



## Synthèse du projet

# Méthodes de protection contre le gel du bleuet sauvage cultivé - Marché frais

Décembre 2023

Responsable scientifique : Carl Boivin, agr., M. Sc.

Ce document a été produit à l'attention du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.



À l'IRDA, on **collabore**, on se **questionne**, on **explore** et on **progressé** ensemble dans la même direction : celle d'une agriculture saine, dynamique et performante.

Nous sommes des **scientifiques**, mais aussi des **gens de terrain** qui **collaborent** avec l'ensemble du milieu agricole.

Notre mission consiste à innover en agroenvironnement pour créer ensemble la production agricole de demain. Consulter le [www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca) pour en connaître davantage sur l'Institut et ses activités.

## Question ou commentaire

Carl Boivin  
Responsable scientifique  
T : 418 643-2380, poste 430  
[carl.boivin@irda.qc.ca](mailto:carl.boivin@irda.qc.ca)

## Auteurs du rapport

---

Carl Boivin, agr., M. Sc., Chercheur, IRDA  
Lélia Anderson, agr., M. Sc., Professionnelle de recherche, IRDA  
Jérémy Vallée, agr., Professionnel de recherche, IRDA

## Équipe de réalisation

---

Guy Marcil, Gérant et responsable de la production, Bleuetière Coopérative Normandin  
Mick Wu, Ph. D., Biostatisticien, IRDA  
Antoine Lamontagne, Technicien agricole, IRDA  
Francis-Olivier Lortie, Technicien agricole, IRDA  
Félix Lavoie-Lochet, Technicien agricole, IRDA  
Megann Desrochers, Technicienne agricole, IRDA  
Sébastien Rougerie-Desrochers, M. Sc., Météorologue, IRDA  
Pierre-Olivier Martel, agr., Conseiller en horticulture fruitière, DRSLSJ du MAPAQ  
Evelyne Barriault, agr., Conseillère en arboriculture fruitière et viticulture, DRM-O du MAPAQ

## Collaborateurs

---

Andrée Tremblay, Technicienne agricole, DRSLSJ du MAPAQ  
Benoît Poiraudéau, Technicien agricole, DRSLSJ du MAPAQ

## Partenaires de réalisations et de financement

---

Nutrablu  
Bleuetière Coopérative Normandin  
Dubois Agrinovation

Ce projet pilote a été financé par l'entremise du Programme de développement sectoriel, mis en œuvre en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, selon une entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.



Canada Québec 

## Ce document peut être cité comme suit :

Boivin, C., L. Anderson et J. Vallée. 2023. Synthèse du projet - Méthodes de protection contre le gel du bleuet sauvage cultivé - Marché frais. IRDA. 15 pages.

# TABLE DES MATIÈRES

1	Mise en contexte.....	1
2	Scénario global de protection des fruits contre le gel utilisé pour ce document .....	2
3	Description techniques des méthodes de protections évaluées et du déploiement de ces dernières selon le scénario présenté .....	2
3.1	Bâche.....	2
3.2	Brise-vent .....	2
3.3	Irrigation par aspersion .....	2
3.4	Machine à vent.....	2
3.5	Irrigation du sol sec .....	2
4	Tableau comparatif des méthodes selon les éléments considérés (contexte bleuets sauvages cultivés) .....	3
5	Éléments considérés pour comparer les méthodes.....	5
5.1	Règlementation.....	5
5.2	Autre condition préalable .....	5
5.3	Fournisseurs .....	5
5.4	Service après-vente .....	5
5.5	Énergie .....	5
5.6	Mise en place .....	5
5.7	Opération .....	5
5.8	Entretien.....	6
5.9	Coût d'investissement.....	6
5.10	Durée de vie .....	6
5.11	Coût total/ha .....	6
5.12	Seuil de rentabilité .....	6
5.13	Probabilité d'atteindre le seuil de rentabilité.....	6
5.14	Risque phytosanitaire.....	6
5.15	Perte de superficies cultivables.....	6
5.16	Gêne opérations culturales dont la récolte.....	6
5.17	Impacts sur le système cultural.....	7
5.18	Risque sanitaire.....	7
5.19	Nuisance sonore.....	7
5.20	Biodiversité.....	7
5.21	Portée de la méthode de protection.....	7
5.22	Facteurs qui peuvent affecter la portée .....	7
5.23	Surveillance lorsqu'en opération lors d'un épisode de gel .....	7
5.24	Surveillance hors opération .....	7
5.25	Gain possible en température.....	8
5.26	Facteurs qui augmentent l'efficacité des méthodes .....	8
5.27	Facteurs qui diminuent l'efficacité .....	9
5.28	Autres usages possibles .....	9
6	Discussion et Stratégies possibles.....	10
7	Références.....	11
	Annexe A – Clé diagnostique des risques de gel en fonction des conditions .....	12
	Annexe B – Photos - Méthodes de protection .....	13

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Bâche Novagryl 38 g/m <sup>2</sup> .....	13
Figure 2. Dérouleuse/enrouleuse spécialisée du System Hiwer a) vue montée sur tracteur, b) vue d'ensemble de l'assemblage arrière, c) vue des pièces de l'assemblage du collecteur avant (figures adaptées du feuillet technique du fabricant Hiwer, Suède). .....	13
Figure 3. Brise-vent, vue aérienne. ....	14
Figure 4. Système d'irrigation (celui utilisé pour le projet).....	14
Figure 5. Glace formée sur les plants à la suite d'une irrigation contre le gel. ....	15
Figure 6. Machine à vent (250H, Tow and Blow). ....	15

## 1 MISE EN CONTEXTE

Ce projet pilote s'articule autour d'un contexte de production de bleuets sauvages cultivés pour une mise en marché à l'état frais. Actuellement, ce débouché est plutôt marginal, lorsque comparé au volume qui est commercialisé à l'état congelé. Pour que ce secteur puisse se développer efficacement, il faut sécuriser l'approvisionnement en bleuets frais et l'enjeu de taille est la protection contre le gel. L'efficacité de l'irrigation comme méthode de protection des cultures contre le gel n'est plus à démontrer, quoiqu'il y ait certainement place à améliorer l'efficacité. De plus, cette méthode est peu utilisée dans le contexte actuel de production et son déploiement demeure un sujet de questionnement. L'adoption de l'irrigation doit d'abord pouvoir s'appuyer sur un approvisionnement en eau suffisant. Le contexte se prêtait donc à évaluer, en plus de l'irrigation, d'autres méthodes de protection comme la bâche et la machine à vent, qui ont fait leurs preuves dans d'autres productions.

Ce document est en quelque sorte le format « de poche » du rapport complet qui a été rédigé sur le projet.

Les éléments considérés sont d'abord présentés dans un tableau synthèse, puis brièvement discutés par la suite. L'essentiel de ces éléments sont approfondis dans le rapport complet où une colonne du tableau synthèse est dédiée pour y indiquer la ou les section(s) correspondante(s). Enfin, en ce qui a trait à la légende utilisée (carré vert, losange jaune et rond rouge) cela se veut un indicatif visuel pour rapidement se faire une idée si un élément est davantage à surveiller pour une méthode en particulier.

Un format « audio » a aussi été produit. Le balado en question est disponible via « (EAU)trement dit » à l'épisode nommé « Bleuets gel ».

<https://eautrementdit.buzzsprout.com/>

## 2 SCÉNARIO GLOBAL DE PROTECTION DES FRUITS CONTRE LE GEL UTILISÉ POUR CE DOCUMENT

Aucune protection contre le gel n'est considérée dans les quatre premières semaines de récolte (août). Le déploiement des méthodes débute à la 5<sup>e</sup> semaine, et ce, jusqu'à la 8<sup>e</sup> où la superficie récoltée hebdomadairement est de 2,5 ha (septembre). La superficie à protéger à la semaine 5 est donc de 10 ha et cet objectif diminue de 2,5 ha par semaine. Principalement pour supporter le volet économique, il est supposé que 2 épisodes de gel surviennent hebdomadairement de la 5<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> semaine.

## 3 DESCRIPTION TECHNIQUES DES MÉTHODES DE PROTECTIONS ÉVALUÉES ET DU DÉPLOIEMENT DE CES DERNIÈRES SELON LE SCÉNARIO PRÉSENTÉ

### 3.1 BÂCHE

Il s'agit de la Novagryl plus (Berry Agriculture) de 38 g/m<sup>2</sup> en polypropylène non tissé (Dubois Agrinovation) (Figure 1). La manipulation des bâches a été effectuée à l'aide d'une dérouleuse/enrouleuse (System Hiwer) (Figure 2). Le coût d'achat de cet équipement était de 9160 \$ en mai 2023, auquel il faut ajouter le coût pour les « roues » sur lesquelles sont enroulées les bâches (485 \$/unité). Dans le scénario actuel, il faut 6 unités de bâche (16,5 m x 250 m) pour chacun des 4 champs de 2,5 ha à protéger. Il faut aussi 625 sacs de gravier/champ pour maintenir les bâches en place. Le coût d'achat en mai 2023 était évalué à 2592 \$/bâche et 1,69 \$/sac.

### 3.2 BRISE-VENT

Les haies brise-vent présentes aux sites des essais sont composées de pins gris ou de pins rouges d'une hauteur approximative de 7 m. Ces derniers sont espacés aux 2 m et les brise-vent ont une porosité d'environ 30 % (Figure 3).

### 3.3 IRRIGATION PAR ASPERSION

Pour couvrir 10 ha, 300 gicleurs sont considérés (WR33 avec buse 5/32") et ils sont installés sur des tuyaux d'aluminium. Ces derniers sont alimentés par une pompe PTO (IKPO D3/101-540P) mue par un tracteur de 125 HP. Le coût d'un tel système, excluant le tracteur, est de 161 740 \$. Le système présenté à la Figure 4 est celui utilisé dans le cadre du projet et non celui décrit dans le cadre de ce scénario.

### 3.4 MACHINE À VENT

La machine à vent mobile utilisée est le modèle 250H de la compagnie Tow and Blow qui est située en Nouvelle-Zélande (Figure 6). Elle est constituée d'un ventilateur axial à 5 pales surdimensionnées qui peut être hissé jusqu'à 8,5 m du sol à l'aide d'un bras hydraulique. L'entraînement du ventilateur est mu par un moteur diesel développant 17,6 kW. Le bras hydraulique se déplace sur un axe vertical de 360°. Le nombre de degrés de rotation vertical peut être ajusté via des butées de pivotement fournies avec la machine. L'air est soufflé à 82 km/h suivant une trajectoire légèrement inclinée vers le sol (ajustable entre 1° et 14°). La vitesse de rotation du bras hydraulique est réglable. Le volume du réservoir de diesel permet d'avoir une autonomie d'environ 12 heures. Le coût d'achat considéré pour l'analyse économique est celui de 2023, soit 53 750 \$. Pour le scénario actuel, 1 unité de machine à vent par champ de 2,5 ha est nécessaire, pour un total de 4 unités.

### 3.5 IRRIGATION DU SOL SEC

Cette méthode a été exclue de cet exercice compte tenu de son inefficacité. Cette méthode est présentée dans le rapport final à la section 4 (Anderson et coll., 2023).

#### 4 TABLEAU COMPARATIF DES MÉTHODES SELON LES ÉLÉMENTS CONSIDÉRÉS (CONTEXTE BLEUET SAUVAGE CULTIVÉ)

Section (rapport)	Éléments considérés	Bâche	Brise-vent	Irrigation	Machine à vent
	<b>Règlementation</b>	Aucune (À notre connaissance) ■	Possible ◆	Probable (Autorisation prélèvement) ◆	Aucune (À notre connaissance) ■
	<b>Autre condition préalable</b>	Aucune (À notre connaissance) ■	Aucune (À notre connaissance) ■	Approvisionnement en eau suffisant ◆	Aucune (À notre connaissance) ■
	<b>Fournisseurs (N<sup>bre</sup>)</b>	Moyen ◆	Plusieurs ■	Plusieurs ■	Peu ●
	<b>Service après-vente (QC)</b>	Oui ■	s.o.	Oui ■	Non ◆
3.2.3	<b>Énergie (Fonctionnement)</b>	s.o.	s.o.	Pompe diesel/électrique	Diesel
3.2.3	<b>Mise en place</b>	Exigeante (Main-d'œuvre) ●	1 fois, long terme ■	Moy. exigeante/Système enfoui possible ◆	Simple ■
3.2.3	<b>Opération</b>	Manuel/Semi mécanisé ◆	s.o.	Manuel, automatisation possible ◆	Automatisé ■
3.2.3 4.1.1	<b>Entretien</b>	Réparation déchirures ◆	Taille ◆	Colmatage filtre, étanchéité système ◆	Mécanique ◆
Annexe 8 (CECPA)	<b>Coût d'investissement (\$/10 ha)</b>	95 075 ■	Non évalué	189 410 ◆	215 000 ◆
Annexe 8	<b>Durée de vie (Ans)</b>	3 ◆	Élevé ■	15 ■	12 ■
Annexe 8	<b>Coût total/ha</b>	2918	Non évalué	2681	3114
Annexe 8	<b>Seuil de rentabilité (kg fruits supplémentaires)</b>	10 878	Non évalué	10 075	10 570
Annexe 8	<b>Probabilité d'atteindre seuil rentabilité</b>	Faible ◆	Non évaluée ●	Élevée (En absence de défectuosité) ■	Faible ●
	<b>Risque phytosanitaire</b>	Non observé (Envisageable) ◆	Refuge insectes ■◆	Non observé (Envisageable) ◆	Assèchement feuillage ■
3.2.3	<b>Perte surperfcies récoltables/cultivables</b>	Ancrage avec sacs de sable ◆	Oui ◆	Tuyaux en surface ◆	Minime ■
3.2.3	<b>Gêne opérations culturales/récolte</b>	Oui ●	Non ■	Tuyaux en surface ◆	Impact minime ■
	<b>Impacts système cultural envisageables</b>	Mauvaises herbes, insectes, champignons ◆		Asphyxie racine, lessivage N ◆	Aucune (À notre connaissance) ■
	<b>Risque sanitaire</b>	Non évalué (Envisageable) ◆	Aucune (À notre connaissance) ■	Non évalué (Envisageable) ◆	Aucune (À notre connaissance) ■
	<b>Nuisance sonore</b>	Aucune ■	Aucune, effet protecteur ■	Possible (Pompe diesel) ◆	Oui ●
	<b>Biodiversité</b>	Non évalué	Non évalué (Envisageable)	Non évalué	Non évalué

## TABLEAU (SUITE)

Section (rapport)	Éléments considérés	Bâche	Brise-vent	Irrigation	Machine à vent
4.1.5 Annexe 5	<b>Portée</b>	Dimension bâche	10 <sup>ers</sup> m (Arbres matures)	Design du système	1-3 ha, patron circulaire variable
3.2.3 4.1.5	<b>Facteur affecte portée</b>	Déchirures	Direction du vent	Vent (Dérive)	Pente, direction vent, vitesse vent, brise-vent
	<b>Surveillance (Opération/épisode gel)</b>	Minimale	Aucune	Élevée	Vent
3.2.3	<b>Surveillance (Hors période gel)</b>	Vent et chaleur	Aucune	Minimale	Réservoir diesel/batterie démarrage
4.1.5	<b>Gain possible température</b>	Environ 2 °C	1,5 à 2 °C	Maintient près de 0 °C	10 à 50 % de l'inversion de temp., moy. 3 °C
<b>Facteurs qui augmentent l'efficacité :</b>					
4.1.5.1	Type de gel	Radiatif		Tous	Radiatif
4.1.5.3 Annexe 8	Topographie terrain		Gel radiatif et pente (risque accumulation air froid)		Plat (Favorable radiatif), Pente (Portée)
3.2.4 Annexe 3	Condition diurne précédente	Ensoleillée			Ensoleillée
4.1.5.2.1	Autres	Minimum 38 g/m <sup>2</sup>			
<b>Facteurs qui diminuent l'efficacité :</b>					
3.2.4 4.1.5.1	Type de gel	Advectif	Advectif (selon direction vent et perméabilité haie)		Advectif
3.2.4 Annexe 3	Condition diurne				
4.1.5.1	Vent	Vent > 5-6 km/h	Vent > 5 km/h		Vent > 4 km/h, direction affecte patron
<b>Autres éléments à considérer :</b>					
		Gestion des déchets (Post vie utile)			
<b>Autres usages possibles :</b>					
		Hâtivité printemps	Protect. gel hiver (neige uniforme)	Protection contre stress hydrique	Refroidissement culture/cheptel
			Protection contre le vent		
			Refuge oiseaux		
			Diminution érosion éolienne		
			Protection pollinisateurs		
			Limite dérive pesticides		



## 5 ÉLÉMENTS CONSIDÉRÉS POUR COMPARER LES MÉTHODES

Les éléments présentés dans le tableau précédent sont brièvement décrits dans cette section.

### 5.1 RÈGLEMENTATION

À notre connaissance, il n'y a pas de réglementation à considérer pour l'utilisation de bâches. Pour la machine à vent et le brise-vent, certaines municipalités pourraient avoir des règlements. Pour l'irrigation, il est fort probable qu'une autorisation de prélèvement en eau soit nécessaire.

### 5.2 AUTRE CONDITION PRÉALABLE

En ce qui a trait à la l'irrigation, une autre condition est à respecter, soit de valider si l'approvisionnement en eau est suffisant pour assurer un déploiement sans contrainte.

Pour la machine à vent, la sonde de température est située à 1,5 m du sol (plus chaud qu'à 0,20 m, hauteur des fruits). Lors d'un gel, il faut donc déclencher la machine à une température plus élevée pour s'assurer d'éviter un gel au niveau des fruits. Un « étalonnage » est donc nécessaire. Dans des conditions similaires à celle de l'étude, une consigne de déclenchement à 6 °C à 1,5 m pourrait être adéquate.

### 5.3 FOURNISSEURS

À notre connaissance, il n'y a aucun fournisseur de machines à vent mobiles neuves au Québec. Il y en a en Ontario et en Colombie-Britannique. Il y a plusieurs fournisseurs de systèmes d'irrigation au Québec, alors que pour la bâche le nombre est plus faible.

### 5.4 SERVICE APRÈS-VENTE

Le service après-vente demande un peu plus d'effort en ce qui a trait à la machine à vent. La langue et la distance sont les principales contraintes. Pour les autres méthodes, la présence de fournisseurs au Québec est facilitante.

### 5.5 ÉNERGIE

Aucune énergie n'est nécessaire pour les deux méthodes dites passives, soit pour la bâche et pour le brise-vent. En ce qui a trait à l'irrigation, selon le scénario proposé, la pompe est actionnée via la prise de force d'un tracteur qui fonctionne au diesel. La machine à vent fonctionne au diesel.

### 5.6 MISE EN PLACE

Le besoin en main-d'œuvre pour la mise en place des bâches peut devenir exigeant, surtout pour la manipulation des poids (sacs de gravier) qui maintiennent la bâche en place. Les manipulations nécessaires pour la mise en place et le retrait des bâches peuvent se « semi-mécaniser » à l'aide d'une enrouleuse/dérouleuse (System Hiwer) qui est fixée et qui est mue par le tracteur (voir Figure 2). Pour le brise-vent, la mise en place se limite à l'implantation de ce dernier. Le système d'irrigation en présence doit être déplacé. La machine à vent est mobile et peu facilement être déplacé d'un site à l'autre.

### 5.7 OPÉRATION

La bâche doit être installée avant l'épisode de gel et l'opération s'effectue de façon manuelle ou semi-mécanisée. Pour ce scénario, le système d'irrigation est déclenché manuellement lorsqu'il y a risque de gel, mais il est possible d'automatiser cette opération. La machine à vent démarre automatiquement selon la consigne de déclenchement entrée dans la programmation.

## 5.8 ENTRETIEN

La nature arbustive du bleuetier est propice à occasionner des déchirures à la bâche lors des manipulations et lors de conditions venteuses. Il s'agit alors de réparer ces déchirures. Le brise-vent nécessite une taille d'entretien. Le colmatage du filtre est un élément à surveiller, tout comme la présence de fuites, lorsqu'il est question d'un système d'irrigation. Les composantes mécaniques de la machine à vent nécessitent un entretien.

## 5.9 COÛT D'INVESTISSEMENT

Le coût d'investissement inclut le coût d'achat et le transport (bâche, irrigation, machine à vent) auxquels s'ajoute l'enrouleuse/dérouleuse pour la bâche. Ce coût est évalué à respectivement 95 075 \$, 189 410 \$ et 215 000 \$ pour protéger 10 ha avec les bâches, avec l'irrigation et avec les machines à vent. Voir analyse économique (CECPA, 2023).

## 5.10 DURÉE DE VIE

La durée des bâches est évaluée à 3 ans, compte tenu de l'environnement d'une bleuetière qui est propice aux déchirures. Respectivement 15 et 12 ans pour le système d'irrigation et la machine à vent.

## 5.11 COÛT TOTAL/HA

Le coût total est estimé à respectivement à 2918, 2681 et 3114 \$/ha pour la bâche, l'irrigation et la machine à vent. Ces estimations incluent les coûts fixes et variables, ainsi que les coûts supplémentaires conséquents à l'opération des méthodes de protection.

## 5.12 SEUIL DE RENTABILITÉ

Le seuil de rentabilité est exprimé en kg de fruits récoltés à partir de la 5<sup>e</sup> semaine (kg supplémentaires). Ce seuil est comparable d'une méthode à l'autre et il est atteint de justesse à la fin de la 6<sup>e</sup> semaine (pour bâche, irrigation et machine à vent).

## 5.13 PROBABILITÉ D'ATTEINDRE LE SEUIL DE RENTABILITÉ

L'irrigation est la méthode dont la probabilité d'atteindre le seuil de rentabilité est la plus élevée. Cette probabilité dépend grandement des conditions en présence lors des gels pour les autres méthodes.

## 5.14 RISQUE PHYTOSANITAIRE

Quoiqu'il n'ait pas été observé, il est envisageable que ce risque soit influencé par les méthodes de protection. Étant donné le moment de l'année, il est peu probable que l'irrigation ait un effet sur les maladies. Dans le cas de la protection des fleurs, les risques de pourriture sclérotique sont plus élevés.

## 5.15 PERTE DE SUPERFICIES CULTIVABLES

Le pourtour de la bâche est utilisé pour y accueillir les sacs de gravier qui maintiennent le tout en place. Les fruits présents dans cette zone sont donc sujets à être endommagés, tout comme ceux qui se retrouvent dans les voies de circulation du tracteur et de la main-d'œuvre. L'implantation d'un brise-vent utilise une superficie de terrain cultivable. Les tuyaux sont déposés au sol et occupent un certain espace. En ce qui a trait à la machine à vent, les pertes sont minimales.

## 5.16 GÊNE OPÉRATIONS CULTURALES DONT LA RÉCOLTE

La bâche doit être enlevée pour la récolte. Le moment où elle est installée ne devrait pas entrer en conflit avec des opérations culturales. Si le système d'irrigation est installé tôt en saison, il est possible que ce dernier gêne le passage du tracteur. L'utilisation d'une machine à vent mobile gêne très peu les opérations culturales.

### 5.17 IMPACTS SUR LE SYSTÈME CULTURAL

Quoique non évalué, il est envisageable que le microclimat attribuable à la mise en place de la bâche exerce une influence sur le cycle de certains insectes et champignons de même que sur le développement de certaines mauvaises herbes. La bâche peut aussi retarder l'aoûtement des bleuets. Celle-ci devrait être surveillée s'il y a une taille automnale, pour s'assurer que les plants aient accumulé suffisamment de réserves pour ne pas affecter la reprise de la croissance au printemps suivant (Gagnon, 2014). L'irrigation implique plusieurs heures d'opérations qui peuvent être favorables au lessivage de l'azote dans le sol et à des conditions anaérobiques pour les racines.

### 5.18 RISQUE SANITAIRE

Quoique non observé, ce risque est envisageable dans un contexte où une bâche est en contact avec des fruits. La qualité de l'eau est certainement un élément qui devrait être considéré pour une mise en marché à l'état frais du bleuet, car cela pourrait affecter la salubrité des fruits. En ce qui a trait au brise-vent, il peut possiblement servir de refuge pour les insectes bénéfiques et nuisibles.

### 5.19 NUISANCE SONORE

La machine à vent et l'irrigation (pompe diesel) sont des sources de bruits qui peuvent être importantes. Alors que les brise-vent peuvent jouer un certain rôle d'écran acoustique.

### 5.20 BIODIVERSITÉ

Cet élément n'a pas été évalué dans ce projet. Il est toutefois connu que le brise-vent a un effet positif sur la nidification des insectes pollinisateurs et l'amélioration de la biodiversité (Gagnon et coll., 2014).

### 5.21 PORTÉE DE LA MÉTHODE DE PROTECTION

Pour la bâche, il s'agit des dimensions de cette dernière. Pour un brise-vent constitué d'arbres matures, les 10 premiers mètres ont un effet mesurable sur la température de l'air. La portée du système d'irrigation dépend de son design. Selon les conditions météorologiques et l'environnement physique, la machine à vent peut avoir une portée de 1 à 3 ha.

### 5.22 FACTEURS QUI PEUVENT AFFECTER LA PORTÉE

Les déchirures peuvent affecter la superficie protégée par la bâche. La direction et la vitesse du vent affectent la portée de l'influence du brise-vent (>5 km/h) sur la température de l'air. La machine à une portée qui varie en fonction des conditions en présence lors des gels. Pour l'irrigation, de forts vents peuvent occasionner de la dérive et affecter la portée. Le colmatage de gicleur affecte également la zone de protection pour l'irrigation.

### 5.23 SURVEILLANCE LORSQU'EN OPÉRATION LORS D'UN ÉPISODE DE GEL

Cette surveillance est minimale pour la bâche, inexistante pour le brise-vent. Pour les méthodes actives, la surveillance est plus importante. Le bon fonctionnement du système d'irrigation doit faire l'objet d'une surveillance constante. La vitesse des vents devrait être surveillée pour éviter un déclenchement de la machine en présence de vents forts (> 35 km/h) car cela pourrait l'endommager.

### 5.24 SURVEILLANCE HORS OPÉRATION

Principalement les déchirures et les conditions chaudes pour la bâche. Pour le système d'irrigation, la surveillance se limite à ne pas endommager le système lors des passages au champ. En ce qui a trait à la machine à vent, il sera nécessaire de faire le plein de diesel entre les épisodes de gel, de vérifier les niveaux d'huile et de s'assurer que la batterie est suffisamment chargée pour un démarrage réussi en mode automatique.

## 5.25 GAIN POSSIBLE EN TEMPÉRATURE

Lors d'un épisode de gel, le gain moyen de la température de l'air qui a été mesuré est de 1,1 °C pour la bâche, entre 1,5 et 2 °C pour le brise-vent (à 10 m) et de 3 °C pour la machine à vent. Selon les conditions, il est possible de récupérer entre 10 et 50 % (env. 33 %) de l'inversion de température (observée entre le sol et à 10 m de hauteur) avec la machine à vent. Selon l'intensité de l'épisode de gel, ce gain n'a pas toujours été suffisant pour assurer une protection aux fruits. Pour l'irrigation, elle permet de maintenir la température près de 0 °C, et à moins d'une défaillance technique, elle a permis de protéger les fruits adéquatement.

## 5.26 FACTEURS QUI AUGMENTENT L'EFFICACITÉ DES MÉTHODES

### 5.26.1 Type de gel

Un gel radiatif est favorable à l'efficacité de la bâche, de la machine à vent et des brise-vent (zones près de ceux-ci), à condition que l'orientation et la porosité de ces derniers ne créent pas d'accumulation d'une masse d'air froid.

En ce qui a trait à la machine à vent, l'efficacité dépend beaucoup des conditions météorologiques pour être efficace. En présence de vents faibles, elle est plus efficace dans le sens de la pente descendante (plus grande portée). Toutefois, l'orientation de la zone de protection n'est pas homogène et varie selon les conditions. Des vents > 4 km/h mènent à un déclin marqué de son efficacité.

### 5.26.2 Topographie du terrain

Les sites peu venteux sont favorables aux gels de type radiatif, ce qui peut avantager la bâche et la machine à vent. Une faible pente peut augmenter la portée de la machine à vent, à la condition que la vitesse du vent soit faible.

Des conditions radiatives sur un terrain en pente créent des écoulements de masses d'air froid qui peuvent rester bloquées contre des obstacles (ex. : haies, boisé, bâtiment) et créer des conditions de gels locales. Prévoir des sorties pour l'écoulement des masses d'air froid devrait faire partie de la stratégie de lutte intégrée contre le gel (Bellemare et coll., 2017).

La machine à vent devrait être installée dans un endroit où il n'y a pas d'obstacles à l'écoulement de l'air pour éviter de limiter sa portée (ex. : brise-vent).

### 5.26.3 Condition diurne qui précède l'évènement de gel

Une journée ensoleillée est favorable à l'accumulation de chaleur par le sol et devient une situation favorable pour la bâche et la machine à vent.

### 5.26.4 Autres

En ce qui a trait à la bâche, les résultats intéressants n'ont été obtenus qu'à partir d'une densité de 38 g/m<sup>2</sup>.

## 5.27 FACTEURS QUI DIMINUENT L'EFFICACITÉ

### 5.27.1 Type de gel

La machine à vent, la bâche et le brise-vent ne sont pas efficaces en condition advective. Elles performant aussi plus faiblement lorsque les conditions radiatives sont accompagnées de vents modérés  $\approx 5$  km/h. L'irrigation fonctionne en condition advective et radiative à condition que le design soit adapté aux conditions d'utilisation. Un système d'irrigation utilisé dans des conditions advectives est moins performant. Il faut prévoir un taux d'application plus élevé pour garder la même efficacité quand les nuits sont plus venteuses. S'il n'est pas possible d'augmenter le taux, l'irrigation ne protégera pas bien contre le gel, et pourrait même l'accélérer.

### 5.27.2 Condition diurne qui précède l'évènement de gel

#### Journée ensoleillée

Une journée où il y a plusieurs heures d'ensoleillement va permettre au sol d'emmagasiner de l'énergie. Ce type de journée est favorable à une bonne performance de la machine à vent et de la bâche.

#### Vent

Des vents de 5 km/h vont grandement diminuer l'efficacité de la bâche et des brise-vent. Pour la machine à vent, des vents supérieurs à 4 km/h vont négativement affecter l'efficacité. De plus, si la direction du vent change d'un épisode de gel à l'autre, cela diminuera grandement la superficie qui aura été à la portée de la machine à vent.

## 5.28 AUTRES USAGES POSSIBLES

D'autres usages du matériel utilisé pour les méthodes de protections contre le gel sont possibles. La machine à vent peut aussi être utilisée pour le refroidissement du bétail ou des cultures (refroidissement par évaporation de l'eau brumisé). Le système d'irrigation peut servir à protéger la culture contre le stress hydrique. La bâche peut être utilisée pour favoriser un débourrement hâtif au printemps. Et finalement, les brise-vent offrent des bénéfices comme la protection contre le gel hivernal en favorisant une couche de neige uniforme, la protection contre le vent, un refuge pour les oiseaux, une diminution de l'érosion éolienne, une protection pour les pollinisateurs et la diminution de la dérive des pesticides.

## 6 DISCUSSION ET STRATÉGIES POSSIBLES

Les résultats de ce projet supportent le fait que l'irrigation est la méthode de protection contre le gel la plus efficace dans la majorité des conditions. Les autres méthodes offrent un degré de protection très dépendant des conditions météo en plus d'être moins efficaces pour maintenir la température au-dessus de 0 °C.

L'irrigation est la seule méthode de protection qui a permis de maintenir la température de l'air au-dessus de -2,2 °C, soit le seuil de protection visé, jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre (2020 à 2023). L'efficacité de la méthode par « irrigation du sol sec » est comparable au témoin « non-protégé ». En 2020, le brise-vent a permis de gagner une journée de récolte, comparativement à une zone « non protégée ». En ce qui a trait aux bâches en 2020 et 2021, la date maximale de protection est peu différente du témoin. Ces dernières ont permis de gagner 1 ou 2 °C, pour des épisodes de gel à -8 °C (19 septembre 2020) et à -5 °C (3 septembre 2021). En 2022, soit une saison où les gels sont survenus tardivement, la bâche de 38 g/m<sup>2</sup> a permis de prolonger la récolte jusqu'au 29 septembre. La machine à vent offre une protection variable, qui dépend de l'amplitude de l'inversion de la température de l'air entre le niveau du sol (plus froid) et à 10 m de celui-ci (plus chaud), et ce, en contexte de gel radiatif. La durée de protection que la machine a pu apporter de 2020 à 2023 est comparable à celle de la bâche de 38 g/m<sup>2</sup>. Des gels de fortes intensités (<-5 °C) ont été mesurés en 2020 et 2021 et ont été suivis par des épisodes de plus faible intensité. Cette distribution des épisodes de gel dans le temps implique d'exclure rapidement les méthodes moyennement et peu performantes.

En s'appuyant sur le critère du « -2,2 °C », l'irrigation a été la méthode la plus efficace, suivie (ex æquo) de la bâche de 38 g/m<sup>2</sup> et de la machine à vent. Toutefois, pour ce qui est de maintenir la fermeté du bleuets, la performance de la machine à vent est comparable aux méthodes « perdantes ». Cela s'explique possiblement par l'orientation du vent du vent qui est variable d'un épisode de gel à l'autre. Viennent ensuite la bâche de 19 g/m<sup>2</sup>, le brise-vent et l'irrigation du sol sec. Le brise-vent est la moins mauvaise des « méthodes » perdantes, car elle a offert un jour supplémentaire de récolte en 2020, comparativement à une zone non protégée. Il est à noter que l'irrigation et la machine à vent sont deux méthodes où l'efficacité peut être affectée par une défaillance technique.

- Protéger les sites qui ont la plus grande productivité par unité de surface afin de limiter les superficies à protéger.
- « Cartographier » les zones de la bleuëtière qui sont les plus à risques de geler. Les zones sensibles au gel des bleuëtières devraient être récoltées en premiers pour réduire le risque de perte de rendement.
- En présence de brise-vent matures, récolter les zones au centre du champ en premier (à plus de 10 m des brise-vent) et récolter les zones près des brise-vent (moins de 10 m) en dernier pour réduire le risque de perte de rendement lors de gels de faibles intensités.
- L'aménagement de « sorties d'air » pour évacuer l'air froid devrait être la première préoccupation. Un document fournit des recommandations à ce sujet : Bellemare et coll. (2017). Les relevés de terrain LIDAR peuvent être utilisés pour appuyer une telle démarche. Ceux-ci peuvent être consultés gratuitement sur Info-Sol (<https://www.info-sols.ca/>).
- En contexte où des bâches seront utilisées, prévoir des corridors de circulation et des zones d'ancrage (poids qui maintient la bâche en place) où les fruits auront été récoltés.
- La machine à vent n'est pas recommandée dans un contexte de gel automnal pour la protection du fruit. Au printemps, la machine a toutefois eu un effet positif pour la protection des fleurs qui s'était traduit par une augmentation des rendements dans une étude à la même ferme au printemps 2021 (Anderson et coll., 2022). Le printemps 2021 était marqué par un synchronisme fleur-gel.
- D'une saison à l'autre, faire une rotation entre les bâches, et ce, en fonction de la durée passée au champ pour chacune. Cela permettra d'éviter d'user certaines bâches trop rapidement.

## 7 RÉFÉRENCES

- Anderson L., C. Boivin et J. Vallée. 2023. Projet pilote sur l'efficacité de méthodes de protection contre le gel des fruits dans le bleuet sauvage cultivé. Rapport final. IRDA. 289 p.
- Anderson L., C. Boivin et J. Vallée. 2022. Mise l'essai d'une machine à vent comme méthode de protection contre le gel des fleurs dans le bleuet sauvage cultivé pour le marché de la transformation. Rapport final. IRDA. 39 p.
- Barriault E. et M.-P. Gosselin. 2014. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et du Québec (MAPAQ). 2014. Gel printanier et méthodes de protections. Bleuet nain [En ligne] <https://www.agrireseau.net/Rap/documents/b01bn14.pdf>, page consultée le 14 février 2023.
- Bellemare M., É. Barriault, A. Deslauriers, P.-O. Martel et V. Moreau. 2017. La production du bleuet sauvage dans une perspective de développement durable. Feuille 3.3 « Le gel printanier et automnal ». 13 p.
- Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2023. Projet pilote sur l'efficacité de méthodes de protection contre le gel des fruits pour le bleuet sauvage cultivé. Analyse économique. 20 p.
- Gagnon, S. 2014. La production du bleuet sauvage dans une perspective de développement durable. Feuille 8 « Les brise-vent et les bandes boisées ». 232 p.
- Gagnon, S., M.-È. Moreau et V. Moreau. 2014. La production du bleuet sauvage dans une perspective de développement durable. Feuille 9 « La taille de régénération dans les bleuetières ». 232 p.
- Poling, E. B. 2008. Spring cold injury to winegrapes and protection strategies and methods. HortScience, 43(6), 1652-1662.

## Annexe A – Clé diagnostique des risques de gel en fonction des conditions

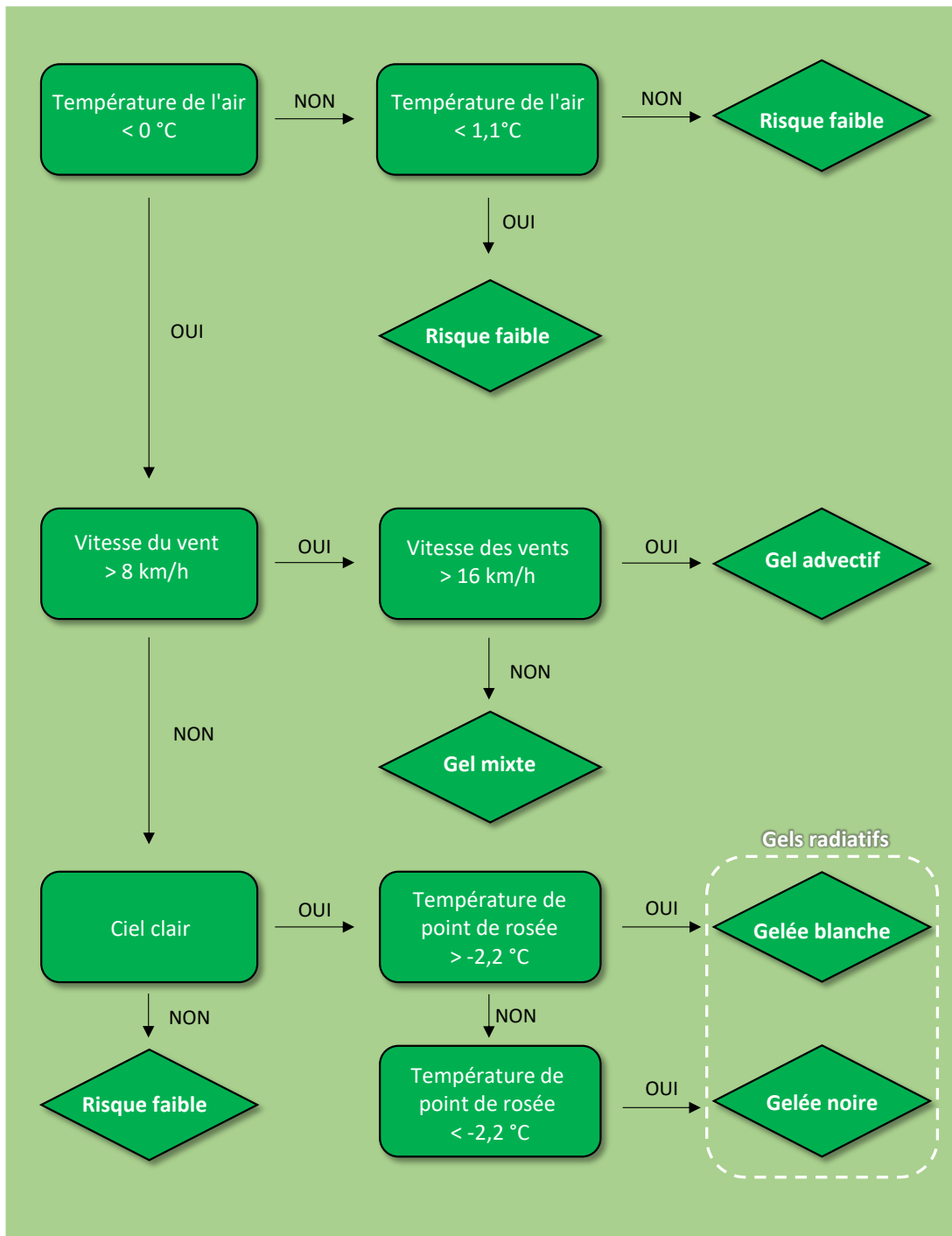


Figure adaptée de Poling (2008) et de Barriault et Gosselin (2014).



## Annexe B – Photos - Méthodes de protection



Figure 1. Bâche Novagryl 38 g/m<sup>2</sup>.

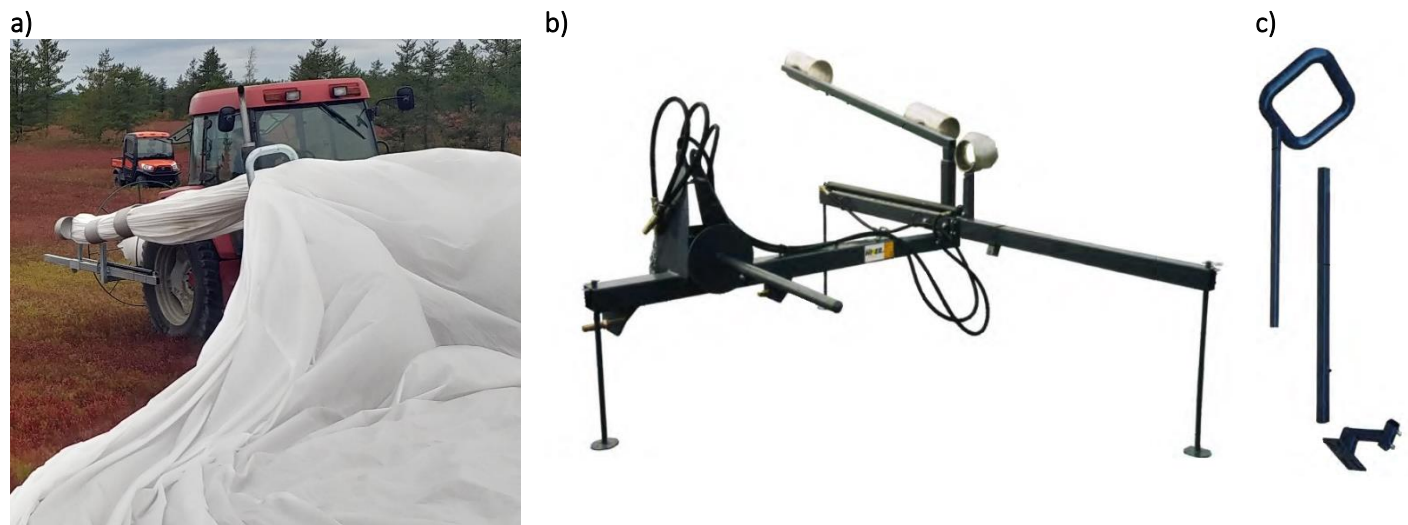


Figure 2. Dérouleuse/enrouleuse spécialisée du System Hiwer a) vue montée sur tracteur, b) vue d'ensemble de l'assemblage arrière, c) vue des pièces de l'assemblage du collecteur avant (figures adaptées du feuillet technique du fabricant Hiwer, Suède).



Figure 3. Brise-vent, vue aérienne.



Figure 4. Système d'irrigation (celui utilisé pour le projet).



Figure 5. Glace formée sur les plants à la suite d'une irrigation contre le gel.



Figure 6. Machine à vent (250H, Tow and Blow).