourne ça se complique! Il faut un outil central plus qu'un outil tiré : plus facile, plus précis, porte-outil, prend un bon dégagement. – Difficile à naviguer avec un drawbar, compliqué.	– Non, pas besoin sur un sarcleur et si je mets quelque chose derrière, quand ça tourne ça se complique! Il faut un outil central plus qu'un outil tiré : plus facile, plus précis, porte-outil, prend un bon dégagement. – Difficile à naviguer avec un drawbar, compliqué.
Catégorie de « drawbar » (I, II, III…)	–	–
Type de direction (roues avant, articulées, roues arrière, « track steer », etc.)	– 4 roues multidirectionnelles de style « monster truck » afin de pouvoir tourner plus serré et non en crabe.	– 4 roues multidirectionnelles de style qui ont une suspension indépendante aux 4 roues afin de pouvoir tourner plus serré et non en crabe.

Peut fonctionner la nuit?	– Non, car sarcler la nuit ne tue pas la mauvaise herbe. – Pas confiance de le laisser seul 24 h/24 h. – Entre 9 h-18 h = meilleures heures pour désherber. – Bon de fonctionner la nuit au début du stade de croissance de la mauvaise herbe.	– Oui, pour faire le dépistage et l'arrosage.
Hybride avec diesel, essence ou autre?	– Hybride comme le système de la Volt, mais 2 systèmes = deux fois plus de problèmes.	– Hybride comme le système de la Volt, mais 2 systèmes = deux fois plus de problèmes.
Capacité du réservoir	– 8 h minimum, mais dépend du hp.	– 8 h minimum, mais dépend du hp.
Dégagement de l'essieu ajustable?	– Outil ajustable, pas le tracteur. Aucun tracteur ne s'ajuste sur le marché, mais la barre d'outils peut être ajustable.	– Outil ajustable, pas le tracteur. Aucun tracteur ne s'ajuste sur le marché, mais la barre d'outils peut être ajustable.

Tableau 10

Fiche 2, le robot AUTO-HOMME

Critères techniques	Valeurs et justifications (petits producteurs)	Valeurs et justifications (gros producteurs)
Puissance du tracteur (hp)	– **12-30 hp.** – L'outil tiré changera la puissance nécessaire. – 1 hp par dent en « s ». – 5-10 hp pour renchausser. – 30 hp : planche par planche si 3 planches, pas nécessairement les 3 planches qui sont de la même culture.	– **60-100 hp.** – Si le robot est très large et fait toute la même culture. Parfois, il faut que ce soit vite (jours/température) nécessite plus de puissance.
Vitesse maximale (km/h) (déplacement seulement, sans charge)	– 15 à 20 km/h : hors champ.	– 15 à 20 km/h : hors champ.
Vitesse maximale (km/h) (lors de tâches agricoles)	– 4-5 km/h avec une transmission hydraulique. – 2 km/h pour du travail de précision (ex. : laitue). – S'il renchausse en même temps qu'il désherbe, il doit aller assez vite.	– Entre 4 et 10 km/h 6 km/h, c'est l'idéal. – 2 km/h pour la précision.
Masse du tracteur (sans ''ballasts'')	– Le plus léger possible pour éviter la compaction.	– Le plus léger possible pour éviter la compaction.
Ajout de masse possible ? (ballasts)	– Oui, pour ajuster la répartition du poids avec l'équipement.	– Plus ou moins pertinent.
Masse totale incluant les ballasts	–	–
Dégagement par rapport au sol	– 18 po de dégagement minimal et 30 po de dégagement maximal. – Ajustable sur commande ou en temps réel.	– 18 po de dégagement minimal et 30 po de dégagement maximal. – Ajustable sur commande ou en temps réel.
2WD ou 4WD?	– 4WD : lorsque le sarcleur est tiré. – 2WD : lorsque le sarcleur est ventral. – Ne mettrait pas 5 000 $ pour un 4WD. – 2 roues ou 4 roues directionnelles	– 4WD ou 2WD si le sarcleur est ventral.

Roues ou chenilles?	– 4 chenilles motrices. – Les deux? Chenilles = plus chère, mais porte mieux. – Chenilles font moins de compaction et ne font pas de bourrelets.	– 4 chenilles motrices. – Pourraient être optionnelles.
Distance pour tourner au bout du champ		
Largeur des pneus	– 9 à 12 po, max 14 po	– 9 à 12 po, max 14 po
Avec ou sans PTO?	– Pompe hydraulique pour la sécurité (PTO = dangereux) et c'est facile à ajuster (vitesse de rotation), mais risques de fuites d'huile.	– Pompe hydraulique, c'est plus sécuritaire, plus facile à ajuster, mais risques de fuites d'huile. – PTO : plus dangereux. – Électrique?
Puissance au PTO (hp)	– Va avec la puissance du tracteur. – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler.	– Va avec la puissance du tracteur. – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler.
Avec ou sans attache 3 points?	– Dois être adaptable à la machinerie actuelle.	– Bon d'avoir machine dessous et derrière. – Peut-être mieux dessous si autonome, car plus t'es loin du centre, plus c'est difficile d'être précis. – Faut que ça « fit » avec la machinerie qu'ils ont actuellement.
Catégorie d'attache 3 points (I, II, III…)	– II, ça va avec la puissance.	– II, ça va avec la puissance.
Avec ou sans « drawbar »?	– Toujours sur 3 points pour désherber, sinon ça bouge trop.	– Toujours sur 3 points pour désherber, sinon ça bouge trop.
Catégorie de « drawbar » (I, II, III…)	–	–
Type de direction (roues avant, articulées, roues arrière, « track steer », etc.)	– Si outils dessous : 2 roues directionnelles. – Dans le meilleur des mondes : les 4 roues virent. Comme la tondeuse qui tourne sur elle-même.	– Dans le meilleur des mondes : les 4 roues virent. Comme la tondeuse qui tourne sur elle-même.

Peut fonctionner la nuit?	– Non, pas confiance.	– Oui, 24 h/24 h pour avoir une plus grande fenêtre de temps. – Si 24 h : on pourrait avoir plusieurs petits robots. – Il faudrait une alarme.
Hybride avec diesel, essence ou autre?	– Si électrique, il faut une boîte de batteries de rechange.	– Si électrique, il faut une boîte de batteries de rechange.
Capacité du réservoir	– Autonomie de 8 h à 10 h. Il doit faire une journée.	– Autonomie de 8 h à 10 h. Il doit faire une journée.

Le premier atelier de réflexion aura permis de comprendre comment les producteurs maraîchers imaginent le tracteur en termes de chiffres (grosseur, dimension de pneus, puissance, etc.) De plus, l'exercice participatif des fiches techniques a fait émerger l'idée d'orienter la conception du tracteur autonome vers le développement d'une flotte de plusieurs petits tracteurs au lieu d'un seul véhicule de grande taille. Aussi la rencontre a montré que les agriculteurs aiment bien adapter leurs machines pour des utilisations très spécifiques. Par conséquent, le tracteur autonome devra être facilement réparable et modifiable. Les résultats ont également apporté un éclairage sur les principales causes de sabotage lors de l'exécution de la tâche de désherbage. Puis, les constats ressortant du questionnaire (Annexe 4) ont permis d'obtenir des compléments d'information sur les sources d'énergie disponibles, les dimensions des champs, l'équipement utilisé, etc. Tous ces éléments techniques nécessiteront des considérations additionnelles au moment de la conception. Au final, l'atelier a donné un reflet de l'environnement dans lequel évolue le producteur maraîcher et celui dans lequel évoluera le futur tracteur.

Dans le but de pousser plus loin la réflexion et de valider les informations captées depuis le début du projet, un deuxième atelier de réflexion a été organisé. Cette rencontre visait à présenter et valider aux producteurs les spécifications préliminaires de conception élaborées en regard des résultats du premier atelier de réflexion. Aussi, lors de cette journée, des idées de concepts visuels de tracteur autonome leur ont été présentées afin d'obtenir une rétroaction en temps réel et de s'assurer que l'IVI allait dans la bonne direction.

Les fonctions spécifiques et générales de l'arbre fonctionnel a fait l'objet de la première partie de la discussion (figure 4).

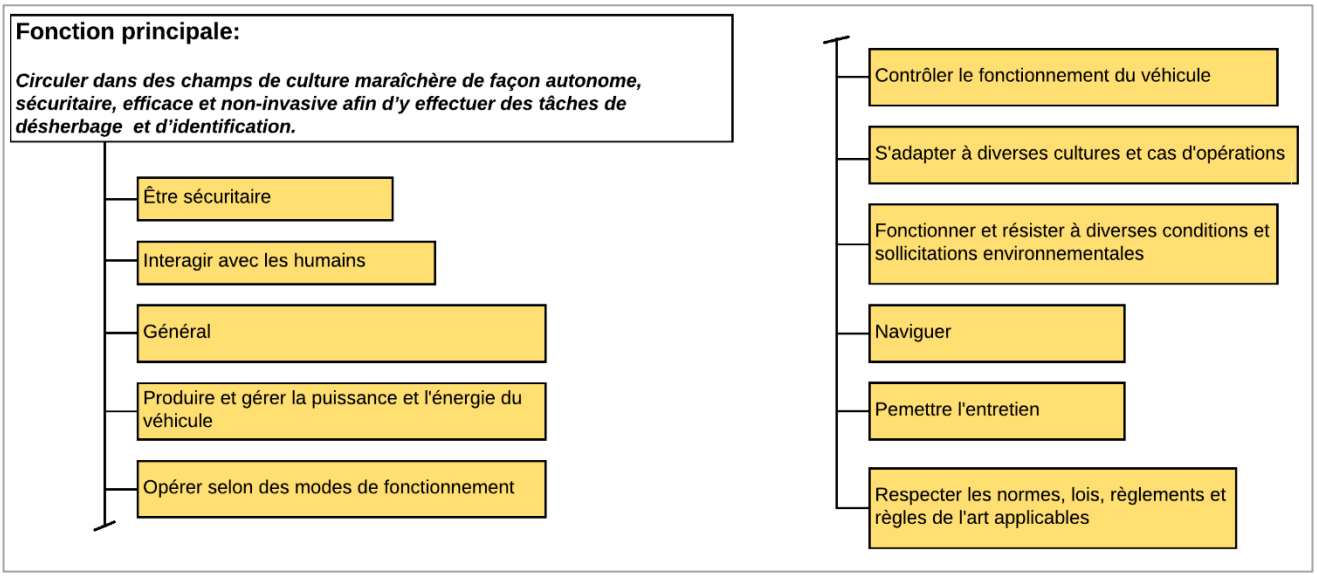


Fig. 4 – *Exemple de fonctions de l'arbre fonctionnel*

Une des fonctions principales à considérer est celle de l'interaction avec les humains. En effet, plusieurs personnes graviteront directement ou indirectement autour du tracteur. Par exemple, il pourrait y avoir un superviseur ou un agriculteur à distance, un agriculteur formé à proximité du véhicule, des membres de la famille, des visiteurs et d'autres personnes non formées à proximité; il peut y avoir tout simplement des curieux qui observent le tracteur et il peut aussi y avoir une interaction avec de l'assistance technique, soit à proximité ou à distance. Comme tous ces éléments viennent influencer la conception du tracteur, des exemples de scénarios d'utilisation du véhicule ont été présentés aux agriculteurs (figure 5).

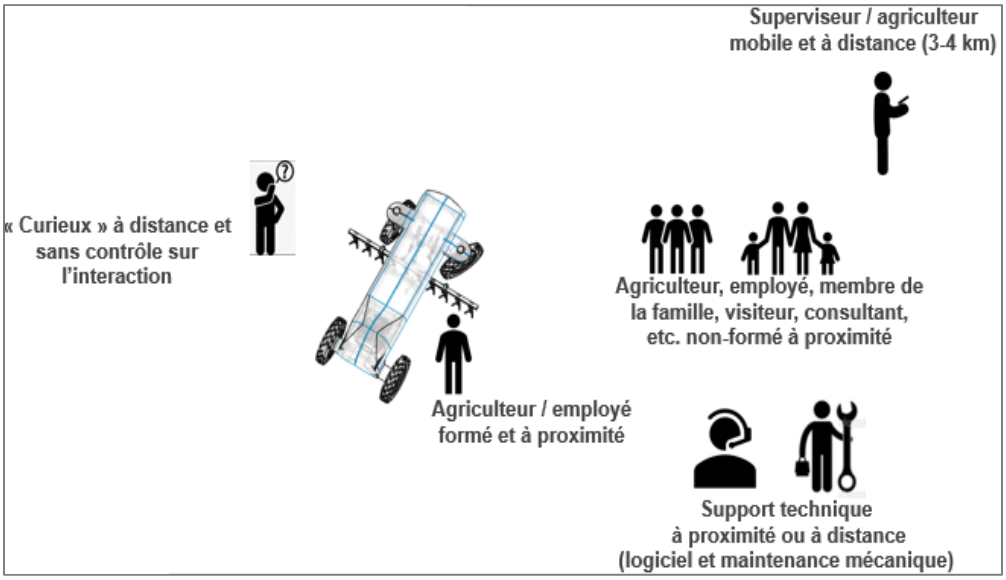


Fig. 5 – *Scénarios d'utilisation du véhicule en interaction avec différentes personnes*

L'équipe de chercheurs de l'IVI a également présenté aux agriculteurs comment l'interaction entre les humains et plusieurs robots pourrait être faite et vérifiée à la ferme (figure 6).

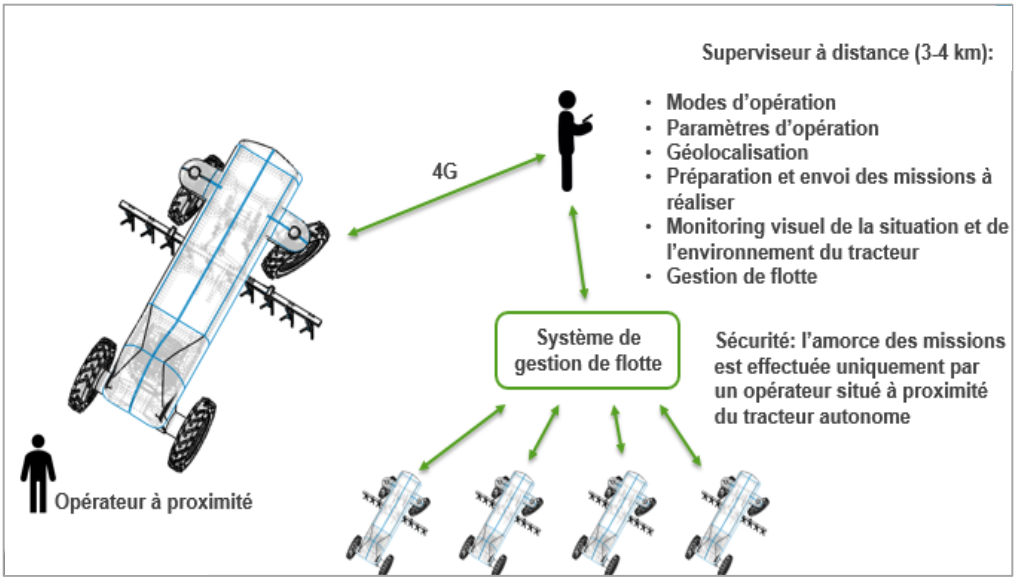


Fig. 6 – *Stratégie d'interaction avec les humains à distance*

Aussi, de nombreux aspects liés à la sécurité, qui seront considérés au moment de la conception, ont été validés et bonifiés avec les agriculteurs (figure 7).

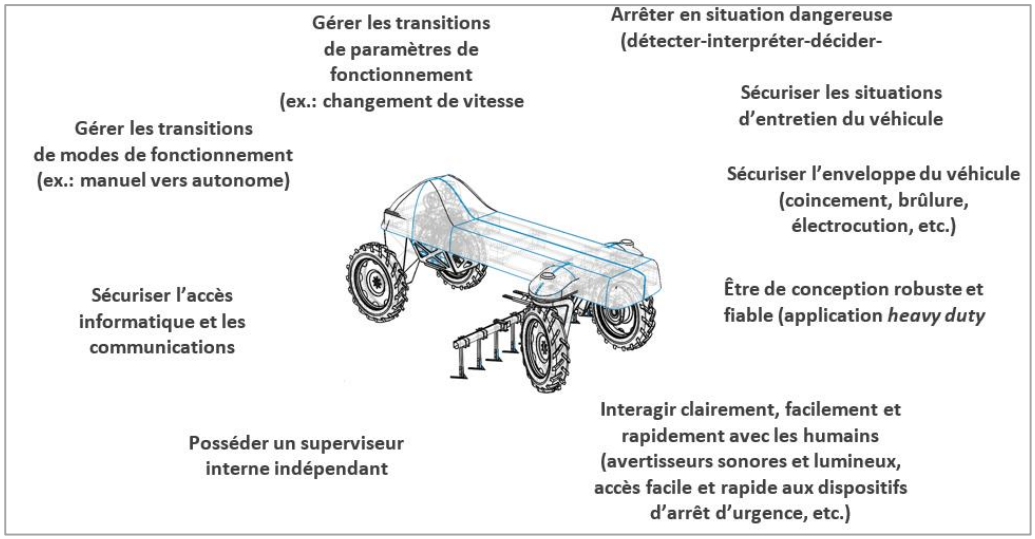


Fig. 7 – *Aspects de sécurité à considérer pour la conception du tracteur autonome*

Enfin, deux concepts visuels du prototype du tracteur autonome (figure 8) ont été soumis aux agriculteurs pour obtenir leur opinion et voir comment ces premiers modèles pourraient être optimisés.

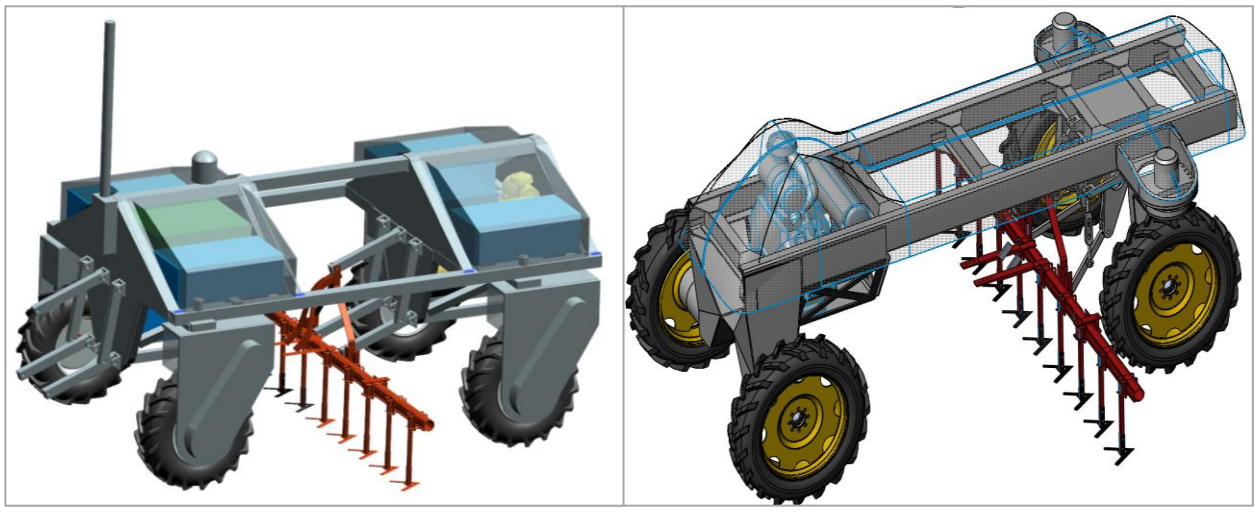


Fig. 8 – *Les deux concepts visuels du prototype du tracteur autonome à la phase de préconception*

La totalité des échanges et éléments de discussion entre les agriculteurs, l'équipe de chercheurs du CISA et de l'IVI et le partenaire ELMEC est disponible à l'ANNEXE 5.

5. CONSTATS MAJEURS RESSORTANT DU PROJET DE RECHERCHE

5.1 La production maraîchère : une cible de vente idéale pour le tracteur autonome

Les résultats des entrevues individuelles ont fait ressortir la production maraîchère comme étant le type de production idéal pour l'utilisation d'un tracteur autonome. Trois informations importantes gouvernent ce choix :

- Le nombre d'hectares par employé dans les cultures maraîchères observées est d'environ 4 ha/employé (795 hectares pour 205 employés) en comparaison de 112 ha/employé dans les grandes cultures (3 700 hectares pour 33 employés). Réduire le coût de la main-d'œuvre sera donc plus facilement atteignable dans ce secteur.
- La production maraîchère est celle qui exécute le plus de tâches manuelles et considérées pénibles. Par exemple, pour une ferme d'une superficie de 384 ha, les 90 employés passent 50 % de leur temps à désherber à la main. Cette dépense est estimée à 245 $/ha, soit l'équivalent de 94 080 $ par année (15 % des coûts totaux de l'entreprise).
- La valeur moyenne par hectare des cultures maraîchères est très élevée, environ 20 000 $/ha pour les cultures observées, comparativement à 3 000 $/ha dans les grandes cultures. Avoir un bon rendement a donc une grande importance et investir dans un véhicule autonome qui permet d'augmenter celui-ci sera plus logique financièrement.
- Les rendements et les pertes dans le secteur maraîcher dépendent en grande partie d'éléments contrôlables ou au moins détectables par le véhicule autonome : qualité du désherbage, carences, maladies, insectes.

5.2 Le désherbage comme fonction prioritaire

Les résultats de cette étude ont révélé que l'enjeu réel pour la conception du tracteur autonome est d'atteindre un niveau de précision élevé de désherbage (le super sarcleur) ce qui permettrait aux agriculteurs d'optimiser leur rendement de production. Le tracteur autonome pourrait être doté d'un outil de désherbage ventral au lieu d'un outil tiré. Un outil ventral a plusieurs avantages, soit d'être plus facile à opérer et plus précis dans ses opérations de désherbage.

5.3 Le grand défi : l'ajustement en temps réel

À la lumière des discussions avec les agriculteurs, un des plus grands défis de conceptualisation sera la capacité d'ajustement instantané du tracteur face aux différentes variations et complications possibles dans les champs (ex. : le bourrage, le contact avec des objets ou des dépressions dans le sol et les bris mécaniques).

5.4 Les avantages d'une flotte de petits tracteurs autonomes

Selon les agriculteurs rencontrés, l'utilisation de plusieurs petits tracteurs autonomes (de force 30 hp, par ex.) au lieu d'un seul gros (de force 100 hp) comporte de nombreux avantages. En effet, une flotte de petits véhicules est moins dispendieuse par unité et donc plus accessible, plus facile à concevoir techniquement et plus facilement transportable (ex. : dans une boîte de camion). De plus, cette stratégie diminue les problèmes liés à la variation des espacements entre les rangs (ex. : 1 robot = 1 rang à la fois) et assure le producteur de

ne jamais tomber en panne à 100 % (ex. : si un producteur a dix robots et l'un tombe en panne, le producteur ne tombe pas à 0 % d'efficacité, mais a 90 %).

5.5 La sécurité avant tout

Un autre élément majeur qui est ressortie de l'étude est la gestion des risques reliée à la fonction autonome (sans conducteur) du véhicule. La majorité des répondants sont inconfortables à laisser le véhicule sans surveillance par peur qu'il s'endommage, se coince ou tombe en panne, et également, pour des questions de sécurité au champ et sur la route. De plus, ils ne sont pas tous prêts à laisser seule, une machinerie aussi dispendieuse. C'est pourquoi il sera incontournable pour le fabricant de démontrer aux producteurs agricoles la capacité autonome du véhicule en conditions réelles. Cette prémisse est nécessaire pour gagner leur confiance et abaisser leurs doutes face à l'arrivée de cette nouvelle technologie.

5.6 Le tracteur autonome n'est pas synonyme de vacances

La notion « temps » est un autre aspect important qui ressort de l'étude. Plusieurs mentionnent que l'achat du véhicule leur permettra de s'occuper à d'autres tâches, qui sont souvent mises de côté par manque de temps. Ainsi, le tracteur autonome ne diminuera pas nécessairement la charge de travail, mais en changera la nature. En effet, les agriculteurs sont des entrepreneurs et ils aiment travailler. Ils voient le véhicule comme un outil leur permettant d'optimiser le développement de leur entreprise tant au niveau technique, que de la mise en marché ou la gestion de la main-d'œuvre.

5.7 Une transformation partielle du métier d'agriculteur

De façon générale, les agriculteurs perçoivent positivement la venue du véhicule agricole autonome. Bien qu'ils soient conscients que cette nouvelle technologie améliora leur qualité de vie, en facilitant leur travail et la rentabilité de leur entreprise, les agriculteurs insistent sur l'importance de continuer à acquérir des compétences agronomiques nécessaires au développement de l'agriculture. De plus, comme les agriculteurs choisissent ce métier pour des raisons précises (ex. : le travail extérieur, le contact avec les animaux et les humains, l'exécution d'une variété de tâches manuelles), il est peu probable que le tracteur autonome en vienne à les remplacer complètement. Il agira plutôt comme un prolongement intégré de leur travail.

5.8 Les connaissances des agriculteurs, une source de savoir à valoriser

La contribution des agriculteurs à ce projet a permis de faire progresser rapidement la réflexion autour de la conception préliminaire du véhicule. Comme ils planifient, calculent, inventent, évaluent, gèrent et expérimentent constamment de nouvelles techniques et/ou technologies à la ferme, ces derniers détiennent de nombreux savoirs pratiques et des compétences qui doivent être utilisés et valorisés dans le développement d'innovation technologique.

6. RETOMBÉES DU PROJET

Le projet de recherche a généré un ensemble de retombées, à la fois sur le Centre d'innovation sociale en agriculture, l'Institut du véhicule innovant, le Cégep de Victoriaville, le Cégep de Saint-Jérôme et leur communauté d'étudiants et d'enseignants, sur le milieu utilisateur qui compte à la fois des agriculteurs, des intervenants et des chercheurs ainsi que sur l'entreprise ELMEC, qui commercialisera le produit final.

Les retombées pour le Cégep de Victoriaville et le CISA

- La diffusion des travaux de recherche et des résultats positifs du projet a apporté un rayonnement et une visibilité importante pour le Cégep de Victoriaville et le CISA.
- Les résultats pourront être utilisés comme une base de réflexion pour le MAPAQ si ce dernier décidait de mettre en place une stratégie d'aide à la transition technologique destinée aux producteurs agricoles qui adoptent ce genre d'innovation.
- Développement de la capacité de recherche des enseignants du Cégep.
- Élargissement du réseau de partenariat avec d'autres collèges en innovation technologique de la province.
- Consolidation des compétences de l'équipe du CISA dans l'axe de recherche portant sur le numérique en agriculture et sur les technologies de robotisation agricole.
- Développement d'expertise du CISA sur sa démarche d'innovation sociale impliquant les usagers finaux d'une technologie à concevoir.
- Amélioration de l'offre de service du CISA en lien avec les relations qu'entretiennent les agriculteurs avec les nouvelles technologies robotiques en agriculture.
- Offre d'activités d'information et de formation en lien avec les véhicules électriques autonomes destinés au secteur maraîcher.

Les retombées pour le Cégep de Saint-Jérôme et l'IVI

- Appropriation d'une première démarche d'innovation sociale transposable dans d'autres projets de l'IVI qui touchent les innovations de rupture.
- Intégration d'une méthode d'analyse de risques techniques tenant compte des perceptions, de l'expérience et de l'expertise des utilisateurs finaux.
- Élargissement du réseau de partenariat avec d'autres collèges en innovation sociale de la province.
- Offre d'activités d'information et de formation en lien avec les véhicules électriques autonomes destinés au secteur maraîcher.
- Faire connaître le leadership et l'expertise de l'IVI pour le développement d'un tracteur autonome sarcleur.
- Établissement de liens entre l'IVI et des agriculteurs permettant des acquisitions de données pertinentes pour le développement de produits agricoles.

Retombées sur l'enseignement et la formation

- Perfectionnement des compétences en recherche appliquée en innovation sociale de Philippe Frank-Imbeault, enseignant du programme d'agriculture maraîchère biologique.
- Perfectionnement des compétences de M. Sebastien Demers en sécurité des véhicules autonomes et en analyse de risques, enseignant au Cégep de Saint-Jérôme.
- Présentation à l'automne 2018 du prototype virtuel du véhicule et transmission des connaissances acquises dans le projet dans un cours du programme « Production légumière et fruitière biologique » du Cégep de Victoriaville.

- Présentation par Philippe Franck-Imbeault des résultats du projet aux étudiants de la formation en « production maraîchère biologique » qui se donne au Cégep de Victoriaville.
- Initiation à la recherche pour une étudiante du Cégep de Victoriaville du programme de production légumière et fruitière biologique qui a été embauchée pour une durée de 140 heures durant la période d'automne 2016 et d'hiver 2017. Elle a participé à la conceptualisation et l'analyse des deux groupes de discussion.
- Participation d'un étudiant du Cégep de Saint-Jérôme à la démarche de conception préliminaire (génération de concepts et modélisation 3D) d'un véhicule agricole autonome et hybride.
- Participation des étudiants et des enseignants à la réalisation des stratégies de transfert et de diffusion des connaissances générées par le projet.
- Visites d'installations de l'IVI et d'ELMEC par des étudiantes du Cégep de Victoriaville et du Cégep de Saint-Jérôme.

Retombées pour le partenaire, le milieu et la collectivité

- Intégration d'une démarche d'innovation sociale dans le mode de fonctionnement et de travail d'ELMEC.
- Réalisation d'un véhicule à valeur ajoutée qui répond de près aux besoins, valeurs et attitudes des producteurs maraîchers.
- Prise de décision plus éclairée pour le déploiement des stratégies de commercialisation d'ELMEC.
- Vente estimée d'un plus grand volume de véhicules autonomes par ELMEC aux producteurs maraîchers du Québec.
- Démystification de l'utilisation de véhicule électrique et autonome en agriculture.
- Bénéfices sur la qualité de vie des producteurs maraîchers qui seront libérés de certaines tâches de production pénibles (désherbage, application de pesticides et détection de maladies).
- Marge de profit plus grande pour les agriculteurs grâce à la réduction des coûts reliés à l'application des pesticides au champ et la détection de maladies.
- Valorisation de l'image de l'agriculteur escomptée.
- Accès à de nouvelles connaissances permettant de faciliter la mise en œuvre de projets d'innovation technologique en agriculture par l'implication active des agriculteurs.

7. STRATÉGIES ENVISAGÉES EN CE QUI A TRAIT AU TRANSFERT ET À LA DIFFUSION DES RÉSULTATS

Le CISA et l'IVI ont déployé une stratégie de transfert des connaissances qui visait deux objectifs, soit premièrement de susciter l'émergence d'apprentissage des approches en innovation sociale au profit de l'Institut du véhicule innovant (IVI) et d'ELMEC et, deuxièmement, de démystifier l'utilisation des véhicules électriques et autonomes en agriculture au moyen d'une vidéo promotionnelle.

Susciter l'appropriation des approches sociales au profit de l'innovation technologique

L'intégration d'un processus d'innovation sociale à un projet de conception technologique était une première expérience du genre pour l'équipe de l'IVI et d'ELMEC. Pour faciliter l'appropriation des approches et méthodes sociales, le CISA a employé une approche de recherche inclusive en collaborant étroitement avec l'IVI et ELMEC pour la création des outils de collecte et d'analyse des données. Cette interaction a permis aux deux partenaires technologiques d'internaliser la démarche d'innovation sociale proposée par le CISA, soit l'inclusion des savoirs des usagers finaux, c'est-à-dire les agriculteurs, dès le début de la démarche de conception technologique. L'acquisition de ses nouvelles compétences a impulsé un changement de pratique chez certains chercheurs de

l'IVI qui transposent maintenant la même méthodologie à travers d'autres projets innovants. Pour l'IVI, ce transfert de connaissances lui permet de répondre plus rapidement aux besoins de sa clientèle et de sa communauté d'utilisateurs.

Démystifier l'utilisation des véhicules électriques et autonomes en agriculture

Pour répondre au deuxième objectif, les nouvelles connaissances générées par ce projet de recherche ont d'abord été transférées aux étudiants gravitant autour du projet. Dans le cas du CISA, une étudiante du programme de production maraîchère biologique a été embauchée pour un cumulatif de 140 heures afin de participer aux activités de recherche et de collecte de données. Mme Sandrine Ducruc, chercheuse du CISA, a accompagné de près l'étudiante dans la réalisation de ses tâches en s'assurant que son expérience de travail soit positive et formatrice. Pour l'étudiant ayant travaillé de plus près avec l'IVI, celui-ci a eu l'occasion d'en apprendre plus sur les outils agricoles utilisés ainsi que d'apprendre des notions de base sur la mécanique des sols et l'interaction de celui-ci avec les pneus de tracteur. Les enseignants-chercheurs et les chargés de projet ont été les premiers à transférer les nouvelles connaissances. Ils ont présenté les résultats de la recherche dans les cours destinés aux étudiants en agriculture légumière et fruitière biologique des deux techniques agricoles du Cégep de Victoriaville. Au Cégep de Saint-Jérôme, les étudiants en techniques de génie mécanique ont été rencontrés dans leurs cours dans le but de présenter le projet afin de les intéresser sur les tracteurs agricoles autonomes. Ceci a permis d'intéresser les étudiants afin qu'ils postulent et puissent être sélectionnés pour un stage à l'IVI. Du côté de l'enseignement, la participation des deux enseignants-chercheurs aux activités des centres de recherche leur a permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans des champs d'expertise en adéquation avec leurs plans de cours. Ces derniers sont maintenant plus à jour sur les nouvelles technologies et les innovations en agriculture, ce qui facilite le partage d'expériences avec les étudiants.

Par la suite, le CISA et l'IVI ont collaboré avec l'entreprise DegréZéro pour la réalisation d'une vidéo promotionnelle du projet. Le premier objectif de cette production était de rendre les résultats de la recherche utiles et utilisables à un public agricole et industriel plus large. Il est prévu de partager la vidéo dans les différents réseaux d'information destinés au milieu agricole (agriculteurs, intervenants). Pour ce faire, le CISA attend collaborer étroitement avec le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) pour rassembler et diffuser les savoirs générés dans le projet. Cette stratégie vise à utiliser la vidéo promotionnelle comme outil pour faciliter l'appropriation des solutions technologiques proposées dans ce projet par les agriculteurs. La contribution et l'expertise du CRAAQ faciliteront la percée dans le milieu agricole et permettront d'atteindre notre public cible plus efficacement.

Au niveau de la recherche, la vidéo servira aussi de véhicule de transfert de connaissances destiné aux autres CCTT du Réseau Trans-tech dans le but de leur présenter les avantages de croiser, en simultanée, les expertises des domaines technologique et social en contexte d'innovation. La vidéo illustre les éléments suivants : 1) un exemple concret de croisement entre innovation sociale et technologique; 2) les avantages d'impliquer les usagers finaux dans la démarche de conception véhiculaire; 3) les capacités et fonctionnalités prévues du véhicule et 4) les progrès réalisés au Québec sur le développement des technologies de véhicules autonomes.

Stratégies de diffusion

La diffusion des résultats a été réalisée grâce à une stratégie de communication élaborée entre le CISA et l'IVI. Voici les divers canaux de diffusion qui seront privilégiés :

Internet : Les résultats du projet ont été publiés sur les sites Web et la page Facebook du CISA et du Cégep de Victoriaville, de l'IVI et d'ELMEC. Dans les mois à venir, il est prévu de diffuser la vidéo sur les sites Web du Réseau Trans-tech, des associations d'agriculteurs maraîchers et sur le site d'Agri-Réseau et du CRAAQ qui diffusent de l'information de pointe auprès des entreprises et des professionnels de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

Présentations et colloques : La diffusion auprès des étudiants et des enseignants s'est réalisée par le biais de présentations du projet dans les cours de *Gestion des sols et environnement* et d'*Équipements agricoles et travail du sol* du programme de GTEA du Cégep de Victoriaville et lors de la fête des récoltes qui propose une plateforme d'échange entre les centres de recherche et les étudiants en agriculture.

Des présentations ont également été faites dans divers colloques. Marc-Antoine Legault, chercheur de l'IVI, a présenté les avancées du projet lors du Colloque agriculture numérique et robotique agricole tenu le 14 février 2018 à Drummondville. La présentation s'intitulait : *Développement d'un tracteur autonome sarcleur*. La chercheuse du CISA, Sandrine Ducruc, et le chercheur de l'IVI, Vincent Bordeleau, ont aussi donné conjointement une conférence sur les résultats de l'étude au 85^{e} Congrès de l'ACFAS à Montréal le 10 mai 2017 dans le colloque *Agronumériсus : que sera l'agriculture dans un monde numérique?* Le titre de la conférence s'intitulait : *Contribution de l'innovation sociale à la conception d'un tracteur autonome en agriculture* Conférence annuelle Mobilité électrique Canada- EV en mai 2017 et une présentation au CRAAQ qui aura lieu le 14 février 2018.

Publications : La diffusion des résultats s'est également fait au moyen de l'infolettre de l'IVI qui compte plus de 1 100 lecteurs. La fiche réalisation a également été incluse au site Web de l'IVI. Le CISA est présentement dans la rédaction d'un chapitre de livre intitulé : *Les contributions de l'innovation sociale à la cocréation d'un tracteur autonome sarcleur en agriculture : repères et perspectives futures*.

ELMEC a aussi joué un rôle important dans la diffusion des résultats par le biais de publications auprès de sa clientèle et de ses partenaires. Son président, Jean-Marc Pittet, a notamment participé au colloque : *L'agriculture 4.0 de demain : découvrir les nouvelles technologies pour révolutionner le monde agricole*, tenu le 16 novembre 2017 à Sherbrooke. Cet évènement avait pour but d'initier et sensibiliser les entreprises et agents de développement économique à l'importance des technologies 4.0 et autres technologies innovantes pour les régions du Québec.

8. CONCLUSION

Ce projet d'automatisation d'un véhicule agricole électrique a fait l'objet d'un partenariat inédit entre le Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA) et l'Institut du véhicule innovant (IVI). Les objectifs étaient d'identifier les types de production ciblés par le tracteur autonome, réaliser le portrait de l'ensemble des tâches actuelles de production, d'identifier les fonctions désirées et non désirées afin de réaliser un portrait qualitatif d'un robot souhaitable et de coconstruire le prototype virtuel du véhicule en réunissant dans une démarche participative et itérative les concepteurs de l'IVI, les agriculteurs et ELMEC. En outre, il s'agissait de sonder les conditions aptes à créer une relation de confiance entre les futurs utilisateurs, soit les producteurs agricoles, les concepteurs (IVI) et le fabricant.

Le CISA a créé une structure « inclusive » pour permettre aux experts des innovations sociales, technologiques et commerciales ainsi que les agriculteurs de croiser leurs savoirs tout au long de la démarche de recherche. Plusieurs moments d'échange et d'interaction ont été créés. Au total, c'est une vingtaine de producteurs et d'intervenants du secteur agricole qui ont participé aux entrevues individuelles, aux visites terrain ou aux groupes de discussion. L'ensemble des résultats a permis de dégager de nombreux constats qui guideront la conception de tracteur autonome.

Tout d'abord, la production maraîchère ressort comme la cible de vente idéale, car son mode de production l'oblige à devoir exécuter de nombreuses tâches manuelles, répétitives et astreignantes, qui sont exigeantes financièrement. Les échanges avec les agriculteurs ont aussi permis d'identifier six fonctionnalités souhaitées sur le véhicule. Deux semblaient faire particulièrement l'unanimité, soit d'être en mesure d'effectuer le désherbage et de réaliser des analyses de la santé des sols. Puis, toujours avec l'étroite contribution des agriculteurs, deux fiches techniques ont été bâties. Elles serviront à l'équipe d'IVI pour réaliser la conception véhiculaire.

De façon générale, les échanges ont révélé que cette technologie est majoritairement perçue de façon positive et comme un moyen d'améliorer la qualité de vie et la rentabilité des entreprises en agriculture. Néanmoins, pour être utilisable, le véhicule devra être polyvalent, simple d'utilisation, efficace, fiable, rentable et sécuritaire.

Cette étude nous a également montré que les producteurs agricoles maraîchers en circuit court semblent plus sensibles à l'opinion de leur clientèle et du reste de la société. Dans ce cas-ci, l'acceptabilité sociale pourrait influencer davantage leur choix de se procurer ou non un véhicule autonome. Cette question de l'acceptabilité sociale mériterait d'être approfondie. En effet, dans le cadre d'une autre étude, il serait pertinent d'enquêter cet aspect en questionnant directement les consommateurs sur leurs perceptions et leur niveau d'acceptabilité face à l'arrivée d'une technologie comme celle des tracteurs autonomes en agriculture.

Enfin, les deux équipes de recherche tirent des apprentissages de ce projet partenarial. L'approche de recherche, centrée sur les usagers, a apporté, de plusieurs manières, une valeur ajoutée au projet. Parmi ces apports, notons une expérience enrichissante sur le terrain qui a donné un exemple des tâches et des opérations effectuées par les agriculteurs au cours d'une année, des informations sur les outils et des

machineries agricoles et sur les conditions d'utilisation. Plus globalement, la participation des agriculteurs aux discussions entre ELMEC, l'IVI et le CISA et au processus de préconception a permis de rester très près de leurs besoins et de mieux connaître leurs réalités. Cette méthodologie répond aux exigences des projets comportant plusieurs innovations et possibilités, car elle permet aux chercheurs d'obtenir, dans un court laps de temps, un portrait plus juste de ce qui est a prioriser.

La compréhension des besoins des agriculteurs, désormais bien établie, l'équipe de projet pourra finaliser la documentation d'ingénierie, notamment avec l'acquisition de données sur un tracteur, puis poursuivra avec la conception préliminaire jusqu'à atteindre la démonstration sur les capacités de navigation du véhicule. Les tests terrain sont prévus à l'automne 2018 sur les terres agricoles du Cégep de Victoriaville.

ANNEXE 1

Résultats et analyse des entrevues individuelles

1. Les caractéristiques des entreprises agricoles rencontrées en entrevue

Le tableau 1 présente la fiche signalétique des entreprises agricoles interviewées. Au total, neuf exploitations, dont quatre en régie biologique et cinq en régie conventionnelle, ont été rencontrées. Parmi les fermes biologiques rejointes, deux sont en grandes cultures, une en production maraîchère et une en production laitière. Les entreprises conventionnelles, elles, comptent deux fermes en grandes cultures, deux en production maraîchère et une en production laitière. La plupart des exploitations ont des superficies allant au-delà des 600 hectares, à l'exception de la ferme maraîchère biologique et d'une des fermes en grande culture qui cultivent, respectivement, des surfaces de 65 et 200 hectares. Trois entreprises ont des superficies dépassant les 1000 hectares. Ces dernières fonctionnent avec des équipes de travail variant entre huit et vingt employés. De leur côté, les entreprises maraîchères conventionnelles sont celles comptant le plus de personnel. Par exemple, une d'entre elles embauche, chaque année, plus de 140 personnes pour la période estivale s'étalant d'avril à octobre. Puis, la longueur des parcelles cultivables varie entre 60 et 2 000 mètres. La durée d'autonomie énergétique du véhicule devra en tenir compte.

Tableau 1 : Les caractéristiques des entreprises agricoles enquêtées

Nom de code	Type de production	Régie de production	Superficie de l'exploitation	Grandeur parcelle max. (L x l)	Taille du cheptel	Nb d'employés temps plein
Rep1	Grande culture	Biologique	600 ha	1 600m x 360m	n/a	4
Rep2	Grande culture	Biologique	1900 ha	1 800m x 700m	n/a	20
Rep3	Laitière	Biologique	388 ha	Photo aérienne	130	4
Rep4	Laitière	Conventionnelle	1173 ha	2 000m x 500m	600	20
Rep5	Maraîchère	Conventionnelle	385 ha	1 000 m x 200m	n/a	140
Rep6	Maraîchère	Conventionnelle	345 ha	550m x 60m	n/a	60
Rep7	Grande culture	Conventionnelle	200 ha	189m x 600m	n/a	1
Rep8	Grande culture	Conventionnelle	1000 ha	1 000m x 300m	n/a	8
Rep9	Maraîchère	Biologique	60-65 ha	366m x 152m	n/a	5

1.1 Caractéristiques des types de production

Les résultats des entrevues individuelles ont permis de dégager un ensemble de caractéristiques liées aux types de production avec lesquelles le véhicule autonome devra composer lorsqu'il sera en action. La prochaine section abordera en profondeur les éléments suivants : 1) les types d'espacement des semences; 2) la variabilité de la taille des cultures; 2) l'estimation des gains optimaux et des pertes de rendement; 3) les tâches de production et 4) leur niveau de pénibilité perçu.

1.1.1 Types d'espacement des semences

Dans le cadre de ce projet, les types d'espacement des semences ont été étudiés (tableau 1). Ces données renseignent sur la particularité des déplacements et les types de mouvement que devra accomplir le véhicule lorsqu'il sera en opération au champ. Il est important de mentionner que ces données correspondent à de grosses fermes mécanisées. Des espacements différents entre les rangs et les plants sur le rang sont également utilisés sur d'autres fermes (petites et moyennes), surtout en maraîchage.

Tableau 2 : l'espacement des semences en fonction du type culture

	Type de culture	Écartement des rangs (po)	Espacement des plants sur le rang (po)
Grandes cultures	Maïs-grain	30	5-6
	Soya	7,5 ou 30	≤1
	Blé	7,5	collés
	Tournesol	30	5-6
Maraîchère	Poireaux	30	4-6
	Asperges	118	collés
	Laitue Iceberg	20	11
	Laitue romaine	20	10
	Carottes	8,9	2
	Oignons-Échalotes	10	2,5
	Radis chinois	20	6
	Brocolis	30	12
	Choux fleurs	30	12
	Maïs sucré	30	9
	Pois sucrés	30	collés
	Haricots secs	30	collés
	Pommes de terre	36	7-9
	Courges	72	20
	Melons	72	20

Les fermes rencontrées étaient toutes de grande taille et mécanisées avec des superficies de production étendues. Par conséquent, des espacements plus grands que sur des petites fermes non-mécanisées sont utilisés pour cultiver. L'écartement nécessaire entre les rangs varie selon les types de cultures. Par exemple, en grandes cultures, la majorité des céréales et oléagineux (soya)

sont semés à une distance de 30 pouces. Exceptionnellement, certains producteurs sèment le soya à 7,5 pouces surtout dans les régions moins productives (ex. Centre-du-Québec). En production maraîchère, les espacements les plus courants sont également aux 30 pouces et sont utilisés pour le chou-fleur, le brocoli, le maïs sucré, les pois sucrés, les haricots secs et les poireaux. Les asperges, elles, nécessitent davantage d'espace avec 118 pouces. En plus de l'écartement entre chaque rang, l'espacement des plants sur un même rang a aussi été enquêté. Les résultats montrent que les semences sont plantées à des distances variables, ce qui demandera au véhicule de pouvoir ajuster ses déplacements sur un même rang (mouvement transversal) (figure 1).

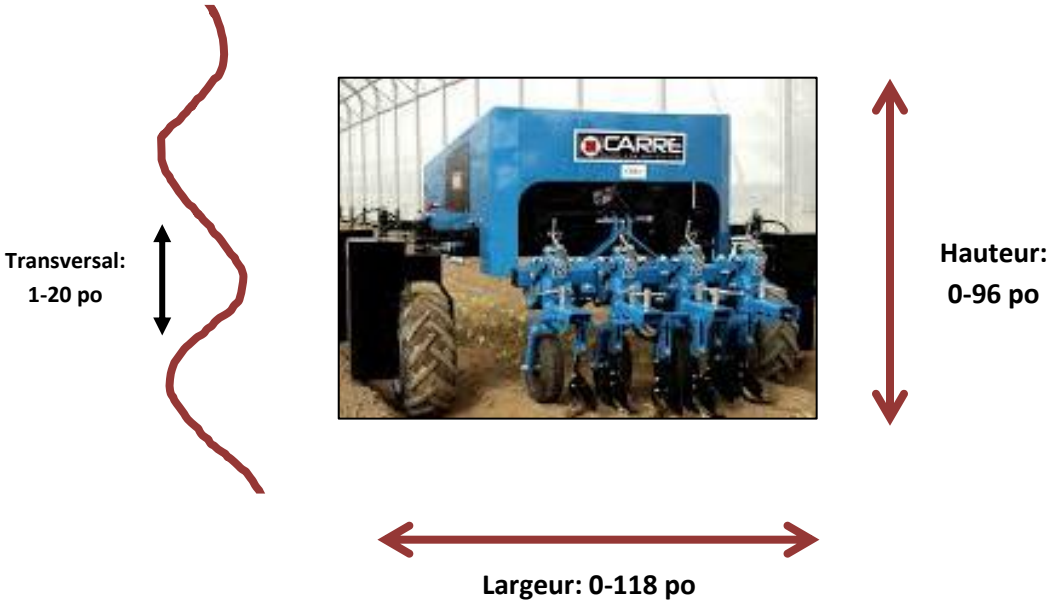


Figure 1 : La mobilité du véhicule général

1.1.2 La variabilité de la taille des plantes cultivées

La variabilité de la taille des plantes en fonction des types de cultures cultivées a été enquêtée.

Tableau 2 : variabilité de la taille des plantes cultivées

	Type de culture	Variabilité de la taille de la culture (po)
Grandes cultures	Maïs-grain	0-96
	Soya	0-36
	Blé	0-30
	Tournesol	0-96
Maraîchère	Poireaux	0-30
	Asperges	0-12
	Laitue Iceberg	0-9,6
	Laitue romaine	0-24
	Carottes	0-20
	Oignons-Échalotes	0-36
	Radis chinois	0-36
	Brocolis	0-28,8
	Choux fleurs	0-28,8
	Maïs sucré	0-846
	Pois sucrés	0-24
	Haricots secs	0-24
	Pommes de terre	0-36
	Courges	n/a
	Melons	n/a

Les résultats, illustrés dans le tableau 2, montrent qu'il existe une grande variabilité de la taille des plantes cultivées. Par exemple, en production maraîchère, le maïs sucré à maturité peut atteindre une hauteur de 84 pouces, plus de huit fois plus élevée que la laitue iceberg qui ne dépassera jamais plus de dix pouces. Ceci étant dit, le véhicule devra être en mesure d'ajuster sa mobilité sur le plan de la hauteur[1]. Dans plusieurs cultures, le désherbage (ou dans certains cas la circulation du tracteur dans les rangs) cesse lorsque les plants atteignent 3 pieds.

1.1.3 Estimation des gains optimaux et des pertes de rendements

Le tableau 3 renseigne sur les gains optimaux et les pertes de rendement par type de culture. Pour obtenir ces informations, les agriculteurs ont été interrogés sur le revenu optimal à l'hectare qu'ils tirent pour chacune de leur culture, le pourcentage moyen de perte lors d'une bonne et d'une mauvaise année de récolte ainsi que sur les causes de ces pertes. Les résultats montrent que les céréales et les légumes biologiques ont une valeur plus élevée à l'hectare, mais que la proportion des pertes de rendement est plus grande que dans les cultures conventionnelles. Les pertes sont, en grande partie, attribuables à un mauvais désherbage, à des carences nutritives ou à des insectes ravageurs. De leur côté, les revenus provenant des cultures conventionnelles sont plus

[1] Pour plus d'info sur les hauteurs maximales des légumes, il est possible de consulter les catalogues de semences de Johnny's Selected Seeds (gros semencier), High Mowing (semences bio), ou William Dam.

stables, bien que les épisodes de mauvais temps, les ravages d'animaux ou d'insectes, ainsi que les maladies sont des éléments pouvant affecter leur rendement.

Tableau 3 : Gains optimaux et pertes de rendement par types de culture

	Type de culture	Gain optimal ($/ha)		Proportion et causes des pertes de rendement	
		Bio.	Conv.	Bio.	Conv.
Grandes cultures	Maïs-grain	3000-5000	2000-3000	20-40 % : Mauvais désherbage, sécheresse, surplus d'eau, compaction et gel hâtif.	5-15 % : Perte batteuse, chevreuils, température
	Soya	2000-4000	1700-2000	15-50% : Mauvais désherbage, sécheresse et maladie (perte pouvant aller à 50 %)	5-15 % : Perte batteuse, chevreuils, température
	Blé	700-2500	700-800	25-40 % Sécheresse, mauvaises herbes et maladies	5-10 % : Perte batteuse, chevreuils, température
Maraîchère	Poireaux		56 000		20% : Maladies, température, bris mécaniques
	Asperges		21 000		20-25 % : Gel précoce
	Laitue Iceberg		25 700		15 % : Brûlure de la pointe, carence
	Laitue romaine		26 700		10 % : Brûlure de la pointe, carence
	Carottes		16 300		30 % : Croches, piqués ou malformées
	Oignons-Échalotes		27 200 16 300		Pas vraiment de perte
	Radis chinois		24 700		10 % Mouche du chou
	Brocolis	7000-8000		0-50 % : Surplus d'eau, carences nutritives, mauvaises herbes et insectes (les insectes tels que la cécidomyies peuvent détruire plus de la moitié de la récolte)	
	Maïs sucré	2700-3600		0-50 % : Sécheresse, surplus d'eau, mauvaises herbes et insectes	
	Pois sucrés	3500-4500		0-50 % : Sécheresse, surplus d'eau et mauvaises herbes	
	Haricots secs	3500-5000		0-35 % : Sécheresse, surplus d'eau et mauvaises herbes	
	Pommes de terre	18-20 000		10-15 % : Doryphores, déclassées	
	Courges	19-20 000		15% : Perte au champ dû à la Chrysomèles. Perte dans les entrepôts dus aux établissements et régulation de température inadéquate	
	Melons	17-18 000		10 %	

Les résultats montrent également que les causes des pertes peuvent être contrôlées (désherbage, contrôle des maladies) ou non (météo, changements climatiques). Cela dit, une plus grande marge des gains de rendement est possible dans les cultures biologiques, car les pertes sont dues à des éléments contrôlables sur lesquels il est possible d'agir.

1.1.4 Caractéristiques des tâches de production

Les exploitants agricoles et les gestionnaires d'exploitations agricoles doivent accomplir un certain nombre de tâches dans l'année pour assurer la production de leurs cultures. Cette section expose les types de tâches de production qui sont réalisées au champ durant l'année ainsi que la perception de leur niveau d'intensité et de pénibilité.

Les types de tâches de production réalisés au champ

Le tableau 5 révèle les principales tâches qui sont réalisées au champ selon les types de production.

Tableau 5 : Les tâches principales de production par type de production

Tâches principales de production	Tâches secondaires de production	Type de production					
		Grandes cultures		Maraîchères		Laitière	
		Bio.	Conv.	Bio.	Conv.	Bio.	Conv.
Préparation du sol	13. Nivellement						
	14. Ramasser roche						
	15. Herser + engrais						
	16. Faux-semis						
Semis	17. Semis						
	18. Transplants						
Désherbage	19. Sarclage mécanique						
	20. Sarclage chimique						
	21. Sarclage manuel						
	22. Application engrais						
	23. Lutte intégrée						
	24. Récolte						

Plusieurs tâches sont transversales à tous les types de production, à savoir le ramassage de la roche, la préparation du sol, les semis, l'application d'engrais chimique et la récolte. Le désherbage est aussi une tâche commune. Cette pratique compte différentes techniques selon la régie et le type de production. Par exemple, en régie conventionnelle, l'usage d'herbicides est employé tandis qu'en biologique, le sarclage se pratique mécaniquement ou manuellement ou par une combinaison des deux. De plus, le tableau indique que les productions maraîchères biologique et conventionnelle sont celles qui nécessitent le plus de tâches de production au champ et dont la plupart des travaux de désherbage et de récolte se font manuellement.

Les tâches de production les plus exigeantes

Les tâches de production sont marquées par des niveaux d'intensité variable selon le temps de l'année et le type de production. Le niveau d'exigence est défini selon le degré de mobilisation des capacités humaines (temps vs coûts) requises et de la fenêtre de temps nécessaire pour réaliser la tâche de production. Donc, plus une tâche est exigeante en ressources humaines dans un court intervalle de temps, plus elle sera jugée intense. Selon les résultats des entrevues, les trois tâches de production avec le niveau d'exigence le plus élevé sont **les semis,** le **désherbage** et la **récolte.**

L'opération des semis est toujours une période de l'année qui est intense et stressante pour les producteurs agricoles. La pression est grande, car la fenêtre de temps est petite pour semer la totalité de leurs cultures. Cette tâche leur demande parfois de mobiliser du personnel tard le soir ou même durant la nuit.

Du côté des grandes cultures biologiques, la tâche de désherbage mécanique nécessite jusqu'à sept passages de la machinerie, et ce avant que les plants atteignent 50 cm de hauteur. Par exemple, sur une des entreprises agricoles rencontrées, trois personnes à temps plein sont nécessaires, sur une période d'environ 45 jours, pour couvrir une superficie de 600 hectares.

En production maraîchère conventionnelle, les trois approches de sarclage sont utilisées pour lutter contre les mauvaises herbes (chimique, lorsque des produits homologués existent, mécanique et manuel). Sur une des grandes fermes maraîchères interviewées, d'une superficie de 384 hectares, les 90 employés passent 50 % de leur temps à désherber. Le coût pour le temps des employés s'élève à 245 $/hectare, ce qui équivaut à un coût total annuel de 94 080 $ soit 15 % des coûts totaux de l'entreprise.

Par ailleurs, le désherbage prend une plus grande ampleur lorsque les cultures sont pérennes (implantées pour plusieurs années), comme les asperges ou les cultures fruitières, car les mauvaises herbes vivaces deviennent de plus en plus difficiles à contrôler avec le temps. Il faut donc développer des stratégies de sarclage de façon continue.

La récolte des cultures se fait, en grande partie, manuellement. Ainsi, les entreprises maraîchères embauchent de nombreux travailleurs pendant la saison estivale pour remplir cette fonction. Du coup, les fermes peuvent dépenser jusqu'à 400 $ par hectare en coûts de main-d'œuvre. Dans le brocoli et le chou-fleur, les dépenses peuvent s'élever à 10 000 $ par jour.

La perception de la pénibilité des tâches de production

Cette sous-section présente les tâches de production perçues comme étant les plus pénibles pour les producteurs agricoles et les justifications liées à leur pénibilité.

Tableau 5 : La proportion des tâches perçues comme étant pénibles

Tâches pénibles	Types de production			
	Grandes cultures		Maraîchères	
	Biologique	Conventionnel	Biologique	Conventionnel
8. Désherber	■		■	■
9. Ramasser la roche	■	■		
10. Lutte intégrée	■		■	■
11. Récolter	■			■
12. Faire de l'administration	■			■
13. Faire du dépistage				■
14. Semer/transplanter	■			■

Selon les résultats présentés au tableau 5, les grandes cultures biologiques et le maraîchage conventionnel ressortent comme les deux types de production avec le plus de tâches considérées pénibles. En grandes cultures, le ramassage de la roche est souvent problématique tandis qu'en cultures maraîchères cette tâche est rarement qualifiée de pénible. Étant situées dans les terres noires du Québec où les pierres sont quasi inexistantes, les entreprises maraîchères rencontrées ne se sont pas positionnées sur ce problème. Cependant, il est envisageable que d'autres fermes en production maraîchère doivent exécuter cette corvée et qu'elle soit aussi pénible que pour les grandes cultures. Les données ne doivent pas être interprétées comme une fin en soi, mais comme des tendances générales. Le tableau 6 présente plus en détail le degré d'importance accordée aux tâches pénibles et leur justification.

Tableau 6 : L'importance relative de la pénibilité des tâches et leurs causes (l'importance relative du discours des répondants a été codée par un système d'étoile : *** très présent; ** moyennement présent et * peu présent dans le discours).

Tâches pénibles	Importance relative dans le discours	Justifications relatives à la pénibilité de la tâche
8. Désherber	***	Très astreignant, car l'opérateur doit être très concentré et en constante vigilance. Par conséquent, il se fatigue vite, ce qui augmente les risques d'erreurs. Si le désherbage est mal fait, il y a des répercussions majeures sur le rendement des cultures. Cette tâche demande beaucoup de temps et un haut niveau de précision.
9. Ramasser la roche	***	Difficile de trouver de la main-d'œuvre. Personne ne veut faire cette tâche. De plus, si c'est mal fait ça brise la machinerie.
10. Lutte intégrée	**	Difficile de trouver et de gérer la main-d'œuvre pour le faire. Si les opérations de lutte intégrée sont mal faites, cela peut

		engendrer d'énormes pertes de rendement.
11. Récolter	**	C'est une tâche difficile physiquement qui demande beaucoup de temps et représente des coûts élevés. Difficile de trouver de la main-d'œuvre locale, il y a beaucoup de recours à de la main-d'œuvre étrangère qui est exigeante en coûts.
12. Administration	**	Pénible, car ça prend beaucoup de temps et ça fait beaucoup de paperasse. La qualité du travail n'est pas constante.
13. Dépister	**	Très couteux. Si cette tâche est donnée à une firme, cela peut représenter des coûts allant jusqu'à 25 000 $ par année. Si mal exécutée cela représente d'importantes pertes de rendement
14. Semer/transplanter	**	Stressante et demande beaucoup de précision. Plus la fenêtre de temps est courte, plus la pression est grande. Très physique et, en maraîchage, la posture de travail engendre souvent des douleurs au dos.

1.2 Le portrait-robot du véhicule autonome idéal

Les rencontres avec les agriculteurs ont permis d'enquêter sur leurs besoins, leurs perceptions et leurs conditions d'utilisation vis-à-vis l'arrivée d'un véhicule autonome en agriculture. Elles ont révélé plusieurs éléments qui devront être pris en compte lors de la création du véhicule, à savoir : 1) les conditions d'utilisation du véhicule, 2) les appréhensions des agriculteurs et 3) les facteurs de mise en marché à considérer. L'analyse du discours des agriculteurs a permis de dresser le portrait souhaité du véhicule autonome.

1.2.1 Les conditions de conception du véhicule

L'enquête menée auprès des producteurs agricoles a révélé que la conception d'un véhicule autonome en agriculture devra tenir compte des conditions opérationnelles, fonctionnelles, utilitaires, matérielles et économiques. Ainsi, le véhicule permettra de satisfaire aux besoins des agriculteurs en termes d'automatisation de certaines tâches.

1.2.2 Les conditions opérationnelles

Le tableau 7 présente une description des différentes conditions physiques liées à l'environnement de production avec lesquelles les agriculteurs doivent transiger lors de la réalisation de leurs opérations au champ.

Tableau 7 : les conditions d'opérations au champ

Types de conditions	Exemples
Opérations la nuit (si nécessaire)	– Désherber – Semer – Récolter du foin, maïs et céréales – Récolter les pommes de terre (peut se faire jusqu'à minuit) – Traitement de pesticides à la tombée de la nuit, car moins de vent – Traitement des vers-gris la nuit, car c'est à ce moment-là que les vers sortent
Conditions opérationnelles	**Description**
Opérations en conditions particulières	– L'application de certains herbicides est plus efficace quand la terre est mouillée (nécessite tracteurs équipés de chenilles).
Températures min. et max.	– Varie entre -5 et 40 degrés Celsius
Conditions de remisage de la machinerie	– Remisage à l'intérieur pas chauffé – L'été la machinerie qui n'a pas de moteur est dehors – Hiver ce qui a un moteur au diesel ou électrique et ce qui est plus dispendieux est remisé à l'intérieur chauffé
Entretien de la machinerie	– Se fait par les agriculteurs ou des mécaniciens employés par l'entreprise. Ils font affaire avec le concessionnaire quand les problèmes touchent l'électronique.
Types de sol	La gamme des types de sols est très variable. Voici des exemples tirés des entrevues : – Argile – Loam sablonneux – Loam argileux – Terre noire
Matière entre les rangs	– Terre – Résidus de maïs-soya de l'an passé – Chaume – Résidus d'engrais verts fibreux – Paille, paillis de copeaux de bois, bois raméal fragmenté
Dénivelé	– Pente de 0 %-10 % – Pente de 20 % : pâturages ou cultures fruitières
Obstacles	– Arbres – Chemins de ferme – Bâtisses – Haies brise-vent – Puits – Pylônes électriques – Chevreuils – Souches – Roches (taille pouvant aller jusqu'à 6 pouces de diamètre) – Racines – Capteurs de spores 2 pieds de haut – Tensiomètres 2 pieds de haut – Tuyaux d'irrigation – Rampes d'irrigation 200 pi de large

Tableau 7 : les conditions d'opérations au champ (suite)

Ainsi, pour être fonctionnel et efficace, le véhicule autonome devra faire face à plusieurs défis de nature contextuelle comme:

- Détecter des obstacles divers. Exemples : des puits, des lignes électriques, des fossés.
- Fonctionner selon des températures qui varient entre -5^0 et $40\ ^0$ Celsius
- Être remisé à l'intérieur.
- Se déplacer sur des types de sols différents (terre noire, argile, sable)
- Se déplacer sur des superficies de sols de différentes textures ou conditions (sol mouillé ou très sec).
- Il ne doit pas être trop lourd afin d'être en mesure de se déplacer dans la terre mouillée tout en évitant les risques de compaction.
- Permettre un certain contrôle et entretien par le producteur agricole (autonomie).
- Travailler et se mouvoir durant la nuit.
- Avoir une durée d'autonomie sans rechargement d'un minimum de 12 heures (temps moyen de travail quotidien d'une ressource humaine).
- Laisser le producteur dormir la nuit (sans veille constante).

1.2.3 Les conditions fonctionnelles

Lors des entrevues, les agriculteurs ont été amenés à identifier des **types de fonctions** et des modalités de fonctionnement qu'ils souhaitent retrouver sur le véhicule autonome. Globalement le tableau 8 fait état de ce que les agriculteurs souhaitent que le véhicule autonome soit capable de faire.

Tableau 8 : les fonctions souhaitées et leurs modalités de fonctionnement

Fonctions souhaitées	Modalités de fonctionnement
7. Désherber	• Désherbage de la zone inaccessible, celle à 1,5 pouce de chaque côté du rang • Désherbage de l'entre-rang et entre les plants d'un même rang • Désherber en même temps que les semis • Passer le plus proche possible du plant sans abîmer les racines • Arracher ou couper les mauvaises herbes au niveau des racines • Enlever les doublons sur le même rang • Désherber 24h/24h • Ne pas compacter le sol
8. Ramasser de la roche	• Détection des roches
9. Générer une cartographie d'informations agronomiques en temps réel	• Faire des échantillons de sol géoréférencés pour analyser le niveau de PH, azote, phosphore • Prendre la tension de l'eau

	• Analyser la couverture du feuillage (variation de la couleur)
10. Faire de la détection et de la lutte de maladie	• Analyser les quantités de spores dans l'air • Installer les parasitoïdes utilisés en lutte intégrée (ex. : trichogrammes)
11. Récolter	L'exemple de la récolte d'asperges • Respecter le temps d'exécution de 15-20 acres par jour • Couper les asperges à 20 cm et laisser les autres dans le champ • Détecter les asperges croches et les laisser dans le champ

1.2.4 Les conditions d'utilisation

Les résultats soulignent que l'utilisation du véhicule doit apporter un certain nombre **d'avantages au producteur** agricole pour que ce dernier souhaite l'utiliser. En effet, il doit lui permettre de :

- Gagner du temps
- Rendre l'arrosage de produits chimiques moins dangereux
- Améliorer la qualité du désherbage en augmentant la précision et l'uniformité de l'opération
- Augmenter le rendement global de l'entreprise
- S'adapter au manque de main-d'œuvre
- Uniformiser le travail et le coût de production
- Diminuer les heures de travail au champ
- Diminuer la compaction du sol en minimisant les passages de machinerie dans le champ et en travaillant sur des petites unités
- Favoriser la qualité de l'environnement
- Diminuer les coûts reliés à la plasticulture
- Exécuter des tâches 24h|24h

Aussi, un véhicule polyvalent qui répond aux conditions d'utilisation des agriculteurs sera accueilli plus favorablement par la communauté agricole. Le tableau 9 présente les conditions d'utilisation qui ont été identifiées lors des entrevues.

Tableau 9 : les conditions d'utilisation du véhicule autonome

Conditions d'utilisation	Description
Polyvalent	Pouvoir faire plus d'une fonction en même temps (ex. : Sarcler et prendre des échantillons du sol)
Entretien	L'agriculteur veut être en mesure de faire l'entretien général du véhicule sans toujours dépendre d'un expert qui ne peut pas donner de service immédiat
Programmable	L'agriculteur doit être en mesure de faire une programmation de base et de faire les mises à jour facilement

Simple d'utilisation	Entretien et utilisation simples
Efficace/performant	Être d'une bonne taille afin de couvrir une grande superficie de travail et de ne pas rester pris dans le champ ou lors du moindre obstacle Opérer 24h\24h Fonctionner dans des conditions humides sans compacter le sol
Sécuritaire	Éviter les obstacles et les personnes pouvant se retrouver au champ Ne pas rester pris Cohabiter avec les autres véhicules sur la route
Adaptable/ajustable	Être adaptable à différents types de sol (sableux, argileux, terre noire) et à différentes cultures
Précis	Effectuer les tâches demandées sans abîmer les cultures et augmenter la précision des opérations de production (ex. : désherbage)
Rentable	Le véhicule doit montrer sa rentabilité en permettant de diminuer et d'uniformiser les frais d'opération et de main-d'œuvre.
Autonome	Ex. : 12 heures de travail sans recharge
Déplaçable	Le véhicule doit être déplaçable, car il y a des terres à différents emplacements.
Ne pas interférer	Ne doit pas faire d'interférence avec les GPS sur les tracteurs
Fiable	Qui ne brise pas
Contrôlable	Pouvoir avoir un contrôle à distance en tout temps s'il arrive quelque chose dans le champ

1.2.5 Les conditions économiques et d'achat

Le temps d'amortissement de l'achat est une condition essentielle pour que les agriculteurs se procurent le véhicule. Certains ont affirmé que le temps sur le retour d'investissement dépend de la durée de vie utile de la machine plutôt que d'un nombre d'années. D'autres sont prêts, indépendamment de la durée de vie du véhicule, de contracter un emprunt si le retour sur investissement est d'environ 7 à 10 ans ou si la rentabilité est garantie par le vendeur. La rentabilité viendra de la diminution du coût de la main-d'œuvre, de l'amélioration des rendements des cultures ou encore de la diminution du besoin de gestion des employés.

Le service à la clientèle est un autre élément majeur qui influencera l'achat de véhicule autonome. Les agriculteurs sont très manuels et ils apprécient être indépendants des concessionnaires pour réparer leurs machineries. Ils seront très vigilants quant au service à la clientèle offert avec l'acquisition de nouvelles technologiques comme celle du véhicule autonome. Le tableau 10 présente les critères et les modalités auxquels devra répondre un service à la clientèle idéal.

Tableau 10 : caractéristiques du service à la clientèle idéal

Critères		Modalités
Service à la clientèle	1. L'excellence du service à la clientèle	• Service 24h/24h 7 jours sur 7 • Il faut que les techniciens ou experts connaissent très bien leur produit. • Service dans les deux langues (anglais et français) • Service de commande de pièce par courriel
Service après-vente	2. Service de dépannage express en personne	• Être en mesure d'envoyer un expert à la ferme dans un délai se situant entre 30 min et 2 heures. • Dans le contrat, avoir une clause qui garantit l'obtention du dépannage dans la journée • Unité mobile
	3. Service de dépannage express à distance	• Service virtuel par l'utilisation de l'application du genre *Team Viewer* ou autre • Service par téléphone et texto • Service par courriel
	4. Accompagnement d'un expert pour le démarrage	• Présence sur place d'un expert pendant 2-3 jours pour accompagner l'agriculteur dans le démarrage du véhicule et faire des ajustements en temps réel. • Présence d'un expert sur place permettant le transfert de connaissances plus rapide que de laisser le producteur faire des essais/erreurs
Formation	5. Offre de formation	• En personne et en ligne • Offrir un espace de dialogue interactif entre le producteur agricole et les techniciens pour poser/répondre à des questions • Offrir des formations personnalisées et de groupe pour : 1) expliquer le fonctionnement de base de la technologie et 2) montrer comment faire l'entretien et les réparations mineures.
Garantie	6. Garantie prolongée	• Inspection gratuite du véhicule les mois suivants l'achat • Garantie de 10 ans; • Service d'entretien gratuit les 5 premières années • Pièces garanties 5 ans

1.2.6 Les conditions matérielles

Les dispositifs de conduite de la machinerie conventionnelle tels qu'une pédale, un volant et un siège sont pour la grande majorité des répondants des accessoires qui ne seront pas nécessaires à intégrer sur le véhicule autonome. La plupart utilisent déjà des tablettes et des téléphones

intelligents au quotidien sur lesquels des applications de téléguidage pourront être installées. Cependant, pour certains, les dispositifs de conduite s'avèreront pertinents à conserver surtout lorsqu'il sera question de traverser des routes et des ponts ou simplement pour permettre à l'agriculteur de s'assoir sur le véhicule pour inspecter ses champs. En ce sens, l'ajout d'une option de conduite manuelle a été proposé.

2. Les appréhensions envers le véhicule autonome

Les agriculteurs rencontrés ne possédaient pas de véhicule agricole autonome. Ainsi, lors des entrevues, ils ont été amenés à se projeter dans un futur possible, mais qu'ils ne vivent pas présentement. Par conséquent, ils ont partagé leurs appréhensions envers l'arrivée possible d'un véhicule autonome dans leur entreprise. L'appréhension se définit comme une idée qu'on prend d'une chose sans n'en porter alors aucun jugement. La simple appréhension est ainsi la première opération intellectuelle de l'esprit. Les résultats des entrevues montrent une certaine constance dans les types d'appréhensions véhiculées par les agriculteurs. Elles se regroupent en trois catégories, soit 1) la perception envers l'arrivée d'un véhicule autonome en agriculture, 2) les craintes liées à l'utilisation du véhicule et 3) l'acceptabilité sociale. La prise de connaissance et la compréhension de ces appréhensions seront nécessaires pour guider la conception du véhicule, car elles sont le reflet de l'idée que se fait l'agriculteur d'une innovation. La prochaine section propose de faire un survol des types d'appréhensions évoquées par les répondants.

2.1 Les perceptions envers l'arrivée du véhicule autonome

En général, les agriculteurs ont une perception positive de l'automatisation de la machinerie agricole. Cette technologie est vue comme un avancement et comme une réponse aux enjeux qui traversent le monde agricole moderne, soit la pénurie de main-d'œuvre et de main-d'œuvre qualifiée, la qualité de l'environnement et les changements climatiques.

> *«Les robots vont me permettre d'uniformiser le travail et les opérations de production. Puis, ultimement mon coût de production»*. (REP 6)

> *« J'envisage l'arrivée des robots positivement, nous sommes rendus là. La robotisation est de plus en plus accessible. C'est inévitable que ça va arriver en agriculture et en plus nos besoins en main-d'œuvre sont chaque année plus durs à combler.»* (REP1)

> *«L'arrivée des robots ça ne m'inquiète pas, car ils vont permettre à des agriculteurs de garder leur ferme à défaut de ne pas avoir de main-d'œuvre ou de relève. En plus, ça diminue beaucoup la pollution».* (REP9)

De plus, l'utilisation de véhicule autonome est perçue comme une réponse aux conditions de travail exigeantes qui sont associées au métier d'agriculteur.

« Je vais faire faire d'autres tâches moins exigeantes et ennuyeuses à mes employés » (REP5).

Puis, plusieurs perçoivent l'achat du véhicule autonome comme une solution pour leur permettre de gagner du temps. Néanmoins, le temps sauvé ne sera pas automatiquement pris en vacances, mais ils l'utiliseront différemment, comme pour diversifier leur entreprise et pour augmenter sa rentabilité.

« Avec le temps sauvé, je vais améliorer ma production pour augmenter mes revenus et par la suite prendre des vacances ». (REP4).

« Avec le robot je ne vais pas avoir de misère à prendre des vacances, mais en même temps il ne faut pas ralentir ». (REP8).

2.2 Les craintes liées à l'utilisation du véhicule

Bien que la plupart des agriculteurs envisagent positivement l'arrivée des véhicules autonomes en agriculture, ils n'en ont pas pour autant une confiance absolue. Au contraire, les résultats révèlent que plusieurs incertitudes, liées à l'utilisation du véhicule, existent dans la communauté agricole.

D'abord, **l'entretien du véhicule** génère des craintes. Les agriculteurs sont des gens très manuels, qui réparent par eux-mêmes leur machinerie agricole. La nouvelle technologie utilisée dans le véhicule ne sera pas maîtrisée par les agriculteurs. L'idée d'être dépendants des experts pour faire leur entretien génère des inconforts liés à la peur de perdre une certaine autonomie.

« Je ne veux pas dépendre de quelqu'un qui ne peut pas donner de service immédiatement » (REP8)

La question de **la sécurité** a été soulevée par plusieurs agriculteurs qui s'inquiètent de laisser fonctionner seule une machine dans leurs champs.

« Une machine qui vaut 300 000 $, moi je ne suis pas prêt à laisser ça tout seul dans le champ».

« S'il y a un capteur qui fait défaut et qu'elle ne détecte pas une personne ou un animal dans le champ, ça devient dangereux et c'est moi le responsable »(REP7).

L'**autonomie** (sans conducteur) et la capacité énergétique du véhicule semble en rendent certains perplexes

« Le robot ne pourra pas tout faire, nous devrons tout de même passer un ou deux coups de sarcloir, car tout faire seul lui demanderait trop d'énergie ». (REP1)

« Si le robot bourre, brise ou reste coincé quelque part, il n'y a personne, pas d'opérateur pour réagir au problème rapidement » (REP7)

«Je vois ça positivement les robots, mais de façon générale je ne lui ferais pas confiance, car je ne fais pas confiance aux voitures qui se conduisent toutes seules comme les Tesla» (REP4)

« L'obstacle, ça va être de déterminer quelle tâche on laisse le robot faire tout seul sans opérateur. Je ne pense pas qu'il va y en avoir beaucoup, car même avec des opérateurs qui supervisent mes robots, il y a du dommage. Il faut qu'il soit ajusté parfaitement. Au début ça va être dur de gagner la confiance des agriculteurs »(REP5)

Puis, la **transformation du rôle du producteur agricole** et la redéfinition de son travail par l'utilisation d'une telle technologie semblent aussi soulever des inquiétudes chez certains producteurs.

« Le grand défi sera la perception de travailler avec des robots au lieu qu'avec des humains. Moi, j'aime travailler avec les gens, avoir le contact humain. Il n'est pas certain que je vais apprécier les interactions avec le robot autant qu'avec des humains. Mais le problème de main-d'œuvre fait qu'on n'aura pas le choix de les utiliser les robots » (REP5).

2.3 L'acceptabilité sociale

Une définition largement acceptée de l'acceptabilité sociale fait référence à la notion de risque. La notion d'acceptabilité sociale est directement liée à la perception d'une menace qu'un projet peut laisser planer sur la vie ou la qualité de vie d'un milieu, donc sur l'utilisation des biens et des activités humaines de ce milieu. Dans ce cas, l'acceptabilité sociale est «l'acceptation anticipée d'un risque à court et à long terme qui accompagne, soit un projet, soit une situation». Un risque est considéré acceptable par une collectivité lorsque celle-ci peut en accepter les conséquences, les dommages, au regard de sa probabilité d'occurrence (Beck, 2001).

Dans le cadre de l'étude, nous voulions vérifier si la perception des agriculteurs envers l'opinion des citoyens-consommateurs était un facteur d'influence sur la décision d'utiliser ou non la technologie en question. Pour ce faire, les participants se sont prononcés sur les impacts de l'utilisation de la robotique et de l'automatisation de véhicule en agriculture sur la société et sur les réactions attendues des citoyens non-agriculteurs et des consommateurs en général.

Dans un premier temps, les résultats montrent que les agriculteurs sont confiants envers l'acceptabilité sociale d'une telle technologie en agriculture. Selon eux, la société serait «rendue là»:

«La société est prête pour ça. Il y a des voitures qui se conduisent toutes seules maintenant (ex. : la Tesla)» (REP8).

De plus, cette innovation est, selon eux, une solution plus environnementale à la production agricole intensive, ce qui devrait plaire aux consommateurs qui ont des attentes de plus en plus élevées en termes de respect de l'environnement.

Toutefois un synchronisme est à prévoir entre l'arrivée des tracteurs autonomes et les voitures autonomes. Pour assurer une bonne acceptabilité sociale de cette technologie, la transition devra se faire doucement, sans sauter d'étape :

> *«Il ne faudrait pas que les tracteurs autonomes arrivent dans le chemin avant les voitures autonomes, car là les gens vont avoir peur».* (REP8)

Dans un deuxième temps, les résultats révèlent une distance entre les agriculteurs et le reste de la société. Pour les agriculteurs, les citoyens-consommateurs sont déconnectés de la production agricole, surtout dans le secteur biologique :

> *«Les gens ont une vision bien romantique de l'agriculture et il y en a pour qui les robots dans les champs ça va les déranger, car ils pensent que robot et agriculture biologique ne vont pas ensemble. Pourtant c'est le secteur biologique qui a le plus besoin de contrôle et sophistication mécanique.»* (REP9)

Pour plusieurs, l'opinion sociale n'est donc pas un facteur qui influencera leur décision d'adopter ou non cette technologie :

> *«L'automatisation va nous servir beaucoup. Donc, ça ne nous dérange pas ce que la société pense, car c'est souvent des gens qui ne connaissent pas l'agriculture et qui sont erronés à la base»* (REP2)

Il est à noter que l'échantillonnage choisi fait en sorte que nous n'avons rencontré que des grandes fermes en circuit long. Ces dernières n'entretiennent pas de relation directe avec leurs clients-consommateurs, mais font plutôt affaires avec des grossistes ou des grands distributeurs. Cela dit, la perception des agriculteurs envers les consommateurs ne semble pas être une préoccupation importante pour eux. À l'inverse, nous serions portés à croire que les producteurs agricoles en circuit court, qui sont plus près des consommateurs, accordent une plus grande importance à l'opinion de leur clientèle et du reste de la société. Dans ce cas-ci, l'acceptabilité sociale pourrait influencer davantage leur choix de se procurer ou non un véhicule autonome. Cette question de l'acceptabilité sociale mériterait d'être approfondie. Dans le cadre d'une autre étude, il serait pertinent d'enquêter cet aspect en questionnant directement les consommateurs sur leurs perceptions et leur niveau d'acceptabilité sociale face à l'arrivée d'une telle technologie en agriculture.

3. Mise en situation de l'utilisation du véhicule autonome idéal

Nous sommes 2-3 semaines après l'ensemencement d'un champ, au début de la saison. Il y a 2 jours, d'importants orages ont laissé une grande quantité d'eau dans le champ. L'hydrologie de ce dernier n'est malheureusement pas idéale : plusieurs zones sont mal drainées. Il en résulte la

présence de boue et de flaques d'eau pouvant atteindre une hauteur de 8 po à certains endroits. De plus, la compaction des sols est mal contrôlée. Certaines zones du champ résistent donc bien à l'application de pression venant des roues d'un véhicule, alors que d'autres beaucoup moins.

Malgré cela, les jeunes pousses de la culture maraîchère commencent à sortir du sol. Robert, le propriétaire de la ferme, a demandé la veille à son assistant, Jean, d'aller vérifier l'état du champ ce matin. Jean arrive donc vers 6h00 au hangar où sont stationnés les équipements de la ferme. Par curiosité, il se rend à la porte #3 où a été laissé la veille un nouvel équipement dont il a entendu parlé, un tracteur autonome désherbeur, électrique-hybride en plus. Il ouvre la porte et voit l'engin en question. Un cordon électrique relie le tracteur à ce qui semble être une borne de recharge de VÉ. Il se promène autour du véhicule et constate que celui-ci est très sale. Il semble que Martin, l'autre assistant, n'ait pas nettoyé le véhicule avant de quitter hier soir. «Probablement qu'ils ont fini tard…» se dit-il. En jetant un regard autour de lui, Jean aperçoit une machine à nettoyage à jet d'eau pressurisé 5 HP. «Tiens, je vais lui refaire une beauté!» se dit-il et il entreprend de nettoyer à fond le véhicule. Jean se souvient de l'épisode désastreux de l'année dernière où il avait par mégarde circulé dans un champ avec son tracteur (non autonome) non nettoyé… Il s'en était suivi une infestation de champignons dans ce champ qui, initialement, était en bonne santé: la boue incrustée dans les roues du tracteur avait été le vecteur de propagation. Ils avaient perdu 30% de la récolte et perdu toute leur marge de profit parce qu'il avait dû intervenir rapidement en épandant un fongicide très coûteux. Sans compter tout le stress que cela avait généré pour toute l'équipe… «Dire en plus que nous étions si prêt d'avoir la certification bio, et hop! À cause de cette maudite boue, tout a basculé et a dû être reporté».

«Hum belle machine» se dit Jean en pulvérisant l'eau à haute pression directement sur le tableau de bord, les câblages, les moteurs, les roues et oops, sur la borne de recharge en fonction. Quelques minutes plus tard, le cellulaire de Jean sonne, c'est Martin qui était déjà au champ depuis 5h00: «Jean, es-tu au hangar?» - «Oui qu'est-ce qu'y a?» - «Je viens de marcher le champ et les mauvaises herbes sont en train de lever, il faut désherber, ça presse! T'as vu la nouvelle machine?» - «Oui…» - «Bon écoute, on va l'utiliser pour désherber le champ côté nord-ouest. Peux-tu la télé-opérer et l'amener ici? J'ai pas trop le temps de t'expliquer comment ça marche, le gars du Mapaq s'en vient pour nous aider… T'as juste à l'allumer et prendre la télécommande pour la déplacer en mode manuel ok?» - «Euh ben ok…» - «Bon je te laisse là, faut que je me rende à l'autre champ pour voir si les mauvaises herbes lèvent aussi, je te rejoins dans 15 minutes pour partir la machine en mode désherbage autonome, bye, clic!»

Jean se retrouve donc seul devant l'équipement. Il trouve rapidement le bouton de démarrage. En l'allumant, un écran s'illumine. Un message d'autodiagnostic passe, puis un avertissement «SVP débrancher le véhicule», ce que fait Jean. L'écran affiche alors un autre message d'avertissement «Niveau de carburant bas, batterie chargée 100%. Pour maximiser temps d'opération, remplir réservoir». Une fois cette tâche accomplie, Jean saisit la télécommande et tente de faire sortir le véhicule du hangar. Mais quelque chose semble empêcher l'amorce de mouvement… Jean regarde sur l'afficheur de la télécommande : « Obstacle devant le véhicule,

arrêt de sureté». «Bien sûr le bidon d'essence…» constate Jean en inspectant le devant du véhicule. La plate-forme a détecté un obstacle et a empêché l'activation des moteurs. Une fois l'obstacle enlevé, Jean télé-opère la plate-forme jusqu'au champ en la suivant à une cadence de marche rapide. Arrivé au champ, Martin vient rejoindre Jean. Le mode « autonome » du tracteur désherbeur est activé en moins d'une minute. Le véhicule se met alors en mouvement, dès que Jean et Martin ont dégagé le chemin. Le véhicule circule vers un point d'amorce de la tâche de désherbage et commence ensuite son travail…

Quelques minutes plus tard, Jean reçoit alors un appel du propriétaire : «Salut Jean, j'ai reçu un sms du tracteur, comme ça vous avez lancé le désherbage au champ?» - «Oui faut régler ça dans la journée si on ne veut pas manquer la fenêtre de temps…» - «Ok super, écoute, si le réservoir a été rempli ce matin, on devrait être bon pour le laisser rouler jusqu'à demain matin. Veux-tu venir me rejoindre à mon bureau j'ai une autre tâche pour toi aujourd'hui, ahh et demande à Martin de venir me voir dès qu'il a fait son meeting avec le gars du Mapaq, salut ». Jean et Martin jettent donc un dernier coup d'œil au tracteur autonome désherbeur. Martin sort son iPad et se connecte au véhicule via cellulaire. «Bon on peut partir, tout semble sous contrôle.»

Vers 11h30 Martin reçoit une alerte sur son iPad en provenance du tracteur autonome désherbeur. Le véhicule s'est arrêté, il a fait un arrêt de sureté. Un message d'avertissement est reçu: «Obstacle en avant détecté, voulez-vous activer la caméra pour avoir un visuel de la situation? – Oui». Martin obtient alors immédiatement un flux vidéo de la caméra fixée au véhicule. Rapidement il comprend ce qui a provoqué l'arrêt de sécurité: un chat vient juste de passer devant le véhicule. C'est un événement probable à cet endroit… comme peut le constater Martin à partir de son iPad, le véhicule est rendu à proximité de la ferme laitière du voisin où circule un grand nombre de chats. «Bon, la voie semble libre maintenant» Martin remet alors en marche le mode autonome.

Vers 15h30, le tracteur autonome désherbeur a accompli 75% du champ. Outre la fonction de désherber, le robot possède un instrument lui permettant de mesurer le taux d'humidité du sol en surface en continu et vérifie la grosseur et l'état des plants. Martin décide donc de se connecter à la base de données du tracteur autonome et télécharger les mesures prises par cet instrument depuis le début de la journée. En deux minutes, il génère une carte de répartition du taux d'humidité qu'il transfert immédiatement via courriel au consultant du Mapaq en drainage des sols. Aussi, il inspecte les zones problématiques que le robot a repérées. Une zone contenait beaucoup plus de mauvaises herbes que les autres et les plants avaient poussé un peu moins vite, il demandera alors une analyse du sol plus avancée dans ce secteur lors de la prochaine visite de son agronome. Aussi, dans une autre zone, des insectes ravageurs ont été détectés. Grâce aux images capturées, Martin confirme qu'il s'agit d'une infestation de teignes et il pourra aller placer des trichogrammes dans cette zone dès demain pour régler le problème avant qu'il ne devienne incontrôlable.

Vers 21h00, le tracteur autonome désherbeur a complété sa tâche et est retourné automatiquement au hangar. Un sms est envoyé au propriétaire pour l'en avertir. Reste plus qu'à

le brancher… et le nettoyer. Robert songe à l'option d'intégrer dans l'année qui vient plusieurs tracteurs de ce genre et fonctionnant de manière coordonnée.

4. Analyse des résultats

L'analyse du discours des agriculteurs interrogés montre qu'il existe un paradoxe entre la perception plutôt positive qu'ils ont de l'arrivée du véhicule autonome et le faible niveau de confiance qu'ils lui accordent. Selon la stratégie de contournement du paradoxe d'Olson (1978), une personne s'engagera dans un processus d'adoption d'une innovation seulement si elle en perçoit les bénéfices et les gains immédiats et tangibles. Nos résultats suggèrent, en effet, que les agriculteurs ont besoin de la technologie et qu'ils souhaitent l'utiliser. Cependant, ils ne sont pas tous prêts à vivre une refonte de leur métier. Une vaste étude réalisée en 2015, par Agricarrière, enquêtait sur les motivations des agriculteurs à travailler dans leur secteur. Les résultats mettent en lumière les aspects valorisants de leur métier, comme travailler à l'extérieur avec les animaux et les végétaux, exécuter une variété de tâches manuelles, être en plein air et être en relation avec d'autres personnes. Ainsi, nos résultats suggèrent que les agriculteurs souhaitent plutôt un véhicule qui est le prolongement intégré de leur mode de production qu'un nouvel outil qui révolutionnera leur métier et leur rôle de producteur agricole.

La notion « temps » est un autre aspect important qui ressort de l'étude. Plusieurs mentionnent qu'avec l'achat du véhicule, ils auront plus de temps, mais pas nécessairement pour prendre des vacances. Au contraire, l'apport de la nouvelle technologie leur permettra de s'occuper à d'autres tâches, qui sont souvent mises de côté par manque de temps. Le véhicule ne permet pas de diminuer la charge de travail, mais en changera la nature. Les agriculteurs sont des entrepreneurs. Ils aiment travailler. Ils voient le véhicule comme un outil de travail leur permettant d'optimiser et de développer leur entreprise tant au niveau technique, que de la mise en marché ou la gestion de la main-d'œuvre.

Un autre point majeur qui ressort de l'étude est la notion de doute vis-à-vis la capacité d'autonomie, ce qui remet en question l'idée générale du concept d'autonomisation d'un véhicule agricole. La majorité des répondants dégagent un inconfort à laisser le véhicule sans surveillance par peur qu'il s'endommage, se coince ou tombe en panne, et également, pour des questions de sécurité au champ et sur la route. De plus, ils ne sont pas tous prêts à laisser seule une machinerie qui vaut cher. C'est pourquoi il sera incontournable pour le fabricant de démontrer aux producteurs agricoles, en contexte réel, la capacité d'autonomie du véhicule et son efficacité énergétique. Cette prémisse semble nécessaire pour gagner leur confiance et abaisser leur doute face à l'arrivée de cette nouvelle technologie.

De plus, les agriculteurs sont des gens manuels qui apprécient avoir une certaine autonomie sur le contrôle et l'entretien de leurs machineries. Du coup, ils entrevoient difficilement le fait d'être dépendant d'experts pour effectuer des réparations sur le véhicule autonome. Néanmoins, leurs

craintes pourraient s'atténuer par un service à la clientèle efficace et rapide ainsi que par l'offre de formations qui leur permettrait de réaliser un entretien général.

Enfin, les agriculteurs voient l'arrivée du véhicule autonome en termes de gains et de perte (tableau 11). Pour le fabricant, les gains potentiels agissent comme des arguments de vente directe tandis que les pertes envisagées sont des éléments auxquels il devra proposer des compensations dans le but de maximiser la commercialisation de son produit.

Tableau 11 : L'utilisation d'un véhicule autonome : les gains vs les pertes appréhendés par les agriculteurs

Gains	Pertes
• Amélioration de la qualité de vie du producteur : ○ Soulagement par la diminution de l'intensité du travail ○ Diminution de la pollution sonore (par la machinerie agricole) ○ Diminution du stress ○ Diminution des tâches pénibles à réaliser ○ Plus grande liberté pour l'agriculteur qui n'a plus besoin d'être dans le champ, car il peut suivre le véhicule à distance	• Perte au niveau des relations interpersonnelles entre le propriétaire et ses employés. Avec le véhicule autonome ils passeront d'une relation de nature organique (homme-homme) à fonctionnelle (homme-technologie).
• Amélioration de la rentabilité de l'entreprise : ○ Diminution des coûts de main-d'œuvre et d'opération ○ Précision dans les opérations et une meilleure connaissance des coûts de production ○ Uniformité des coûts de production ○ Constance de la réalisation des tâches de production ○ Capacité d'effectuer des tâches hâtives au moment où la machinerie lourde ne peut pas (ex. : conditions humides, la nuit, forts vents)	• Rôle du producteur agricole (de producteur à gestionnaire) : ○ Perte de **connaissances** agronomiques et environnementales ○ Perte de **compétences agronomiques** et environnementales ○ Perte de **compétences techniques** qui sont liées au fait de ne plus effectuer certaines tâches de production (conduite de tracteur, sarclage mécanique, semis, etc.) qui demandent un talent qui s'acquiert avec l'expérience et le temps
• Amélioration de la qualité de l'environnement : ○ Utilisation d'énergie renouvelable	• Perte d'autonomie par rapport à l'entretien de la machinerie et de l'équipement

○ Diminution des problèmes de compaction des sols ○ Conservation de la structure et de la qualité des sols	
• Amélioration de la qualité des cultures (cultures plus saines, car meilleure lutte intégrée) ○ Amélioration de la performance au niveau de la phyto-protection (ravageurs, maladies, mauvaises herbes, etc.) et donc inévitablement des rendements	• Perte potentielle de la vision d'ensemble de leur production, car ils iront moins souvent dans leurs champs
• Amélioration de la rapidité des prises de décision et diminution leurs coûts. (Ex. : si le véhicule autonome vient avec la possibilité d'analyser des données en temps réel, plus besoin d'envoyer au labo, il est tout-en-un)	

5. Les recommandations du CISA et d'IVI pour le premier prototype

À la suite de l'analyse de ce document, l'IVI et CISA croient que le véhicule autonome qui sera conçu devrait d'abord viser la culture maraîchère. Trois informations importantes gouvernent ce choix :

1. Le nombre d'hectares par employé dans les cultures maraîchères observées est d'environ 4ha/employé (795 hectares pour 205 employés) en comparaison de 112 ha/employé dans les grandes cultures (3700 hectares pour 33 employés). Réduire le coût en employés sera donc plus facilement atteignable dans ce secteur.
2. La valeur moyenne par hectare des cultures maraîchères très élevée d'environ 20 000 $/ha pour les cultures observées, comparativement à 3 000 $/ha dans les grandes cultures. Avoir un bon rendement a donc une grande importance et investir dans un véhicule autonome qui permet d'augmenter celui-ci sera donc plus logique financièrement.
3. Les rendements et les pertes dans le secteur maraîcher dépendent en grande partie d'éléments contrôlables ou au moins détectables par le véhicule autonome : qualité du désherbage, carences, maladies, insectes.

Cependant, il est très important de noter que cette étude, menée auprès de neuf agriculteurs (trois seulement en culture maraîchère) ne permet pas d'avoir un portrait statistiquement représentatif. Il serait donc recommandé, suite à la décision de cibler un domaine et des fonctions particulières, d'obtenir des informations auprès d'un plus grand échantillon pour déterminer les conditions sous lesquelles un véhicule autonome serait viable économiquement pour ce marché précis.

De plus, toute décision expose à un risque ainsi qu'à des conséquences : le risque de se tromper, de ne pas être satisfait, des conséquences désagréables, non désirées. Tout prospect qui souhaite utiliser une nouvelle technologie prend donc un risque. Les décisions d'achat sont portées vers les services ou les produits qui exposent à un minimum de risque ou de perte. À la lumière des résultats de l'étude, nous constatons que le niveau de confiance est un aspect majeur à considérer pour la commercialisation du véhicule. Plus le climat de confiance est élevé plus le risque diminue. Les besoins réels, les rationalités économiques, culturelles et sociales des agriculteurs fondent leurs attitudes et jouent sur leur confiance. Ils leur permettent d'évaluer le risque et les pertes associés à un nouvel achat.

Ainsi, pour diminuer au minimum le facteur de risque de ces éléments, les concepteurs de la technologie doivent démontrer aux agriculteurs l'efficacité d'un véhicule autonome, prouver sa fiabilité et la rentabilité économique. Pour limiter les coûts de développement et s'assurer d'obtenir une solution la plus fiable possible, il serait donc recommandé de limiter les fonctions du prototype à un maximum de deux, soit le désherbage et l'analyse de données. Ces deux fonctions complémentaires peuvent être effectuées simultanément et utiliser les mêmes capteurs.

6. Conclusion

Ce projet d'automatisation d'un véhicule agricole électrique a fait l'objet d'un partenariat inédit entre le Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA) et l'Institut du véhicule innovant (IVI). L'objectif était d'identifier les types de production ciblés par le véhicule électrique-hybride autonome, les caractéristiques fonctionnelles et les conditions d'utilisation d'un véhicule. Il s'agissait de sonder les conditions aptes à créer une relation de confiance entre les futurs utilisateurs, soit les producteurs agricoles, les concepteurs (IVI) et le fabricant. Les expertises croisées d'innovation sociale et technologique ont été mises à contribution tout au long de la démarche de recherche.

L'équipe de recherche a procédé en rencontrant neuf entreprises agricoles de différents secteurs de production lors d'entrevues individuelles. Il en ressort que la production maraîchère est la cible de vente idéale pour le prototype # 1, car son mode de production l'oblige à devoir exécuter de nombreuses tâches manuelles, répétitives et astreignantes, qui sont très exigeantes financièrement. Le désherbage, le ramassage de roche, les récoltes, la collecte et l'analyse de données agronomiques en temps réel et la lutte intégrée contre les ravageurs sont toutes des tâches pénibles que les agriculteurs souhaiteraient déléguer au véhicule autonome. Néanmoins, pour être utilisable, ce dernier devra être polyvalent, simple, efficace, fiable, rentable et sécuritaire.

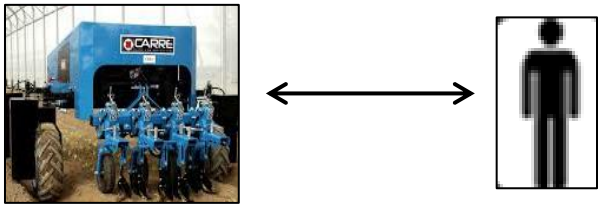
Cette étude a démontré que le succès de l'implantation du véhicule dans le milieu agricole devra miser sur la création d'une relation de confiance entre les agriculteurs et le fabricant. Pour ce

faire, l'efficacité, la fiabilité et la rentabilité de la technologie devront être démontrées aux agriculteurs en contexte réel.

La question de l'acceptabilité sociale a été abordée avec les producteurs agricoles, mais elle mériterait d'être approfondie. Dans le cadre d'une autre étude, il serait pertinent d'enquêter cet aspect en questionnant directement les consommateurs sur leurs perceptions et leur niveau d'acceptabilité sociale face à l'arrivée d'une telle technologie en agriculture.

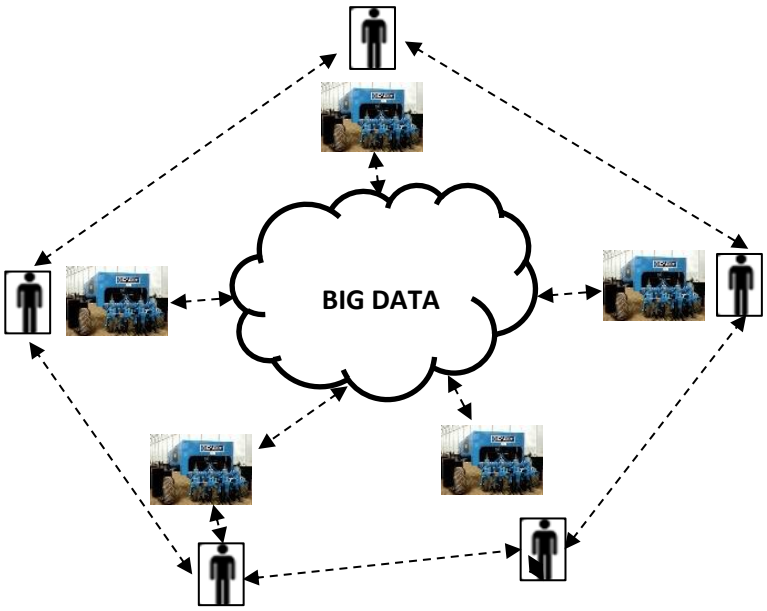
Enfin, cette recherche exploratoire a permis de dégager de nombreux constats qui guideront la conception d'un véhicule autonome électrique-hybride en agriculture. La réflexion entreprise par le CISA a également mené à proposer au fabricant ELMEC deux grandes perspectives stratégiques d'implantation de la technologie dans son milieu.

Stratégie 1 : La première perspective propose d'implanter le véhicule dans les entreprises agricoles comme un outil indépendant interagissant au sein d'un système fermé. La relation entre le producteur agricole et son véhicule sera caractérisée par des interactions bilatérales entre intelligence artificielle et humaine. Les apprentissages et les expériences liés à l'utilisation de la nouvelle technologie ne profitent qu'à l'entreprise utilisatrice, soit en circuit fermé.



Système fermé

Stratégie 2 : La deuxième stratégie considère la technologie davantage comme un outil qui devrait co-évoluer en circuit ouvert. En ce sens, il est proposé d'implanter le véhicule autonome au sein d'un système interconnecté pour permettre, d'une part, aux agriculteurs de partager en continu avec leurs pairs des informations relatives à l'utilisation du véhicule dans le but d'améliorer leurs connaissances. D'autre part, la mutualisation des données rendra le véhicule plus performant et plus prédictif. La mise en réseau des données au sein d'un système interconnecté apportera une valeur ajoutée considérable aux entreprises qui feront accroître la performance de l'économie du Québec. Le CISA pose l'hypothèse que cette stratégie pourrait être une réponse aux craintes envisagées par les producteurs agricoles face à la perte du contact humain aux dépens de l'intelligence artificielle. Ultimement, un système interconnecté permettrait de créer des synergies entre usagers, concepteurs et fabricants.



Système ouvert

RÉFÉRENCES

Agricarrière (2015) http://www.agricarrieres.qc.ca/pages/Fiche_etude%20sectorielle%20web.pdf

3 Beck U. «La société du risque». Aubier 2001.

Bracken P.J., Phenomenology and psychiatry. *Current Opinion in Psychiatry*, 1999 ; 12 : 593-596

Byrne M. M., Understanding life experiences through a phenomenological approach to research. *Association of Operating Room Nurses Journal*, April 2001 ; 73 : 4

Koch T., Interpretive approaches in nursing research : the influence of Husserl and Heidegger, *Journal of Advanced Nursing*, 1995 ; 21 : 827-839

Koivist K., Janhonen S. & Vaisanen L., Applying a phenomenological method of analysis derived from Giorgi to a psychiatric nursing study. *Journal of Advanced Nursing*, 2002 ; 39 (3) : 258-265

Wimpenny P. & Gass J., Interviewing in phenomenology and grounded theory : is there a difference ? *Journal of Advanced Nursing, 2000 ;* 31 (6) : 1485-1492

Couturier Lucie, *Etude phénoménologique sur la qualité de vie de personnes atteintes de cancer*, Thèse de sciences infirmières, Université de Montréal, 1996

Deschamps Chantal, *L'approche phénoménologique en recherche : Comprendre en retournant au vécu de l'expérience humaine*, Guérin universitaire, 1993

ANNEXE 2

Compte rendu du premier groupe de discussion

1. Contexte de la journée

Cet atelier de travail s'inscrit dans un projet de recherche plus large mené conjointement par l'Institut du véhicule innovant (IVI) et le Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA), qui vise à mettre à contribution les savoir-faire et les connaissances des producteurs agricoles dans la conception d'un tracteur autonome destiné à la production maraîchère.

L'été dernier, des entrevues individuelles ont été réalisées auprès de producteurs et de conseillers agricoles. Cette recherche exploratrice a permis, entre autres, de cibler un type de production agricole pour le 1er prototype du tracteur autonome et d'identifier les besoins et les fonctionnalités désirés. Afin d'approfondir les données obtenues, le présent atelier de réflexion vise à bâtir, avec la participation de producteurs maraîchers et des conseillers, la conception technique du tracteur autonome.

Cette réflexion participative visait trois objectifs, à savoir :

1. Dégager les éléments, de la réalité quotidienne des producteurs maraîchers, qui influenceront la conception du tracteur autonome;
2. Bâtir les critères techniques et fonctionnels du tracteur autonome;
3. Préciser les informations techniques essentielles pour la conception et le développement du 1er prototype.

L'ensemble des informations servira à l'équipe d'ingénieurs de l'IVI pour la conception du 1er prototype du tracteur autonome et leur permettra de bâtir un tracteur autonome collé sur les besoins et la réalité des producteurs maraîchers. Un deuxième atelier est prévu en mars pour réaliser une évaluation participative des différents concepts de tracteur qui seront proposés par IVI.

2. Horaire et description des activités proposées par le cisa

Afin de répondre aux objectifs énoncés plus haut et de construire une réflexion participative avec les connaissances et le savoir-faire des individus invités à cette journée, le CISA et l'IVI ont bâti une proposition d'animation se déclinant en trois activités. Ces dernières ont été créées à partir des besoins énoncés par l'équipe d'ingénieurs d'IVI pour avancer dans le développement du tracteur autonome. Les blocs d'activité et leurs objectifs se déclinent comme suit :

- La **première activité** : *Sabotage*. L'objectif poursuivi par l'activité était d'identifier les éléments qui sont susceptibles de saboter une journée de désherbage et de discuter en groupe des solutions envisagées ou déjà expérimentées pour remédier aux éléments présentés.

- La **deuxième activité** : *Ton tracteur idéal*. L'objectif poursuivi par l'activité était d'identifier les valeurs associées aux critères techniques nécessaires pour concevoir le tracteur autonome idéal et de préciser les justifications qui accompagnent les valeurs énoncées. C'est dans cette activité qu'il est possible de voir quel genre de produit les agriculteurs s'attendent à utiliser.

- La **troisième activité** : *Mise en commun et priorisation*. L'objectif poursuivi par cette activité était de mettre en commun les fiches techniques des deux équipes. Les représentants de chaque équipe devaient

expliquer les particularités de leur tracteur autonome, les critères techniques principaux et présenter le nom choisi. Par la suite, en groupe, l'exercice était de créer la liste des critères techniques incontourbales pour la conception du robot en prenant soin de distinguer les réalités des petits et gros producteurs maraîchers.

Le tableau 2.1 résume le déroulement de la journée.

***Tableau 2.1** : Sommaire du déroulement de la journée*

Étapes	Temps
1. Mise en contexte	15 min.
2. Activité 1 : ***Sabotage***	60 min.
3. Activité 2 : ***Ton tracteur idéal***	60 min
4. Dîner et remplir le questionnaire	90 min.
5. Synthèse des deux premières activités	15 min.
6. Activité 3 : ***Mise en commun et priorisation des critères techniques***	90 min.

2.1 Description des animateurs, des observateurs et des rapporteurs

Afin de faciliter les discussions et le processus de priorisation des actions par bloc, des animateurs et des co-animateurs ont été assignés à chaque activité. De plus, afin d'optimiser la saisie des informations échangées lors de la journée, des rapporteurs ont été assignés à différentes tables et des gabarits de prise de notes ont été fournis à titre de soutien matériel. Les rapporteurs étaient soit des étudiants ou des membres du soutien administratif du CISA.

Enfin, un observateur a été attitré à chaque équipe. Le mandat des observateurs a été gardé secret tout au long de la journée. Leur mission était de capter, à travers les discussions de la journée, les informations marquantes des échanges au sein de leur équipe (exemple : les besoins, les conditions d'utilisation, les craintes, l'acceptabilité sociale, etc.) et de préparer une synthèse de leurs observations à présenter en fin de journée.

3. Compte rendu des résultats des trois activités de la journée

Cette section fait état des échanges survenus à l'intérieur des trois activités et des deux équipes de travail. Elle présente également les résultats des deux premiers objectifs visés par la journée de concertation, soit (1) dégager les éléments, de la réalité quotidienne des producteurs maraîchers, qui influenceront la conception du tracteur autonome (activité1 : *Sabotage*) et (2) bâtir les critères techniques et visuels du tracteur autonome (activité2 : *Ton tracteur idéal*). Puis, les résultats de la discussion de groupe en après-midi sont également exposés.

3.1 Les résultats de l'activité : *Sabotage*

Cette sous-section présente une mise en commun de l'ensemble des informations et des éléments discutés par les deux équipes lors de l'activité « *Sabotage* ».

Tableau 3.1 : Résultats de l'activité « Sabotage »

Catégories de facteurs	Facteurs de sabotage	Pistes de solution
Environnement	Des roches qui restent prises dans les dents du sarcleur	• Il faut regarder souvent les outils et s'assurer que rien ne reste pris dedans. **Le robot devra être en mesure de détecter ce type de problème** • Faire le nettoyage du champ au printemps
	Le terrain est inégal, donc la profondeur de travail est inégale	• Il faut être très attentif et connaître très bien son terrain. **Donc, le robot devra s'adapter à ce type de terrain** • Faire le nivellement des terres
	Une structure de sol *croûtée.* Lorsqu'on désherbe, les « croûtes » sont déplacées vers le plant et elles le brisent ou le déracinent carrément s'il est jeune	• Avoir des outils qui ameublissement le sol (dépend toujours de la texture du sol) • Travailler le sol dans la bonne fenêtre de temps • Vérifier la structure du sol en général avant de rentrer dans le champ • **Le robot devra être en mesure d'adapter son travail aux types de sol et aux conditions du sol**
	Champs d'ortie ou de souchet	• Il ne faut pas déplacer ces mauvaises herbes (MH), sinon, elles se répandent. Il faut donc bien nettoyer les outils de désherbage. Aussi, possibilité de sortir les MH du champ (littéralement) : faire des tas et les brûler • Les éliminer avant l'implantation des cultures commerciales
	Certaines MH sont très envahissantes (exemple : galinsoga), il est difficile de travailler mécaniquement au travers et aller près du rang	• Les éliminer manuellement et régulièrement pour éviter la propagation
	Densité de mauvaises herbes tellement forte qu'on fait 20 pi/h et les problèmes de bourrage sont intensifiés	• Il vaut mieux sarcler manuellement ou détruire la culture • Faire une meilleure planification
Humain	Le conducteur ne constate pas qu'il a heurté une grosse roche qui a abîmé son outil de sarclage et continue à travailler sur une longue distance avant de s'en rendre compte	• C'est la conduite qui va influencer la qualité du travail. **Le robot peut permettre une conduite stable sans inattention** • Avoir le souci du détail, être attentif et réagir rapidement
	Manque de connaissances des travailleurs (lenteur)	• Éduquer les employés et communiquer
	Un employé qui s'endort au volant et détruit les cultures	
	Erreur de travail	

Mécanique	Mauvais ajustement des outils de sarclage	• Ce n'est pas nécessairement parce que la personne n'est pas assez qualifiée. Il faut bien connaître sa machinerie et prévoir le temps nécessaire pour faire les ajustements, car le terrain n'est pas pareil partout • **Le robot devra être en mesure de faire des ajustements en temps réel**
	Bourrage : mauvaises herbes (MH) trop grandes ou trop humides	• Observer ses outils et s'assurer que rien ne reste pris dedans, car lorsqu'il y a des mottes ça peut endommager les plants et briser l'équipement • Travailler par temps sec • Sarcler lorsque les MH sont encore jeunes • **Le robot devra être en mesure de faire des ajustements en temps réel**
	Le moteur surchauffe, saisit le bloc moteur	• Ça prend quelque chose de très fiable • Avoir des pièces de remplacement disponibles rapidement
	Bris d'équipement (sarcleur)	• Évaluer si le temps sera suffisant dans la journée pour terminer le travail; sinon, on reprend le lendemain avec l'équipement réparé, si la météo le permet • Garder de l'équipement de rechange sur la ferme
	Les pannes du tracteur autant par le manque de carburant, un bris de moteur ou de mécanique quelconque	• Souvent, il n'y a rien d'autre à faire que de revenir au garage pour réparer, souvent beaucoup de pertes de temps à ce moment • Avoir l'équipement et la main d'œuvre pour continuer le travail manuellement
	Bris mécanique	• **Il faut que les pièces du robot soient disponibles, fiables et faciles à remplacer, RAPIDEMENT** • Avoir un grand inventaire, conception réfléchie, faire un modèle compatible avec des pièces déjà existantes sur le marché
Culturales	Parfois, la densité de mauvaises herbes devient tellement importante que ça ne vaut plus la peine de désherber	• Parfois, il vaut mieux détruire la culture et recommencer
	Mauvaises levées du semis et les MH prennent le dessus	• Désherber manuellement ou à l'aide d'un pyrodéserbeur
Météo	**Température chaude et humide** : les MH ne meurent pas après le premier passage, elles reprennent rapidement et il faut repasser	• Enlever les MH manuellement du champ

	Température chaude et humide Tous les semis arrivent en même temps parce qu'on a une fenêtre de temps pour les semis, mais il faudrait aussi faire le désherbage, car les conditions sont bonnes pour ça également	• Dans ces conditions, il faudrait sarcler tout en même temps, mais continuer à travailler sur les semis
	Temps pluvieux : beaucoup de MH et passage mécanique difficile	• Il est possible d'entrer dans les champs, mais la compaction est plus importante dans ce cas, il vaut mieux sarcler manuellement, mais la main d'œuvre n'est pas toujours disponible
	Les sols ne sont pas assez ressuyés (ou trop humides)	• Il faut maximiser et optimiser le travail de désherbage par temps sec. C'est le nerf de la guerre !
	Il pleut beaucoup, on ne peut rien faire, le sol est trop mou, le tracteur est pris	• Il faut maximiser et optimiser le travail de désherbage par temps sec. C'est le nerf de la guerre !
	Il pleut, les herbes ne meurent pas et la boue colle aux sarcleurs.	• Ces journées se transforment en semaine… Finalement, il faut sarcler manuellement • Il faut maximiser et optimiser le travail de désherbage par temps sec. C'est le nerf de la guerre !
	Pluie abondante et chaleur intense, les cultures poussent quand même, mais moins vite que les MH!	• Si la pluie commence et que la chaleur reste, les mauvaises herbes poussent beaucoup et les cultures stagnent. Il est impossible d'entrer dans le champ, il faut sarcler manuellement
Phytoprotection	Les délais (avant et après) l'arrosage de pesticides : impossible d'entrer dans le champ	• Parfois, jusqu'à 40 jours (oignon) avant d'entrer, alors la planification temporelle est <u>très</u> importante ! • **Ici, le robot peut être une solution intéressante… Ce n'est pas parce qu'on est dans un délai d'application de pesticides qu'on n'aurait pas envie d'aller faire du sarclage mécanique**
Temps	Trop de mauvaises herbes ou jamais la bonne grandeur, ou trop grandes	• En fait, il faut idéalement sarcler au stade « fil blanc » ou au stade de germination. Le « timing » pour effectuer le sarclage mécanique de manière optimale est très important, mais il est parfois difficile à mettre en œuvre au bon moment à cause de la météo • Finir par faire du sarclage manuel, mais ça coûte très cher ! • Meilleure organisation du temps possible ; sarclage manuel

	Urgence de finir à temps : nous n'avons pas 10 tracteurs… Le tracteur ne peut pas aller plus vite. Encore une fois lié à la fenêtre de temps qui est parfois très courte et pas toujours au stade idéal de la MH… Donc on le fait quand on peut, mais ce n'est pas toujours optimal… Aussi, parfois, la fenêtre de temps est tellement courte qu'on n'a pas toujours le temps de faire tous les champs et c'est là qu'on perd le contrôle sur les MH dans certains champs	• Meilleure organisation du temps : avoir plusieurs plages horaires de désherbage dans la semaine pour être certain d'avoir le temps • **Plusieurs petites unités de robot pourraient aider à pallier ce problème en exécutant le désherbage dans tous les champs au même moment, lorsque la fenêtre de temps est très courte**
	N'arrive pas à ajuster correctement le sarcleur = perte de temps et de précision pour le sarclage	• Avoir des connaissances élargies des équipements et des ajustements pour mieux les ajuster et plus rapidement
	Manque de temps, dû aux autres priorités sur la ferme. Il y a les semis, la préparation du sol, des nouvelles parcelles, etc. Tout est à faire quand il fait beau et on manque de temps… Souvent, le sarclage n'est pas la priorité n° 1	• Meilleure organisation du temps • **Plusieurs petites unités de robot pourraient aider à pallier à ce problème en exécutant le désherbage dans tous les champs au même moment, lorsque la fenêtre de temps est très courte et libérer le producteur pour faire d'autres tâches urgentes**
	Stade des MH : dépassé, donc ce n'est plus le bon temps pour faire le travail	• Tout revient au temps… Les récoltes sont prioritaires, donc le désherbage vient après. **Si les robots pouvaient travailler en même temps, ce serait un gros avantage** • Le stade avancé des MH augmente l'effort de désherbage, mais diminue aussi son efficacité… Le bon timing et le stade, ça fait toute la différence!

Tableau 3.2 : Synthèse de l'activité sabotage

Catégorie	Récurrence	Synthèse des facteurs de sabotage
Météo	7	Conditions météorologiques trop humides (ou trop chaudes)
Mécanique	6	Bourrage des sarcleurs, bris mécanique, mauvais ajustement
Environnement	6	Élément de l'environnement irritant (roches, topographie, sol, MH etc.)
Temps	5	Fenêtre de temps très courte pour faire le désherbage dans tous les champs / stade des MH dépassé
Humain	4	Erreur humaine (inattention, manque de précision, oubli, etc.)
Cultural	2	Mauvaise levée du semis et densité des mauvaises herbes
Phytoprotection	1	Les délais (avant et après) l'arrosage de pesticides : ne peut pas entrer dans le champ

3.2 Résultats de l'activité : *Ton tracteur idéal*

Cette sous-section présente les éléments discutés lors de l'activité « *Ton tracteur idéa*l » pour les deux équipes, soit l'équipe des *R2D2* et celle des *Cœurs circuits*.

Tableau 3.3 : Les valeurs des critères techniques de l'équipe des *R2D2*

Nom du robot : *I-WEED*		
Critères techniques	**Valeurs et justifications (petits producteurs)**	**Valeurs et justifications (gros producteurs)**
Puissance du tracteur (hp)	– **15-20 hp,** car pas d'outils durs à traîner et ils travaillent 1 planche à la fois – 15 à 20 hp par planche	– **50-70 hp**, parce que besoin de faire plus d'une planche à la fois. (Exemple : 6 rang / 30 pi) – Besoin de 50 à 70 hp s'il y a un outil à tirer ou si plus d'une planche. (Exemple : avec 60 hp, possible de sarcler 4 rangs de pomme de terre au 36 po)
Vitesse maximale (km/h) (déplacement seulement, sans charge)	– 15 km/h, mais rarement utilisé	– 30 km/h entre les champs et jusqu'à 50km/h entre les champs de patates – 50 km/h vitesse de transport
Vitesse maximale (km/h) (lors de tâches agricoles)	– 12-13 km/h en travail	– 12-13 km/h en travail
Masse du tracteur (sans ''ballasts'')	– Un tracteur de 1000 lbs (10 forces) c'est correct pour un petit producteur – L'important c'est qu'il soit stable	– 2-3 tonnes c'est correct. L'important est qu'il soit stable
Ajout de masse possible? (ballasts)	– Oui dans la culture diversifiée	
Masse totale incluant les ballasts	– 1000 lbs, ok, mais dépend de la stabilité – Pas trop lourd, mais il ne faut pas qu'il glisse	
Dégagement par rapport au sol	– Minimum : 20 po, car il y a des buttes : brocoli et chou-fleur ont besoin de 3 pieds de dégagement – Maximum : 27-30 po	– Minimum : 20 po, car il y a des buttes : brocoli et chou-fleur ont besoin de 3 pieds de dégagement – Maximum : 27-30 po
2WD ou 4WD?	– 2WD s'il n'y a pas de pente – Tout dépend de la performance	– 4WD, c'est plus facile à diriger et plus précis, mais plus cher
Roues ou chenilles?	– Roues, car c'est moins cher.	– Chenilles même si c'est plus cher, car chenilles ont une bonne portance. Par contre, elles nécessitent plus d'entretien, mais sont plus durables

		– Largeur : 12 pouces – Écrase les feuilles?
Distance pour tourner au bout du champ	– Les producteurs ont 15-20 pi de jeu pour tourner au bout du champ	
Largeur des pneus	– 8 po, car permet plus de jeu, d'ajustements et de flexibilité	13-14 po
Avec ou sans PTO?	– Hydraulique de base, car c'est plus économique – Le PTO optionnel, si outil rotatif – Pompe hydraulique indépendante + PTO, si plus de rang	– Hydraulique de base, car c'est plus économique – Le PTO optionnel, si outil rotatif – Pompe hydraulique indépendante + PTO, si plus de rang
Puissance au PTO (hp)	– Va avec la puissance du tracteur – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler	– Va avec la puissance du tracteur – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler
Avec ou sans attache 3 points?	– Non, car un 3 points : complique la mécanique, mais si c'est pour arroser (par exemple) pas le choix – Oui si l'outil est ventral, il faut quelque chose qui travaille derrière les roues, qui permet de tourner plus facilement	– Non pas besoin… Barre avec cylindre correct pour mettre quelque chose derrière les roues (drawbar) – Oui si l'outil est ventral, il faut quelque chose qui travaille derrière les roues, qui permet de tourner plus facilement
Catégorie d'attache 3 points (I, II, III…)	– II + adaptateur – Standard qui va avec la force du tracteur	– II + adaptateur – Standard qui va avec la force du tracteur
Avec ou sans ''drawbar''?	– Non, pas besoin sur un sarcleur et si je mets quelque chose derrière, quand ça tourne ça se complique! Il faut un outil central plus qu'un outil tiré : plus facile, plus précis, porte-outil, prend un bon dégagement – Difficile à naviguer avec un drawbar, compliqué	– Non, pas besoin sur un sarcleur et si je mets quelque chose derrière, quand ça tourne ça se complique! Il faut un outil central plus qu'un outil tiré : plus facile, plus précis, porte-outil, prend un bon dégagement – Difficile à naviguer avec un drawbar, compliqué
Catégorie de ''drawbar'' (I, II, III…)	–	–
Type de direction (roues avant, articulées, roues arrières, ''track steer'', etc.)	– 4 roues multidirectionnelles de style « monster truck » afin de pouvoir tourner plus serré et non en crabe	– 4 roues multidirectionnelles de style qui ont une suspension indépendante aux 4 roues afin de pouvoir tourner plus serré et non en crabe
Peut fonctionner la nuit?	– Non, car sarcler la nuit ne tue pas la mauvaise herbe	– Oui, pour faire le dépistage et l'arrosage

	– Pas confiance de le laisser seul 24h/24h – Entre 9h-18h = meilleures heures pour désherber – Bon de fonctionner la nuit au début du stade de croissance de la mauvaise herbe	
Hybride avec diesel, essence ou autre?	– Hybride comme le système de la Volt, mais 2 systèmes = deux fois plus de problèmes	– Hybride comme le système de la Volt, mais 2 systèmes = deux fois plus de problèmes
Capacité du réservoir	– 8h minimum, mais dépend du hp	– 8h minimum, mais dépend du hp
Dégagement de l'essieu ajustable?	– Outil ajustable, pas le tracteur. Aucun tracteur ne s'ajuste sur le marché, mais la barre d'outils peut être ajustable	– Outil ajustable, pas le tracteur. Aucun tracteur ne s'ajuste sur le marché, mais la barre d'outils peut être ajustable

Tableau 3.3: les valeurs des critères techniques de l'équipe des *Cœurs circuits*

Nom du robot : *AUTO-HOMME*		
Critères techniques	**Valeurs et justifications (petits producteurs)**	**Valeurs et justifications (gros producteurs)**
Puissance du tracteur (hp)	– **12-30 hp** – L'outil tiré changera la puissance nécessaire – 1 hp par dent en « s » – 5-10 hp pour renchausser – 30 hp : planche par planche si 3 planches, pas nécessairement les 3 planches qui sont de la même culture	– **60-100 hp** – Si le robot est très large et fait toute la même culture. Parfois il faut que ce soit vite (jours/température) nécessite plus de puissance
Vitesse maximale (km/h) (déplacement seulement, sans charge)	– 15 à 20 km/h : hors champ	– 15 à 20 km/h : hors champ
Vitesse maximale (km/h) (lors de tâches agricoles)	– 4-5 km/h avec une transmission hydraulique – 2 km/h pour du travail de précision (ex. : laitue) – S'il renchausse en même temps qu'il désherbe, il doit aller assez vite	– Entre 4 et 10 km/h. 6 km/h, c'est l'idéal – 2 km/h pour la précision
Masse du tracteur (sans ''ballasts'')	– Le plus léger possible pour éviter la compaction	– Le plus léger possible pour éviter la compaction
Ajout de masse possible ? (ballasts)	– Oui, pour ajuster la répartition du poids avec l'équipement	– Plus ou moins pertinent
Masse totale incluant les ballasts	–	–
Dégagement par rapport au sol	– 18po de dégagement minimal et 30 po de dégagement maximal – Ajustable sur commande ou en temps réel	– 18po de dégagement minimal et 30 po de dégagement maximal – Ajustable sur commande ou en temps réel
2WD ou 4WD?	– 4WD : lorsque le sarcleur est tiré – 2WD : lorsque le sarcleur est ventral – Ne mettrait pas 5000$ pour un 4WD – [2 roues ou 4 roues directionnelles]	– 4WD ou 2WD si le sarcleur est ventral
Roues ou chenilles?	– 4 chenilles motrices – Les deux? Chenilles = plus chère, mais porte mieux	– 4 chenilles motrices – Pourraient être optionnelles

	– Chenilles font moins de compaction et ne font pas de bourrelets	
Distance pour tourner au bout du champ	–	–
Largeur des pneus	– 9 à 12 pouces, max 14 pouces	– 9 à 12 pouces, max 14 pouces
Avec ou sans PTO?	– Pompe hydraulique pour la sécurité (PTO = dangereux) et c'est facile à ajuster (vitesse de rotation), mais risques de fuites d'huile	– Pompe hydraulique, c'est plus sécuritaire, plus facile à ajuster, mais risques de fuites d'huile – PTO : plus dangereux – Électrique?
Puissance au PTO (hp)	– Va avec la puissance du tracteur – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler	– Va avec la puissance du tracteur – Pas besoin de beaucoup de force pour sarcler
Avec ou sans attache 3 points?	– Dois être adaptable à la machinerie actuelle	– Bon d'avoir machine dessous et derrière – Peut-être mieux dessous si autonome, car plus t'es loin du centre, plus c'est difficile d'être précis – Faut que ça « fit » avec la machinerie qu'ils ont actuellement
Catégorie d'attache 3 points (I, II, III…)	– II, ça va avec la puissance	– II, ça va avec la puissance
Avec ou sans ''drawbar''?	– Toujours sur 3 points pour désherber, sinon ça bouge trop	– Toujours sur 3 points pour désherber, sinon ça bouge trop
Catégorie de ''drawbar'' (I, II, III…)	–	–
Type de direction (roues avant, articulées, roues arrières, ''track steer'', etc.)	– Si outils dessous : 2 roues directionnelles – Dans le meilleur des mondes : les 4 roues virent. Comme la tondeuse qui tourne sur elle-même	– Dans le meilleur des mondes : les 4 roues virent. Comme la tondeuse qui tourne sur elle-même
Peut fonctionner la nuit?	– Non, pas confiance	– Oui, 24h/24h pour avoir une plus grande fenêtre de temps – Si 24h : on pourrait avoir plusieurs petits robots – Il faudrait une alarme
Hybride avec diesel, essence ou autre?	– Si électrique, il faut une boite de batteries de rechange	– Si électrique, il faut une boite de batteries de rechange
Capacité du réservoir	– Autonomie de 8h à 10h. Il doit faire une journée	– Autonomie de 8h à 10h. Il doit faire une journée

3.4 Résultat de l'activité : Mise en commun et priorisation

Cette sous-section présente une mise en commun des critères techniques du robot idéal faisant consensus pour les deux équipes de travail. Elle présente aussi un classement des critères techniques selon qu'ils soient prioritaires ou optionnels pour la conception du robot. Une distinction est faite entre les besoins des petits et des gros producteurs maraîchers. Puis, les éléments de la discussion de groupe ont été répertoriés sous forme de question-réponse.

Les critères techniques qui font consensus pour les deux équipes

Tableau 3.5 : Les critères techniques qui font consensus pour les deux équipes

Critères techniques qui font consensus	Valeurs
Dégagement par rapport au sol	20po min. – 30po max.
Avec ou sans PTO?	Hydraulique. PTO en option
3 points?	3 pts seulement si l'outil de désherbage est ventral
Catégories d'attaches	II
Type de direction	4 roues multidirectionnelles
Longueur et largeur des pneus	Entre 9 et 14 po
Diamètre des pneus	Plus le diamètre est grand, mieux c'est, car une plus grande surface de contact au sol apporte une meilleure traction et moins de compaction.
Capacité du réservoir (autonomie)	8-10 heures

Les résultats de la priorisation des critères

Tableau 3.6 : Les critères techniques prioritaires

Critères techniques	Petits producteurs	Gros producteurs
Adaptable aux variations du terrain (pente, roches, obstacles)	✓	✓
Adaptable à plusieurs outils déjà utilisés sur la ferme	✓	✓
Sarcleur ultra-précis et ultra-performant (désherber le plus près possible du rang)	✓	✓
Efficace et fiable	✓	✓

Tableau 3.7 : Les critères techniques optionnels

Critères techniques	Petits producteurs	Gros producteurs
Identification des ravageurs	n/a	✓
Analyse du sol	n/a	✓
Analyse des cultures	✓	✓
Compatibilité avec les GPS utilisés sur les autres machines	n/a	✓
Plusieurs petits robots de 30 hp au lieu d'un gros de 100 hp	✓	✓
Transportable à l'aide d'une remorque (*trailer*)	✓	✓

Les éléments de la discussion de groupe entre les chercheurs d'IVI et du CISA et les producteurs agriculteurs :

Question 1 : Vous disiez plutôt que ce ne seront pas les petits [producteurs maraîchers de petite surface] qui vont aller chercher ce genre de machinerie là, est-ce que c'est unanime ?

- Les petits risques de ne pas en avoir besoin ou de ne pas être capable de le rentabiliser.
- Entre faire une machine spécialisée dans le crucifère et une qui fonctionnera dans une quarante de variétés de légumes, avec différents *spacing*, il n'y a pas le même coût de développement, d'un, et de deux, c'est difficile à rentabiliser sur une petite surface.
- Parce que sur petite surface, on utilise beaucoup d'outils en peu de temps versus un producteur qui fait 2-3 variétés et qui utilise un outil par jour. Aussi, par exemple, je fais 250 000$ brut par année, sur ça il y a environ 96 000$ d'employés, et disons qu'il y a environ 1/5 pour le désherbage, donc 20 000$. Cela influence beaucoup mes achats. Je disais plutôt qu'on cherche dans l'usagé et qu'avec 20 000$ on est bien équipé, ajoute un employé à 15$/heure qui fait ça tout l'été, il va peut-être te coûter 15 000$... c'est tout ça qui amène la question si un petit est capable de se payer ça [le robot].
- Il faut que le robot permette de gagner en précision de désherbage. Cela fera sauver des coûts énormes. Il n'y a aucune machine qui a autant de précision que l'on voudrait.

Question 2 : Votre premier besoin semble d'avoir un super désherbeur autonome. Qu'il se déplace de façon autonome et que ce soit un super sarcleur, serait la totale… donc le premier intérêt est d'avoir un super sarcleur?

- Il y a un coût monétaire et il y a un coût d'opportunité. Le fait d'avoir un robot qui libère la main-d'œuvre, ça peut valoir beaucoup plus cher que le coût de la main-d'œuvre économisé, parce que tu as plus d'effectifs et qu'il y a une plus-value au fait que c'est automatisé.
- Le but de ça, ce n'est pas un tracteur automatique que tu veux, c'est un sarcleur automatique. C'est qu'il soit capable de sarcler avec une précision qui n'est pas humaine et qu'il soit capable de gérer ces conditions. Ça prend quelque chose de vraiment intelligent et comme on disait, un des problèmes qui peut survenir c'est le bourrage, il faut qu'il soit capable de détecter ça et de réagir en conséquence… ou d'avoir une façon de le gérer. Ça prend de quoi d'assez brillant comme truc !
- Au lieu de penser un tracteur qui a son auto-motricité, il faut plutôt penser à un outil adaptable à plusieurs tracteurs, il doit être polyvalent. Le conducteur conduit et le robot travaille sur la précision adaptée au terrain. Ce qui ressort tout le temps, c'est le besoin de précision.
- Tu n'as pas à payer un nouveau tracteur, on a tous un tracteur…
- Le coût ne sont pas au niveau de l'opérateur, mais de la qualité du travail fait, la précision.

Question 3 : Est-ce que c'est un gros enjeu de pouvoir identifier les maladies, les insectes ?

- Un robot c'est beaucoup plus précis qu'un humain. On pourrait diminuer les intrants en pesticides.
- Tu ne veux pas un modèle qui fait des analyses de sol. On ne travaille pas en temps réel sur ces facteurs-là, en bio tu travailles avec le sol, en préventif. C'est tes conditions de cultures qui font que tu n'as pas trop de maladies et que les insectes sont gérés. Si tu essaies de faire du curatif en bio, ça ne fonctionne pas.
- Il faut quelque chose qui reconnaît les bonnes, des mauvaises plantes et insectes.

Question 4 : Serait-il envisageable d'imaginer le robot autonome avec son outil de sarclage ou vous faites les premiers 100 verges pour faire les bons ajustements et ensuite vous appuyez sur *play* pis le robot continue le reste du champ seul. ? Ou est-ce qu'il faut quelqu'un en tout temps pour faire les ajustements en temps réel ?

- Dans un cas où tu as assez grand de culture, ça vaut la peine.
- C'est ça que je disais plutôt, au lieu d'avoir un robot qui y va tout seul désherber au champ, on devrait travailler sur la capacité de précision du désherbage, mais en conservant un opérateur humain. Les gains pourraient être comparables. Où il y a de gros gains, c'est d'envoyer le robot tout seul faire des tâches dangereuses pour les humains, comme appliquer des pesticides, autant dans le conventionnel que dans le bio.

Question 5 : Lorsque vous dites que ça prend un tracteur de 100hp, est-ce que ce serait la même chose d'avoir 4 tracteurs de 25hp ? Disons, 4 robots de 25 forces, de petites tailles. Plusieurs robots, qui travaillent de façon synchronisée?

- Je pense que oui, tu pourrais rapetisser encore. Disons un robot qui passe dans les entres-rangs.
- Si un robot fonctionne sur une petite surface, pourquoi faire un 100hp ?
- **Sandrine : est-ce que ce serait vrai dans les deux réalités [petits et gros] ?**
- **Producteurs:** oui, et en plus, s'il est plus petit, au lieu d'acheter 6 unités, comme un gros ferait, le petit producteur, lui, pourrait acheter une seule unité. Ce serait un moins grand investissement.
- **IVI :** Si on pousse ça à l'extrême, disons que tu as un robot de 10 forces, que je fais en plastique injecté, qui coûte beaucoup moins cher, au niveau de la fabrication. Alors, j'en mets 10 et c'est correct, c'est la même puissance déployée, mais ils sont 10 de large.

Question 6 : Dans votre quotidien, à quel point c'est une fonction importante que vous puissiez envoyer le véhicule sur la route et qu'ils respectent les normes routières ? Est-ce que devoir transporter vous-même le robot est un irritant ou ce n'est pas grave ?

- Ça dépend de sa grosseur…dans la mesure où le robot nous avertit lorsqu'il a fini sa job, je serais prêt à aller le porter. De toute façon tu ne peux pas le laisser aller tout seul dans le chemin.
- Si tu pouvais en embarquer 3 dans un pick-up, s'ils sont de petite taille, ce n'est pas un problème.
- Le problème de les embarquer sur un *flatbed*, c'est qu'il faut les attacher, il y a des normes.
- Aux grandeurs de champ que les producteurs ont, n'envoyez pas ça tout seul, on va l'accompagner !

3.4 Synthèse de l'analyse des observateurs Marie-Joëlle Brassard et Sébastien Demers

Cette partie du compte rendu propose une synthèse des observations faites par nos deux observateurs de la journée, soit Marie-Joëlle Brassard, chercheure au CISA et Sébastien Demer enseignant au Cégep de Saint-Jérôme. Le résultat de leur analyse met en évidence 2 éléments importants, soit, 1) un portrait-robot du producteur agricole et ses mécanismes de prise de décision en vue d'acheter un nouvel outil ainsi que 2) le temps comme variable indépendante influençant l'ensemble des sphères de la production agricole maraîchère.

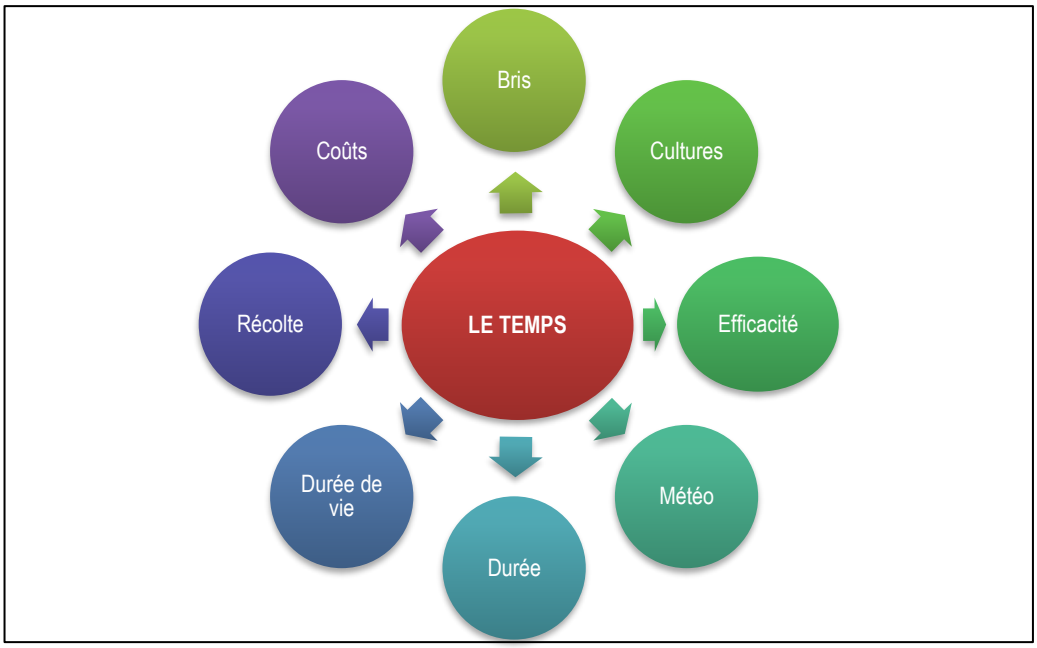
1. **Le portrait-robot du producteur agricole**

Il planifie les productions, les cultures, les sols	**Il calcule** le coûts, les rangs, l'efficacité, les délais	**Il invente** adapte sa machinerie, répare les bris
Il évalue la durée, le temps, nuit/jour, la faisabilité	**Il gère** les employés, les fonctions d'entreprises	**Il expérimente** les productions, les méthodes et les techniques.

2. **Chaque prise de décision en vue de se procurer un nouvel outil de travail est évaluée par le prisme des questions suivantes**

   - Nécessité : essentiel ou un luxe?
   - Ajustable : au terrain, aux productions?
   - Adaptable : transformable aux besoins de production?
   - Faisable : sur le plan technique?
   - Achetable : coûts réalistes VS utilité?

3. **Le temps comme variable indépendante influençant l'ensemble des sphères de la production agricole maraîchère.**



4. Constats de l'équipe de recherche

4.1 Les constats majeurs de la journée :

Le réel besoin du producteur maraîcher

La fonction d'autonomie du robot est secondaire par rapport à celle de précision du désherbage mécanique. L'enjeu réel de la conception du tracteur autonome est d'atteindre un niveau de précision élevé du désherbage (le super sarcleur) ce qui permettrait aux agriculteurs d'optimiser leur rendement de production. **Donc :**

- Si un robot autonome fait un désherbage qui manque de précision, ce n'est pas intéressant pour le producteur agricole qui va devoir de toute façon passer derrière. La précision du désherbage dépend de trois facteurs majeurs : 1) facteur outil (ajustement et conception), 2) facteur conducteur et 3) facteur environnement/météo. En sachant cela, est-ce que la fonction de déplacement du véhicule autonome pourrait aider à travailler sur la précision de désherbage?
- Dans un deuxième projet, il serait important de travailler sur la précision de la fonction de désherbage au niveau de l'outil à intégrer au robot (développer des outils plus performants).

Le grand défi : ajustement en temps réel

Il faut que le robot s'ajuste au moins aussi bien que si un conducteur humain était au contrôle. Le robot doit être capable de réagir rapidement si une de ces complications suivantes survient : bourrage, du contact avec une roche ou d'un trou ou un bris mécanique.

David (ou les David) vs Goliath

Le dénominateur commun des discussions de groupe était la possibilité d'utiliser plusieurs petits robots (ex. : 30hp) au lieu d'un gros robot (100hp). **Donc :**

- moins dispendieux par unité, donc plus accessible pour les petits maraîchers,
- plus facile à concevoir techniquement et matériaux de construction moins $
- plus facilement transportable (ex. : dans une boîte de Pickup)
- diminue les problèmes liés à la variation des espacements entre les rangs (ex. : 1 robot = 1 rang à la fois)
- Si un producteur a, par exemple, 10 robots et un tombe en panne, le producteur ne tombe pas à 0% d'efficacité, mais a 90%.

4.2 Autres constats importants

La sécurité

Les agriculteurs en régie conventionnelle voient la pertinence d'utiliser les robots non seulement pour le désherbage, mais également pour l'aspect santé et sécurité au travail. Après l'application de pesticides, il y a des délais avant de pouvoir rentrer dans le champ. Or, il serait possible d'envoyer les robots faire des vérifications ou des tâches de désherbage sans tenir compte du délai prévu pour la santé et la sécurité des travailleurs après l'application de pesticides.

L'outil ventral

Le robot pourrait être doté d'un outil de désherbage ventral au lieu d'un outil tiré. Un outil ventral a plusieurs avantages, soit : d'être plus facile à opérer et plus précis dans ses opérations de désherbage. La précision des outils ventraux vient du fait que le conducteur a une meilleure vision des tâches effectuées et que l'outil se trouve entre les roues directionnelles.

L'aspect polyvalent

La machine idéale pourrait faire quelque chose en avant, sous et derrière le robot en même temps!

La fenêtre de temps

Comme il a été mentionné à plusieurs reprises dans l'activité « Sabotage », le robot fait partie de la solution pour pallier à la problématique liée aux fenêtres de temps très courtes qu'ont les producteurs maraîchers pour réaliser l'ensemble des tâches de désherbage en plus des autres tâches de production.

L'expertise des petits producteurs maraîchers

Les petits producteurs maraîchers ont une réalité bien différente de celle des gros producteurs. Les petits connaissent dans les moindres détails les technicalités et particularités de leurs terres. Ils possèdent également un large éventail de techniques agricoles pour cultiver, désherber et récolter. Leurs besoins et leurs attentes sont différents en terme de robotisation d'un tracteur, mais leur niveau de connaissance élevé et leur savoir-faire agricole est essentiel pour la poursuite de la co-conception du tracteur autonome.

ANNEXE 3

Questionnaire adressé aux agriculteurs du premier groupe de discussion

1. Si vous déplacez votre équipement d'un champ à un autre, devez-vous vous soucier de contaminations possibles entre ces deux champs?

   a) Oui

   b) Non

1.1 Si ''oui'' à la question 1, par quoi serait possible une contamination d'un champ à un autre?

R : _____

1.2 Si ''oui'' à la question 1, comment faites-vous pour éviter ce genre de contamination?

R : _____

_____

2. À quelle fréquence vos tracteurs ont-ils besoin d'être nettoyés?

   R : _____ fois par… | -jour- -semaine- -mois- -année- | (encerclez)

3. Comment nettoyez-vous vos tracteurs? (Encerclez tous ceux qui s'appliquent)

   a) Jet d'eau chaude à haute pression

   b) Jet d'eau froide à haute pression

   c) Jet d'eau à basse pression (pistolet d'arrosage)

   d) Frottage avec une brosse, une éponge, une serviette, etc.

   e) Autre : _____

4. Quels sont les solides et les liquides avec lesquels vos tracteurs pourraient entrer en contact? (Encerclez tous ceux qui s'appliquent)

   a) Eau
   b) Fertilisant
   c) Fumier
   d) Lisier
   e) Nettoyants
   f) Huile
   g) Carburant
   h) Abrasifs
   i) Solvants
   j) Autres : _____

5. Quel type de carburant est disponible à votre ferme (encerclez tous ceux qui s'appliquent)

   a) Diesel
   b) Essence
   c) Propane
   d) Gaz naturel
   e) Autre : _____

6. Avez-vous accès à de l'électricité à moins de 50m de l'endroit où sont entreposés les tracteurs? (Encerclez tous ceux qui s'appliquent)

   a) Oui, 600Vac
   b) Oui, 240Vac
   c) Oui, 120Vac
   d) Non

7. Environ combien de fois par jour devez-vous faire le plein d'un tracteur utilisé pour les tâches de désherbage?

   R : _____ fois/jour

8. Quelle distance doit être franchie entre le lieu d'entreposage des tracteurs et le lieu où doivent être exécutées les tâches agricoles? (Indiquez votre réponse en mètres ou en pieds)

   R : _____ mètres (ou)

   R : _____ pieds

9. Est-ce que les tracteurs doivent circuler sur des routes publiques (ou les traverser) entre leur lieu d'entreposage et le lieu où doivent être exécutées les tâches agricoles? (Encerclez tous ceux qui s'appliquent)

   a) Oui, doit circuler sur une route publique

   b) Oui, doit traverser une route publique

   c) Oui, doit circuler sur une route privée

   d) Oui, doit traverser une route privée

   e) Non

10. Quelle est la distance disponible minimale pour faire un demi-tour avec votre tracteur à la fin d'un rang? (Indiquez votre réponse en mètres ou en pieds)
    R : _____ mètres (ou)

    R : _____ pieds

11. Veuillez remplir les tableaux suivants :

Tableau 1 : Informations sur les cultures

Culture	Nombre de rangs par nombre de pouces	Espacement entre les plants sur le même rang	Distance entre le centre des roues des tracteurs qui circulent dans cette culture	Largeur des pneus max
1.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		
2.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		
3.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		
4.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		
5.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		
6.	____ rangs par ____ pouces	____ pouces		

Tableau 2 : Outils de désherbage

Nom de l'outil	Marque et modèle de l'outil	Culture(s)	Nb de rangs couverts	Vitesse d'avance (km/h)	Puissance du tracteur (hp)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					

Tableau 3 : Désherbage manuel

Culture	Description de la tâche de désherbage manuel	Nb de rangs couverts par 1 employé	Vitesse d'avance (Km/h)	Nombre d'employés pour faire la tâche	Combien d'hectares à couvrir en combien d'heures?
1.					____ ha en ____ h
2.					____ ha en ____ h
3.					____ ha en ____ h
4.					____ ha en ____ h

Tableau 4 : Mauvaises herbes ou autres ‘’ravageurs’’ (moisissure, insectes, parasites, etc.) rencontrées dans les cultures

Culture	Nom du ravageur	Comment contrôlez-vous ce ravageur? (Déraciner, enterrer, couper, arracher, brûler, etc.)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

Autres aspects techniques que vous croyez important de considérer dans la conception d’un tracteur autonome conçu pour le désherbage et pour l’identification de ravageurs :

_____

_____

_____

_____

_____

ANNEXE 4

Constats tirés des réponses au questionnaire

Plusieurs agriculteurs présents (8 sur 10) ont indiqué que des contaminations entre leurs champs (mauvaises herbes, maladies, nématodes, bactéries de feuillage et même contamination entre les champs non biologiques et biologiques) nécessitaient des précautions à prendre comme nettoyer l'équipement et finir par les tâches dans les champs contaminés.

La fréquence de nettoyage varie beaucoup parmi les agriculteurs présents, entre une fois par jour et annuellement.

La plupart ont indiqué qu'ils nettoyaient leurs équipements avec un jet d'eau froide à haute pression et un d'entre eux utilise un jet d'eau chaude à haute pression. L'indice de protection IP69 serait donc essentiel et IP69k un atout intéressant. Il faut aussi considérer que les agriculteurs se servent parfois de brosses pour frotter leur équipement.

La distance à parcourir pour se rendre jusqu'au champ varie habituellement entre 0 et 4 km, mais deux agriculteurs ont indiqué des distances jusqu'à 20 et 25 km. La possibilité de transporter le robot autrement que par ses propres moyens (ex. : une remorque) serait donc intéressante. Aussi, il arrive qu'ils doivent traverser et circuler sur des routes publiques, il faut donc prendre en compte les réglementations et l'aspect sécurité.

La distance disponible pour se retourner à la fin d'un champ varie habituellement entre 15 et 20 pi. Un des agriculteurs a seulement 12 pi et un autre en a 30.
Presque tous les agriculteurs ont accès à des 120 V et des 240 V, quatre d'entre eux ont accès à des 600 V.

Les agriculteurs ont accès à du diesel et de l'essence, six d'entre eux ont aussi accès à du propane.

Tous les ravageurs ayant été mentionnés sont les suivants, pour plus de détails, se référer au questionnaire :
Amarante, doryphore, nématode, teigne, cécidomyie, altise, légionnaire, chrysomèle, puceron, prêle, chiendent, altenaria, galinsoga, chénopode blanc, herbes à poux.

La largeur maximale des pneus pouvant passer dans les champs se situe généralement entre 12 et 14 po, un agriculteur a indiqué 9 po et un autre 18. Ces informations concordent avec l'activité « *Ton tracteur idéal* », bien que les agriculteurs semblent préférer des pneus plus minces pour avoir plus de jeu.

ANNEXE 5

Compte rendu du deuxième groupe de discussion

1. Contexte de la journée

Cet atelier de travail s'inscrit dans un projet de recherche plus large, mené conjointement par l'Institut du véhicule innovant (IVI) et le Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA), visant à mettre à contribution les savoir-faire et les connaissances des producteurs agricoles dans la conception d'un tracteur autonome destiné à la production maraîchère.

L'été dernier, des entrevues individuelles ont été réalisées auprès de producteurs et de conseillers agricoles. Cette recherche exploratrice a permis, entre autres, de cibler un type de production agricole pour le premier prototype du tracteur autonome et d'identifier les besoins et les fonctionnalités désirés. Afin d'approfondir les données obtenues, un premier atelier de discussion a eu lieu le 3 février dernier. Cet atelier visait à identifier les défis entourant l'opération de désherbage et à bâtir la fiche technique préliminaire du tracteur autonome. Durant ce premier atelier, les ingénieurs de l'IVI ont collecté des informations pour la conception d'un premier prototype du tracteur autonome.

Plus récemment, **un deuxième atelier de réflexion** a été organisé afin de valider les éléments de la conception préliminair et présenter des idées de concepts de tracteur autonome et échanger.

Cette réflexion participative visait deux objectifs, à savoir :

1. Présenter les spécifications préliminaires de l'arbre fonctionnel afin de valider les besoins des producteurs et savoir si IVI va dans la bonne direction;
2. Présenter des idées de concepts de tracteur autonome pour avoir la réaction en temps réel des agriculteurs face aux propositions;

2. Horaire et description des activités proposées par le cisa

Afin de répondre aux objectifs énoncés plus haut et de construire une réflexion participative avec les connaissances et le savoir-faire des individus invités à cette journée, le CISA et l'IVI ont bâti une proposition d'animation se déclinant en trois activités. Ces dernières ont été créées à partir des besoins énoncés par l'équipe d'ingénieurs d'IVI et par M. Pittet pour avancer dans le développement du tracteur autonome. Les blocs d'activité et leurs objectifs se déclinent comme suit :

- La **première activité** : *Fiche technique et arbre fonctionnel.* L'objectif poursuivi par cette activité était de présenter la fiche technique et les différents éléments de l'arbre fonctionnel du tracteur. Les participants ont ensuite été invités à apporter leurs opinions face aux aspects présentés.

- La **deuxième activité** : *Présentation des idées de concepts de tracteur autonome.* L'objectif poursuivi par l'activité était de présenter certains concepts élaborés par l'équipe d'ingénieurs d'IVI. Une fois les modèles présentés, les agriculteurs ont pu donner leur avis sur les prototypes proposés. De plus, IVI a profité de cette période pour présenter d'autres modèles développés ailleurs dans le monde.

Le tableau 2.1 résume l'horaire et le déroulement de la journée et le tableau 2.2 illustre les rôles des personnes-ressources impliquées lors de l'atelier de réflexion.

Tableau 2.1 : Sommaire de l'horaire et du déroulement de l'atelier de réflexion

Étapes	Temps
7. Mise en contexte	15 min
8. Activité 1 : ***Présentation de la fiche technique et de l'arbre fonctionnel***	120 min
9. Dîner	60 min
10. Activité 2 : ***Présentation des idées de concepts de tracteur autonome***	90 min
11. Fin des activités	-

Tableau 2.2 : Personnes-ressources et leurs rôles

Personne-ressource	Rôle
Sandrine Ducruc, CISA	Animatrice et secrétaire
Philippe Franck-Imbeault, CISA	Animateur et facilitateur pour les discussions
Émilie Viau-Drouin, CISA	Aide à la logistique et secrétaire
Marc-Antoine Legault, IVI	Animateur des activités 1 et 2
Vincent Bordeleau, IVI	Animateur des activités 1 et 2
Jean-Marc Pittet, ELMEC	Observateur
Samuel Pittet ELMEC	Observateur

3. Compte rendu des discussions des trois activités de la journée

Cette section fait état des idées, opinions et échanges qui se sont manifestés lors des trois activités de la journée.

3.1 Les discussions lors de l'activité 1 : *Fiche technique et arbre fonctionnel*

Cette sous-section présente l'ensemble des informations et des éléments discutés lors de la présentation de la fiche technique et des éléments de l'arbre fonctionnel préliminaire du tracteur autonome.

Tableau 3.1 : Éléments de discussion de l'activité 1

FICHE TECHNIQUE PRÉ-PRÉLIMINAIRE	
Commentaires retenus	• Les producteurs adaptent l'espacement en fonction de leur machinerie. Ils ne magasinent pas leur machinerie en fonction de leur espacement. • La machinerie doit être ajustable : la largeur centre à centre des roues devrait être adaptable aux différents producteurs (jusqu'à 60 pouces). Les planches peuvent varier de 18 à 36 pouces. • Le robot doit évaluer (en temps réel) la rectitude du rang : les plants peuvent bouger de quelques pouces. En agriculture intensive, certains utilisent de très petites planches : 4 pieds centre à centre.
ARBRE FONCTIONNEL	

Aspects discutés	Commentaires retenus
1. Aspect sécuritaire	Éléments intéressants pour les producteurs : • Avoir un système antipiratage diminuerait les inquiétudes des producteurs. Préoccupations des producteurs : • Gérer les transitions entre les différents modes de fonctionnement (manuel à automne). • Il faut penser à mettre des lumières de sécurité orange. • Sécuriser le véhicule quand les agriculteurs font de l'entretien dessus. • Est-ce que le tracteur sera en mesure de garder son équilibre dans des pentes de 6-7 %? • Ce qui est critique pour le tracteur, c'est de se virer dans la pente, quand le tracteur est perpendiculaire à la pente. Il est nécessaire de prendre en considération l'orientation des planches de la culture. • Est-ce que le tracteur pourra traverser des ponceaux?
2. Interagir avec les êtres humains à proximité	Éléments intéressants pour les producteurs : • Avoir un bouton d'urgence sur le robot et sur les contrôleurs du robot. • Avoir une reconnaissance vocale ou un sifflet aux ultrasons. Utile pour les travailleurs au champ. Aspect rassurant.
3. Interagir avec les êtres humains à distance	Éléments intéressants pour les producteurs : • Avoir une télécommande fonctionnant jusqu'à 400 mètres. Utile si l'opérateur est à l'extérieur du champ ou dans un bâtiment, par exemple. • Utilisation de lumière comme avertissement visuel : un plus pour la sécurité! • Utilisation de haut-parleur, comme avertissement auditif : un plus pour la sécurité! Préoccupations des producteurs : • Aurons-nous besoin du concessionnaire s'il y a un problème électronique ou mécanique? Idéalement, le producteur devrait pouvoir faire la réparation seul et rapidement. • Est-ce que le tracteur fonctionne sans réseau internet? Aspect très important!
4. Produire de l'énergie et gérer la puissance de l'énergie	Élément intéressant pour les producteurs : • L'utilisation de l'électricité pour augmenter l'autonomie du véhicule est une idée très intéressante aux yeux des producteurs.

5. Opérer selon des modes de fonctionnement	Éléments intéressants pour les producteurs : • Avoir un véhicule à 4 roues motrices (traction intégrale) contrôlées indépendamment. • Intégrer un deuxième système électrique pour pallier lorsque le premier ne fonctionne plus. Améliore l'autonomie. • Que le tracteur repère les situations d'enlisements ou de bourrage par lui-même.
6. Adapter à différentes cultures et cas d'opération	Éléments intéressants pour les producteurs : • Pouvoir tourner les roues crée un « 2-4 pouces de jeu » lors des déplacements. • Pouvoir installer un pulvérisateur sur le robot.
7. Fonctionner et résister à diverses conditions environnementales	Préoccupations des producteurs : • Est-ce que le tracteur est protégé des champs électromagnétiques (champ sous une ligne de haute tension)? • Comment le tracteur réagira-t-il a des conditions climatiques extrêmes? o Exemple : grêle, vents violents, pluies abondantes, etc.
8. Naviguer globalement et gérer des obstacles	Éléments intéressants pour les producteurs : • Possibilité de naviguer en huit (8). • Capteur LIDAR en 2D et en 3D pour détecter des obstacles. • Les capteurs (détecteurs) pouvant identifier les ravageurs, les maladies (le champignon « mildiou ») et les carences sont des aspects très intéressants : ce qui serait bien, c'est un traitement en temps réel de tes ravageurs, car tu as les capteurs en avant et le pulvérisateur en arrière pour traiter le ravageur tout de suite. Préoccupations des producteurs : • Les fins de champ sont souvent enherbées, il est donc difficile de différencier le gazon du fossé de bout de champ. Le tracteur devra reconnaître ça! • Est-ce qu'il y aura des cartes intégrées du site de la ferme dans le robot?

3.2 Les discussions lors de l'activité 2 : *Présentation des idées de concepts*

Cette sous-section présente l'ensemble des informations et des éléments discutés lors de la présentation des différents concepts de tracteur autonome proposés par IVI et ceux existant ailleurs dans le monde.

Tableau 3.2 : Éléments de discussion de l'activité 2

Présentations	Critières importants pour les producteurs
Concepts de robot dans le monde	Dino[2] a suscité le plus d'intérêt chez les producteurs en raison des éléments suivants : • Flexibilité : petite taille et opère dans les serres. • Accessibilité : peu dispendieux. Autres réactions des agriculteurs : • Ce qu'il faut regarder, c'est le retour à l'investissement plus que sur le coût du tracteur. Tu peux rapidement sauver de gros montants d'argent en étant plus précis dans le désherbage. Exemple : en additionnant, sur 75 acres, les pouces de désherbage sauvés en étant plus précis d'un pouce, ça peut revenir à 5 acres. Ce qui revient à économiser 30 000 $ de désherbage manuel! • Le robot doit se réajuster en fonction de la profondeur du sol : différent dans chaque environnement (type de sol).
Concept de Vincent	• Suspension : le plus souple mieux c'est, surtout dans les endroits vallonnés. • Les roues doivent suivre le sol plus que le tracteur. Ça peut être les dents du sarcleur qui soient ajustées en parallélogramme au lieu que cela soit les roues qui soient ajustées. • Avoir un mécanisme de montée/descente des dents du sarcleur plus que de torsion des roues serait sûrement moins cher. • Intéressant, car on peut avoir un dégagement pleine largeur et avoir un dégagement maximal pour des cultures à 48 pouces et très haut comme le maïs.
Concept de Marc-Antoine	• Avoir plusieurs 3 points c'est avantageux pour pouvoir mettre plusieurs outils en même temps. • Par contre, l'ajout de 3 points c'est complexe, car ce n'est plus de l'hydraulique, mais tout électronique. • On pourrait mettre les 3 points optionnels en prévoyant au moins l'espace pour l'ajouter.
Concept TAMHR	• Roues indépendantes. • Ouverture le plus large possible pour plus de dégagement.

Constats de l'équipe de recherche et éléments importants à retenir pour la suite du projet

Selon les observations du CISA lors du deuxième focus group, les éléments importants à retenir pour la suite de la conception du tracteur autonome sont les suivants :

[2] http://www.naio-technologies.com/dino-robot-enjambeur-de-desherbage-mecanique-legumes/

- Être en mesure de faire fonctionner le tracteur, sans réseau Internet : aspect important pour les producteurs en région.
- Gérer les transitions entre les différents modes de fonctionnement
- Repérer les situations d'enlisement et de bourrage (par lui-même).
- Apporter un gain de précision pour la tâche de désherbage. Les producteurs s'entendent pour dire qu'augmenter la précision d'un pouce de chaque côté du rang pourrait faire une grande différence au niveau de leur rendement.
- Le robot doit se réajuster en fonction de la profondeur du sol : différent dans chaque environnement (type de sol).
- Le tracteur doit être opérationnel dans les pentes (6-7 %), sans perdre l'équilibre.
- Possibilité de naviguer en huit (8).
- Les capteurs (détecteurs) pouvant identifier les ravageurs, les maladies et les carences sont des aspects très intéressants.
- Le concept de tracteur autonome Dino est celui qui a suscité le plus d'intérêt chez les producteurs pour sa flexibilité (petite taille, va dans les serres) et son accessibilité financière.

Partenaires financiers :

Enseignement supérieur, Recherche et Science Québec

Économie, Science et Innovation Québec

© Centre d'innovation sociale en agriculture (CISA) – Tous droits réservés