

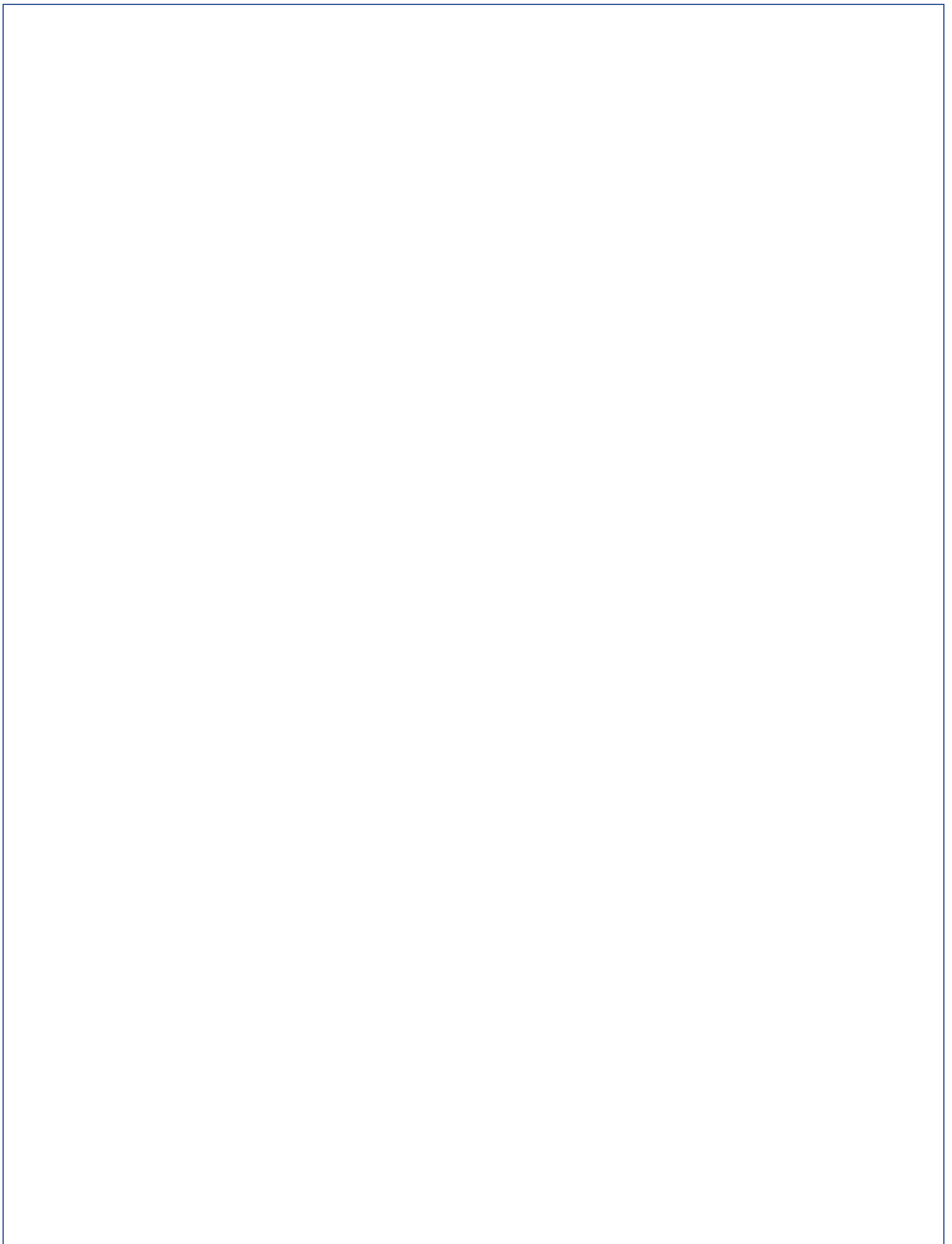


Veille technologique sur la mécanisation et robotisation en productions maraîchères et de fraises-framboises

Rapport final

Présenté à l'Association des producteurs maraîchers du Québec (APMQ) et à l'Association des producteurs de fraises et de framboises du Québec (APFFQ)

Mars 2021



Équipe

Responsable du mandat : Jean-François Forest, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil

Recherche, analyse et rédaction : Jean-François Forest, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil
Claude Hamel, agr., M.Sc., Forest Lavoie Conseil
Nicolas Martel-Bouchard, agr. Forest Lavoie Conseil

Remerciements : Nous tenons à remercier pour leur importante contribution à cette étude :

- les membres du comité de pilotage
- les membres du comité d'expert
- les membres du comité de production de l'APMQ
- les producteurs et administrateurs de l'APFFQ qui ont été consultés dans le cadre du projet
- ainsi que les différents chercheurs/développeurs, équipementiers et intervenants qui ont été consultés dans le cadre du projet.

Table des matières

1. Rappel du contexte et de l'objectif du projet	5
i. Contexte.....	5
ii. Objectifs	6
2. Rappel des étapes méthodologiques	7
3. Comités	8
4. Tâches priorisées pour la veille technologique.....	9
5. Documentation des technologies potentielles	10
6. Transplantation en productions maraîchères.....	12
i. Besoins du secteur.....	12
ii. Familles technologiques.....	12
iii. Transplanteurs automatiques.....	13
iv. Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces	19
7. Désherbage en productions maraîchères	21
i. Besoins du secteur.....	21
ii. Familles technologiques.....	21
iii. Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés.....	23
iv. Robots désherbeurs autonomes	33
8. Récolte en productions maraîchères.....	43
i. Besoins du secteur.....	43
ii. Familles technologiques.....	43
iii. Robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ.....	45
iv. Récolteuses mécanisées pour les productions maraîchères en plein champ.....	49
9. Récolte de fraises et de framboises	52
i. Besoins du secteur.....	52
ii. Familles technologiques.....	52
iii. Robots récolteurs de fraises et de framboises	53
iv. Aides-récolteuses pour les fraises	59
v. Récolteuses mécanisées de framboises.....	64
10. Coupe de stolons	67
i. Besoins du secteur.....	67
ii. Familles technologiques.....	67

iii. Déstolonneuse sur paillis de plastique	67
11. Principaux constats	69
12. Recommandations	74
13. Annexes	77
i. Liste des technologies répertoriées- Robots récolteurs pour les cultures maraîchères abritées	77
ii. Coordonnées des fabricants/développeurs et liste des personnes consultées.....	81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition du comité de pilotage	8
Tableau 2 : Composition du comité d'experts	9
Tableau 3 : Tâches prioritaires pour la veille technologique.....	9
Tableau 4 : Présentation sommaire de la famille des transplanters automatiques	13
Tableau 5 : Liste des technologies répertoriées- transplanters automatiques	14
Tableau 6 : Analyse coûts-bénéfices des transplanters automatisés.....	17
Tableau 7 : Présentation sommaire de la famille des transplanters automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces	19
Tableau 8 : Liste des technologies répertoriées- Transplanters automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces.....	20
Tableau 9 : Présentation sommaire de la famille des équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés.....	23
Tableau 10 : Liste des technologies répertoriées - Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés	24
Tableau 11 : Analyse coûts-bénéfices des équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés	30
Tableau 12 : Présentation sommaire de la famille des robots désherbeurs autonomes	33
Tableau 13 : Liste des technologies répertoriées – Robots désherbeurs autonomes.....	35
Tableau 14 : Analyse coûts-bénéfices des robots désherbeurs autonomes	40
Tableau 15 : Présentation sommaire de la famille des robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ ...	45
Tableau 16 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs (pour les cultures maraîchères en plein champ).....	46
Tableau 17 : Analyse coûts-bénéfices des robots récolteurs (cultures maraîchères en plein champ).....	48
Tableau 18 : Présentation sommaire de la famille des récolteuses mécanisées en productions maraîchères.....	49
Tableau 19 : Liste des équipementiers qui offrent des récolteuses mécanisées	50
Tableau 20 : Présentation sommaire de la famille des robots récolteurs de fraises et de framboises	53
Tableau 21 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs de fraises et framboises.....	55
Tableau 22 : Analyse coûts-bénéfices des robots récolteurs de fraises et framboises	58
Tableau 23 : Présentation sommaire de la famille des aides-récolteuses de fraises	59
Tableau 24 : Liste des technologies répertoriées – Aides-récolteuses de fraises.....	60
Tableau 25 : Analyse coûts-bénéfices des aides-récolteuses de fraises	63
Tableau 26 : Présentation sommaire de la famille des récolteuses mécanisées de framboises.....	64
Tableau 27 : Liste des fabricants répertoriés – Récolteuses mécanisées de framboises	65
Tableau 28 : Présentation sommaire de la famille des déstolonneuses sur paillis de plastique	67
Tableau 29 : Liste des équipements répertoriés – Déstolonneuses sur paillis de plastique	68
Tableau 30 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs (pour les cultures maraîchères abritées)	77

1. Rappel du contexte et de l'objectif du projet

i. Contexte

Les raisons menant à la mécanisation ou la robotisation en agriculture sont multiples: faciliter certaines tâches, améliorer la productivité ou assurer une gestion plus serrée de certaines opérations, permettre une meilleure utilisation des ressources, compenser le manque de personnel ou réduire les coûts associés à la main-d'œuvre, etc.

Récemment la pandémie mondiale de Covid-19 a mis en relief l'importante dépendance du secteur maraîcher et des fraises-framboises à la main-d'œuvre étrangère temporaire et les impacts majeurs engendrés par le manque de main-d'œuvre, notamment lors de certaines tâches cruciales, dont la récolte.

Même avant la pandémie, les enjeux relatifs au manque de personnel ou aux coûts élevés associés à la main-d'œuvre dans le secteur avaient été mis en lumière. Les conclusions d'une « Étude d'impacts d'une hausse du salaire minimum pour le secteur agricole » (FLC, 2016) soulignaient « ...que le secteur agricole sera significativement affecté par la hausse du salaire minimum et plus particulièrement le secteur horticole notamment en raison de l'importance de la main-d'œuvre... » (p. 50). Pour permettre l'adaptation des entreprises à la hausse du salaire minimum et pour assurer le maintien de la compétitivité sectorielle, un des deux niveaux de recommandations portait sur l'adaptation technologique et l'accélération de l'innovation et de la mécanisation des entreprises. Cette adaptation technologique viserait notamment à de la substitution de la main-d'œuvre par de la technologie.

Face à ces différents enjeux, les secteurs des productions maraîchères et des fraises-framboises souhaitaient par cette étude, réaliser une veille des technologies de mécanisation et de robotisation qui sont disponibles ici ou ailleurs et qui présentent un potentiel pour répondre aux besoins des producteurs québécois en termes de substitution de la main-d'œuvre. Pour ce faire, les besoins des producteurs en matière de mécanisation-robotisation, du semis/plantation jusqu'à la récolte, ont d'abord été confirmés, puis priorisés. Cela a permis de circonscrire les étapes de production ou les tâches pour lesquelles une veille technologique a été réalisée. Par la suite, les technologies existantes pour répondre à ces besoins ont été répertoriées, puis documentées, notamment, en matière de caractéristiques, avantages, inconvénients, coûts/bénéfices ou contraintes/besoins d'adaptation aux conditions québécoises. L'adaptation possible des technologies potentielles au contexte québécois a finalement été validée auprès de groupes de producteurs.

La réalisation de cette veille devrait permettre aux secteurs d'être mieux outillés pour accompagner leurs producteurs dans l'adoption de ces technologies ou encore, pour cibler les besoins en recherche ou les adaptations technologiques nécessaires.

ii. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une veille des technologies existantes de mécanisation et de robotisation en productions maraîchères et de fraises-framboises, dans un objectif de substitution de la main-d'œuvre.

Les objectifs spécifiques sont :

- ✓ Former un comité de pilotage et clarifier les champs de l'étude
- ✓ Confirmer les besoins des producteurs maraîchers et des producteurs de fraises et framboises en termes de mécanisation et robotisation
- ✓ Répertorier et documenter les technologies de mécanisation-robotisation existantes ici ou ailleurs permettant de répondre aux besoins prioritaires identifiés
- ✓ Documenter les caractéristiques, les avantages, les inconvénients (faisabilité technique et économique), les coûts/bénéfices et le potentiel d'adaptation aux conditions québécoises des différentes technologies répertoriées
- ✓ Valider le potentiel d'adaptation des technologies aux conditions québécoises
- ✓ Formuler des recommandations.

Clarification de l'objectif

Bien que pertinentes pour le secteur, des technologies qui permettraient de réduire l'utilisation d'intrants et de réduire les impacts sur l'environnement (ex. réduction de pesticides ou de fertilisants) n'ont pas été documentées dans le cadre de ce mandat. L'objectif du projet visait à identifier des technologies permettant de **réduire l'utilisation de main-d'œuvre ou les charges associées à la main-d'œuvre, et ce, pour les tâches prioritaires**. Nous nous sommes limités à cet objectif. Il n'est cependant pas exclu que certaines technologies documentées aient un impact positif sur l'environnement.

2. Rappel des étapes méthodologiques

Voici une synthèse des étapes méthodologiques réalisées dans le cadre du mandat:

- ✓ Mise en place d'un comité de pilotage de l'étude et d'un comité d'expert pour assurer le suivi régulier du projet.
- ✓ Confirmation des besoins en mécanisation-robotisation des producteurs.
 - Maraîchers :
 - Consultation de producteurs, lors d'une visioconférence avec le comité de production de l'APMQ, sur les tâches pour lesquelles les besoins en main-d'œuvre sont les plus importants.
 - Révision des priorités de mécanisation-robotisation soulevées dans le projet sur les priorités de recherche dans le secteur des légumes de champ frais.
 - Fraises et framboises :
 - Consultations individuelles de la directrice de l'APFFQ et de deux administrateurs sur les tâches pour lesquelles les besoins en main-d'œuvre sont les plus importants.
- ✓ Inventaire et documentation des technologies existantes :
 - Revue de la littérature sur les technologies disponibles (ici et ailleurs) présentant un potentiel intéressant pour les besoins en mécanisation-robotisation priorisés :
 - Inventaire des technologies de mécanisation-robotisation existantes;
 - Documentation du fonctionnement, des caractéristiques, des avantages, des inconvénients, des coûts/bénéfices, des potentiels ou contraintes d'adaptation, etc. des différentes technologies répertoriées;
 - Préparation de tableaux synthèses des technologies, en fonction des informations disponibles;
 - Validation des technologies répertoriées auprès du comité d'expert et du comité de production de l'APMQ.
 - Consultations des acteurs pour approfondir la documentation
 - Envoi de questions par courriel aux fabricants des technologies au stade commercial ou précommercial (sur le marché d'ici deux ans). Cet envoi visait à compléter la cueillette d'informations sur les technologies répertoriées et à recueillir des informations plus spécifiques sur les coûts et bénéfices des technologies. Un rappel courriel a été fait pour les fabricants qui n'avaient pas répondu lors du premier envoi. Au total, une trentaine de fabricants/développeurs ont donné suite à notre envoi courriel. Certains ont préféré répondre par courriel, alors que d'autres ont demandé à avoir des discussions par téléphone ou par visioconférence. Nous avons noté un plus grand retour à nos questions sur l'évaluation des coûts-bénéfices de la part des développeurs qui ont des équipements au stade commercial (ex. : transplantation, équipements de désherbage attelés) ou chez les fabricants qui ont indiqué avoir un distributeur au Canada ou qui ont indiqué être intéressés à avoir des ententes avec des détaillants canadiens.
 - Réalisation de consultations téléphoniques plus générales sur les avantages/inconvénients des technologies ou familles technologiques et sur les potentiels pour le Québec. Au total 7 personnes ont été consultées dans ce cadre.
 - Le détail des personnes consultées et des modes de consultation est présenté en annexe.

- ✓ Préparation du rapport final préliminaire et formulation de recommandations.
- ✓ Validation du rapport final préliminaire auprès du comité d'expert et du comité de pilotage.
- ✓ Bonification du rapport final.

3. Comités

Pour permettre un bon suivi de la mise en œuvre du projet, pour valider les technologies répertoriées et pour bonifier les recherches à différents moments clés, deux comités ont été formés dans le cadre du projet. Nous présentons ci-après les rôles et la composition de ces comités.

➤ **Le comité de pilotage :**

○ Rôles :

- Revue des objectifs, des livrables, du plan de travail proposé et de l'échéancier.
- Discussion sur le plan de recherche.
- Clarification de certains de ses aspects, notamment le champ de l'étude (mécanisation-robotisation, du semis à la récolte, etc.).

Tableau 1 : Composition du comité de pilotage

Comité de pilotage
<ul style="list-style-type: none">• Catherine Lessard, APMQ• Jocelyn St-Denis, APMQ• Marie-Hélène Déziel, MAPAQ• Samuel Dagenais, AAC• Jennifer Crawford, APFFQ

➤ **Le comité d'expert**

○ Rôles :

- Validation des familles technologiques potentielles pour le secteur.
- Validation de la liste des technologies répertoriées.
- Discussion sur le niveau d'utilisation/d'adoption des différentes familles technologiques.
- Orientations relatives aux modes d'analyse (coûts/bénéfices, technologies potentielles, etc.).
- Suggestion d'intervenants à consulter (équipementiers, chercheurs, conseillers, etc.) et d'aspects à approfondir avec eux.
- Discussions/commentaires sur le rapport préliminaire.

Tableau 2 : Composition du comité d'experts

Comité d'experts
<ul style="list-style-type: none"> • François Bédard, Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) • Johanne Lagacé, CRAAQ • Mathieu Goulet, Ing., Centre de robotique et de vision industrielle (CRVI) • Jocelyn Hébert, Ing., Mécanium Inc. • Karem Chokmani, INRS • Catherine Lessard, APMQ • Jennifer Crawford, APFFQ

4. Tâches priorisées pour la veille technologique

Une des premières étapes du mandat a été de clarifier les tâches pour lesquelles la veille technologique devait être effectuée. Cette étape a été réalisée en étroite collaboration avec des producteurs, soit :

- ✓ Lors d'une visioconférence avec le comité de production de l'APMQ pour le secteur maraîcher.
- ✓ Lors de discussions téléphoniques individuelles avec la directrice de l'APFFQ et de deux administrateurs.

Lors de ces discussions, il était demandé quelles étaient les tâches dans chacun de ces secteurs pour lesquels les besoins de main-d'œuvre sont particulièrement importants.

Les tâches priorisées dans les secteurs maraîchers et des fraises et framboises sont présentées dans le tableau suivant.

Définitions

Mécanisation : utilisation de la machine pour remplacer l'usage de la force humaine.

Automatisation : utilisation de machines pour effectuer de manière autonome les tâches pour lesquelles elles ont été programmées.

Robotisation : utilisation d'appareils automatiques capables de manipuler des objets et d'exécuter des opérations selon un programme qu'il est possible de modifier. L'adaptabilité de l'engin permet de le distinguer des autres machines automatisées.

Source : Adapté de Toyota Material Handling France

Tableau 3 : Tâches priorisées pour la veille technologique

Productions maraîchères	Fraises-framboises
<ul style="list-style-type: none"> • Transplantation • Désherbage (défi particulier sur le rang) • Récolte (pour les cultures où la récolte se réalise encore majoritairement manuellement) 	<ul style="list-style-type: none"> • Récolte • Coupe de stolon (en régie haute densité sur plastique)

Par la suite, les résultats préliminaires d'un sondage sur les priorités de recherche du secteur maraîcher (mené par l'APMQ) ont permis de valider ces tâches prioritaires. Les résultats qui suivent, mettent bien en évidence les besoins en automatisation et en amélioration de l'efficacité de la main-d'œuvre pour les tâches priorisées précédemment :

- ✓ Semis et transplantation- Automatisation, meilleure efficacité de la main-d'œuvre, etc. :
 - 52 % des producteurs de laitue ont identifié cette priorité
 - 59 % des producteurs des autres légumes de plein champ ont identifié cette priorité

- ✓ Désherbage- Stratégies de lutte mécanique (sarclage, pyrodésherbeur, paillis, etc.) des mauvaises herbes :
 - 66 % des producteurs maraîchers (toutes productions confondues) ont identifié cette priorité avec des besoins marqués dans la grande majorité des productions.
- ✓ Récolte- Automatisation, meilleure efficacité de la main-d'œuvre, etc.:
 - 52 % des producteurs d'ail ont identifié cette priorité
 - 57 % des producteurs d'épinards ont identifié cette priorité
 - 52 % des producteurs de laitues ont identifié cette priorité

5. Documentation des technologies potentielles

Les sections suivantes présentent les technologies répertoriées et documentées. Pour faciliter la consultation des technologies potentielles, elles ont été regroupées par familles technologiques. Celles-ci sont basées entre autres sur les tâches priorisées et le niveau technologique sous-jacent. Voici les différentes familles technologiques proposées pour chacune des tâches priorisées.

Tâches	Familles technologiques
Transplantation en productions maraîchères (section 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Transplanteurs automatiques • Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces
Désherbage en productions maraîchères (section 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Équipements robotisés/automatisés attelés • Robots désherbeurs autonomes
Récolte en productions maraîchères (section 8)	<ul style="list-style-type: none"> • Robots récolteurs (récolte sélective) • Récolteuses mécanisées (récolte non sélective)
Récolte de fraises et de framboises (section 9)	<ul style="list-style-type: none"> • Robots récolteurs (récolte sélective) • Aides-récolteuses (fraises) • Récolteuses mécanisées (framboises)
Coupe de stolon de fraises sur paillis de plastique (section 10)	<ul style="list-style-type: none"> • Déstolonneuses sur paillis de plastique

Dans chacune des sections sur les **tâches priorisées**, nous présentons :

- ✓ Une introduction qui comprend :
 - Un sommaire explicatif des besoins sectoriels en termes de main-d'œuvre, ainsi que les défis technologiques particuliers.
 - Les familles technologiques considérées pour chaque tâche priorisée.

Puis, dans chacune des sections sur les **familles technologiques**, nous présentons :

- ✓ Une introduction pour chaque famille technologique qui comprend :
 - Un tableau sommaire de la famille technologique qui comprend : la description sommaire de la famille technologique, le niveau de complexité technologique, l'état de développement des technologies, les

principaux avantages, les principales contraintes, les fabricants répertoriés qui possèdent des équipements dans cette famille technologique.

- ✓ Une liste qui présente sommairement les technologies répertoriées, quelques caractéristiques et le stade de développement des technologies.
- ✓ Finalement, un tableau sur l'évaluation des coûts-bénéfices des technologies est présenté. Ce tableau cible uniquement les technologies au stade commercial ou précommercial (en vente d'ici 2 ans), pour lesquels nous avons obtenu des informations des équipementiers ou pour lesquelles il y avait suffisamment d'informations disponibles dans la littérature. Les équipementiers pour lesquelles les technologies étaient identifiées comme près du stade commercial ont été contactés au minimum à 2 reprises par courriel (consulter le détail des consultations en annexe). Les critères d'analyse des coûts/bénéfices avaient préalablement été validés auprès de l'APMQ et de l'APFFQ.

Comme convenu avec l'APMQ et l'APFFQ, l'évaluation des coûts-bénéfices des récolteuses mécanisées (récolte non-sélective) n'a pas été effectuée. Ces familles technologiques sont composées de technologies moins récentes pour lesquelles il a été convenu de répertorier les technologies sans les documenter spécifiquement. À la demande de l'APFFQ, l'évaluation des coûts-bénéfices des aides-récolteuses, famille technologique identifiée comme prometteuse à court terme pour les producteurs québécois, a été réalisée.

Pour éviter le dédoublement d'informations entre la liste des technologies répertoriées et le tableau sur l'évaluation des coûts/bénéfices pour les technologies traitées dans les deux tableaux, les informations sont principalement abordées dans le tableau sur les coûts-bénéfices. Dans ce cas, une note y faisant référence est indiquée dans la liste des technologies.

Il importe de souligner que cette veille technologique constitue une « photo » des équipements disponibles à un moment donné, qui se veut la plus complète possible. Mais l'évolution des développements technologiques étant rapides, et d'autant plus accentués avec les difficultés de main-d'œuvre engendrées par la Covid-19, il y a fort à parier que de nouvelles technologies, de nouvelles composantes, ou de nouvelles générations d'équipements, etc. pourront être notées au cours des prochains mois/années.

6. Transplantation en productions maraîchères

i. Besoins du secteur

En productions maraîchères, la transplantation est une activité intense du fait qu'elle se réalise dans une période charnière de l'année. Dans les équipements actuels de la main-d'œuvre est nécessaire à la manipulation des transplants et des plateaux.

Les principales tâches à accomplir par les technologies pour combler les besoins en main-d'œuvre sont :

- Extraction de la plantule des multicellules de semis.
- Manipulation des transplants dans l'équipement de transplantation traditionnel.
- Gestion des plateaux de multicellules pleins et vides.

ii. Familles technologiques

Pour répertorier les technologies disponibles, nous avons ciblé des équipements automatisés, qui permettent de diminuer les nombres de personnes nécessaires à la manipulation des transplants durant la tâche de transplantation comparativement aux équipements traditionnels de transplantation.

Ces technologies sont souvent présentées par les équipementiers comme des transplanteurs automatiques. Ceux-ci sont davantage envisageables pour des moyennes/grandes surfaces.

Pour les petites surfaces, nous avons répertorié certains équipements disponibles : des transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces.

Les technologies répertoriées sont présentées dans les sous-sections suivantes pour les familles technologiques :

- Transplanteurs automatiques
- Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces

iii. Transplanteurs automatiques



Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 4), les technologies de transplantation automatisée qui ont été répertoriées (Tableau 5) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles¹ (Tableau 6).



Tableau 4 : Présentation sommaire de la famille des transplanteurs automatiques

Famille technologique	Transplanter automatique	
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Équipements automatisés, généralement attelées, mais certaines versions automotrices disponibles. • Différents modèles disponibles (nombre de rangs). • Différents systèmes d'extraction des transplants (pistons, doigts mécaniques, ruban biodégradable, courroies, etc.). 	
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Moyenne (aucune ou peu de nécessité d'intelligence artificielle ou système informatique complexe). • Certains modèles comportent des systèmes de capteurs permettant d'identifier les cellules sans transplants et de ne pas les utiliser. 	
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs modèles au stade commercial. 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du nombre de main-d'œuvre nécessaire à la manipulation des transplants. • Ajustements possibles des espacements entre les rangs et entre les plants sur certains équipements. • Adaptation à la culture linéaire ou en planches, dans différents types de sols. • Certains équipements permettent l'exclusion de transplants non viables (capteurs). • Options disponibles sur certains équipements : distributeurs à engrais, irrigation, etc. 	
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Certains équipements doivent être utilisés avec des plateaux spécifiques. • Généralement une main-d'œuvre nécessaire à la manipulation des plateaux pleins et vides. 	
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none"> • Ferrari costruzione (Futura) • Agriplanter • Plant Tape • TTS- Transplanting services 	<ul style="list-style-type: none"> • WILLIAMES • Vegtech • Growers Transplanting Inc.(Automator) • Pearson (Autoplanter)

¹ Rappelons que l'analyse a été réalisée pour les technologies au stade commercial ou précommercial (en vente d'ici 2 ans), pour lesquels nous avons obtenu des informations des équipementiers ou pour lesquelles des informations sur les coûts/bénéfices étaient disponibles dans la littérature.

Tableau 5 : Liste des technologies répertoriées- transplanteurs automatiques

Transplanteurs automatiques				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Futura (triangle, twin)	Ferrari Costruzioni (IT)	<ul style="list-style-type: none"> Différents modèles (porté, semi-porté, trainé, automoteur). Extraction à l'aide d'un système de pistons cylindriques combinés à des doigts mobiles. Contrôle électrique de la profondeur. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial
Agriplanter	Agriplanter (Belgique)	<ul style="list-style-type: none"> Différents modèles (1 rang, 2 rangs, 3 rangs, 4 rangs et 6 rangs.) Modèle 5 rang en développement. Réglage automatique de la profondeur. Extraction à l'aide d'un système de pistons cylindriques et déplacement sur convoyeurs. (Courroies doubles de chaque côté des plantules). Différents espacements entre rangs et entre plants. (espacement 30 cm à 175 cm entre les rangs selon modèle). Modèles 2SP, 3SP, 4SP et 6SP testés en Ontario sur les tomates de transformation, les céleris, les oignons. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial (Italie, Espagne, Portugal, France, Belgique, Hollande, Hongrie, États-Unis, Canada (Ontario))

Transplanteurs automatiques				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
KMR-1 Single Rower, KMR-2 Double Rower, Multi Rower	TTS-Transplanting services (Hollande)	<ul style="list-style-type: none"> 5 différents modèles (1,2 et multirangs. Possibilité d'extension jusqu'à 18 rangs). Extraction à l'aide d'une pince spéciale. Réglage automatique de la profondeur. Différents espacements entre rangs et entre plants. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial
Selective transplanter	WILLIAMES (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> Différents modèles (jusqu'à 16 rangs). Fonctionne avec plusieurs types de plateaux de transplants (mais l'utilisation des plateaux Williamses garantit la précision). Extraction à l'aide d'un système de pistons cylindriques et déplacement sur convoyeurs. Réglage de la profondeur et de la pression au sol. 		Commercial
Plant Tape	Plant Tape (ESP et US)	<ul style="list-style-type: none"> Différents modèles (1 à 8 rangs). Semis réalisé dans le Plant Tape, un ruban muni de deux couches de papier biodégradable (tourbe, de coco et vermiculite). Le Tape est déroulé et coupé à la distance appropriée durant la transplantation. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial




Transplanteurs automatiques				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Transplanteur automatique	Vegtech (Qc)	<ul style="list-style-type: none"> Unité d'extraction des transplants qui s'installe directement sur un transplanteur traditionnel. Développé au Québec. Fonctionne dans plusieurs types de sols. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Prototype (Commercialisation prévue pour saison 2021)
Automator	Growers Transplanting Inc. (US)	<ul style="list-style-type: none"> Permet la transplantation de différentes cultures, dans différentes configurations de lit. 		Commercial
Autoplanter	Pearson (UK)	<p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial

Tableau 6 : Analyse coûts-bénéfices des transplanteurs automatisés

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ²	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Flexibilité d'utilisation	Diversité des cultures visées	Performance (ex. : plants/rg/h)	MO nécessaire (incluant conducteur)	Les petits « + »
Futura (Ferrari Costruzioni)	X		ND	ND	Fonctionne avec plusieurs types de plateaux.	Espacement ajustable. Pour culture linéaire ou en planches.	Jusqu'à 8000 plants/rg/h	2	Identification des cellules sans transplants.
Agriplanter	X		Agriplanter 2SP : 130k- 150k euro Agriplanter 4SP : 240k- 280 euro	3-4 ans	Fonctionne avec plus de 70 types de plateaux.	Choux (choux de Bruxelles, chou blanc, chou rouge, chou-fleur, chou vert, chou-rave, etc.) mais aussi céleri, tomate, oignon, fenouil et des herbes comme l'origan.	11 000 à 12 000 plants/rg/h (selon modèle)	2-3 (selon les modèles)	<ul style="list-style-type: none"> Détection des cellules vides. Formation et service après-vente. Commercialisé dans différents pays (Italie, Espagne, Portugal, France, Belgique, Hollande, Hongrie, États-Unis, Canada (Ontario)).
KMR-1 Single Rower, KMR-2 Double Rower, Multi Rower (TTS- Transplanting services)	X		87,500 euros + 4000 euros pour expédition	2 ans	Fonctionne avec plusieurs types de plateaux (adaptations lors de la commande).	<ul style="list-style-type: none"> Espacement ajustable. Adéquat pour culture linéaire ou en planches. Plusieurs cultures maraîchères: brassicacées, salades, laitues pommées, oignons céleris, tomates, etc. 	Entre 4000 et 6000 plants/rg/h selon les modèles, la vitesse et les espacements.	2	

² Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ²	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Flexibilité d'utilisation	Diversité des cultures visées	Performance (ex. : plants/rg/h)	MO nécessaire (incluant conducteur)	Les petits « + »
Selective Transplanter (WILLIAMES)	X		ND	ND	Utilisation des plateaux Williames garantit la précision.	<ul style="list-style-type: none"> Différents espacements entre rangs et entre plants- facilement ajustable. 	ND	2	Identification des cellules sans transplants.
Plant Tape	X		100K-200K USD+ frais d'envoi (3K- 4K\$)+ frais de production des transplants	Variable selon différents paramètres (le fabricant a développé un outil pour permettre aux producteurs de le calculer).	Semis dans les rubans Plant tape.	<ul style="list-style-type: none"> N'importe quelles cultures en transplants (sauf tabac). Espacement ajustable. S'adapte à la plupart des configurations de lits. 	<ul style="list-style-type: none"> 2 acres par heure Vitesse: 4-7 miles par heure 	2-3	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionne dans différents types de sols. Plus de 100 équipements vendus dans 10 pays.
Transplanter automatique (Vegtech)	2021	X	25 000 \$ CAD par unité d'extraction (par rang).	1-2 ans	Aucune. S'utilise directement sur le transplanter traditionnel.	<ul style="list-style-type: none"> Vise à s'utiliser sur toutes les cultures. Testé sur les laitues et crucifères. 	3000 et 5000 plants/rg/h (selon cultures)	2	<ul style="list-style-type: none"> S'installe directement sur le transplanter traditionnel. La transition peut se faire graduellement, 1 unité/rg à la fois. Identifie les cellules sans transplants.
Autoplanter (Pearson)	X		ND	1,5 à 2 ans	Conçu pour utiliser des tailles standard de plateaux en plastique rigide.	Brassicacées	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse : 2.5 à 3.5 miles à l'heure 2 acres/heure 	2	



iv. Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 7), les technologies de transplantation adaptées pour petites surfaces qui ont été répertoriées (Tableau 8). Ce dernier tableau contient aussi les quelques informations répertoriées sur les coûts/bénéfices puisqu'aucun tableau spécifique pour les coûts-bénéfices de ces technologies n'a pas été réalisé, n'ayant pas reçu d'informations additionnelles par les équipementiers.

Tableau 7 : Présentation sommaire de la famille des transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces

Famille technologique	Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Équipements motorisés (avec ou sans siège pour conducteur). • Modèles automatiques ou semi-automatiques. • Modèles japonais, développés pour les fermes japonaises, généralement de petites tailles.
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Faible (aucune intelligence artificielle/système informatique complexe). • Les modèles semi-automatiques nécessitent la manipulation des transplants.
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Les modèles répertoriés sont au stade commercial.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'efficacité de transplantation. • Différents modèles proposés par les deux fabricants répertoriés. • Prix abordable.
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Distributeur japonais (en ligne) : <ul style="list-style-type: none"> ○ Manuel et tableau de bord disponible uniquement en japonais.
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none"> • Kubota • Yanmar

Tableau 8 : Liste des technologies répertoriées- Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces

Transplanteurs automatiques/semi-automatiques pour petites surfaces				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Différents modèles KP/SKP	Kubota (JPN)	<ul style="list-style-type: none"> 9k-25k \$USD (selon modèles). Modèles semi-automatiques. Modèle SKP-101 : <ul style="list-style-type: none"> 1 rang. Vitesse de plantation : 0.55 m/s. Espace de plantation ajustable. 1 conducteur. Choux, choux chinois, brocolis, laitues, etc. 		Commercial
Différents modèles PW/PH	Yanmar (JPN)	<ul style="list-style-type: none"> 10K-30K \$USD (selon modèles). Certains modèles sont semi-automatiques et d'autres automatiques. Modèle PW20R : <ul style="list-style-type: none"> Charge 16 plateaux au total. Contrôle automatique de la profondeur. Espace de plantation ajustable. 1 conducteur. 2 rangées de plantation. Choux, choux chinois, brocolis. 	 Modèle PW20R	Commercial

7. Désherbage en productions maraîchères

i. Besoins du secteur

Le désherbage est une activité importante en production maraîchère et nécessite souvent plusieurs interventions (passages) durant toute la saison de production. Pour ce faire, les producteurs maraîchers combinent différents outils et modes de désherbage (ex. : mécanique, chimique, thermique, etc.) en fonction de la culture, du stade de croissance de la culture et des mauvaises herbes, du lieu de désherbage (entre les rangs et sur les rangs), etc. Le désherbage sur les rangs (entre les plants) peut être plus complexe et particulièrement méticuleux en plus d'exiger beaucoup de main-d'œuvre.

Les technologies de désherbage en production maraîchère doivent en somme :

- S'adapter aux différentes productions, types de régions (ex. : espacement), types de sols, superficies, etc.
- Permettre l'élimination des diverses espèces de mauvaises herbes, à différents stades de croissance.

Les principales tâches à accomplir par les technologies pour combler les besoins en main-d'œuvre pour le désherbage sont :

- La détection et la classification (mauvaises herbes et cultures).
- L'élimination des mauvaises herbes (défi particulier sur les rangs).
- Le déplacement dans le champ.

ii. Familles technologiques

Pour cette veille technologique, nous nous sommes concentrés sur des technologies de désherbage qui permettent une réduction de la main-d'œuvre en productions maraîchères. Il s'agit de technologies qui présentent un certain niveau d'automatisation/robotisation et qui permettent la détection et l'élimination des mauvaises herbes de manière ciblée sur le rang et/ou qui ne nécessitent aucun conducteur. Nous n'avons donc pas répertorié ci-après les équipements attelés qui effectuent uniquement le désherbage entre les rangs ainsi que les technologies qui comportent des systèmes de caméra, dans une optique de guidage (plutôt que de détection et identification des mauvaises herbes)³.

En outre, les critères retenus pour la sélection des technologies de désherbage étaient :

- La capacité de substitution de main-d'œuvre pour le désherbage;
- La capacité de désherbage intra rang et/ou conduite autonome;
- Des technologies qui possèdent un certain niveau d'autonomie et/ou d'intelligence.

³ À titre informatif, le document Outils de désherbage physique en production maraîchère du CRAAQ (2020) dresse un excellent portrait des outils de désherbage physique qui ne sont pas répertoriés dans cette section, notamment pour le désherbage « entre les rangs ».

Les technologies ont été regroupées dans deux grandes familles technologiques suivantes :

- les équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés
- les robots désherbeurs autonomes.

Dans ces deux familles, l'on retrouve des équipements de désherbage mécanique, chimique, thermique ou électrique, en mode unique ou parfois combiné.

Par ailleurs, différents modes de désherbage alternatif seront à surveiller dans les prochaines années (ex. : vapeur, micro-ondes, produits abrasifs (ex. : particules de noyau), bioherbicides (ex. : acides, huiles essentielles, etc.), savon mousse, laser, électrique, etc.). Ces modes de désherbage, couplés à des technologies de désherbage « intelligent » sélectif et intra rang, pourraient permettre la substitution de la main-d'œuvre dans les productions maraîchères, en permettant en plus l'utilisation de modes de désherbage ayant moins d'impacts sur l'environnement. Pour l'instant, les technologies répertoriées qui utilisent ces modes alternatifs de désherbage sont davantage utilisées en désherbage inter rang seulement. Pour cette raison, nous ne les avons pas considérées dans la veille.

iii. Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 9), les équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés qui ont été répertoriés (Tableau 10) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles (Tableau 11).



Tableau 9 : Présentation sommaire de la famille des équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés

Famille technologique	Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés	
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Équipements attelés qui permettent de désherber automatiquement entre les rangs et sur les rangs (entre les plants). • À l'aide de caméra et d'intelligence artificielle, les équipements peuvent différencier les plantes cultivées des mauvaises herbes et activer indépendamment les outils de désherbage. • Surtout utilisés pour désherber les cultures qui sont espacées sur le rang. • Différents outils de désherbage peuvent être utilisés. 	
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Élevée, en raison de l'utilisation de technologies d'optique et d'intelligence artificielle. 	
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs modèles au stade commercial. • Efficacité démontrée depuis quelques années déjà. • Technologies adoptées depuis quelques années par certains producteurs maraîchers québécois. 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de désherbage ciblé sur le rang. • Les passages permettent la substitution d'une partie de la main-d'œuvre. 	
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité de désherbage peut être affectée par les conditions d'humidité du sol, la densité de mauvaises herbes ou les espèces présentes, la taille/recoupement des plants, etc. • Nécessite souvent des passages de désherbage manuel pour éliminer complètement les mauvaises herbes. 	
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none"> • Frank Poulsen Engineering • Kult kress • Garford • Steketee • Costruzioni Meccaniche Ferrari • Stout Agtech 	<ul style="list-style-type: none"> • Blue river Technology • Ecorobotix • Agmechtronix • Rootwave et Steketee/Lemken • Hyperweeding-Harper Adams University

Tableau 10 : Liste des technologies répertoriées - Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
DÉSHERBAGE MÉCANIQUE CIBLÉ				
Robovator-Mécanique	Frank Poulsen Engineering (Danemark)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs (détection et reconnaissance par caméra). Tiges à ressort contrôlées séparément. 1 caméra par rang. Espacement entre les rangs : 25cm - 40cm. Système hydraulique. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial (utilisé depuis 2010 en Europe et depuis 2015 aux É.-U.)
Robovator	Kult Kress (ALL)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs (détection et reconnaissance par caméra). Couteau avec lame réglable individuellement. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Robocrop InRow Weeder	Garford Farm Machinery Ltd (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique ciblé intra et inter rangs (détection et reconnaissance par caméra). Différents modèles d'attelage (avant ou arrière), de largeurs, de nombre d'unité de désherbage. Caméra offre une vision de 2 m. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial (depuis 2008)
IC-Weeder	Steketee (HOL)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs (détection et reconnaissance par caméra). Différents modèles et largeurs. Possibilité de combiner avec plusieurs outils de désherbage chimique et mécanique Steketee. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial
Remoweed (attelé) et Scorpion (automoteur)	Costruzioni Meccaniche Ferrari (IT)	<ul style="list-style-type: none"> Équipement attelé ou automoteur. Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs (détection par barre optique infrarouge). Profondeur de travail ajustable. Espacement min entre les rangs : 25 cm. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Désherbeur automatisé	Agmechtronix	<ul style="list-style-type: none"> • Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs. • Des caméras identifient les mauvaises herbes et des lames mécaniques sont actionnées. • Jusqu'à 3 MPH. • Adaptable pour les différentes configurations et largeurs de rangs. 		Commercial
Smart cultivator	Stout Agtech (US)	<ul style="list-style-type: none"> • Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs. • Adaptable à différentes configurations. • Système de désherbage mécanique (lame). • Système robuste (boîtier en stainless). <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
DÉSHERBAGE CHIMIQUE CIBLÉ				
Robocrop Spot Sprayer	Garford Farm Machinery Ltd (UK)	<ul style="list-style-type: none"> • Différents modèles de largeurs. • Désherbage chimique ciblé intra et inter rangs (détection et reconnaissance par caméra). • Caméra vision de 2 m. • Possibilité de choisir un seuil minimal de la taille des mauvaises herbes. • Réduction d'environ 98% d'herbicides (selon densité des mauvaises herbes). 		Commercial
Pulvérisateur de précision	Agmechtronix	<ul style="list-style-type: none"> • 7 MPH. • Application de pesticide localisé intra-rang. • Des caméras identifient les mauvaises herbes. • Adaptable pour les différentes configurations et largeurs de rangs. 		Commercial
ARA	Ecorobotix (Suisse)	<ul style="list-style-type: none"> • Désherbage chimique ciblé. • Version attelée de AVO (voir section robot autonome), développée pour accélérer la commercialisation de la technologie et la performance (ha/h). <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>	Non disponible	Commercial en 2021, en Europe

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
See and spray technology (Lettuce Bot)	Blue river Technology (John Deere Company)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage chimique ciblé inter et intra rangs (détection et reconnaissance par caméra). Initialement développé pour l'éclaircissage de laitue, mais par la suite adapté pour le désherbage chimique ciblé dans les cultures en rang (coton, soya, arachides, développement dans d'autres cultures en rang). 		Commercial (certaines cultures)
DÉSHERBAGE ÉLECTRIQUE ET THERMIQUE CIBLÉ				
ND.	Rootwave (en coll. avec Steketee/Lemken)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage électrique localisé- Décharge de 5000 volts. Mauvaises herbes de 2 po de hauteur maximum. Certains ajustements de tension en fonction du type de sol. 8 à 12 rangées. Jusqu'à 3 MPH. 		Précommercial (commercialisation prévue en 2020)
Robovateur-Thermique	Frank Poulsen Engineering (Danemark)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage thermique (flame) sélectif, intra-rangs En développement pour la laitue. Fonctionne dans les sols sablonneux, dans des conditions sèches. 		En développement (commercialisation prévue en 2022)

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Hyperweeding	Harper Adams University (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Deux modèles à l'essai : <ul style="list-style-type: none"> Détection du méristème et destruction par laser. Détection des mauvaises herbes et destruction par jet d'herbicide ciblé. Les chercheurs estiment que cela prendra environ 100 ha pour être rentabilisé. Détection de 26 espèces de mauvaises herbes. 	 <p>© Prof. Simon Bladmore, Harper Adams Univ.</p>	Prototype

Tableau 11 : Analyse coûts-bénéfices des équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁴	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Modification de régie à envisager	Diversité des cultures visées	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Les petits «+»
DÉSHERBAGE MÉCANIQUE CIBLÉ								
Robovator- Mécanique (Frank Poulsen Engineering)	X	Aucun. Souhaite établir un partenariat avec un distributeur.	116 000 \$ CAD (modèle 6 rg)	Variable en fonction des types de cultures et des charges salariales.	Aucune	Fonctionne sur toutes les cultures transplantées (cultures semées à compter de 2021).	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse : 1-4 km/h. Élimination de 80-95 % des mauvaises herbes. Sarcler 3-4 plants/sec/rang. Un sarcler 6 rg désherbe généralement 5 ha/h dans la laitue et 8 ha/h dans le chou. Hauteur des plants : 1po à 12po. Espacement des plants : min 2 po. Désherbe jusqu'à 2-5 cm du plant (sélection par l'opérateur). 	<ul style="list-style-type: none"> Ne nécessite généralement pas d'autres équipements de désherbage. Permet la substitution de 10 - 20 travailleurs. En éliminant l'utilisation d'herbicide, devance la récolte d'une dizaine de jours (observation dans le céleri).
Robovator (Kult Kress)	X	Aucun (vente directe).	À partir de 125 000 USD	Variable en fonction des types de cultures, de la superficie et des charges salariales.	Espacement min. entre les plants : 8 po.	Fonctionne avec la majorité des cultures.	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse : 2-4 km/h. Élimine jusqu'à 90-98 %. Désherbage à 1 cm du plant. Remplacement d'environ 20 travailleurs. Rowcrop-Habicht (option) : permet d'aller jusqu'à 10 km/h. 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration du système de vision au cours des dernières années, qui distingue le Robovator de la compétition.
Robocrop InRow Weeder (Garford)	X	X	101 951 USD	Estimé à 5 ans. Utiliser sur 50 ha minimum.	Aucune	Convient à la majorité des cultures maraîchères pour	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage jusqu'à 1 cm de la tige des cultures. Élimine 98 % des mauvaises herbes. 	<ul style="list-style-type: none"> Formation offerte par un technicien. Service téléphonique offert pour répondre

⁴ Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁴	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Modification de régie à envisager	Diversité des cultures visées	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Les petits «+»
						lesquelles il y a une distance entre les plants.	<ul style="list-style-type: none"> Jusqu'à 0,63 ha/h. Hauteur des plants : 18 ou 30 cm selon les modèles. Espacement entre les rangs : 50 cm. 	aux questions des utilisateurs.
IC-Weeder (Steketee)	X	X	ND	ND	ND	Toutes plantes vertes (modules supplémentaires pour feuillage rouge).	<ul style="list-style-type: none"> Jusqu'à 5 km/h. 4 plants/sec/rg. Distance min entre les plants : 10 cm. Hauteur des plants : 15 cm. Espacement min. entre les rangs : 25 cm. 	
Remoweed et Scorpion (Costruzioni Meccaniche Ferrari)	X		ND	ND	ND	Productions maraîchères.	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage jusqu'à 1 cm de la tige des cultures. Distance min entre les plants : 4 cm. Désherbage de 6500 à 9000 plants/h. Espacement min entre les rangs : 25 cm. 	
Stout Agtech (Smart Cultivator)	X	Non (mais intéressé).	315K USD (1 planche-4 rangs) à 999K USD (3 planches- 18 rangs)	6 mois pour 1000 acres.	Aucune	Configurations adaptables.	<ul style="list-style-type: none"> 1-2,5 acres/h. Système de vision peut fonctionner jusqu'à 14,5 km/h, mais idéalement 1,6-3,2 km/h. Éliminer entre 85-98 % des mauvaises herbes. Remplace 20 travailleurs. 	Offre 2 jours de formation à la ferme.

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁴	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Modification de régie à envisager	Diversité des cultures visées	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Les petits «+»
DÉSHERBAGE CHIMIQUE CIBLÉ								
ARA (Ecorobotix)	En 2021	Prévu en 2022	90K USD +licence par ha pour la maintenance et les mises à jour.	1 an (300 ha sur deux cultures).	Aucune	Haricots, épinards, oignons, chicorée, salades.	<ul style="list-style-type: none"> Spray de 8x3 cm avec une précision de 1 cm. 4 ha/h. Élimination d'environ 95 % des mauvaises herbes. Tous les types d'adventices à partir de 0,5/1cm de diamètre. 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de 50-80 % des herbicides et gain de récolte. Système peut travailler de nuit. Peut aussi être utilisé pour des traitements ciblés d'insecticides et de fongicides.

iv. Robots désherbeurs autonomes




Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 12), la liste des robots désherbeurs autonomes qui ont été répertoriés (Tableau 13) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles (Tableau 14).

Tableau 12 : Présentation sommaire de la famille des robots désherbeurs autonomes




Famille technologique	Robots désherbeurs autonomes
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Robot conduit de manière autonome (ou parfois la conduite à distance est offerte) et muni d'outils de désherbage (traditionnels ou intelligents). • À l'aide de caméra et d'intelligence artificielle, les équipements peuvent différencier les plantes cultivées des mauvaises herbes et activer indépendamment les outils de désherbage. • Fonctionne généralement à batterie (certains systèmes à recharge solaire) et parfois à l'essence. • Différentes fonctions (seule ou combinées) selon les modèles : <ul style="list-style-type: none"> ○ Identification des mauvaises herbes; ○ Mode de désherbage simple ou combiné : mécanique (différents outils possibles), chimique localisé, thermique; ○ Irrigation, fertilisation, monitoring des cultures (quelques modèles seulement).
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Élevée, en raison de l'utilisation de technologies d'intelligence artificielle et de la conduite autonome. • Les technologies n'ont pas toutes le même niveau technologique. • Les technologies n'ont pas toutes la même capacité à désherber de manière sélective sur le rang. Certaines sont davantage des porte-outils et utilisent des outils plus traditionnels de désherbage.
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Quelques modèles au stade commercial et plusieurs projets de développement en cours. <ul style="list-style-type: none"> ○ Certains modèles d'affaires basés sur la location des équipements ou la vente de service de désherbage. • Amélioration des technologies en cours (notamment au niveau de la vision/détection des mauvaises herbes). • Plusieurs développeurs envisagent d'intégrer de nouvelles tâches aux robots (ex. : traitement UV, collecte de données sur les cultures, etc.)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun conducteur requis. • Autonomie complète de la technologie. • Plusieurs modèles sont capables de désherber sur les rangs, entre les plants. • Permet de multiplier les passages de désherbage aux premiers stades (sans coût supplémentaire de main-d'œuvre) pour une stratégie de désherbage préventif systématique.
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite de la formation/accompagnement pour l'intégration de la technologie à la ferme. • Technologie encore très nouvelle (incertitudes, ajustements nécessaires, etc.). • Relativement peu d'informations techniques disponibles permettant la comparaison agroéconomique des technologies.




Famille technologique	Robots désherbeurs autonomes	
	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité de désherbage peut être affectée par les conditions d'humidité du sol, la densité de mauvaises herbes, la taille/recoupement des plants, etc. 	
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none"> • Naïo • Carré • Nexus Robotics • Elmec et IVI • ecoRobotix • Rexroth • Farmwise • Ageris 	<ul style="list-style-type: none"> • Elatec • Australian Centre for Field Robotics • Sitia • Queensland University of Technology QUT • Université du Nebraska-Lincoln • SPL • Rootwave en coll. avec Steketee et Small Robot Company

Tableau 13 : Liste des technologies répertoriées – Robots désherbeurs autonomes

Robot désherbeur autonome				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Dino	Naïo (FR)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique (inter et intra rangs) : différents outils possibles. Désherbage par laser (en cours de développement- Technologie Greenshield). <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial
OZ	Naïo (FR)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique (inter et intra rangs) : différents outils possibles. Fonctionne de manière autonome ou assisté. Communication avec l'utilisateur via SMS. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial
Anatis	Carré (FR)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique; Désherbage chimique localisée sur le rang; Collecte d'indicateurs clés. À la fin de son passage, ANATIS émet un rapport de parcelle (données clés, comparaison des passages). Outil connecté (téléphones ou tablettes); visuel en direct, suivi d'avancement, etc. GPS, caméra, batterie lithium. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial

Robot désherbeur autonome				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
La chèvre	Nexus Robotics (CAN-N-É)	Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> ○ Désherbage mécanique (arrachage des plants avec une pince). *voir tableau coûts/bénéfices		Début de commercialisation en 2021 (location à la saison). Expansion en 2022.
Erion	Elmec et IVI (QC)	<ul style="list-style-type: none"> • Robot-tracteur. • 100 % électrique. • Conduite autonome et navigation à distance. • Fonctions : plusieurs tâches possibles dont : <ul style="list-style-type: none"> ○ Collecte de données sur les cultures. ○ Désherbage mécanique inter et intra rangs. • Largeur adaptable de 54 à 72 po. *voir tableau coûts/bénéfices		Essais aux champs en 2021 (comm. prévue en 2023 sous forme de services de désherbage (taux à l'ha)).
Avo (voir aussi ARA, dans équipements de désherbage robotisés attelés)	ecoRobotix SA (Suisse) Investissement en 2018 de BASF	<ul style="list-style-type: none"> • Fonction : Désherbage chimique ciblé. • Rampe de 52 buses de précision. • Batterie rechargeable à l'énergie solaire. *voir tableau coûts/bénéfices		Commercial

Robot désherbeur autonome				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Deepfield robotics	Rexroth (Bosch) (All)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique ciblé inter et intra rangs (détection et reconnaissance par caméra-désherbage à l'aide d'un outil rotatif). Désherbage chimique localisé et par laser (en développement). Précision de désherbage à 2 mm. 3 h/ha à 40 mauvaises herbes par m². 		Commercial (vente de services de désherbage)
Farmwise	Farmwise (US)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Collecte de données; Désherbage mécanique ciblé; Souhaite éventuellement automatiser d'autres tâches maraîchères. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		Commercial (vente de service de désherbage)
Digital Farmhand	Agerris (AUS)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Cartographie des mauvaises herbes, estimation de rendement et de taille des plants; Possibilités d'ajouter différents outils de désherbage mécanique ou de désherbage chimique localisé. Batterie rechargeable à l'énergie solaire. Autonomie 15 h avec les panneaux solaires. Vitesse : 6 km/h. Conduite autonome et navigation à distance. 		Commercial

Robot désherbeur autonome				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
e-tract/tract-ELEC	Elatec (Fr)	<ul style="list-style-type: none"> • Tracteur électrique porte-outil robotisé multi-usage. • Permet à l'agriculteur d'utiliser des outils déjà existants sur son exploitation (outils de binage, dérouleuse de film plastique, semoirs, herse étrille, rampe de pulvérisation...). • Peut aussi recevoir les outils intelligents de binage intra-rang. • 3 systèmes de relevages indépendants, 1 avant, 1 central et 1 arrière. • Système de guidage GPS RTK. 		Démonstrations en conditions réelles- Améliorations testées au printemps 2021.
RIPAA (Robot for Intelligent Perception and Precision Application)- 2^e génération de Ladybird	Australian Centre for Field Robotics (AUS)	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> ○ Identification des mauvaises herbes; ○ Collecte d'indicateurs clés (ex. : données de stations météorologiques et de sondes de sol); ○ Estimation de rendement; ○ Fertilisation des cultures; ○ Désherbage chimique localisé. • Batterie rechargeable à l'énergie solaire. 		Prototype/Preuve de concept (2018)
PUMAgri	Sitia (FR)	<ul style="list-style-type: none"> • Plateforme autonome sur laquelle on peut mettre différents outils et équipements de désherbage. • Différents senseurs pour réaliser un désherbage de précision. • Guidage : GPS, RTK. • Moteur hybride (10 h d'autonomie de travail). 		Précommercial (visent à en vendre 500 d'ici 2023)





Robot désherbeur autonome				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Agbot II	Queensland University of Technology (QUT) (AUS)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des mauvaises herbes (taux de 90 %); Désherbage chimique localisé; Désherbage mécanique (houe robotisée); Désherbage par micro-ondes; Application de fertilisation. Batterie rechargeable à l'énergie solaire. 		Prototype/Preuve de concept Testé (2013-2017) sur plusieurs cultures (pas uniquement maraîchères).
Flex-Ro	Université du Nebraska-Lincoln (US)	<ul style="list-style-type: none"> Conduite autonome ou à distance. Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Collecte de données (température, humidité, etc.); Semis; Dépistage des cultures; Identification des mauvaises herbes; Traitement herbicide localisé. 		Prototype
Jäti	SPL (All.)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage au laser. Efficace sur les mauvaises herbes du stade cotylédons au stade 4 feuilles. Conduite autonome (batterie). Sur chenilles. Modèle d'affaires envisagé : location des services. 		Prototype
Dick	Rootwave (en coll. avec Steketee et Small Robot Company) Ang.	<ul style="list-style-type: none"> Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Désherbage électrique- Décharge de 5000 volts aux mauvaises herbes. Mauvaises herbes de 2 po de hauteur maximum. Certains ajustements de tension en fonction du type de sol. 		Prototype de robot/Essai en 2020

Tableau 14 : Analyse coûts-bénéfices des robots désherbeurs autonomes

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁵	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Diversité des cultures visées	Modification de régie à envisager	Mode de désherbage ⁶	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Durée d'autonomie	Les petits «+»
Dino (Naïo)	X	X	189 000 CAD+ 2000 CAD/an pour service et assistance	<ul style="list-style-type: none"> • Selon les cultures et coûts de désherbage de l'entreprise. • Superficie minimale de 15 ha. 	Toutes cultures maraîchères.	<ul style="list-style-type: none"> • Espacement entre roues adaptable (160 à 220 cm). 	M	<ul style="list-style-type: none"> • 0.5 ha/h. • Passage sur les rangs avec outils non agressifs (doigts kress, herse étrilles). • Passage à 3-4 cm avec outils agressifs (socs, dents). 	8 h	
Oz (Naïo)	X	X	47 500 CAD+2000 CAD/an pour service et assistance	Selon les cultures et coûts de désherbage de l'entreprise.	Toutes cultures maraîchères (petites surfaces)	<ul style="list-style-type: none"> • Espacement min. des rangs : 70 cm pour permettre le passage du robot. • Surface plane. 	M	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de 2-3 travailleurs en sarclage dans un ha de maraîchage diversifié. • 1000 m²/h (selon configurations). • Passage sur les rangs avec outils non agressifs (doigts kress, herse étrilles). • Passage à 5 cm avec outils agressifs (socs, dents). 	4-12 hrs selon situations en usages	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de compétences technologiques requises. • Autres utilisations possibles (semis, assistance au travail, transport de caisses, etc.)

⁵ Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

⁶ M : mécanique, C : chimique, L : Laser

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁵	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Diversité des cultures visées	Modification de régie à envisager	Mode de désherbage ⁶	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Durée d'autonomie	Les petits «+»
Anatis (Carré)	X (4e version en vente en 2021)		120-140K euros (n'inclus pas les outils de binage)	4 ans	Salades, poireaux, fenouil, carottes, pomme de terre (min. 10 cm inter rang en ligne).	Utilisation des bineuses Carré.	M- C	<ul style="list-style-type: none"> 0,5 ha/h. Élimination de 70 % à 80 % des mauvaises herbes en un passage. 2 premiers stades de la culture- Mauvaises herbes de taille inférieure à la culture. 	8 h (recharge 1,5 h)	<ul style="list-style-type: none"> Voie réglable allant de 1,45 m à 2,05 m. Formation offerte à la prise de possession.
La chèvre (Nexus Robotics)	Comm. en 2021	X	Location dans un premier temps (50 000 \$/saison).	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des coûts de désherbage de 30-40 %. 	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs cultures annuelles. Testé sur les oignons, laitues et carottes. 	Aucune	M (pince qui arrache)	<ul style="list-style-type: none"> 5-10 acres par jour. Élimine environ 90 % des mauvaises herbes. Remplace environ 5 travailleurs Il faut éliminer les mauvaises herbes entre les rangs avant le passage. 	Système hybride qui fonctionne durant plusieurs jours avant de nécessiter une recharge.	Une des seules technologies à arracher les mauvaises herbes, ce qui réduit les risques de dommages aux cultures.
Erion (Elmec et IVI)	Comm. prévue en 2023)	X	Coût de service à l'ha (avoisinant les coûts moyens de désherbage standard- environ 100 \$/ha)	NA	Cultures maraîchères et grandes cultures (fermes de grande taille visées).	Aucune	M	<ul style="list-style-type: none"> 35 ha /24 h (1,45 ha /h) Vitesse : de 0,2 à 12 km/h Désherbage à 1 po du plant. 	ND	<ul style="list-style-type: none"> 4 roues directionnelles. Possibilité d'ajouter différents équipements (en dév.).

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁷	Coût d'achat	Temps estimé de retour sur l'investissement	Diversité des cultures visées	Modification de régie à envisager	Mode de désherbage ⁸	Performance (ex. : superficie/h, distance de désherbage des plants, taux d'élimination, stade de désherbage)	Durée d' autonomie	Les petits «+»
Avo (ecoRobotix)	X		85K USD +licence par ha pour la maintenance et les updates software.	3-4 ans	Haricots, épinards, oignons, chicorée, salades.	Aucune	C	<ul style="list-style-type: none"> Spray de 8x3 cm avec une précision de 1 cm. 1,5 ha/h. Élimination d'environ 95 % des mauvaises herbes. Tous les types d'adventices à partir de 0,5/1cm de diamètre. 	3-4 hrs	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de 50-70 % des coûts d'herbicides. Système peut travailler de nuit. Peut aussi être utilisé pour des traitements ciblés d'insecticides et de fongicides.
Deepfield robotics (Rexroth/Bosch)	X		Service de désherbage (non offert au Canada).	ND	Betteraves sucrières, laitues.	ND	M-C-L (en dev)	<ul style="list-style-type: none"> Précision de désherbage à 2 mm. 3 h/ha à 40 adventices/m2 	ND	
Digital Farmhand (Agerris)	X		ND	ND	Diverses productions végétales.	ND	M-C (outils en options)	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse : 6 km/h. 	15 h avec les panneaux solaires.	Collecte d'indicateurs clés sur les cultures.
Farmwise	X		Coût de service à l'acre (offerts aux grands producteurs maraîchers en Californie et Arizona).	ND	Laitues, choux-fleurs, brocolis, céleris, choux de Bruxelles, artichauts.	Aucune. Conçu pour désherber sur différentes configurations de lits de plantation, entre 60 et 84 po).	M	<ul style="list-style-type: none"> 10-15 acres/jour. Précision au cm près. Permet de remplacer des équipes de 10-15 travailleurs alloués au désherbage manuel. 	ND (fonctionne au diesel)	

⁷ Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

⁸ M : mécanique, C : chimique, L : Laser

8. Récolte en productions maraîchères

i. Besoins du secteur

En productions maraîchères, plusieurs cultures sont encore récoltées manuellement (ex. : laitues, asperges, brocolis, etc.) et nécessitent beaucoup de main-d'œuvre. Cette étape est cruciale : elle demande de la précision, elle implique l'identification des fruits matures dans les cultures ou la récolte est sélective, différents types de manipulations doivent parfois être effectués (ex. : coupe, effeuillage, etc.), la fenêtre de délai de récolte est courte, la récolte impacte directement les revenus des producteurs, etc.

Les principales tâches à accomplir par les technologies pour combler les besoins en main-d'œuvre sont :

- Identification et sélection des légumes matures;
- Manipulation des légumes matures et fragiles, sans les endommager;
- Coupe (sélective ou non sélective) ou préparation des légumes selon les standards du marché (ex. : longueur du pédoncule qui peut varier en fonction des marchés, effeuillage, etc.);
- Déplacement dans le champ.

ii. Familles technologiques

Pour répertorier les technologies disponibles, nous avons ciblé des équipements qui permettent de diminuer les nombres de personnes nécessaires à la récolte dans les cultures où la récolte se fait habituellement de façon manuelle. Les cultures qui nous ont été ciblées par l'APMQ sont : la laitue, les oignons verts, les choux-fleurs, les brocolis, les poivrons et piments, les tomates (marché frais), les aubergines, les concombres et cornichons (marché frais), les courges, les asperges.

Les technologies répertoriées ont été regroupées dans deux grandes familles technologiques :

- Les robots récolteurs (récolte sélective);
- Les récolteuses mécanisées (récolte non sélective).

Dans le cas des robots récolteurs, ces technologies permettent une récolte sélective de manière autonome (ou parfois assistée) et compte des caméras, des senseurs et des bras robotisés et impliquent l'utilisation de l'intelligence artificielle et de l'automatisation. Dans ce rapport, nous présentons les quelques technologies répertoriées qui sont développées pour les cultures maraîchères en champ. Dans nos recherches, nous avons identifié plusieurs technologies de récolte en cours de développement pour les productions légumières en cultures abritées. Comme ces technologies (ou certaines composantes) pourraient éventuellement être adaptées pour les récoltes de ces mêmes productions en champ, nous présentons en annexe (Tableau 30), les robots récolteurs répertoriés pour les cultures maraîchères sous abri. Ces technologies sont davantage présentées à titre informatif. L'analyse des coûts-bénéfices n'a donc pas été réalisée.

Les récolteuses mécanisées, quant à elles, impliquent une récolte non sélective, davantage mécanisée ou automatisée, que robotisée. Elle n'implique généralement pas l'utilisation d'intelligence artificielle. Comme ces technologies ne sont pas nécessairement « nouvelles », nous avons répertorié sous forme de tableau les équipementiers qui offrent des récolteuses mécanisées pour les principales cultures maraîchères qui se réalisent habituellement de manière manuelle (la laitue, les oignons verts, les choux-fleurs, les brocolis, les poivrons et piments, les tomates (marché frais), les aubergines, les concombres et cornichons (marché frais), les courges, les asperges).




iii. Robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 15), la liste des robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ qui ont été répertoriés (Tableau 16) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles (Tableau 17).

Tableau 15 : Présentation sommaire de la famille des robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ

Famille technologique	Robots récolteurs (récolte sélective)	
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Robot conduit de manière autonome, attelé ou conduit à distance. • Munis d'un ou de plusieurs bras récolteurs. • Réalise la récolte sélective, selon des critères choisis par le producteur. • À l'aide de caméra et d'intelligence artificielle, les équipements peuvent différencier les fruits matures et activer les bras de récolte. • Différents types de bras de récolte (tube aspirateur, pince, doigts, avec lames, coupe à jet d'eau, etc.). 	
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Très élevée, en raison de : <ul style="list-style-type: none"> ○ L'utilisation de technologies d'intelligence artificielle; ○ La conduite autonome (généralement); ○ Le nombre, la nature et la complexité des tâches à accomplir; ○ Des défis d'efficacité à relever (ex. : temps/légume récolté, adaptation aux conditions de culture et exigences des marchés). 	
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de modèles au stade commercial et quelques projets de développement en cours. Les développeurs se concentrent principalement sur les cultures sous abri (productions maraîchères) et les fraises pour optimiser le retour sur l'investissement aux producteurs. • Efficacité à améliorer pour atteindre le stade commercial (taux d'identification et de récolte, délai de récolte, qualité des produits récoltés, etc.). 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun conducteur requis (ou un seul si attelé) et autonomie de la technologie. • Remplacement d'un nombre considérable de travailleurs à la récolte. 	
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie encore très nouvelle (incertitudes, ajustements nécessaires (ex. : régie, cultivars, etc.)). • Nécessite de la formation/accompagnement pour l'intégration de la technologie à la ferme. • Nécessite encore des essais aux champs pour perfectionner les technologies. • Efficacité encore généralement inférieure à celle de l'humain. • Relativement peu d'informations techniques disponibles permettant la comparaison des technologies. 	
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none"> • University of Cambridge • KMS Projects Limited • Lapalme Conception Mécanique/INO/ CRVI 	<ul style="list-style-type: none"> • Fieldwork Robotics et Bonduelle • Strauss et coll. • University of Waikato et RoboticsPlus

Tableau 16 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs (pour les cultures maraîchères en plein champ)

Robots récolteurs (récolte sélective)				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
Roboveg (RV1 et RV3)	KMS Projects Limited (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Plate-forme autonome montée à l'avant ou l'arrière d'un tracteur standard Différents modèles possibles (1 ou 3 bras, attelé ou automoteur, etc.) Récolte sélective selon les critères de marché et selon les formats choisis (Imagerie et intelligence artificielle). Capacité à évaluer la taille d'un brocoli même si une grande partie est recouverte de feuillage. Bras robotisé muni d'une lame de coupe. Les brocolis sont emmenés vers la remorque à l'arrière du tracteur. Tests au champ sur différentes variétés (dont Ironman et Parthenon) Connecté en temps réel à un système de contrôle et d'analyse des données. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>	 	<p>Commercialisation</p> <p>Développé pour le brocoli</p>
Sami (système agricole multifonctionnel intelligent)	Lapalme Conception Mécanique/Institut national d'optique (INO)/ CRVI (QC)	<ul style="list-style-type: none"> Équipements robotisés attelés à l'arrière du tracteur. 2 bras robotisés, système de vision, intelligence artificielle. Système de coupe par jet d'eau. Possibilité de développement d'autres tâches par les bras robotisés. Capacité de récolte sous la pluie, dans la noirceur. Adaptations du nombre de bras robotisés. Possibilité de sélection des calibres à récolter. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		<p>Prototype/Preuve de concept (commercialisation visée pour automne 2021)</p> <p>Développé pour le brocoli (autres productions maraîchères à venir)</p>



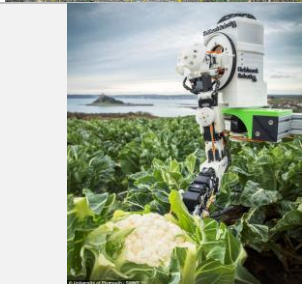

Robots récolteurs (récolte sélective)				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement
GARotics	Strauss Verpackungsmaschinen GmbH, Universität Bremen, C.Write & Son Ltd. (ALL)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome d'asperges vertes. Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des asperges à récolter; Prise et coupe des asperges à récolter (bras robotisé muni de pince et de couteau); Dépôt dans des plateaux. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		<p>Prototype/Preuve de concept</p> <p>Développé pour l'asperge verte</p> <p>(commercialisation prévue en 2022)</p>
ND	University of Waikato et RoboticsPlus (NZ)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome d'asperges vertes. Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des asperges à récolter; Prise et coupe des asperges à récolter (bras robotisé muni de pince et de couteau); Dépôt dans des plateaux. 		<p>Prototype/Preuve de concept</p> <p>Développé pour l'asperge verte</p>
GummiArm robot	Fieldwork Robotics (UK) et Bonduelle	<ul style="list-style-type: none"> Robot évalue chaque chou-fleur : <ul style="list-style-type: none"> Blancheur par imagerie; Fermeté de la prise déterminée par des capteurs sur les « doigts ». 		<p>Prototype/preuve de concept (dév. jusqu'en 2023 min.)</p> <p>Développé pour le chou-fleur</p>
Vegebot	University of Cambridge (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Développé pour la laitue pommée. Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> identification des laitues mures; prise et coupe de la laitue ; enlèvement de feuilles externes; dépôt de la laitue; Plusieurs critères d'efficacité à améliorer pour substituer l'humain. 		<p>Prototype/Preuve de concept</p> <p>Développé pour la laitue pommée</p>

Tableau 17 : Analyse coûts-bénéfices des robots récolteurs (cultures maraîchères en plein champ)

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d' un dépositaire au Canada ⁹	Coût d'achat/ou du service	Temps estimé de retour sur l'investissement	Diversité des cultures visées	Modification de régie à envisager	Performance (superficie/h, taux de détection, qualité de récolte)	Substitution de MO	Durée d'autonomie	Les petits «+»
Roboveg (KMS Projects Limited)	X	ND	ND	ND	Brocolis	Équipements désignés pour différents schémas de plantation.	Récolte 1200 têtes de brocolis/h/bras.	1 seul ouvrier pour la conduite du tracteur.	N.A.	Capacité de travailler jour ou nuit.
Sami (Lapalme Conception Mécanique/ INO/ CRVI)	Comm. prévue à l'automne 2021).	A venir	1.5 M\$	1-2 ans	Brocolis (autres cultures à venir).	Aucune	<ul style="list-style-type: none"> 0.3 km/h. Identification et récolte de 100 % des brocolis. 	Obj: 20-25 travailleurs.	N.A.	<ul style="list-style-type: none"> Fabriqué au Qc. Développement sur d'autres cultures à venir. Récolte des calibres prédéterminés.
GARotics (Strauss Verpackungs maschinen GmbH, Universität Bremen, C.Write & Son Ltd.)	Comm. prévue en 2022	A venir: Produce Tech	ND	ND	Asperges vertes.	Aucune	<ul style="list-style-type: none"> Taux de détection: 85-90 % des asperges. Petits outils de récolte pour éviter le dommage des autres asperges. 	Obj : Un travailleur opère différents robots.	ND (évaluation de la meilleure source d'énergie en cours).	Obj. : Le robot collecte des données sur la qualité et les volumes de récolte.

⁹ Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

iv. Récolteuses mécanisées pour les productions maraîchères en plein champ

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 18) ainsi qu'un tableau des équipementiers qui offrent des récolteuses mécanisées pour les principales cultures maraîchères qui se réalisent habituellement de manière manuelle (Tableau 19). Puisqu'il ne s'agit pas de nouveaux équipements, aucune analyse coûts-bénéfices n'a été réalisée pour ces équipements.

Tableau 18 : Présentation sommaire de la famille des récolteuses mécanisées en productions maraîchères




Famille technologique	Récolteuse mécanisée (récolte non sélective)		
Description	<ul style="list-style-type: none"> • Équipement attelé ou automoteur qui permet de récolter certains légumes de manière mécanisée. • Réalise la récolte non sélective. • Comprennent peu ou pas de robotisation. • Différentes composantes mécaniques pour la récolte/coupe (ex. : jet d'eau chaude, disques rotatifs) et la manutention des légumes (courroies, convoyeurs, etc.) - variable selon les modèles. 		
Quelques images	 <p>Water Jet Mechanical Harvester (Ramsey Highlander)</p>	 <p>Spring onion harvester (Asa Lift)</p>	 <p>Squash Harvester (Universal Engineering Limited)</p>
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none"> • Moyenne (aucune ou peu de nécessité d'intelligence artificielle ou système informatique complexe). 		
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Quelques modèles au stade commercial. • Pas disponible dans toutes les productions maraîchères pour lesquelles la récolte se réalise manuellement. 		
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacement de la main-d'œuvre de récolte. 		
Contraintes	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune récolte sélective possible. • Semble davantage adapté pour les standards du marché de transformation (laitue, chou). 		

Tableau 19 : Liste des équipementiers qui offrent des récolteuses mécanisées

Récolteuses mécanisées (non sélective)											
Entreprise	Laitues (iceberg, romaine)	Oignons verts	Choux- fleurs	Brocolis	Poivrons et piments	Tomates	Aubergines	Concombre et cornichons	Courges	Asperges	Autre
Taylor farms (utilisé sur la ferme-non commercialisé)	X			X (en dév.)							
Hortech (MAS, HORTUS et DEMA)	X										Endives, radicchios, bébés laitues et épinards, etc.
Tumoba	X										Pousses, bébés laitues, panais, choux de Bruxelles.
Ramsay Highlander	X										Bébés laitues/épinards.
Ortomec	X										Bébés laitues/épinards, bette à carde, fines herbes
Matilda Fresh Foods (utilisé sur la ferme-non commercialisé)				X							
Univerco				X							Choux
Church Brothers Farms (utilisé sur la ferme-non commercialisé)				X							
Asa-Lift		X									Carotte, oignon, chou, haricots verts, poireaux, céleri, fenouil, légumes racines.
Kobashi Industries		X									
Koppert machines		X									Poireaux
Vogel engineering								X	X		Carotte, céleris, épinard

Récolteuses mécanisées (non sélective)											
Entreprise	Laitues (iceberg, romaine)	Oignons verts	Choux- fleurs	Brocolis	Poivrons et piments	Tomates	Aubergines	Concombre et cornichons	Courges	Asperges	Autre
Universal engineering limited									X		
Deartech									X		
Pik rite					X	X		X			Melon
Oxbo International Corporation					X						Haricots, épinards, pois, maïs sucré
Boese Harvester Co.					X						
Yung-Etgar					X	X					Maïs sucré
MTS-Sandei					X	X		X			Oignons
Guaresi						X					
Geiger-Lund Harvesters										X	
Haws Harvester										X	

9. Récolte de fraises et de framboises

i. Besoins du secteur

Les récoltes de fraises et de framboises se réalisent de manière manuelle et nécessitent beaucoup de main-d'œuvre. Cette étape est cruciale notamment pour ces raisons :

- La récolte implique l'identification des fruits matures et une manipulation délicate pour ne pas abimer les fruits fragiles;
- La fenêtre de délai de récolte est courte puisqu'il s'agit de produits hautement périssables;
- La récolte impacte directement les revenus des producteurs, etc.

Les principales tâches à accomplir par les technologies pour combler les besoins en main-d'œuvre sont :

- Identification et sélection des fruits matures (à travers le feuillage);
- Manipulation des fruits matures et fragiles, sans les endommager;
- Récolte sans endommager les plants et les fruits (avec calice);
- Gestion des plateaux/caissettes pleins et vides;
- Déplacement au champ.

ii. Familles technologiques

Pour répertorier les technologies disponibles, nous avons ciblé des équipements qui permettent de diminuer les nombres de personnes nécessaires à la récolte ou d'améliorer l'efficacité des travailleurs dédiés à la cueillette. Les technologies répertoriées ont été regroupées dans trois grandes familles technologiques :

- Les robots récolteurs (récolte sélective) de fraises et de framboises;
- Les aides-récolteuses pour la cueillette de fraises;
- Les récolteuses mécanisées (récolte non sélective) de framboises.

Les robots récolteurs, permettent une récolte sélective de manière autonome (ou parfois assistée, voire attelée) et compte des caméras, des senseurs et des bras robotisés et impliquent l'utilisation de l'intelligence artificielle et de l'automatisation. Différentes technologies ont été répertoriées, pour les cultures de fraises/framboises en champ ou hors sol. Celles-ci sont à différents stades de développement.

Les aides-récolteuses, individuelles ou multiplaces, ne permettent pas la substitution de main-d'œuvre, mais permettent d'améliorer l'efficacité des travailleurs dédiés à la récolte. Il ne s'agit pas à proprement dit de « nouvelles » technologies, puisqu'elles seraient utilisées aux États-Unis depuis quelques années déjà. Cependant, pour le contexte québécois, où elles sont très peu utilisées, elles constituent une gamme de technologies accessibles qui pourraient permettre d'améliorer assez aisément l'efficacité de la main-d'œuvre à la récolte et de réduire les charges pour les entreprises. Nous en avons donc répertorié certains modèles qui pourraient être d'intérêt pour les producteurs québécois.

Les récolteuses mécanisées pour les framboises, quant à elles, impliquent une récolte non sélective, davantage mécanisée ou automatisée, que robotisée. Elle n'implique généralement pas l'utilisation d'intelligence artificielle. Comme ces technologies ne sont pas nécessairement « nouvelles », nous avons répertorié sous forme de tableau des équipementiers qui offrent récolteuses mécanisées, mais n'avons pas réalisé d'analyse des coûts-bénéfices.

iii. Robots récolteurs de fraises et de framboises

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 20), la liste des robots récolteurs de fraises et de framboises qui ont été répertoriés (Tableau 21) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles (Tableau 22).





Tableau 20 : Présentation sommaire de la famille des robots récolteurs de fraises et de framboises




Famille technologique		Robots récolteurs (récolte sélective)
Description		<ul style="list-style-type: none"> • Robot autonome, conduit à distance ou attelé, selon les modèles. • Réalise la récolte sélective des fruits matures. • À l'aide de caméra et d'intelligence artificielle, les équipements peuvent différencier les fruits matures et activer les bras de récolte. • Différents types de bras de récolte (pince, doigts, avec ou sans couteaux, etc.), en fonction des modèles.
Complexité technologique		<ul style="list-style-type: none"> • Très élevée, en raison de : <ul style="list-style-type: none"> ○ L'utilisation de technologies d'intelligence artificielle; ○ La conduite autonome (selon les modèles); ○ Le nombre, la nature et la complexité des tâches à accomplir; ○ Des défis d'efficacité à relever (ex. : temps/fruit récolté, distinction des fruits à travers le feuillage, etc.).
État de développement des technologies		<ul style="list-style-type: none"> • Quelques modèles au stade commercial/précommercial et plusieurs projets de développement en cours. • Efficacité à améliorer pour atteindre le stade commercial (taux d'identification et de récolte, rapidité de récolte, qualité des produits récoltés, etc.). • Certaines compagnies offrent les services de récolte (ex. : \$/livre) à titre de modèle d'affaires régulier ou de modèle d'affaires temporaire, jusqu'à l'amélioration de l'efficacité de récolte.
Avantages		<ul style="list-style-type: none"> • Remplacement de la main-d'œuvre de récolte. Parfois un conducteur requis. • Peuvent opérer de nuit et dans certaines conditions météo plus difficiles.
Contraintes		<ul style="list-style-type: none"> • Technologie encore très nouvelle (incertitudes, ajustements nécessaires (ex. : régie, cultivars, etc.)). • Coût relativement élevé des équipements (la location pourrait être un modèle prometteur pour le Québec). • Efficacité encore généralement inférieure à l'humain (ex. : % de détection, % de cueillette, vitesse de récolte, etc.) qui nécessite parfois un passage de récolte manuelle après le robot. • Relativement peu d'informations techniques disponibles permettant la comparaison des technologies.

	<ul style="list-style-type: none">• Nécessite de la formation/accompagnement pour l'intégration de la technologie à la ferme.	
Fabricants répertoriés¹⁰	<ul style="list-style-type: none">• Fieldwork Robotics• Agrobot• Harvest Croo Robotics• Octinion• Dogtooth• Noronn	<ul style="list-style-type: none">• Advanced Farm Technologies• Traptic• Harper Adams University (Autopik)• Neupeak robotics• Tortuga Agtech

¹⁰ Au moment de terminer ce rapport, Alliance solutions, une entreprise québécoise annonçait qu'elle travaillait à mettre au point un robot récolteur de petits fruits. Il sera intéressant de suivre ces développements.

Tableau 21 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs de fraises et framboises

Robot récolteur de fraises et framboises					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Images	Stade de développement	Cultures ciblées
Robocrop	Fieldwork Robotics (University of Plymouth) et Bosch (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise, récolte, dépôt. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		<p>Précommercial</p> <p>Alliance avec Bosch pour la mise en commercialisation (prévue en 2020).</p>	<p>Fraises et framboises (hors sol)</p> <p>Tests réalisés sur des choux-fleurs et de tomates.</p>
E-series	Agrobot (ESP)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise, coupe du pédoncule, dépôt. Particularités : coupe et prise des fraises par le pédoncule, plusieurs bras de récolte. 		<p>Précommercial (prévu après 2022)</p>	<p>Fraises (en champ et hors sol)</p>
Berry 5/Berry 6	Harvest Croo Robotics (US)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise, coupe du pédoncule, dépôt. Berry 6 : 96 bras. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		<p>Pré commercial</p> <p>Service de récolte (essais prévus 2020-2021 dans le cadre de leur <i>early adopter program</i>).</p>	<p>Fraises (en champ)</p>
Rubion	Octinion (Belgique)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Nécessite des balises pour se guider. Fonctions : déplacement, identification, prise et cueillette des fraises par le dessous du plant (plus efficace), dépôt, tri en fonction du calibre/poids, emballage. Bras muni de cagette pour la récolte. Peut aussi réaliser des collectes de données sur les cultures. <p>*voir tableau coûts/bénéfices</p>		<p>Commercial</p>	<p>Fraises (hors sol)</p>

Robot récolteur de fraises et framboises					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Images	Stade de développement	Cultures ciblées
Dogtooth	Dogtooth technologies limited (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise et cueillette des fraises, dépôt, tri. Peut aussi réaliser des collectes de données sur les cultures. 		Précommercial	Fraises (hors sol)
T-6 strawberry picking robot TX robotic strawberry harvester	Advanced Farm Technologies (US) Plusieurs investisseurs (Yamaha, kubota, etc)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise et cueillette sans pédoncule des fraises, dépôt. Plusieurs bras munis de pinces à 3 doigts sous le robot. Peut fonctionner de nuit (éclairage sous le robot). Modèle TX entièrement recouvert d'une toile pour mieux contrôler la lumière. 		Commercial Pour l'instant, offre seulement les services de récolte aux grands producteurs de Californie.	Fraises (en champ, sur plasticulture)
Noronn	Noronn (Norvège)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : déplacement, identification, prise et cueillette des fraises, dépôt, tri. Robot en forme de dôme pour meilleur contrôle de la lumière. Plateforme Thorvald (Saga Robotics) sur laquelle différents outils peuvent être ajoutés (ex. : collecte de données sur les cultures, traitement UV, transport de caisses, etc.). 		Prototype/preuve de concept	Fraises (hors sol)



Robot récolteur de fraises et framboises					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Images	Stade de développement	Cultures ciblées
Ceres	Traptic	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur tracté. Fonctions : identification, prise et cueillette des fraises, dépôt. Bras robotisés munis de pince en métal et revêtement souple à l'intérieur. 		<p>Précommercial</p> <p>Offrent les services de récolte aux producteurs (prix à la livre récoltée).</p>	<p>Fraises (en champ)</p> <p>(Souhaitent adapter à d'autres productions).</p>
Autopic	Harper Adams University (UK)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : inspection des plants, identification des fraises mûres, récolte, emballage. Pince de cueillette sur un bras robotisé. 	N. D	<p>Prototype/preuve de concept (2016) mais plusieurs améliorations à apporter.</p>	Petits fruits (sous abri)
ND	Neupeak Robotics (CAN-BC)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome. Fonctions : identification, prise et cueillette des fraises, dépôt. 	N. D	<p>Précommercial</p> <p>Offre de service de récolte (\$/lb récoltée)</p>	Fraises (en champ, sur paillis de plastiques)
	Tortuga Agtech (US)	<ul style="list-style-type: none"> Robot autonome en mesure de réaliser différentes tâches, dont la récolte. 		ND	Fraise (hors sol)

Tableau 22 : Analyse coûts-bénéfices des robots récolteurs de fraises et framboises

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d'un dépositaire au Canada ¹¹	Coût d'achat/ou du service	Temps estimé de retour sur l'investissement	Performance (superficie/h, taux de détection, qualité de récolte)	Substitution de MO	Durée d'autonomie	Les petits «+»
Robocrop (Fieldwork Robotics et Bosch)	Précommercial	Non, mais intéressé	Env. 26 000 CAD (estimé à 40 % moins cher que leurs compétiteurs)	ND	<ul style="list-style-type: none"> 11 secondes/fruit/ bras 25 000/jr 	Une seule main-d'œuvre pour opérer le robot à distance.	6 hrs d'autonomie des batteries	<ul style="list-style-type: none"> Peut travailler de nuit. Possibilités d'ajout de tâches (ex. coupe de stolon). Collecte de données sur les rendements estimés.
Berry 5/Berry 6 (Harvest Croo Robotics)	Précommercial Seulement disponible en service pour les investisseurs (<i>early adopter program</i>).		Service de récolte : Environ 40 % des coûts de récolte manuelle.	ND	<ul style="list-style-type: none"> 8 acre/jr. 3 fraises/10 sec. Technologie très complexe, qui demande d'être opérée par les techniciens de Harvest Croo. 	Capacité de remplacement de 25-30 travailleurs.	ND	Plateforme d'emballage au champ.
Rubion (Octinion)	Commercial		ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> 1 fraise/3 secondes. 10-30 kg/h selon les variétés. 	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> Peut réaliser des cueillettes de données sur les cultures pendant sa tâche. Tri par calibre.
Neupeak Robotics	Précommercial	Oui	Service de récolte (0,32- 0,35 \$ par lb).	ND	<ul style="list-style-type: none"> 1 robot remplace 1 humain. 31 lbs/h. Récolte 30-50 % des fraises en raison de la difficulté de détection des fraises sous le feuillage. 	Nécessite des techniciens au champ pour assurer le service.	16 hrs (5 hrs de recharge).	<ul style="list-style-type: none"> Capacité de récolte de nuit.

¹¹ Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être acheté directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

iv. Aides-récolteuses pour les fraises

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 23), la liste des robots récolteurs de fraises et de framboises qui ont été répertoriés (Tableau 24) ainsi que l'analyse des coûts-bénéfices des technologies disponibles (Tableau 25).

Tableau 23 : Présentation sommaire de la famille des aides-récolteuses de fraises

Famille technologique		Aide-récolteuses	
Description		<ul style="list-style-type: none"> • Aide-récolteuse qui facilite la gestion des plateaux de récolte et augmente l'efficacité des cueilleurs. • Certains modèles sont multiplaces et d'autres individuels. • Différents modèles : couchés, assis, assistants de récolte (permettent le support des plateaux). • Différentes largeurs en fonction des modèles. • La majorité des équipements répertoriés est motorisée (batterie solaire, essence, diesel, etc.). 	
Complexité technologique		<ul style="list-style-type: none"> • Simple (aucune intelligence artificielle ou système informatique complexe) 	
État de développement des technologies		<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs modèles disponibles au stade commercial. • Encore peu utilisés au Québec (certains producteurs québécois se sont développés des équipements sur mesure). 	
Avantages		<ul style="list-style-type: none"> • Gains d'efficacité de la main-d'œuvre <ul style="list-style-type: none"> ○ Facilite la gestion des contenants et réduit le temps de déplacement des contenants de récolte (vides ou pleins) dans le champ. ○ Permet (dans la majorité des cas) le maintien d'un rythme de cueillette constant. • Certains modèles peuvent être utilisés dans d'autres cultures, pour un meilleur retour sur l'investissement. • Permet d'éviter de déposer les contenants sur le sol (risque de contamination, contenants mouillés, etc.). 	
Contraintes		<ul style="list-style-type: none"> • Certaines plateformes multiplaces américaines sont adaptées pour de très grandes surfaces, difficilement applicables au Québec. 	
Fabricants répertoriés		<ul style="list-style-type: none"> • Ramsey Highlander • GK machine Inc. • Valley Fabrication • AgPro Robotics 	<ul style="list-style-type: none"> • Naber Produce Farm LLC • Fisher's Sprayer MFG • CropCare • Ecogreen

Tableau 24 : Liste des technologies répertoriées – Aides-récolteuses de fraises

Aides-récolteuses pour les fraises			
Nom de la technologie	Entreprise	Images	Stade de développement
MULTIPLACES			
Field Pack Harvesting Aids	Ramsey Highlander (US)		Commercial
Berry Ferry (pour 2 à 12 travailleurs) *voir tableau coûts/bénéfices	GK machine inc. (US)		Commercial
Electric Helios 5 Strawberry Cart	Valley Fabrication (US)		Commercial

Aides-récolteuses pour les fraises				
Nom de la technologie	Entreprise		Images	Stade de développement
Strawbot (SB2-SB4) (pour 2-4 travailleurs) *voir tableau coûts/bénéfices	AgPro Robotics (US)			Commercial
Easypick (séries 100-200-300-400-700-900) (pour 2 à 8 travailleurs)	Naber Produce Farm LLC (US)			Commercial
Star line	Ecogreen (It.)			Commercial



Aides-récolteuses pour les fraises			
Nom de la technologie	Entreprise	Images	Stade de développement
INDIVIDUEL			
Harvest pro- RoHand II	Fisher's Sprayer MFG (US)		Commercial
PA1600 Picking Assistant *voir tableau coûts/bénéfices	Crop Care (US)		Commercial
Jet line (non motorisé)	Ecogreen (It.)		Commercial

Tableau 25 : Analyse coûts-bénéfices des aides-récolteuses de fraises

Équipement (Fabricant)	Stade commercial	Présence d'un dépositaire au Canada ¹²	Coût d'achat/ou du service	Temps estimé de retour sur l'investissement	Performance (superficie/h, taux de détection, qualité de récolte)	Individuel ou multiplace	Autres caractéristiques
Berry Ferry (GK Machine)	Oui	Aucun (vente directe)	\$41,000 USD (pour achat de 10 unités ou plus)	Généralement en 1 an.	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de 30-40 % d'efficacité des travailleurs. Réduction de la fatigue des travailleurs. Amélioration de la qualité des fruits récoltés. Largeur 30 pi. 	<ul style="list-style-type: none"> Multiplace (version attelée). Pour 2-12 travailleurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Différents modèles automoteurs (solaire ou essence). Différentes largeurs de rangs. Possibilité d'ajuster la largeur des roues lors d'achat de plusieurs équipements. Possibilité de lumière pour la cueillette nocturne. Toit protecteur.
StrawBot (AgPro Robotics)	Oui	ND	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de 30 % d'efficacité des travailleurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Pour 2-4 travailleurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Conduit de manière autonome par GPS. Ajustable à différentes largeurs de rangs. Électrique (possibilité d'ajout d'un chargeur solaire).
PA1600 Picking Assistant (CropCare)	Oui	Oui	ND	ND	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation d'un minimum 25 % de l'efficacité de récolte. Réduction de la fatigue et facilité à cueillir durant de plus longues heures. 1 aide-récolteuse/ acre. 	<ul style="list-style-type: none"> Individuel 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de l'utiliser dans différentes cultures et pour différentes tâches (ce qui peut accélérer le retour sur l'investissement). Éclairage pour la cueillette en noirceur (optionnel). Toit protecteur (pluie, soleil). Fonctionne à batterie solaire. Différentes vitesses. Hauteur/largeur ajustable.

¹² Les équipements au stade commercial, pour lesquels les fabricants ne disposent pas de dépositaire au Canada, peuvent généralement être achetés directement auprès du fabricant. Des frais d'expédition des équipements sont à prévoir.

v. Récolteuses mécanisées de framboises

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 26) ainsi qu'une liste d'équipementiers qui ont des récolteuses mécanisées pour les framboises (Tableau 27). Il est possible que d'autres équipements de récolte d'autres petits fruits (ex. : bleuets) puissent être utilisés ou adaptés pour la récolte de framboises (ex. : Ag Harvesters, Haven harvester, McKibben Manufacturing, etc.) cependant, les équipements répertoriés ci-après sont adaptés spécifiquement pour la récolte des framboises. Comme ces technologies ne sont pas à proprement dites « nouvelles », nous n'avons pas réalisé d'analyse coûts-bénéfices des technologies disponibles.

Tableau 26 : Présentation sommaire de la famille des récolteuses mécanisées de framboises

Famille technologique		Récolteuse mécanisée de framboises	
Description	<ul style="list-style-type: none">• Équipement attelé (ou automoteur) qui permet de récolter les framboises de manière mécanisée.• Réalise la récolte de manière mécanique : des éléments rotatifs font tomber les fruits murs.• Différentes composantes mécaniques pour la récolte. Ne comprennent pas de robotisation.		
Complexité technologique	<ul style="list-style-type: none">• Moyenne (aucune intelligence artificielle ou système informatique complexe).		
État de développement des technologies	<ul style="list-style-type: none">• Quelques modèles au stade commercial.		
Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Remplacement de la main-d'œuvre de récolte.		
Contraintes	<ul style="list-style-type: none">• Aucune récolte sélective possible.• Semble davantage adapté pour le marché de la transformation.		
Fabricants répertoriés	<ul style="list-style-type: none">• Oxbo• Weremczuk agromachines• Jogoda	<ul style="list-style-type: none">• Electronik• Littau Harvester• Blueline	

Tableau 27 : Liste des fabricants répertoriés – Récolteuses mécanisées de framboises

Récolteuse mécanisée				
Nom de la technologie	Entreprise	Images	Stade de développement	Cultures ciblées
Différents modèles (7440, 9120, 930)	Oxbo (US)		Commercial	Framboises et bleuets.
Différents modèles	Weremczuk agromachines (Pol.)		Commercial	Framboises et bleuets.
Différents modèles	Jogoda (Pol.)		Commercial	Framboises, groseilles, camerises, groseilles, aronias.

Récolteuse mécanisée				
Nom de la technologie	Entreprise	Images	Stade de développement	Cultures ciblées
Raspberry Harvester	Electronik (Serbie)		Commercial	Framboises, mûres.
OR, ORXL, SRX	Littau Harvester (US)		Commercial	Framboises, mûres, bleuets
Kokan 500S	Blueline (US)		Commercial	Framboises, bleuets, mûres et cassis.

10. Coupe de stolons

i. Besoins du secteur

La tâche de coupe de stolons se réalise essentiellement de manière manuelle. Les producteurs québécois de fraises souhaiteraient identifier des technologies qui permettent la coupe mécanisée de stolons et qui soient adaptées pour la culture sur paillis de plastique. Ces technologies devraient donc permettre de soulever ou éloigner les stolons du paillis avant de réaliser une coupe mécanisée pour d'éviter la perforation des paillis.

ii. Familles technologiques

Nous n'avons repéré qu'un seul équipement capable d'effectuer cette tâche. Celui-ci a été classé dans la famille technologique suivante :

- Déstolonneuse sur paillis de plastique

iii. Déstolonneuse sur paillis de plastique

Dans cette sous-section, nous présentons un sommaire des caractéristiques de la famille technologique (Tableau 28) ainsi qu'un tableau présentant les principales caractéristiques de l'équipement répertorié (Tableau 29).

Tableau 28 : Présentation sommaire de la famille des déstolonneuses sur paillis de plastique

Famille technologique		Déstolonneuse sur paillis de plastique	
Description		<ul style="list-style-type: none"> • Coupe les stolons de manière mécanisée. • Éloigne les stolons du paillis avant d'effectuer la coupe. 	
Complexité technologique		<ul style="list-style-type: none"> • Moyenne (aucune nécessité d'intelligence artificielle ou système informatique complexe). Le système doit cependant éviter d'abîmer le paillis de plastique. 	
État de développement des technologies		<ul style="list-style-type: none"> • Un modèle au stade commercial. 	
Avantages		<ul style="list-style-type: none"> • Adapté pour différentes largeurs de billons. • N'abîme pas le paillis de plastique. • Guidage indépendant des outils de relevage et de coupe pour chaque billon. 	
Contraintes		<ul style="list-style-type: none"> • Un distributeur québécois de cet équipement a cessé de le distribuer, le trouvant difficile à ajuster. 	
Fabricant répertorié		<ul style="list-style-type: none"> • Heuling Maschinenbau 	

Tableau 29 : Liste des équipements répertoriés – Déstolonneuses sur paillis de plastique

Déstolonneuses sur paillis de plastique				
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Images	Stade de développement
Runner cutter for raised beds	Heuling Maschinenbau (All)	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionne sur différents types de billons (1 à 4 rangs). Doigts en plastique qui soulèvent les stolons, puis les emmènent vers la lame de coupe. N'endommage pas le paillis de plastique. 		Commercial

11. Principaux constats

Le présent rapport visait à réaliser une veille des technologies existantes de mécanisation et de robotisation en productions maraîchères et de fraises-framboises, dans un objectif de substitution de la main-d'œuvre. Nous avons réussi à répertorier plus de 80 équipements (à différents stades de développement) qui permettraient de réduire le nombre de travailleurs ou de diminuer les charges salariales associées aux tâches agricoles prioritaires par les secteurs maraîchers ou de fraises-framboises.

Nous présentons ci-après les principaux constats formulés à la lumière des recherches documentaires et des consultations multiples auprès de chercheurs, producteurs, développeurs, équipementiers, intervenants, etc. Ceux-ci sont à la base des recommandations présentées dans la section suivante.

État des développements technologiques

- Le stade de développement des technologies répertoriées est très variable d'une famille technologique à l'autre et est intimement lié aux tâches/fonctions à effectuer et aux gammes de composantes technologiques utilisées (ex. : capteurs, optique, intelligence artificielle, composantes robotiques, etc.).
- Dans nos recherches et discussions, nous avons constaté une certaine accélération récente des développements et recherches au sein de certaines compagnies de développements des technologies agricoles (ex. : investissements majeurs dans des Startups, financement gouvernemental, embauche de personnel supplémentaire chez les développeurs, etc.). Le contexte de rareté de la main-d'œuvre lié à la Covid-19 a très probablement contribué à accentuer les efforts de recherche de solutions technologiques permettant la substitution de la main-d'œuvre en agriculture.
 - À titre d'exemple, certains équipementiers consultés qui développaient des robots de désherbage autonomes nous ont mentionné avoir adapté des versions attelées pour atteindre plus vite une efficacité de désherbage qui permettait d'atteindre le stade commercial.
- Selon les intervenants consultés, beaucoup de développements/lancements de technologies sont à prévoir dans les prochaines années.

Transplantation

- Plus d'une dizaine de transplanteurs automatiques potentiels, au stade commercial ou précommercial, ont été répertoriés dans la veille technologique. Les transplanteurs automatiques possèdent un potentiel intéressant de substitution de main-d'œuvre puisqu'ils permettent l'élimination de la main-d'œuvre utilisée à l'extraction des plantules des plateaux de semis et ne nécessitent généralement qu'un conducteur et qu'un ouvrier pour la gestion des plateaux vides et pleins.

Le coût d'achat de ces équipements est très variable selon les technologies et modèles et se situe entre 100 K\$ et 300 K\$. Le temps de retour sur l'investissement indiqué par les fabricants se situe quant à lui généralement entre 2-4 ans. L'efficacité de transplantation est aussi très variable, allant de 3 000 à 12 000 plants/rg/h (selon les modèles, la vitesse, l'espacement, etc.).

À la lumière des informations colligées, il serait pertinent de permettre aux producteurs intéressés par ce genre d'équipements de pouvoir comparer les technologies disponibles, et ce, dans différentes conditions (régie, type de sol, etc.). Cela devrait leur permettre d'identifier le type d'équipement le plus approprié pour leur situation.

- Deux fabricants de transplanteurs automatiques et semi-automatiques pour petites surfaces, ont aussi été répertoriés. Les prix d'achat de ces équipements se situent entre 10 K\$ et 30 K\$.

Désherbage

- Plus d'une dizaine d'équipements robotisés/automatisés attelés de désherbage, au stade commercial ou précommercial, qui ont la capacité de désherber (mécanique ou chimique) sur les rangs de manière ciblée ont été répertoriés dans la veille. En termes de substitution de main-d'œuvre, ces équipements possèdent la capacité de remplacer environ 20 travailleurs selon certains fabricants. Dans certains cas, des passages manuels supplémentaires peuvent être nécessaires pour enlever les mauvaises herbes « oubliées ». Néanmoins, ces technologies qui permettent un désherbage inter et intra rang, permettraient selon les acteurs consultés, de réduire de manière significative les coûts en main-d'œuvre pour le désherbage.

Les coûts d'achat varient en fonction des équipements, mais débutent à partir de 100 K\$ et le temps de retour sur l'investissement dépendrait notamment de la superficie dés herbée. Les équipements répertoriés permettent l'élimination de 80 % à 98 % des mauvaises herbes et certains équipements peuvent dés herber jusqu'à 1 cm du plant. La vitesse de dés herbage peut aller jusqu'à 4-5 km/h.

- Une quinzaine de fabricants de robots autonome de dés herbage, dont certains au Québec et au Canada, ont été répertoriés dans la veille technologique. Ceux-ci emploient généralement des outils de dés herbage mécanique ou chimique, parfois à la façon de porte-outils plus traditionnels de dés herbage et plus rarement ils sont munis d'outils de dés herbage « intelligent » ciblé. La conduite autonome de ces équipements permet de multiplier les passages de dés herbage aux premiers stades des cultures, sans coût supplémentaire de main-d'œuvre.

La comparaison agroéconomique de ces technologies demeure cependant complexe, et ce, pour différentes raisons : la majorité des équipements répertoriés nécessitent encore des améliorations et tests, la quantité et la nature des informations technico-économiques disponibles sur les équipements est très variables, les outils de dés herbage utilisés sont divers (parfois traditionnel, parfois intelligents/ciblés), certains fabricants vendent les services de dés herbage (\$/ha dés herbé) et d'autres vendent les équipements proprement dit, etc.

En somme, il s'avérerait intéressant de suivre de près l'évolution de ces équipements dans les prochaines années et de les comparer dans les conditions québécoises. Selon nos discussions avec des intervenants, pour permettre une substitution significative de la main-d'œuvre au dés herbage, les développements à venir dans cette famille technologique devraient prioritairement cibler les robots dés herbeurs munis d'outils de dés herbage ciblé/intelligent sur les rangs. Ce genre d'outils présenterait le plus de potentiel pour les producteurs maraîchers québécois.

Récolte (maraîchers et fraises-framboises)

- En ce qui concerne les technologies de récolte, nous avons remarqué qu'un plus grand nombre de développements technologiques portait sur les récoltes de fraises ou de légumes en serre. L'une des explications recueillies en entrevue est que les récoltes à l'année (légumes en serre, fraises hors sol) permettent un retour sur l'investissement lié à l'achat d'un robot récolteur plus court et donc plus intéressant pour les producteurs.
- Les défis technologiques liés à la récolte de fruits et légumes demeurent nombreux (ex. : fruits fragiles, localisation des fruits mûrs, prise et manutention, etc.). Les développeurs poursuivront l'amélioration des technologies dans les prochaines années.

Récolte (maraîchers)

- Il n'y a qu'un petit nombre de projets de développement de robots pour la récolte de légumes en plein champ. Nous n'avons repéré qu'un équipement robotisé de récolte de brocoli au stade commercial. Cependant, un équipement québécois est aussi en cours de développement dans le brocoli et pourrait atteindre le stade commercial en 2021 et un autre robot récolteur européen d'asperges vertes pourrait être commercialisé en 2022. De manière générale, certains critères d'efficacité (ex. : taux d'identification des légumes mûrs, taux de récolte, vitesse de récolte, qualité des produits récoltés, etc.) sont encore à améliorer pour substituer l'humain.
- Certains fournisseurs d'équipements de récolte mécanisée non sélective ont été répertoriés, même si ces équipements ne sont pas nouveaux à proprement dit. Ils pourraient néanmoins répondre aux besoins de substitution de main-d'œuvre de certains producteurs. Il sera important d'évaluer l'adéquation de ces équipements pour la récolte de légumes pour le marché frais.

Récolte (fraises-framboises)

- Dans le secteur des fraises, une dizaine de robots récolteurs ont été répertoriés, pour la culture en champ et hors sol, dont un certain nombre est au stade commercial ou pré-commercial. La comparaison agroéconomique de ces technologies demeure cependant complexe, et ce, pour différentes raisons : plusieurs équipements répertoriés nécessitent encore des améliorations et tests, la quantité et la nature des informations technico-économiques disponibles sur les équipements est très variables (ex. : ha/h, sec/fraise récoltée), certains fabricants vendent les services de récolte (\$/lb récoltée) et d'autres vendent les équipements proprement dit, etc. Il serait pertinent de suivre l'évolution des performances de ces équipements et de les évaluer dans les conditions québécoises (ex. : efficacité, retour sur l'investissement vs superficies, capacité de détection des fruits mûrs dans le feuillage abondant, etc.).
- Plusieurs aides-récolteuses (individuelles et multiplaces) sont disponibles actuellement. L'utilisation de ces équipements au Québec permettrait d'améliorer assez aisément l'efficacité de la main-d'œuvre à la récolte, de 25 % à 40 % selon les informations obtenues des fabricants, et de réduire les charges salariales pour les entreprises. Selon un équipementier consulté, le temps de retour sur l'investissement serait d'environ 1 an.
- Différents équipementiers vendent des récolteuses mécanisées de framboises. L'adéquation de ces équipements aux conditions québécoises (variété, régie, marché frais, etc.) mériterait d'être évaluée.

Robots et tâches multiples

- Plusieurs développeurs de robots autonomes ou plateformes robotisés visent à intégrer différents outils (ex. : dépistage, monitoring et suivi des cultures et du climat, lumière UV pour phytoprotection, etc.). L'ajout de ces différents outils permettrait la réalisation de plusieurs tâches dans un seul passage.

Évaluation coûts-bénéfices des équipements

- La majorité des équipements pour lesquels nous avons obtenu des informations sur les prix sont relativement dispendieux. Cet aspect constitue un défi pour l'accessibilité aux producteurs maraîchers et de fraises-framboises de différentes tailles, ainsi qu'un défi lié à la rentabilité de tels investissements pour des productions saisonnières.
- Il importe de souligner que le « coût » d'un équipement possède souvent plusieurs composantes, telles que le prix d'achat, les options, le coût de licence par culture, la licence annuelle, etc.
- Lors des consultations, quelques intervenants nous ont souligné la nécessité de comparer les équipements entre eux, et ce, dans les conditions québécoises, par des acteurs neutres, en vue d'aider à identifier des équipements potentiels pour les producteurs québécois.

Modèles d'affaires variés

- Dans nos recherches, nous avons identifié deux gammes de modèles d'affaires utilisées par certains fournisseurs de technologies, notamment pour les robots :
 - Le modèle plus traditionnel d'affaires qui implique la vente d'équipements aux producteurs;
 - Le service de location de robots (*Robotics as a Service* (RaaS), un modèle d'affaires de plus en plus répandu. Nous avons identifié ce modèle d'affaires chez quelques équipementiers de robots désherbeurs ou de robots récolteurs de fraises, qui ont commencé à louer les services de leur équipement (ex. : \$/lb récoltée), plutôt qu'à vendre les équipements. Dans la fraise, ce modèle d'affaires permet notamment de compenser le fait que le taux de détection des fruits matures n'est pas encore optimal.
 - Pour les producteurs « utilisateurs » de ces services, les avantages sont nombreux.
 - Le producteur a accès à une équipe avec expertise pour opérer l'équipement ce qui permet d'avoir des opérations plus efficaces.
 - Les producteurs n'ont pas besoin de maîtriser ces équipements aux technologies complexes.
 - Ces services n'engagent pas d'investissements majeurs.
 - Certains intervenants ont souligné qu'il pourrait être intéressant de développer des partenariats, dans la récolte de fraise, avec des équipementiers de la Californie pour qu'ils viennent au Québec en été, durant leur saison morte.

Expertise au Québec

- Selon, les intervenants québécois consultés, on possède les ressources et les expertises appropriées au Québec pour développer ou adapter des technologies de robotisation/automatisation pour substituer de la main-d'œuvre dans les tâches ciblées.
- Dans nos recherches, nous n'avons pas identifié de ressource/conseiller « généraliste » pouvant éventuellement orienter les producteurs sur les différentes technologies disponibles pour les tâches priorisées.

Facteurs d'adoption de nouvelles technologies par les producteurs

- Selon les intervenants consultés, quelques facteurs sont à considérer quant à l'adoption de nouvelles technologies par les producteurs :
 - Les producteurs veulent voir les technologies à l'œuvre, dans des conditions réelles. Ils aiment pouvoir comparer les solutions technologiques entre elles et avec des équipements traditionnels.
 - Les producteurs sont frileux à adopter de nouvelles technologies. Dans le cas de robots par exemple, on aurait avantage à leur faire réaliser que ce sont plusieurs technologies existantes qu'on articule ensemble.
 - En achetant une nouvelle technologie, il faut s'attendre à faire des ajustements (ex. : type de sol, conditions de sol, différentes contraintes techniques, etc.).

12. Recommandations

Nous présentons ci-après des recommandations visant à faciliter l'intégration de technologies potentielles dans les fermes maraîchères et de fraises-framboises québécoises, dans le but de substituer de la main-d'œuvre ou de réduire les charges salariales liées aux tâches prioritaires. Ces recommandations sont inspirées des discussions avec les intervenants consultés et avec les comités consultatifs (comité d'expert, de production de l'APMQ, de pilotage) ainsi que de nos réflexions, découlant de la veille technologique réalisée.

La connaissance, le maillage et la collaboration des acteurs

- Faciliter le maillage/partenariat entre les acteurs potentiels, au Québec, au Canada et à l'international :
 - Identifier les acteurs québécois en développement technologique, automatisation, robotisation, intelligence artificielle, optique, etc. et faciliter les partenariats, collaboration entre eux. Il pourrait être intéressant de :
 - Dresser un mapping des acteurs œuvrant en robotisation/automatisation agricole et d'identifier les champs de compétences des joueurs. Il sera important de diffuser ce mapping auprès des acteurs concernés pour stimuler les collaborations et mettre à jour périodiquement le mapping.
 - Dresser une liste des centres de recherche québécois (qui ont des fermes expérimentales) intéressés aux développements et essais. Cette liste pourrait servir aux d'équipementiers qui aimeraient évaluer/tester leurs équipements dans des conditions réelles (ententes de confidentialité à prévoir). L'apport des centres de recherche, à titre d'acteurs neutres, permettrait d'accroître la confiance des producteurs envers les résultats et de faciliter l'adoption des technologies.
 - Accentuer les collaborations avec les développeurs canadiens (ex. : à travers le CAAIN- *Canadian Agri-Food Automation and Intelligence Network*).
 - Développer des partenariats avec des fabricants d'autres pays pour adapter les équipements potentiels aux conditions québécoises.
 - Organiser des missions à l'étranger pour explorer ce qui se fait ailleurs, aller voir des technologies en opération et faciliter les maillages avec des développeurs étrangers. Des producteurs, chercheurs et développeurs québécois pourraient participer à ces missions pour faciliter les collaborations ultérieures aux missions.
- Nommer un coordonnateur provincial qui aurait pour rôle de maintenir la veille technologique à jour, faciliter les développements des innovations technologiques et les maillages entre les acteurs concernés.
- S'assurer, aux différents stades de développement, que les technologies répondent aux besoins des producteurs :
 - Tenir informés les acteurs de développement technologique des besoins des producteurs maraîchers/de fraises-framboises québécois.

- Mettre à jour régulièrement les besoins des producteurs en termes de mécanisation/robotisation et considérer l'évolution des nouvelles technologies.
- Former une petite cellule de réflexion (rétroaction) de producteurs à l'APMQ et à l'APFFQ pour l'usage des équipementiers/développeurs. Ces derniers pourraient venir présenter leur projet, obtenir des réactions ou commentaires de la part des producteurs.
- Mener une réflexion sectorielle sur les avenues à privilégier pour permettre un accès plus rapide aux technologies pour les producteurs québécois, et donc de contribuer au maintien de leur compétitivité. Ces réflexions pourraient notamment permettre de cerner les développements technologiques à privilégier au Québec vs les adaptations à apporter à des technologies potentielles importées, etc. Pour orienter ces réflexions, le secteur pourrait considérer des éléments tels que : le stade de développement technologique pour chaque tâche, les expertises disponibles au Québec, les besoins non comblés des producteurs, etc.

Le soutien à l'innovation

- Stimuler le développement technologique agricole au Québec par exemple :
 - Lancement de concours (ex. : *Autonomous greenhouse challenge* en Hollande);
 - Déploiement de projets structurants menés par un groupe de producteurs;
 - Etc.
- Faciliter l'accès à des fonds pour permettre le développement ou l'adaptation de technologies potentielles au Québec.

Les conditions sous-jacentes favorables au développement d'innovations technologiques agricoles au Québec

- Au Québec, une réflexion est actuellement en cours en agriculture relativement à l'utilisation des données massives et le partage de banque de données. Le partage de données n'est pas sans défis (qu'il importe de considérer), mais pourrait aussi contribuer favorablement au développement accéléré de technologies robotisées/automatisées pour le secteur agricole.
- Offrir des formations en informatique ou robotique davantage appliquée à l'agriculture au Québec.

L'analyse comparative des technologies potentielles

- Mener des projets d'évaluation/comparaison technico-économique des équipements potentiels ou mettre en place une plateforme d'évaluation des nouveaux équipements qui présente un potentiel pour le Québec. Ce mandat pourrait être donné à un organisme neutre.
 - Impliquer les producteurs québécois qui possèdent déjà des équipements (ex. : transplanteurs automatiques, aides-récolteuses, récolteuses mécanisées, etc.) dans les projets.

- Considérer différents critères d'évaluation: vitesse, performance (ex. : taux de répression des mauvaises herbes, capacité de désherbage sur le rang, taux de détection, qualité des légumes récoltés, etc.) et ce, dans différentes conditions de cultures (ex. : types de sol, régie).
- Comparer les équipements avec d'autres outils existants (ex. : équipements traditionnels).
- Mettre en relief le rapport coût-bénéfice global des technologies (considérer différents aspects : coût d'achat, coût de logiciel, entretien, service après-vente, substitution de main-d'œuvre, réduction de l'utilisation d'intrants de production, efficacité, etc.)
- Échanger avec l'*Ontario Processing Vegetable Growers* (OPVG) sur leurs résultats d'évaluation de certains transplanteurs automatiques.
- Développer des outils d'évaluation de la performance technico-économique des équipements à l'usage des producteurs (pour leurs réalités : superficie, culture, etc.).


La diffusion/adoption des technologies potentielles

- Déployer des vitrines technologiques et des démonstrations des équipements en conditions réelles (ex. : plusieurs équipements en fonction au même endroit (journée, salon) pour permettre aux producteurs de voir et de comparer).
- Mener une réflexion avec les acteurs concernés (producteurs, développeurs, associations sectorielles, gouvernement, etc.) sur les modèles d'affaires potentiels (ex. : *Robot as a service-RAAS*, coopératives, etc.) qui :
 - Faciliteraient l'accès aux technologies pour un maximum de producteurs intéressés.
 - Permettraient d'attirer des développeurs qui offrent des services (RAAS) dans d'autres régions du Monde, à venir offrir leurs services au Québec.
- Évaluer la possibilité d'offrir des subventions aux producteurs pour l'achat de technologies afin de faciliter l'accès à ces technologies par les entreprises de diverses tailles.


13. Annexes

i. Liste des technologies répertoriées- Robots récolteurs pour les cultures maraîchères abritées

Tableau 30 : Liste des technologies répertoriées – Robots récolteurs (pour les cultures maraîchères abritées)

Robots récolteurs autonomes (pour les cultures maraîchères abritées)					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement	Cultures ciblées
Inaho	Inaho Co. Ltd (JPN) Investissement de ITOCHU Technology Ventures en 2019	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Bras robotisé muni d'une griffe et d'une lame pour la prise et la coupe Capteur infrarouge pour détecter les asperges mures Autonomie : 10 h Connecté/envoi de SMS en fin de tâche Offre de location de services robotiques (correspondant à 15 % des profits de la récolte) 		Commercial (vente de service de récolte) Expansion prévue au Japon et en Hollande	Asperges (Cultures à venir: concombre, tomate, aubergine, poivron, fraise, etc.)
CATCH project	Institute Fraunhofer IPK	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des concombres mures Prise et coupe Dépôt. 	ND	Prototype/Preuve de concept	Concombres

Robots récolteurs autonomes (pour les cultures maraîchères abritées)					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement	Cultures ciblées
Harvey	Queensland University of Technology (QUT) (Australie) Recherche en cours sur d'autres cultures.	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des poivrons matures Prise et coupe à l'aide d'un bras récolteur muni d'une lame de coupe Dépôt du fruit dans un plateau 		Prototype/Preuve de concept	Poivrons
Sweeper project	Wageningen University and Research (HOL)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des poivrons matures Prise et coupe à l'aide d'un bras récolteur muni d'une lame de coupe Dépôt dans un plateau. 15 sec/poivrons Taux de récolte : de 18 % à 61 % en fonction des conditions de cultures (hauteur, variété, conduite, période de la journée, etc.) 		Prototype/Preuve de concept (fin du projet en 2020)	Poivrons
N.D	Four growers (US)	Robot récolteur autonome	ND	Prototype à venir	Tomates, poivrons, concombres

Robots récolteurs autonomes (pour les cultures maraîchères abritées)					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement	Cultures ciblées
Tomato Harvesting Robots	Panasonic (JPN)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome qui se déplace sur des rails Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des tomates mûres (Sélection en fonction de la couleur - peut être modifié pour un degré de maturité différent) Récolte de la tomate ciblée en la passant à travers un anneau, puis en tirant (aucun contact direct avec le fruit) Dépôt dans un plateau. 1 tomate/ 6 secondes 		Prototype/Preuve de concept (2018)	Tomates
Greenhouse Robotic Worker (GRoW)	MetoMotion (Israël) a reçu un financement hollandais en 2019	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Fonctions: <ul style="list-style-type: none"> Identification des tomates mûres (vision 3D et algorithmes) Prise et coupe à l'aide d'un bras robotisé muni d'une pince à 3 doigts. Dépôt des tomates sur un convoyeur pour l'emballage. Peut réaliser d'autres tâches en serres : taille et effeuillage, pollinisation, collecte de données. Réduction jusqu'à 50% des coûts de main-d'œuvre liés à la récolte, avec un retour sur investissement prévu en moins de trois ans. 		Commercial	Tomates
Virgo	Root AI (US)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Fonctions: <ul style="list-style-type: none"> Identification des tomates mûres (vision 3D et algorithmes) Prise et coupe à l'aide d'un bras robotisé muni d'une pince avec des doigts souples (plastique alimentaire) Dépôt des tomates 		Commercialisation prévue en 2020 Développement logiciel prévu sur : concombres, les fraises et les poivrons	Tomates

Robots récolteurs autonomes (pour les cultures maraîchères abritées)					
Nom de la technologie	Entreprise	Caractéristiques	Image	Stade de développement	Cultures ciblées
Autonomous single tomato harvester	Automato Robotics (Israël)	<ul style="list-style-type: none"> Robot récolteur autonome Déplacement sur le sol (sans rail) Fonctions : <ul style="list-style-type: none"> Identification des tomates mures Prise et coupe à l'aide d'un bras robotisé muni d'une pince à 3 doigts. Dépôt des tomates sur un convoyeur pour l'emballage. Peut réaliser d'autres tâches en serres : Collecte de données en temps réel, analyse des rendements, détection rapide des ravageurs et des maladies. 10 à 12 tomates par minute 		ND	Tomate

ii. Coordonnées des fabricants/développeurs et liste des personnes consultées

Transplantation					Consultation			
Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne- ressource	Téléphonique/ Visioconférence	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Ferrari costruzione	Futura	ferraricostruzioni.com	info@ferraricostruzioni.com				X	
Agriplanter	Agriplanter	www.agriplanter.com	info@agriplanter.com annelore.tanghe@agriplanter.com bart@parreinnv.be	Annelore Tanghe ou Bart Parrein		X		
Plant Tape	Plant Tape	www.planttape.com	https://www.planttape.com/contact/ DanielleMichaels@planttape.com	Danielle Michels	X			
TTS- Transplanting services		transplantingservices.com	info@transplantingservices.com	Rob Tolenaars		X		
WILLIAMES		www.williames.com/transplanters/	sales@whiti.com.au				X	
Vegtech		vegtech.ca	info@vegtech.ca	Guillaume Verner (Vegtech)	X			
Growers Transplanting Inc.	Automator	growerstrans.com	sthorsted@growerstrans.com				X	
Pearson	Autoplanter	www.richardpearson.com	dpb@richardpearson.com				X	
Kubota		japan-agritrading.com	info@japan-agritrading.com	Motoki		X		
Yanmar	PW20R							

Équipements de désherbage robotisés/automatisés attelés

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne- ressource	Consultation			
					Téléphonique/ Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Frank Poulsen Engineering	Robovator Mécanique et Robovator Thermique	www.visionweeding.com	info@visionweeding.com	Frank Poulsen		X		
Kult	Robovator	kult-kress.com	keithcampbell2@gmail.com	Keith Cambell		X		
Garford	Robocrop InRow Weeder et Robocrop Spot Sprayer	garford.com	george.hall@garford.com	George Hall	X			
Willsie Equipment	Distributeur Canadien de Garford	willsie.com	paul@willsie.com	Paul Roper	X			
Steketee	IC-Weeder	www.steketee.com/fr	sales@steketee.com				X	
Costruzioni Meccaniche Ferrari	Remoweed et Scorpion	ferrariostruzioni.com	info@ferrariostruzioni.com				X	
Blue river Technology	See and spray technology	www.bluerivertechnology.com/	http://contact.bluerivertechnology.com/				X	
Agmechtronix	Désherbeur automatisé et Pulvérisateur de précision	http://www.agmechtronix.com/	sales@agmechtronix.com				X	
Rootwave et Steketee/Lemken	Désherbeur électrique localisé	http://rootwave.com/	http://rootwave.com/contact/				X	
Harper Adams University	Hyperweeding/Robotic Lazerweeder	https://www.harper-adams.ac.uk/		David Thorne	X			
Ecorobotix	ARA	https://www.ecorobotix.com/fr/	claudio.juriens@ecorobotix.com	Claude Juriens		X		
Smart Cultivator	Stout Agtech	https://web.stoutagtech.com/	info@stoutagtech.com pnagel@stoutagtech.com	Paul Nagel		X		

Robots désherbeurs autonomes

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne-ressource	Consultation			
					Tél/Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Queensland University of Technology	Agbot II	https://www.qut.edu.au/	c.lehnert@qut.edu.au					X
Naïo	Dino, Oz	https://www.naio-technologies.com/		Paul Pampuri et Jean Inderchit	X	X		
Gmabe	Distributeur Dino OZ	https://www.gmabe.com/	gmabe.inc@gmail.com	Benoit St-Laurent				
Carré	Anatis	https://www.carre.fr/	carre@carre.fr a.tourny@carre.fr	Antonin TOURNY		X		
Elatec	e-tract/ tract'elec	https://www.elatec.fr/	elabriffe@elatec.fr	Emmanuel LABRIFFE		X		
Australian Centre for Field Robotics	RIPAA	https://www.sydney.edu.au/engineering/our-research/robotics-and-intelligent-systems/australian-centre-for-field-robotics.html	eduardo.nebot@sydney.edu.au	Eduardo Nebot				X
Sitia	PUMagri	http://www.sitia.fr/innovation-robotique/plateforme-pumagri/	contact@sitia.fr				X	
Nexus Robotics	La chèvre	https://nexusrobotics.ca/	teric@nexusrobotics.ca	Teric Greenan		X		
Elmec et IVI	Erion	https://erionag.com/	jeanmarc.pittet@elmec.ca	Jean-Marc Pittet	X			
ecoRobotix	Avo	https://www.ecorobotix.com/fr/	info@ecorobotix.com claud.juriens@ecorobotix.com	Claude Juriens		X		
Rexroth/Bosch	Deepfield robotics	https://www.farming-revolution.com/	deepfield-robotics@de.bosch.com				X	
Agerris	Digital Farmhand	https://agerris.com/	enquiries@agerris.com contact@farmwise.io pauline.canteneur@farmwise.io				X	
Farmwise	Farmwise	https://farmwise.io/		Pauline Canteneur		X		
Université du Nebraska-Lincoln	Flex-Ro		spitla2@unl.edu	Santosh Pitla				X
SPL	Jäti	http://s-p-l.at/						X
Rootwave/Steketee/Small Robot Company	Dick	http://rootwave.com/	http://rootwave.com/contact/		X			

Robots récolteurs pour les productions maraîchères en plein champ

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne- ressource	Consultation			
					Téléphonique/ Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
KMS Projects Limited	Roboveg	https://www.kmsprojects.co.uk/ https://fr.roboveg.com/	info@kmsprojects.co.uk info@roboveg.com				X	
Lapalme Conception Mécanique/INO/ CRVI	Sami	https://www.lgcm.ca/	info@lgcm.ca	Eric Lapalme	X			
Strauss Verpackungsmaschinen GmbH, Universität Bremen, C.Write & Son Ltd.	GARotics	https://www.strauss-pack.de/fr/	info@strauss-pack.com mkinzel@strauss-pack.com	Matthias Kinsel		X		
University of Waikato et RoboticsPlus		https://www.roboticsplus.co.nz/	info@roboticsplus.co.nz				X	
Fieldwork Robotics/Bonduelle	Gummi Arm Robot	https://fieldworkrobotics.github.io/	martin.stoelen@plymouth.ac.uk rui@fieldworkrobotics.com	Dr Martin Stoelen Rui Andres				X

Récolteuse mécanisée (non sélective)

Entreprise	Site Internet
Universal engineering limited	https://www.unieng.co.nz/
Dear tech	https://www.deartech.co.nz/
Pik Rite	https://www.pikrite.com/
Kobashi Industries	http://www.kobashiindustries.com/
Koppert machines	http://www.koppertmachines.nl/
Oxbo International Corporation	http://www.oxbocorp.com/
Boese harvester	www.boeseharvester.com
MTS-Sandei	http://www.mts-sandei.com/
Guaresi	http://guaresi.com/fr/
Geiger-Lund Harvesters	http://www.asparagusharvester.com
Haws Harvester	joe@hawsharvester.com
Taylor farms	https://www.taylorfarms.com/
Hortech (différents modèles)	www.hortech.it
Tumoba	https://tumoba.nl/?lang=en
Ramsay Highlander	http://www.ramsayhighlander.com/
Ortomec	https://www.ortomec.com/fr/
Dobmac	https://www.dobmac.com.au/
Univerco (Commander 111)	https://univerco.com/
Asa-Lift	https://www.asa-lift.com/asalift
Vogel engeneering	https://vogel-engineering.com/
Yung-Etgar	http://www.yung-etgar.com/

Robots récolteurs de fraises-framboises

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne-ressource	Consultation			
					Téléphonique/ Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Fieldwork Robotics et Bosch	Robocrop	https://fieldworkrobotics.github.io/	info@fieldworkrobotics.com martin.stoelen@plymouth.ac.uk Rui@fieldworkrobotics.com	Martin Stoelen Rui Andres	X			
Agrobot	E-series	https://www.agrobot.com/	juanbravo@agrobot.com	Juan Bravo Trinidad		X		
Harvest Croo Robotics	Berry 5/Berry 6	www.harvestcroo.com	https://harvestcroo.com/contact/ Helen.h@hcr.farm	Helen Hughes		X		
Octinion	Rubion	http://octinion.com/	info@octinion.com				X	
Dogtooth technologies limited	Dogtooth	https://dogtooth.tech/	info@dogtoothtech.com				X	
Advanced Farm Technologies	T-6 et TX robotic strawberry harvester	https://www.advanced.farm/	https://www.advanced.farm/contact ou kyle@advanced.farm	Kyle Cobb		X		
Traptic	Ceres	https://www.traptic.com/	https://www.traptic.com/new-page				X	
Noronn	Noronn	https://www.noronn.com/	info@noronn.com				X	
Harper Adams University	Autopic	https://www.harper-adams.ac.uk/		David Thorne				X
Neupeak robotics	Neupeak	https://www.neupeak.com/	anshul@neupeak.com	Anshul Porwal	X			
Tortuga Agtech		www.tortugaagtech.com	growers@tortuga.ag				X	

Aides-récolteuses de fraises

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne- ressource	Consultation			
					Téléphonique/ Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Ramsey Highlander	Field Pack Harvesting Aids	http://www.ramsayhighlander.com/	info@ramsayhighlander.com ou Frank@ramsayhighlander.com	Frank Maconachy			X	
GK machine inc.	Berry Ferry	https://www.gkmaschine.com/products/ag-equipment	https://www.gkmaschine.com/contactus mmader@gkmaschine.com	Mike Mader		X		
Valley Fabrication	Electric Helios 5 Strawberry Cart	http://www.valleyfabrication.com/	http://www.valleyfabrication.com/contact/machine-inquiry/				X	
AgPro Robotics	Strawbot	http://www.agprorobotics.com/	info@agprorobotics.com	Erik Jertberg			X	
EasyPick	100 series, 200 series, 300 series, 400 series, 700 series, 900 series	http://www.nabersequipment.com/2.html	info@nabersequipment.com				X	
Harvest Pro	RoHand II	https://harvestpromfg.com/	https://www.harvestpromfg.com/contact-us				X	
CropCare	PA1600 Picking Assistant	https://www.cropcareequipment.com	steve.stauffer@pbzinc.com	Steve Stauffer		X		
Specialty Vegetable Equipment, Inc.	Distributeur de CropCare	https://specialtyvegetableequipment.com/	info@sveequipment.com					X
Ecogreen	Jet, Star	www.ecogreenitalia.com	info@leozann.it ou https://www.ecogreenitalia.com/contattaci-e-richiedi-preventivo/				X	
AgPro Robotics	Strawbot (SB2- SB4)	www.agprorobotics.com	info@agprorobotics.com				X	

Récolteuse mécanisée pour framboises

Entreprise	Site Internet
Oxbo	www.oxbocorp.com
Weremczuk Agromachines	http://www.haskapharvest.com/en
Jogoda	http://www.jagoda.com.pl/en/
Elektronik	http://tresac.co.rs/en/combine-for-harvesting-raspberries-blackberries
Littau Harvester	https://littauhvester.com/
Blueline	https://www.bluelinemfg.com/

Déstolonneuse sur paillis de plastique

Entreprise/ Organisation	Équipement	Site Internet	Courriel	Personne- ressource	Consultation			
					Téléphonique/ Visio	Courriel rejoint	Courriel non rejoint	Non contacté
Heuling Maschinenbau	Runner cutter for raised beds	www.heuling.de	mail@heuling.de ulrich@heuling.de	Ulrich Heuling		X		