

Essai et expérimentation sur la pollinisation et la réduction
des herbicides dans la production de bleuet nain
au Saguenay–Lac-Saint-Jean
Objectif B : Réduction des herbicides

**Évaluation de l'application localisée et à dose variable
d'herbicides par la technologie GPS
Rapport final 2008**



Essai et expérimentation sur la pollinisation et la réduction
des herbicides dans la production de bleuet nain
au Saguenay–Lac-Saint-Jean
Objectif B : Réduction des herbicides

**Évaluation de l'application localisée et à dose variable
d'herbicides par la technologie GPS
Rapport final 2008**

Réalisé par
Agrinova

Présenté au
Syndicat des producteurs de bleuets du Québec

Janvier 2009



Réalisé par Agrinova

Coordination

Sophie Gagnon, agronome

Réalisation, recherche et rédaction

Sophie Gagnon, agronome

Frédéric Côté, agroéconomiste

Collaboration

Gérald Savard, consultant

Bruno Bouchard, Lagüe précision

Roger Rivest, MAPAQ

Gilles Leroux, Université Laval

Révision linguistique

Édith Paradis, adjointe à la direction générale

Mélanie Gagné, technicienne en bureautique

Remerciements

Nous tenons à remercier M^{me} Martine Mercier d'avoir accepté de prêter deux lots de la Bleuetière coopérative de Notre-Dame-de-Lorette pour la réalisation des essais. Également, nous remercions M. René Saint-Pierre et le Club Conseil Bleuet, pour la disponibilité de leur temps et les données concernant la Bleuetière coopérative de Saint-Eugène, ainsi que le MAPAQ d'Alma.

Ce projet a été réalisé grâce à la participation financière de :





TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|---------------|
| 1. Introduction | 5 |
| 2. Objectifs | 5 |
| 2.1. Objectif principal | 5 |
| 2.2. Objectif spécifique | 5 |
| 3. Travaux réalisés | 5 |
| 3.1. Élaboration du protocole expérimental | 6 |
| a) Essais sur le terrain (2006-2007) | 6 |
| b) Comparaison économique de l'application localisée d'hexazinone par rapport à l'application en pleine couverture (2008) | 6 |
| 3.2. Cartographie des mauvaises herbes | 6 |
| 3.2.1. Sélection de sites expérimentaux et installation du dispositif | 7 |
| 3.2.2. Cartographie des mauvaises herbes | 9 |
| 3.3. Application des traitements | 9 |
| 3.4. Analyse des données et interprétation | 11 |
| 3.4.1. Résultat des essais sur le terrain | 11 |
| 3.4.2. Interprétation des résultats des essais sur le terrain | 13 |
| 3.5. Évaluation économique | 14 |
| 3.5.1. Méthodologie pour l'analyse technico-économique | 14 |
| a) Saisie des données | 14 |
| b) Hypothèses de travail | 14 |
| 3.5.2. Investissement relié à la technologie GPS | 15 |
| 3.5.3. Coûts d'opération | 16 |
| 3.5.4. Calcul de la rentabilité : valeur actualisée nette (VAN) | 18 |
| 3.5.5. Analyse et interprétation des résultats de l'évaluation économique | 19 |
| 3.6. Évaluation technico-économique et faisabilité | 20 |
| 3.6.1. Impact sur le bleuetier | 20 |
| 3.6.2. Seuil de tolérance des mauvaises herbes | 20 |
| 3.6.3. Disponibilité de l'expertise et de services reliés à la technologie GPS | 21 |
| a) Commercialisation des équipements | 21 |
| b) Support technique | 21 |
| c) Soutien agronomique | 21 |
| d) Épandage à forfait | 22 |
| 3.6.4. Développement durable de la production et environnement | 22 |
| 3.6.5. Image de marque et acceptabilité sociale | 22 |
| 4. Diffusion des résultats | 23 |
| 5. Constats et recommandations | 23 |
| 6. Références | 25 |
| Annexe 1. Échéancier général de réalisation | 26 |
| Annexe 2. Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans le bleuet semi-cultivé – Fiche d'information | 27 |



| | |
|---|-----------|
| Annexe 3. Questionnaire pour l'évaluation Technico-économique..... | 28 |
| Annexe 4. Détails pour les calculs de l'évaluation économique..... | 29 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Calendrier détaillé des étapes réalisées..... | 6 |
| Tableau 2. Variables prises en considération pour chacune des hypothèses..... | 14 |
| Tableau 3. Ventilation des coûts de l'investissement de la technologie GPS | 15 |
| Tableau 4. Paramètres techniques et économiques utilisés dans les calculs..... | 16 |
| Tableau 5. Budget partiel de l'hypothèse pessimiste | 17 |
| Tableau 6. Budget partiel de l'hypothèse réaliste..... | 17 |
| Tableau 7. Budget partiel de l'hypothèse optimiste..... | 17 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1. Dispositif expérimental pour les essais sur le terrain..... | 8 |
| Figure 2. Cartographie des mauvaises herbes et de l'application d'hexazinone | 10 |
| Figure 3. Superficies ciblées (vert) et traitées (brun) par l'hexazinone | 12 |



1. INTRODUCTION

Le présent rapport fait référence à l'objectif B du projet *Essai et expérimentation sur la pollinisation et la réduction des herbicides dans la production du bleuet nain au Saguenay–Lac-Saint-Jean*. Cet objectif porte sur la réduction de l'application des herbicides en production de bleuets semi-cultivés, dont le volet 2 prévoyait l'**évaluation de l'application localisée par la technologie GPS pour le contrôle des mauvaises herbes**.

Les conclusions de plusieurs études menées sur le désherbage localisé témoignent de l'efficacité de cette pratique pour contrôler les mauvaises herbes et réduire l'utilisation des herbicides. Globalement, l'application localisée permet de limiter l'application de l'hexazinone aux zones des bleuetières présentant un niveau d'infestation élevé, réduisant ainsi les coûts et les impacts environnementaux. Comme cette technologie est encore très peu utilisée dans la production du bleuet sauvage, il apparaissait pertinent de l'évaluer.

Ce rapport présente un rappel des objectifs, les étapes réalisées pour y arriver ainsi qu'une analyse des résultats finaux et quelques recommandations.

2. OBJECTIFS¹

2.1. Objectif principal

Le but de l'objectif 2 du projet *Essai et expérimentation* visait à réduire l'application des herbicides dans la production du bleuet nain.

2.2. Objectif spécifique

Plus spécifiquement, ce volet visait à évaluer l'application localisée et à dose variable d'herbicides par la technologie GPS.

3. TRAVAUX RÉALISÉS

Le projet initial prévoyait un échéancier général d'une durée de quatre ans pour ce volet. L'annexe 1 présente cet échéancier général.

Lors de l'élaboration du protocole expérimental, les étapes se sont précisées. Le tableau 1 présente les étapes détaillées réalisées dans le cadre de ce volet.

¹ SPBQ, 2005.



Tableau 1. Calendrier détaillé des étapes réalisées

| Étape de réalisation | 2005 | | 2006 | | | | 2007 | | | | 2008 | | | |
|---|------|---------|-------|-----------|-----|---------|-------|-----------|-----|---------|-------|-----------|-----|---------|
| | Été | Automne | Hiver | Printemps | Été | Automne | Hiver | Printemps | Été | Automne | Hiver | Printemps | Été | Automne |
| Élaboration du protocole expérimental | | | | | | | | | | | | | | |
| Cartographie des mauvaises herbes | | | | | | | | | | | | | | |
| Application des traitements | | | | | | | | | | | | | | |
| Analyse des données et interprétation | | | | | | | | | | | | | | |
| Évaluation technico-économique | | | | | | | | | | | | | | |
| Rédaction du rapport final et diffusion | | | | | | | | | | | | | | |

Prévu et réalisé



3.1. Élaboration du protocole expérimental

La méthodologie prévoyait la réalisation des activités suivantes :

a) Essais sur le terrain (2006-2007) :

- Évaluer l'efficacité de l'application localisée de l'hexazinone par rapport à l'application en pleine couverture sur le contrôle des mauvaises herbes ciblées;
- Évaluer l'effet de l'application localisée de l'hexazinone sur le rendement des plants de bleuets.

b) Comparaison économique de l'application localisée d'hexazinone par rapport à l'application en pleine couverture (2008).

La méthodologie pour les essais sur le terrain a été décrite dans un protocole élaboré en 2006 et a été ajustée en 2007. Les principaux éléments sont repris aux points 3.2 et 3.3 du présent document. La méthodologie pour la partie économique a, quant à elle, été élaborée en 2008 et est abordée à la section 3.5.1.

3.2. Cartographie des mauvaises herbes

Les activités suivantes ont été réalisées lors de cette étape :



3.2.1. Sélection de sites expérimentaux et installation du dispositif

Dans le respect des critères prédéfinis, la bleuetière sélectionnée a été la Bleuetière coopérative de Notre-Dame-de-Lorette. Deux sites situés à l'intérieur de la bleuetière ont été ciblés. Le dispositif expérimental y a été installé à l'été 2006 et comportait trois traitements, organisés en blocs complets aléatoires et répétés quatre fois.

Les traitements comparés sont les suivants :

- **T1** : Application localisée de l'hexazinone
- **T2** : Application en pleine couverture de l'hexazinone
- **T3** : Absence d'application d'hexazinone (témoin enherbé)

Afin de pouvoir comparer l'effet des traitements sur la répression des mauvaises herbes et de voir l'effet de l'hexazinone sur la densité de bleuets, cinq quadras d'échantillonnage fixes (géoréférencés) de 0,25 m² ont été répartis de façon aléatoire dans les sites. Dans chaque quadra, l'échantillonnage prévoyait un dénombrement initial et un dénombrement de suivi après les traitements. Les paramètres à évaluer étaient le nombre de plants (de mauvaise herbe ou de bleuet), la mesure de la hauteur des tiges (dix tiges par quadra), et le pourcentage de recouvrement. La mauvaise herbe ciblée était le kalmia à feuilles étroites (*kalmia angustifolia*). Le dispositif expérimental avec l'emplacement géoréférencé des quadras est présenté à la figure1.

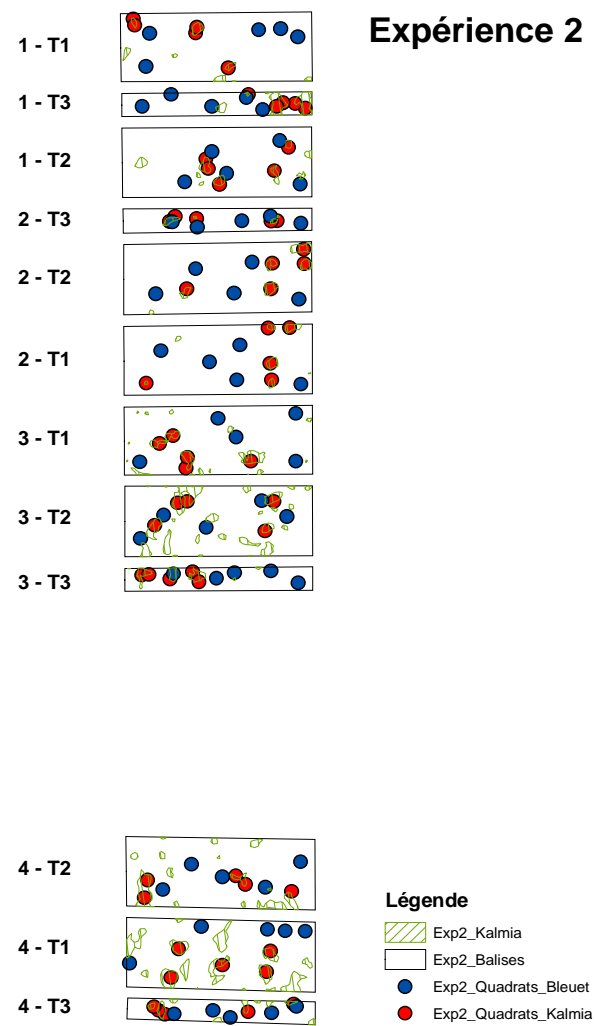
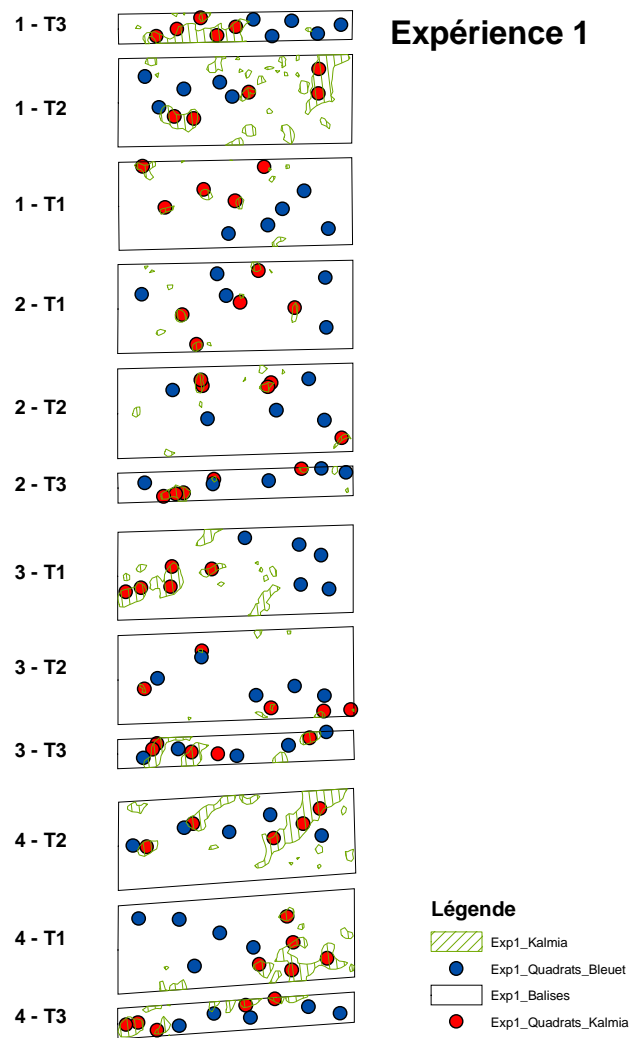


Figure 1. Dispositif expérimental pour les essais sur le terrain



3.2.2. *Cartographie des mauvaises herbes*

L'analyse des cartes de distribution des mauvaises herbes avant et après les traitements était aussi prévue. En effet, ces cartes présentent un portrait précis et géoréférencé de la grandeur et de l'emplacement des îlots de kalmia. La juxtaposition de celles-ci à des cartes similaires réalisées après le traitement permet d'évaluer la diminution de la taille des îlots de mauvaises herbes.

La cartographie par contour des îlots de mauvaises herbes a été réalisée à l'aide d'un GPS de poche, et les données ont permis de produire les cartes de distribution de mauvaises herbes. À partir de celles-ci, les cartes d'application ont pu être réalisées.

3.3. **Application des traitements**

L'application des traitements a eu lieu le 30 mai 2007, par une journée ensoleillée avec des passages nuageux et un faible vent. L'application de l'hexazinone a été effectuée à l'aide du pulvérisateur à rampe et un service d'épandage à forfait. Le produit utilisé pour réaliser les traitements est l'hexazinone sous forme liquide (Velpar). La dose appliquée (2,5 kg/ha) tenait compte des paramètres suivants : l'espèce ciblée, le degré d'infestation ainsi que le type de sol.

La figure 2 présente la cartographie par contour des îlots de mauvaises herbes (en vert), ainsi que les zones couvertes par les traitements d'hexazinone (en bleu).



Sans hexazinone (T3)

Pleine couverture (T2)

Application localisée
(T1)

Expérience 1

1 - T3

1 - T2

1 - T1

2 - T1

2 - T2

2 - T3

3 - T1

3 - T2

3 - T3

4 - T2

4 - T1

4 - T3

Légende

- Exp1_Application
- Exp1_Kalmia
- Exp1_Balises

Expérience 2

1 - T1

1 - T3

1 - T2

2 - T3

2 - T2

2 - T1

3 - T1

3 - T2

3 - T3

4 - T2

4 - T1

4 - T3

Légende

- Exp2_Application
- Exp2_Kalmia
- Exp2_Balises

Figure 2. Cartographie des mauvaises herbes et de l'application d'hexazinone



3.4. Analyse des données et interprétation

3.4.1. Résultat des essais sur le terrain

Suite à l'application des traitements, la juxtaposition de la carte des zones traitées avec la carte de répartition des mauvaises herbes a permis de constater que les traitements ont été réalisés en grande partie à côté des zones de mauvaises herbes, particulièrement dans les parcelles en application localisée. La figure 3 présente les pourcentages de superficies non traitées par rapport à celles qui devaient l'être.

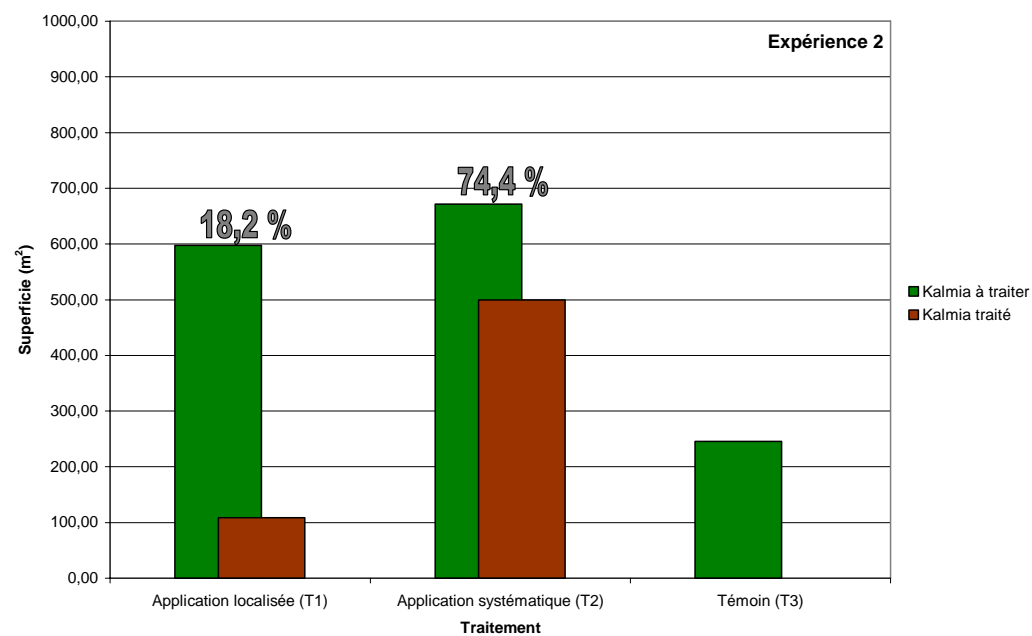
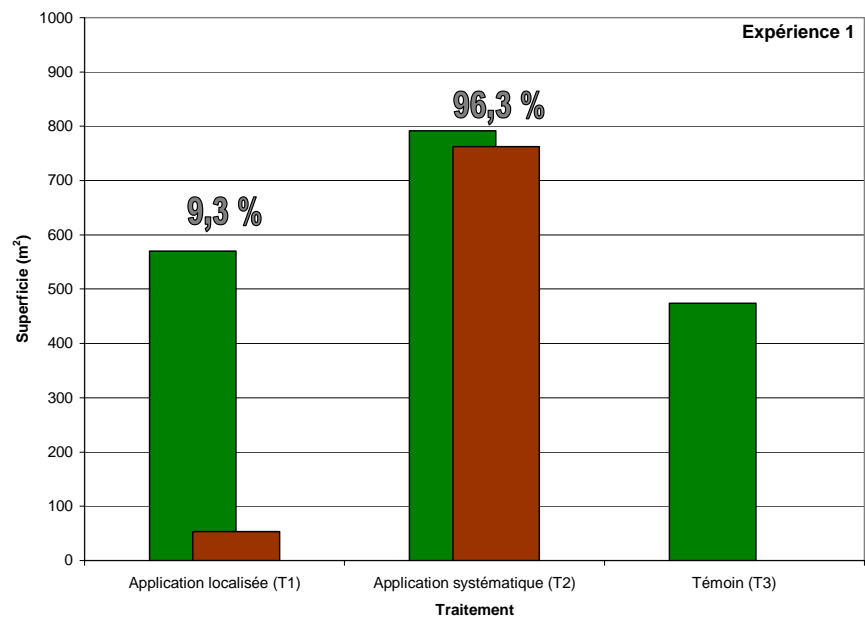


Figure 3. Superficies ciblées (vert) et traitées (brun) par l'hexazinone



On remarque que les parcelles en application localisée (T1) ont fait l'objet d'une grande marge d'erreur, avec moins de 20 % des superficies appliquées sur les îlots de mauvaises herbes. Pour ce qui est des zones où l'application a été faite en pleine couverture, le manque de précision a été de moins de 20 %, ce qui représente 74,4 et 96,3 % de la superficie totale couverte. Les témoins quant à eux n'ont fait l'objet d'aucune application, ce qui était prévu au départ.

3.4.2. Interprétation des résultats des essais sur le terrain

Le manque de précision des applications relève d'un problème dans la saisie de données, dès le prélèvement de coordonnées pour la cartographie des mauvaises herbes. Chez les producteurs utilisant nouvellement la technologie GPS pour l'application des herbicides, ce genre d'erreur est très fréquent. Dans le cas de cet essai, un ou plusieurs des paramètres suivants ont pu faire défaut :

- la méthodologie pour réaliser le plan d'application;
- la grosseur des îlots considérés;
- le déphasage lié à l'équipement (vitesse d'avancement, position du GPS, délai entre l'ouverture de la valve et l'écoulement du produit à la bonne dose);
- la précision du GPS utilisé lors de la localisation versus celle de celui utilisé lors de l'application (erreur GPS);
- la dérive GPS;
- la projection utilisée lors de la localisation versus celle utilisée lors de l'application;
- le ou les logiciels utilisés lors de la localisation versus celui ou ceux utilisés lors de l'application.

Essentiellement, la personne qui agit à titre de conseiller technique pour l'application localisée doit être impliquée dès le début (saisie de données) et jusqu'à l'application. Idéalement, cette personne doit être la même pour toutes ces étapes, ce qui assure un meilleur contrôle des paramètres énumérés. Cette personne doit être familière avec la technologie GPS et comprendre des éléments, tels que la projection cartographique et le système géodésique.

Les faibles pourcentages de couverture obtenus ont rendu impossible le suivi et l'analyse permettant l'évaluation des traitements sur le contrôle des mauvaises herbes ainsi que sur le rendement en bleuets, comme prévu au protocole. Or, les objectifs fixés ont dû faire l'objet d'une nouvelle méthodologie pour être atteints. Pour ce faire, une étude de cas approfondie a permis une **évaluation technico-économique** abordant les principaux éléments d'intérêt pour l'évaluation de l'application localisée avec la technologie GPS. Ce volet technico-économique est présenté à la section 3.5. De plus, une **fiche d'information sur la méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans le bleuet semi-cultivé** a été élaborée pour permettre aux producteurs de suivre toutes les étapes assurant le succès de l'application localisée. Ce document est présenté à l'annexe 2.



3.5. Évaluation économique

Une étude de cas réalisée auprès d'une entreprise qui utilise la technologie GPS pour l'application de ses herbicides a permis de comparer, d'un point de vue économique, l'application localisée d'hexazinone par la technologie GPS à l'application en pleine couverture. Cette étude a aussi permis de recueillir des données empiriques afin de documenter l'aspect agronomique et technique.

3.5.1. Méthodologie pour l'analyse technico-économique

a) Saisie des données

Au cours de l'été 2008, des rencontres ont eu lieu avec le directeur général de la Bleuetière coopérative de Saint-Eugène, M. René Saint-Pierre, ainsi qu'avec les conseillers du Club Conseil Bleu. Ces rencontres avaient pour but de recueillir des données sur le sujet de l'application localisée d'herbicides. Afin de compléter les données économiques par des informations empiriques, des questions générales ont également été abordées. L'annexe 3 présente cette série de questions. Également, des commerçants ont été consultés pour le coût des équipements et du service reliés à la technologie GPS.

b) Hypothèses de travail

L'évaluation économique de l'utilisation de la technologie GPS pour l'application localisée d'hexazinone par rapport à l'application en pleine couverture a été effectuée à l'aide de trois hypothèses. **L'hypothèse réaliste** se veut un portrait d'une bleuetière type de la région du Saguenay-Lac Saint-Jean. **Les hypothèses pessimistes et optimistes** sont quant à elles des variantes de l'hypothèse réaliste. Les variables prises en considération pour chacune des trois hypothèses sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Variables prises en considération pour chacune des hypothèses

| Variable \ Hypothèse | Pessimiste | Réaliste | Optimiste |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Couverture des mauvaises herbes | 50 % | 35 % | 20 % |
| Type de couverture ² | Petits îlots* | Moyens îlots* | Grands îlots* |
| Superficie parcourue par la machinerie | 100 % | 90 % | 80 % |
| Quantité relative de graminées* | 10 % | 30 % | 50 % |

* Petits îlots : < 10 m²/Moyens îlots : 10 à 100 m²/Grands îlots : > 100 m².

** Par rapport à l'ensemble des mauvaises herbes

² DOWNEY & AL., 2004.



L'hypothèse réaliste est donc une bleuetière âgée de six ans ayant une superficie de 200 hectares (ha). Un système de rotation bisannuel est utilisé. Il y a donc 100 ha en production de bleuets et 100 ha en végétation. L'hypothèse suppose qu'une application en pleine couverture d'hexazinone sous forme granulaire (Pronone) a été réalisée à l'année d'aménagement et pendant les deux premières années de végétation, soit les années 1,2 et 4 de la bleuetière. Par la suite, une application localisée d'hexazinone sous forme liquide (Velpar) à l'aide de la technologie GPS a été réalisée à la troisième année de végétation, soit l'an 6 de la bleuetière. C'est cette application qui fait l'objet de l'étude. À noter que, de façon générale, aucun herbicide n'est utilisé dans la saison de production de bleuets.

3.5.2. Investissement relié à la technologie GPS

Seuls les équipements supplémentaires nécessaires à l'application localisée à l'aide de la technologie GPS ont été pris en compte pour le calcul du coût de l'investissement. Par exemple, un tracteur et un pulvérisateur de 13,72 mètres sont utilisés dans l'hypothèse, mais ce coût n'a pas été retenu dans le calcul, car l'objectif consiste à comparer, d'un point de vue économique, l'application localisée avec GPS à l'application en pleine couverture. Il en est de même pour l'ordinateur, également nécessaire pour le traitement des données. En effet, l'hypothèse suppose que le producteur possède déjà l'ordinateur pour la gestion de sa bleuetière. Le tableau 3 présente la ventilation des coûts de l'investissement³.

Tableau 3. Ventilation des coûts de l'investissement de la technologie GPS

| Description | Coût |
|---|------------------|
| Système GPS Green Star 2 avec conduite automatisée | 19 000 \$ |
| SWAT contrôle Pro (contrôleur des sections de la rampe) | 2 775 \$ |
| Contrôleur de dose | 3 276 \$ |
| Logiciel de traitement de cartes | 520 \$ |
| Total | 25 571 \$ |

L'utilisation de la technologie GPS nécessite un investissement de 25 571 \$. La durée de l'amortissement de l'investissement a été fixée à 10 ans, ce qui représente la durée de vie utile des équipements. Un taux d'intérêt de 6 % a été utilisé pour le financement à long terme. Cela représente le taux hypothécaire résidentiel moyen des 10 dernières années⁴.

³ Données fournies par le concessionnaire John Deere, Alma, 2008.

⁴ FCDQ, 1998-2007.



3.5.3. Coûts d'opération

Afin de représenter les impacts économiques de l'application localisée d'hexazinone avec l'application en pleine couverture, la méthode du budget partiel a été utilisée. Celle-ci permet de comparer rapidement et de façon précise deux technologies. Premièrement, il suffit de calculer les coûts en plus et les revenus en moins qu'occasionne la première technologie par rapport à la deuxième. Cela permet d'évaluer les pertes que la première technologie génère. Par la suite, nous calculons de la même manière les coûts en moins et les revenus en plus. Cela permet donc d'évaluer les gains. Le solde des deux calculs nous permet finalement de vérifier si la première technologie risque de créer une perte ou un bénéfice par rapport à l'autre technologie. Le tableau 4 présente les paramètres techniques et économiques utilisés dans les calculs. Les tableaux 5, 6 et 7 présentent respectivement le budget partiel des hypothèses pessimiste, réaliste et optimiste. Le Velpar a été utilisé pour les calculs, mais le coût par hectare est sensiblement le même pour Pronone. Les données ayant servi aux calculs sont présentées à l'annexe 4.

Selon l'hypothèse, la prise de données pour la cartographie est effectuée en même temps que le fauchage des plants de bleuets à l'automne. Aucun temps supplémentaire n'est donc nécessaire pour la prise de données pour la cartographie. Le seul temps supplémentaire considérable que nécessite la technologie GPS par rapport au traitement de pleine couverture est le temps nécessaire au traitement des données et à la création des cartes d'application.

Tableau 4. Paramètres techniques et économiques utilisés dans les calculs

| Critère | Unité | Valeur |
|---|----------|--------|
| Velpar | \$/kg | 96 |
| Dose Velpar/graminées | Kg/ha | 2 |
| Dose Velpar/autres mauvaises herbes | Kg/ha | 2,25 |
| Coûts variables/utilisation machinerie | \$/ha | 2 |
| Main-d'oeuvre | \$/heure | 16 |
| Taux intérêt investissement | % | 6 |



Tableau 5. Budget partiel de l'hypothèse pessimiste

| Coût en plus | | Coût en moins | |
|--|-----------------|--------------------|------------------|
| Traitement des données cartographiques | 3 \$/ha | Herbicide (Velpar) | 109 \$/ha |
| Intérêt sur l'investissement | 8 \$/ha | | |
| Revenu en moins | | Revenu en plus | |
| | 0 \$/ha | | 0 \$/ha |
| Total | 11 \$/ha | Total | 109 \$/ha |
| Solde : 109-11 = 98 \$/ha | | | |
| Économie dans l'utilisation d'hexazinone : 51 % | | | |

Tableau 6. Budget partiel de l'hypothèse réaliste

| Coût en plus | | Coût en moins | |
|--|-----------------|--------------------|------------------|
| Traitement des données cartographiques | 3 \$/ha | Herbicide (Velpar) | 143 \$/ha |
| Intérêt sur l'investissement | 8 \$/ha | | |
| Revenu en moins | | Revenu en plus | |
| | 0 \$/ha | | 0 \$/ha |
| Total | 11 \$/ha | Total | 143 \$/ha |
| Solde : 143-11 = 132 \$/ha | | | |
| Économie dans l'utilisation d'hexazinone : 66 % | | | |

Tableau 7. Budget partiel de l'hypothèse optimiste

| Coût en plus | | Coût en moins | |
|--|-----------------|--------------------|------------------|
| Traitement des données cartographiques | 3 \$/ha | Herbicide (Velpar) | 175 \$/ha |
| Intérêt sur l'investissement | 8 \$/ha | | |
| Revenu en moins | | Revenu en plus | |
| | 0 \$/ha | | 0 \$/ha |
| Total | 11 \$/ha | Total | 175 \$/ha |
| Solde : 175-11 = 164 \$/ha | | | |
| Économie dans l'utilisation d'hexazinone : 81 % | | | |



3.5.4. Calcul de la rentabilité : valeur actualisée nette (VAN)

La valeur actualisée nette (VAN) est un calcul de rentabilité permettant d'évaluer rapidement si un investissement sera rentabilisé dans un temps voulu et à un taux d'actualisation (rendement) désiré. Dans la présente étude, le paramètre intéressant à calculer est la superficie en végétation minimum nécessaire afin de rentabiliser l'investissement d'un système GPS sur une période de 10 ans et à un taux de 6 %, représentant le taux de son financement. L'équation 1 présente la méthode de calcul et le résultat pour les trois hypothèses⁵.

Équation 1. Méthode de calcul de la VAN et résultats pour les trois hypothèses

$$A = D \times \frac{(1 - (1 / (1+C)^5))}{C}$$

$$\text{Nombre d'hectares} = \frac{D}{E}$$

Pessimiste : 35 hectares

Réaliste : 26 hectares

Optimiste : 21 hectares

Variables

A : Investissement (25 571 \$)

B : Amortissement (10 ans)

C : Taux d'intérêt (6 %)

D : Valeur recherchée, soit l'économie nécessaire (3 474 \$)

E : Économie par hectare (pessimiste 98 \$, réaliste 132 \$, optimiste 164 \$)

Une bleuetière ayant 26 ha en végétation (environ 52 ha au total) et qui respecte les critères de l'hypothèse réaliste, pourrait donc rentabiliser l'investissement sur une période de 10 ans.

⁵ JORDAN et Al., 2005.



Cependant, comme chaque bleuetière a des critères différents, une formule simple d'utilisation a été créée afin d'évaluer rapidement si l'investissement peut être rentable. Cette formule (équation 2) permet de calculer l'économie d'achat d'hexazinone, soit la dépense la plus importante lors de l'application localisée par rapport à l'application en pleine couverture. Afin que l'investissement soit rentable, le résultat doit être supérieur ou égal à 1.

Équation 2. Formule de calcul de la rentabilité de l'investissement⁶

$$\frac{((1 - \% \text{ couverture de M.H.}) \times 216 \times \text{Superficie en végétation})}{3474}$$

Variables

| | |
|-----------------------------------|--|
| <u>Couverture de M.H.</u> : | Couverture moyenne de M.H. par rapport à la superficie en végétation |
| <u>216</u> : | Coût de l'herbicide/unité de superficie (dans ce cas, 2,25 kg/ha x 96 \$/kg = 216 \$) |
| <u>Superficie en végétation</u> : | Utiliser les mêmes unités que pour le calcul du coût de l'herbicide |
| <u>3474</u> : | Économie nécessaire pour rentabiliser 25 571 \$ à un taux d'intérêt de 6 % pendant une période de 10 ans |

3.5.5. Analyse et interprétation des résultats de l'évaluation économique

Cette étude économique réalisée à l'aide de budget partiel a démontré que l'application localisée d'hexazinone permet une économie entre 98 et 164 \$ l'hectare, ce qui représente une économie de l'utilisation d'hexazinone de 51 à 81 %. Rappelons que ce calcul tient compte des intérêts de l'achat, mais pas de l'achat lui-même.

Ces résultats dépendent du pourcentage de couverture des mauvaises herbes et de la superficie en végétation. Ces données concordent avec les résultats d'une étude réalisée sur les cultures de céréales qui démontraient une réduction de 47 à 80 %⁷.

De plus, le système GPS permet certaines applications, comme les systèmes de guidage qui éliminent le besoin d'utiliser un marqueur à mousse. Également, certaines applications pourraient être développées, comme l'application localisée d'engrais. Toutes ces applications potentielles, qui permettent de maximiser davantage l'investissement en améliorant d'autres facettes de la régie de culture et en réduisant l'utilisation d'intrants coûteux, peuvent toutefois nécessiter des équipements supplémentaires.

⁶ Frédéric Côté, agroéconomiste, 2008.

⁷ NORDMEYER et Al., 1997.



Par ailleurs, l'impact sur le bleuetier n'a pas été pris en compte dans le calcul de revenus en plus ou en moins, puisque aucune étude à l'heure actuelle ne démontre clairement l'impact de l'application localisée d'hexazinone à l'aide de la technologie GPS sur l'augmentation de rendement en bleuets.

3.6. Évaluation technico-économique et faisabilité

3.6.1. Impact sur le bleuetier

Bien qu'aucune étude à l'heure actuelle ne démontre clairement l'impact de l'application localisée d'hexazinone sur l'augmentation de rendement en bleuets, nous savons que l'hexazinone est un herbicide non sélectif et qu'il peut avoir un certain impact répressif sur le bleuetier.

De plus, selon le ministère de l'Agriculture et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick, il est établi que de trois à dix pourcent des clones de bleuets sont sensibles à l'herbicide.⁸ Or, le bleuetier n'étant pas tout à fait autogame, il est important qu'une diversité de clones soit présente afin de permettre une meilleure pollinisation croisée, ce qui permet d'augmenter les rendements en bleuets de façon importante⁹.

En réduisant l'utilisation de l'herbicide par l'application localisée, il est probable que ces effets négatifs sur le bleuetier soient également réduits.

3.6.2. Seuil de tolérance des mauvaises herbes

Dans la production du bleuet nain, aucun seuil de tolérance n'a été évalué.

Le seuil de tolérance est un outil de gestion important dans la régie des herbicides permettant de connaître, selon le coût des intrants et des extrants, le niveau de mauvaises herbes que l'on peut tolérer avant que celui-ci ne devienne économiquement nuisible. Par exemple, s'il est établi qu'une couverture de 10 % de mauvaises herbes crée une perte de rendement de 3 %, que le rendement est de 2 200 kg/ha et que le bleuet se vend 2,42 \$/kg, une perte de 159,72 \$/ha est envisageable. Si le coût du traitement phytosanitaire excède 159,72 \$/ha, il est donc économiquement plus rentable de ne pas traiter et d'assumer les pertes de rendement.

Le seuil de tolérance est un élément important lors de l'application localisée, car il permet de ne pas traiter certains îlots de mauvaises herbes, donc de réduire l'utilisation d'herbicide, le temps d'application et le temps de cartographie.

La détermination d'un seuil de tolérance des mauvaises herbes pour la production du bleuet semi-cultivé serait donc un axe de recherche à prioriser.

⁸ MAANB. 2008.

⁹ BOURGEOIS, G. 2006.



3.6.3. Disponibilité de l'expertise et de services reliés à la technologie GPS

Depuis quelques années, la technologie et l'expertise tendent à augmenter dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

a) Commercialisation des équipements

Les équipements cités dans l'étude économique sont commercialisés chez les concessionnaires John Deere. La compagnie Innotag offre également des équipements d'agriculture de précision permettant l'application localisée d'herbicides.

b) Support technique

Parmi toutes les étapes nécessaires pour l'application localisée d'herbicides à l'aide de la technologie GPS, un support technique est requis pour l'installation de l'équipement suite à l'acquisition et à la réalisation des cartes d'épandage. Parfois, un support technique est également nécessaire lorsque surviennent des problématiques lors des étapes d'identification des îlots de mauvaises herbes ou à l'étape ultime de l'application des herbicides.

Lors de l'investissement, les frais d'installation, la mise en marche et le support technique pour un nombre d'heures déterminé sont offerts par le fournisseur. Pour un support supplémentaire ou prolongé, ainsi que pour les mises à jour des logiciels informatiques, un tarif supplémentaire doit être défrayé.

Monsieur Bruno Bouchard, ingénieur pour la compagnie Lagüe Précision (équipements John Deere) donc le siège social est situé à Saint-Hyacinthe, agit depuis quelques années à titre de consultant. Cependant, depuis un an, la compagnie Maltais et Ouellet située à Alma a embauché un technicien, ce qui permet de réduire le coût du support technique (72,95 \$/h ou éventuellement forfaitaire).

Les autres fournisseurs, tels que Innotag, ainsi que M. Nicolas Lavoie, peuvent agir à titre de consultant technique.

c) Soutien agronomique

Pour l'application localisée d'herbicides avec la technologie GPS dans la production du bleuet semi-cultivé, le rôle de l'agronome consiste souvent à réaliser, avec le producteur, la collecte de données préliminaires, comme par exemple le plan de champ géoréférencé. Le soutien de l'agronome ou du technicien agricole sera également nécessaire pour la calibration de l'épandeur avant l'application d'herbicides. Si l'équipement utilisé est un contrôleur d'application à taux variable, cette étape peut nécessiter des compétences précises.

Dans l'avenir, il serait souhaitable que les conseillers agronomiques développent leur expertise afin de pouvoir soutenir le producteur dans toutes les étapes menant à l'application localisée, particulièrement les cartes d'épandage. Présentement, cette étape n'est réalisée que par des



techniciens spécialisés en géomatique et rattachés aux compagnies qui fournissent l'équipement. Également, l'expertise au niveau du traitement logiciel des données pourrait être développée afin de mettre à profit toutes les utilisations qu'offre la géomatique. Par exemple, en superposant la carte d'identification des mauvaises herbes d'une année avec celle des années subséquentes, l'agronome pourrait tirer des conclusions sur la réduction ou l'augmentation générale des infestations. Ce genre d'utilisation des données pourrait améliorer la régie de culture et optimiser l'utilisation d'intrants.

d) Épandage à forfait

Actuellement, aucun service d'épandage à forfait doté d'un système GPS et d'un contrôleur d'application n'est disponible dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

3.6.4. Développement durable de la production et environnement

L'herbicide hexazinone étant très soluble dans l'eau, celui-ci est susceptible de contaminer la nappe phréatique. Bien que les campagnes d'échantillonnage des cours d'eau et les études sur le sujet ne dénotent pour le moment aucune situation d'urgence, le principe de précaution est recommandé par l'Institut national de santé publique du Québec¹⁰.

L'utilisation de l'application localisée permet une réduction de l'utilisation d'hexazinone dans les bleuetières de l'ordre de 51 à 81 %. De plus, cette méthode étant économique, elle est accessible à un grand nombre de producteurs. Sur un total d'environ 8 900 ha¹¹ en production au Québec, le potentiel de réduction de l'utilisation de l'herbicide hexazinone pourrait donc être très important, ainsi que l'impact conséquent sur l'environnement.

La réduction d'utilisation d'hexazinone par l'application localisée permet également la diminution de la consommation directe et indirecte de plusieurs intrants chimiques. Par exemple, la fabrication des herbicides nécessite énormément d'énergie, de même que l'application localisée d'herbicides dans un champ permet de réduire, de façon significative, l'utilisation de carburants.

3.6.5. Image de marque et acceptabilité sociale

L'image de la production de bleuets semi-cultivés a un impact très important pour cette industrie. Au cours des dernières années, l'utilisation de l'hexazinone a soulevé des inquiétudes auprès des instances gouvernementales et du public, en raison du risque présent de contamination des cours d'eau. Depuis, plusieurs travaux de recherche et de sensibilisation ont été réalisés par les intervenants régionaux, afin de réduire ou de rationaliser l'utilisation de cet herbicide dans les bleuetières.

L'utilisation de l'application localisée s'avère une méthode économique qui permet une réduction de l'utilisation d'hexazinone dans les bleuetières de l'ordre de 51 à 81 %. L'utilisation de cette méthode pourrait donc rassurer les citoyens, favoriser la cohabitation harmonieuse et garantir à l'acheteur que le fruit a été produit dans le respect de l'environnement.

¹⁰ INSPQ, 2004.

¹¹ MAPAQ, 2007.



Finalement, avec une compétition accrue du bleuet en corymbe dans le marché du bleuet congelé, l'application localisée permettrait à l'industrie de se positionner davantage sur les marchés mondiaux, de plus en plus axés sur la commercialisation d'aliments sains, produits de façon naturelle et avec le moins possible d'intrants chimiques.

4. DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats de cette étude seront présentés lors de deux événements :

- Journée d'information sur le bleuet nain semi-cultivé, organisée par le MAPAQ et regroupant plus de 200 producteurs. Cet événement aura lieu le 25 mars 2009 à l'Hôtel du Jardin à Saint-Félicien.
- Demi-journée d'information sur les résultats finaux du projet d'*Essai et expérimentation*, organisée par Agrinova et regroupant 50 producteurs et intervenants.

Également, le rapport final, ainsi que la fiche technique présentée à l'annexe 2, pourront être diffusés par différents moyens, comme le site Internet Agriréseau, le site Internet d'Agrinova, ainsi que le journal du Syndicat des producteurs de bleuets du Québec.

5. CONSTATS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif 2 du projet *Essai et expérimentation* visant à *réduire l'application des herbicides dans la production du bleuet nain* comportait un volet ayant pour but l'évaluation de l'application localisée et à dose variable d'herbicides par la technologie GPS. Pour ce faire, la méthodologie développée prévoyait la réalisation d'essais sur le terrain en 2006-2007, complétés par une étude économique en 2008.

Dans un premier temps, les essais d'application localisée réalisés sur le terrain ont fait l'objet de limitations imprévues, donc aucune conclusion n'ont pu être tirée. En effet, un trop faible pourcentage de couverture des îlots de mauvaises herbes a été obtenu. Les essais sur le terrain ont donc permis de relever les erreurs courantes commises par les producteurs qui débutent leurs activités d'application localisée par GPS.

Les objectifs fixés ont donc dû faire l'objet d'une nouvelle méthodologie pour être atteints. Pour ce faire, une étude de cas approfondie a permis une évaluation technique et économique abordant les principaux éléments d'intérêt pour l'évaluation de la technique d'application localisée avec la technologie GPS. De plus, les essais sur le terrain et l'étude technico-économique ont permis d'élaborer une fiche d'information sur la méthodologie assurant la réussite de l'application localisée d'herbicides dans la production de bleuets semi-cultivés.

Le projet a permis de constater que la technologie est de plus en plus accessible pour les producteurs de bleuets semi-cultivés, tant du point de vue de la commercialisation des équipements que du support technique et des autres services reliés. Certains paramètres



restent à améliorer, comme la détermination d'un seuil de tolérance des mauvaises herbes qui est présentement inexistant. De plus, il serait souhaitable que les conseillers agronomiques développent une expertise pour la réalisation des cartes d'épandage et le traitement des données à l'aide de logiciels. Cela permettrait une plus grande objectivité ainsi qu'un meilleur suivi auprès du producteur, et donc l'amélioration de la régie de culture et l'optimisation de l'utilisation des intrants.

Nous avons démontré qu'une bleuetière moyenne ayant 26 ha en végétation (environ 52 ha au total) pourrait rentabiliser l'investissement de la technologie GPS sur une période de 10 ans. Plus spécifiquement, il est possible de calculer la rentabilité de l'investissement d'un système pour une bleuetière donnée selon ses caractéristiques propres, à l'aide d'une formule développée dans le cadre de la présente étude. De façon générale, nous avons démontré que l'application localisée d'hexazinone permet une économie de l'utilisation d'hexazinone de 51 à 81 %, ce qui représente une économie entre 98 et 164 \$ à l'hectare. Cette donnée varie selon le pourcentage de couverture des mauvaises herbes et la superficie en végétation.

En réduisant l'utilisation de l'herbicide par l'application localisée, les effets probables négatifs de l'herbicide sur le bleuetier sont également réduits. Enfin, la diminution de l'utilisation d'hexazinone implique des retombées sociales et environnementales positives, en plus de permettre d'améliorer l'image de la production du bleuet semi-cultivé et les gains économiques à l'échelle de l'industrie et de la ferme.



6. RÉFÉRENCES

- SPBQ. *Projet d'essai et expérimentation sur la pollinisation et la réduction des herbicides dans la production du bleuet nain au Saguenay–Lac-Saint-Jean*, Projet déposé à Développement économique Canada dans le cadre du programme IDÉE-PME, Novembre 2005, p. 14.
- BOURGEOIS, G. *Différentes abeilles butineuses pour la pollinisation du bleuet nain*, Université Laval, Avril 2006, p. 3.
- DOWNEY et Al. *Weeds accurately mapped using DGPS and ground-based vision identification*, California Agriculture, Volume 58, Number 4, 2004, p. 218.
- FCDQ. *Historique taux d'intérêt « hypothèque »*, 1998-2007.
- JORDAN et Al. *Gestion financière*, 2^e édition, Chenelière McGraw-Hill, 2005, p. 254.
- MAPAQ, 2004. *Bleuet nain semi-cultivé*, AGDEX 235/821b, Publié par le CRAAQ, Juin 2004, p. 10.
- MAANB. *Velpar et Pronone 10G pour le contrôle des mauvaises herbes dans les bleuetières*, Site Internet : <http://www.gnb.ca/0171/10/0171100030-f.asp> consulté en septembre 2008.
- NORDMEYER et Al. *Patchy weed control as an approach in precision farming*, Precision agriculture 1997, First European conference on precision agriculture, J.V. Stafford, 1997, p. 307-314.
- ONIL, Samuel et Louis SAINT-LAURENT, 2004. *Présence d'hexazinone dans l'eau de consommation au Saguenay–Lac-Saint-Jean*, Institut national de santé publique Québec, Mars 2004, p. 32 et 1 annexe.



ANNEXE 1.

ÉCHÉANCIER GÉNÉRAL DE RÉALISATION

[illegible]



ANNEXE 2.
MÉTHODOLOGIE POUR L'APPLICATION LOCALISÉE D'HERBICIDES
DANS LE BLEUET SEMI-CULTIVÉ – FICHE D'INFORMATION

Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans la production du bleuet semi-cultivé

Fiche d'information

1) Collecte de données préliminaires

En premier lieu, le producteur ou son agronome doit se procurer une carte présentant une vue globale du champ et des contours de champ. À cette étape, les photographies aériennes de la Financière agricole du Québec sont souvent utilisées. Généralement, ces photos peuvent être utilisées comme couche de base.

Équipement requis

- Photo aérienne (exemple : photos de la Financière agricole du Québec)

Ensuite, le producteur et son agronome pourront identifier sur la photo ou avec un GPS les zones sensibles où il faudra éviter d'appliquer les herbicides (cours d'eau, bande de 50 m, dunes de sable, puits et autres) et redéfinir les contours de champ au besoin.

Équipement requis

- GPS de poche (système d'acquisition de données géoréférencées).

2) Identification des mauvaises herbes

Cette étape peut être réalisée par le producteur lors du fauchage. Cela permet une bonne précision (passages réguliers de la machinerie). Également, en utilisant le même équipement

et logiciel que lors de l'épandage d'herbicide, on réduit le risque d'erreur. Enfin, cela permet une économie de temps. Il faut toutefois considérer que plusieurs opérations à la fois seront réalisées par l'opérateur, ce qui augmente le niveau d'attention requis lors du fauchage ainsi qu'une formation adéquate de celui-ci pour le dépistage.

Cette opération pourrait aussi être effectuée à pied ou en véhicule, lors du dépistage des mauvaises herbes, par exemple. Toutefois, cette méthode demande un temps supplémentaire et n'assure pas la même précision des données.

Équipement requis

- GPS de poche ou à bord du tracteur

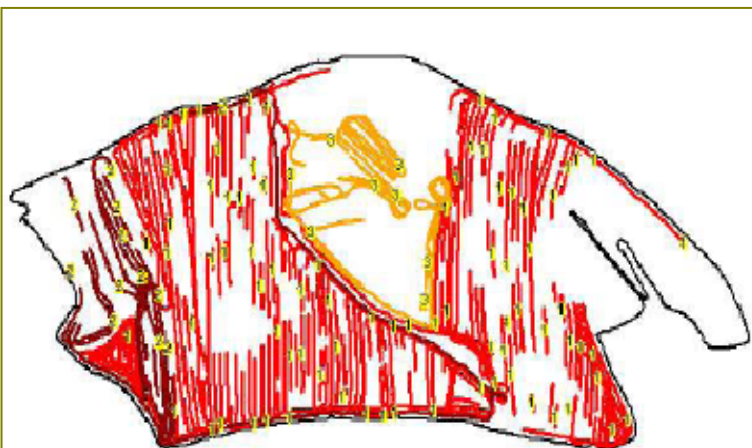


Écran GPS à bord du tracteur

Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans la production du bleuet semi-cultivé

Fiche d'information

À cette étape, il est important de **s'assurer que les données que l'on récupère pourront être facilement traitées par la suite**. Par exemple, il est important de travailler dans le même système de coordonnées géodésiques (ex. : WGS 84) lorsqu'un système différent est utilisé lors de l'identification des mauvaises herbes et lors de l'application localisée.



Carte de marquage des mauvaises herbes réalisée lors du fauchage

Une couleur différente pour chaque espèce pourrait être utilisée.

3) Transmettre les données au conseiller technique

Le transfert des données peut se faire par Internet ou par l'entremise de la carte-mémoire utilisée pour la collecte des données. Si le conseiller technique est le fournisseur d'équipement, celui-ci peut venir transférer les données directement à même le GPS installé à bord du tracteur.

4) Réalisation des cartes d'épandage

Pour cette étape, le soutien d'un conseiller technique est nécessaire. À partir des données acquises par le producteur et son agronome aux étapes 1, 2 et 3, le conseiller réalisera les cartes de planification des épandages.

Le conseiller s'assurera de la **compatibilité du format de données avec le système qui sera utilisé lors de l'épandage**.

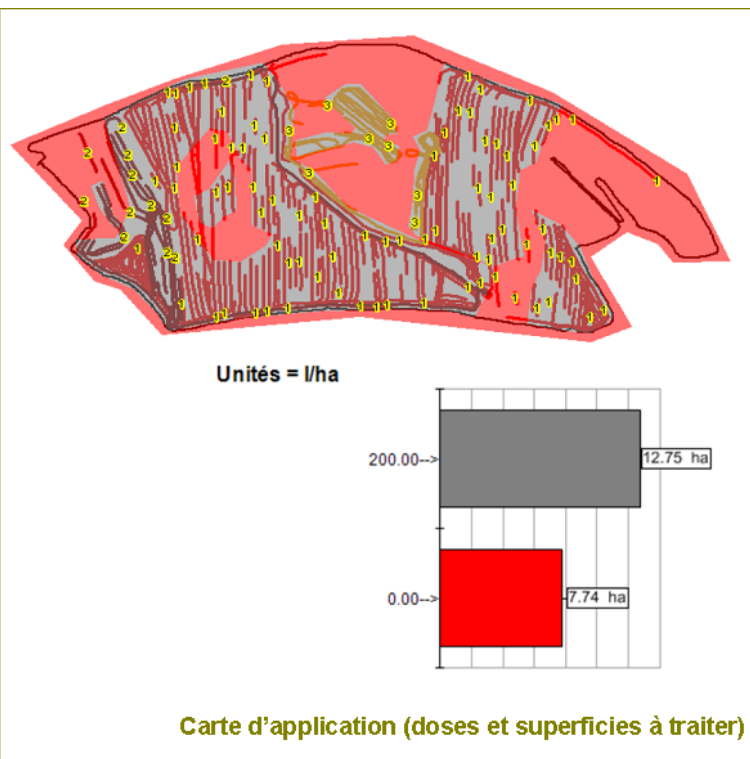
Considérant les limitations techniques que certains systèmes d'application peuvent avoir, il est impératif de tenir compte des erreurs dues au déphasage de l'équipement (vitesse d'avancement, position du GPS, délai entre l'ouverture de la valve et l'écoulement du produit à la bonne dose). **Il faut donc prévoir une zone de plus grande dimension pour pallier à ces carences reliées aux limitations techniques. Ainsi, le traitement des îlots de mauvaises herbes plus petits que 9 m² pourra difficilement être réalisé avec précision. Ces îlots devront soit être ignorés ou être traités sur une plus grande superficie.**

Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans la production du bleuet semi-cultivé

Fiche d'information

Équipement requis

- Ordinateur et logiciel de traitement de données



5) Application localisée des herbicides

Cette étape est réalisée par le producteur et consiste à appliquer au champ les herbicides de façon localisée sur les îlots de mauvaises herbes. Pour ce faire, les cartes d'épandage réalisées à l'étape 4 sont utilisées.

La **calibration de l'épandeur ou du pulvérisateur doit être effectuée préalablement**. De plus, le producteur doit s'assurer de la précision du système avant de débiter les épandages, afin que la dérive GPS ne nuise pas à la précision de l'opération. Le producteur doit donc **s'assurer du fonctionnement adéquat du système par un essai réel**. Pour ce faire, le soutien d'un spécialiste en équipement d'agriculture de précision est conseillé.

Durant l'application, le producteur doit suivre la carte et s'assurer que le système fonctionne correctement. Par exemple, il est possible que la réception du signal satellite soit dégradée lors du passage près d'un obstacle comme un brise-vent, ou que le système s'arrête pour une raison quelconque.

Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans la production du bleuet semi-cultivé

Fiche d'information

Équipement requis

- Tracteur muni d'un GPS et d'un ordinateur (idéalement le même qu'à l'étape 2);
- Contrôleur d'application à taux fixe ou taux variable (cet équipement est facultatif, mais permet au producteur d'améliorer son efficacité, la précision d'application et de diminuer les erreurs reliées à l'opérateur.



Une étude réalisée par Agrinova démontre une **réduction de l'utilisation de l'herbicide hexazinone (Velpar ou Pronone) de 51 à 81 %, ce qui représente une économie entre 98 et 164 \$ à l'hectare**. Ces résultats concordent avec des études réalisées dans des cultures autres que le bleuet semi-cultivé.

Pour plus de renseignements sur cette étude, communiquez avec Agrinova au numéro :

1 877 480-2732
info@agrinoa.qc.ca

Méthodologie pour l'application localisée d'herbicides dans la production du bleuet semi-cultivé

Fiche d'information

Document réalisé par :

Sophie Gagnon, agronome, Agrinova
Samuel Morissette, agronome, Agrinova
Bruno Bouchard, ingénieur, Lagüe Précision

Avec la participation financière de :





ANNEXE 3.
QUESTIONNAIRE POUR L'ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Données

- Superficie totale moyenne traitée de façon locale avec la technologie GPS et en pleine couverture;
- Efficacité moyenne de l'application (pleine couverture);
- Efficacité de l'application selon le type de mauvaises herbes (pleine couverture);
- Taux relatif de présence de chaque variété de mauvaises herbes par hectare;
- Couverture moyenne des mauvaises herbes en pourcentage;
- Type de couverture des mauvaises herbes (distribution en petits, moyens ou grands îlots ou homogène);
- Impact sur le rendement en bleuets (pleine couverture).

Informations empiriques

- Est-ce que la lutte contre les mauvaises herbes dans les bleuetières est facile? Est-ce que celles-ci restent sensiblement au même endroit?
- Quel est le pourcentage de producteurs qui effectuent deux années de récolte au lieu d'une seule?
- De façon générale, les producteurs appliquent-t-ils plus du Velpar (hexazinone liquide) ou du Pronone (granulaire)? Quelles sont les grandes différences (efficacité, temps d'application, coûts)?
- Quelles sont les doses d'application selon le type de mauvaises herbes?
- Est-ce que la technologie GPS semble accessible en région?
- Est-ce que l'expertise semble disponible en région?
- Quels intérêts les producteurs recherchent-ils avec cette technologie (diminution des coûts, diminution de l'utilisation des herbicides)?
- Quelles sont les limites à l'utilisation du GPS (efficacité de la technologie, grosseur de la bleuetière, absence de seuils de tolérance)?
- Quelle a été l'augmentation du prix des facteurs (technologie, herbicides) depuis les cinq dernières années?
- Quelles sont les opérations à effectuer pour l'application à l'aide de la technologie GPS et le temps requis pour chaque opération (cartographie, marquage des mauvaises herbes, préparation et installation)?



ANNEXE 4.

DÉTAILS POUR LES CALCULS DE L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

| Coût variable | Valeur | Quantité | Pessimiste | Quantité | Réaliste | Quantité | Optimiste | Quantité | Pleine couverture |
|---------------------------------------|--------|----------|---------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|-------------------|
| Approvisionnement | | | | | | | | | |
| Herbicide (Velpar) \$/(kg) | 96 | 111,25 | 10 680 | 76,125 | 7 308 | 42,5 | 4 080 | 225 | 21 600 |
| Opération culturale | | | | | | | | | |
| Application (\$/ha) | 2 | 100 | 200 | 90 | 180 | 80 | 160 | 100 | 200 |
| Autre coût | | | | | | | | | |
| Main-d'oeuvre | | | | | | | | | |
| Application (\$/ha)* | 3 | 100 | 300 | 90 | 270 | 80 | 240 | 100 | 300 |
| Cartographie (\$/h) | 16 | 20 | 320 | 20 | 320 | 20 | 320 | 0 | 0 |
| Calibration (\$/h) | 16 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 | 2 | 32 |
| Total des coûts variables (\$) | | | 11 532 | | 8 110 | | 4 832 | | 22 132 |
| Coût fixe* | | | | | | | | | |
| Machinerie et équipement (\$) | 1269 | 1 | 1 269 | 1 | 1 269 | 1 | 1 269 | 1 | 1 269 |
| Intérêt investissement (\$) | 844 | 1 | 844 | 1 | 844 | 1 | 844 | 0 | 0 |
| Total des coûts fixes (\$) | | | 2 113 | | 2 113 | | 2 113 | | 1 269 |
| TOTAL | | | 13 645 | | 10 223 | | 6 945 | | 23 401 |

* Références CRAAQ. Juin 2004