

EstimEau : Un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage

VOLET 1 – Estimation des besoins en eau des exploitations agricoles

Projet N° 21-001-GE-IRDA

Durée du projet : Mars 2022 / Mars 2024

RAPPORT FINAL

Auteurs du rapport

Carl Boivin, chercheur, IRDA
Lélia Anderson, professionnelle de recherche, IRDA
Simon Ricard, chercheur IRDA
Jean-Thomas Denault, spécialiste agrométéorologie, AAC

Mars 2024

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TABLE DES MATIÈRES

1	RÉSUMÉ DU PROJET	1
2	OBJECTIFS.....	2
2.1	Objectif général	2
2.2	Objectifs spécifiques.....	2
3	ÉQUIPE DE PROJET	3
4	APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE.....	4
4.1	Besoins en eau.....	4
4.1.1	Protection contre le gel	4
4.1.2	Lavage de légumes	6
4.1.3	Main d'œuvre hébergée.....	10
4.1.4	Pesticides	12
4.1.5	Élevage (abreuvement et lavage)	14
4.1.6	Irrigation	19
4.2	Disponibilité de l'eau.....	23
4.2.1	Approvisionnement en eau (exploitabilité)	23
4.2.2	Eau de surface et eau souterraine (disponibilité potentielle)	24
4.2.3	Eau de pluie récupérée par les toitures (disponibilité potentielle).....	25
4.2.4	Page des résultats (tableaux et règles de mises en forme).....	27
4.3	Identifier des techniques de gestion de l'eau à adopter pour limiter les conflits d'usage	29
5	RÉSULTATS	38
5.1	Chronologie des dates importantes	38
5.2	Fonctionnalités de l'outil	39
5.3	Sources de données.....	41
5.3.1	Données météorologiques.....	41
5.3.2	Protection contre le gel	50
5.3.3	Lavage de légumes	50
5.3.4	Main d'œuvre hébergée.....	53
5.3.5	Pesticides	53
5.3.6	Élevages (abreuvement et lavage)	55
5.3.7	Irrigation	65
5.3.8	Disponibilité de l'eau de surface et de l'eau souterraine	71
6	ACTIVITÉS DE DIFFUSION	72
7	POINTS DE CONTACT POUR INFORMATION	72
8	REMERCIEMENTS AU PARTENAIRE FINANCIER	73
9	RÉFÉRENCES	74
10	ANNEXE	82
10.1	Annexe 1 : Protection contre le gel (Rapport intégral Jean-Thomas Denault - AAC)	83

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Calcul de l'eau d'abreuvement, exemple fictif avec le secteur de production porcin.....	17
Figure 2. Symbole de mise en garde.	27
Figure 3. Plan du site et principales actions requises par l'utilisateur.	40
Figure 4. Évolution du coefficient cultural et des 4 stades de développements des cultures (image adaptée de Pereira et coll., 2021c).	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Paramètres qui modulent le volume d'eau de lavage au formulaire « lavage de légumes » marqués d'un « X ».....	6
Tableau 2. Échelle de vulnérabilité utilisée par sources d'approvisionnement en eau, et pour le bilan global de l'entreprise (ratio : eau disponible / besoin en eau).....	29
Tableau 3. Bonnes pratiques de gestion de l'eau (BPGE).....	30
Tableau 4. Échelle de disponibilité des eaux souterraines, en milliers m ³ /km ² /an.	40
Tableau 5. Les années qui correspondent à la description d'un facteur ciblé comme ayant un impact sur la sécheresse agricole sont présentées pour chacune des 171 stations météo utilisées par EstimEau.	43
Tableau 6. Base de données pour le lavage des boîtes d'entreposage vide dans la pomme de terre..	50
Tableau 7. Sources utilisées pour déterminer les volumes d'eau pour le lavage des légumes selon la culture, la présence de dispositif d'enlèvement de la terre, le type de sol, la présence de recirculation de l'eau, et la région canadienne ou le pays.	51
Tableau 8. Base de données pour le lavage des légumes.	52
Tableau 9. Base de données pour les pesticides.	54
Tableau 10. Base de données pour l'eau d'abreuvement des animaux.....	56
Tableau 11. Base de données pour l'eau de lavage des bâtiments d'élevage.....	60
Tableau 12. Base de données pour l'eau d'abreuvement des vaches en lactation.....	64
Tableau 13. Références consultées pour la profondeur racinaire et la durée des stades.	67
Tableau 14. Pour chaque culture, base de données sur la durée des stades, la longueur des racines et le coefficient cultural.	68

TITRE DU PROJET : EstimEau : Un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage

NUMÉRO DU PROJET : 21-001-GE-IRDA

1 RÉSUMÉ DU PROJET

Ce projet a permis de développer un outil web pour les agriculteurs qui souhaitent estimer leurs besoins en eau et les quantités disponibles de cette ressource sur leur exploitation. EstimEau offre une gamme de fonctionnalités pratiques qui permettent d'estimer les besoins en eau pour diverses activités agricoles comme l'irrigation pour protéger les cultures du manque d'eau et du gel, l'abreuvement des animaux, le lavage intérieur des bâtiments, le lavage des légumes, l'utilisation par la main-d'œuvre hébergée sur le site de la ferme et pour la préparation des traitements phytosanitaires. Cet outil est accessible depuis le 14 février 2024 via le lien suivant : <https://estimeau.ca/>.

L'outil s'appuie entre autres sur des données météorologiques historiques couvrant le Québec agricole afin de calculer différents scénarios élaborés par l'utilisateur en fonction d'années plus ou moins pluvieuses. L'intensité du risque de subir un gel peut également être ajustée afin de déterminer si les quantités d'eau disponibles à la ferme permettront ou non de combler les besoins pour la protection de la culture.

EstimEau utilise la géolocalisation de l'exploitation pour estimer la disponibilité potentielle des eaux de surface et souterraine, tout en prenant en compte les caractéristiques des diverses sources d'approvisionnement saisies par l'utilisateur (ex. réservoirs, toitures, puits, etc.). Ce dernier obtient alors une estimation globale des ressources en eau disponibles. L'application offre la possibilité de choisir parmi 81 systèmes cultureux de base et de les adapter au contexte précis de l'entreprise. Il propose aussi huit types d'élevages.

Les avantages potentiels pour les producteurs sont importants. Par exemple, EstimEau leur permettra de mieux connaître la vulnérabilité de leur entreprise face au stress hydrique, de réévaluer leur gestion actuelle de l'eau dans une perspective d'optimisation, de promouvoir une gestion raisonnée de cette ressource, ainsi que d'explorer divers scénarios (ex. augmentation superficie ou troupeau, différents types de sols, objectifs, etc.) liés à la gestion de leur exploitation.

L'équipe de réalisation d'EstimEau est composée de membres de l'IRDA qui sont spécialisés en régie de l'eau, en hydrologie agricole, en ingénierie et en pédologie, à laquelle se sont ajoutés des collaborateurs du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). Le projet a également bénéficié de la participation du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), d'Ouranos et de la Financière agricole du Québec (FADQ).

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert.

2 OBJECTIFS

2.1 Objectif général

Informier et outiller le milieu agricole pour estimer les quantités d'eau disponibles, évaluer les besoins en eau actuels et futurs et identifier les techniques de gestion de l'eau à adopter pour limiter les conflits d'usage.

2.2 Objectifs spécifiques

Informier et outiller le milieu agricole pour :

- Évaluer les besoins en eau des exploitations agricoles (actuels et futurs)
 - Irrigation
 - Élevages (abreuvement et lavage)
 - Lavage de légumes
 - Main-d'œuvre hébergée
 - Pesticides
 - Protection contre le gel
- Estimer les quantités d'eau disponibles (surface et souterraine)
- Identifier des techniques de gestion de l'eau à adopter pour limiter les conflits d'usage

3 ÉQUIPE DE PROJET

Volet 1 – Besoin en eau

- Équipe Régie de l'eau en productions végétales (IRDA) : Carl Boivin, Lélia Anderson, Paul Deschênes, Jérémie Vallée Antoine Lamontagne, Megann Desrochers, Félix Lavoie-Lochet, Francis-Olivier Lortie et Vincent Pelletier.
- Équipe Génie agroenvironnemental (IRDA) : Patrick Brassard, Heidi Dayana Pascagaza Rubio, Erika Yukari Nakanishi.
- Agrométéorologie : Jean-Thomas Denault, Agriculture et Agroalimentaire Canada AAC).
- Équipe pédologie (IRDA) : Catherine Bossé, Maude Lapointe et Pierre-Luc Lemire.
- Diane Allard, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).
- Agronome expert indépendant : Daniel Bergeron.

Volet 2 – Disponibilité en eau

- Équipe Hydrométrie, hydrologie et changements climatiques (IRDA) : Simon Ricard, Arianne Blais-Gagnon, Michael Osina et François Huchet.
- René Lefebvre, Institut national de la recherche scientifique (INRS).

Comité suivi

- Mélissa Gagnon (MAPAQ), Mikael Guillou (MAPAQ), Sébastien Ouellet-Proulx, ministère de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCCFP), Charles Malenfant (MELCCFP) et Gabriel Rondeau-Genesse (Ouranos).

Communication : Joannie Robitaille (IRDA).

Remerciements

Nous tenons à remercier les collaborateurs suivants :

Anastase Nteziyaremye (FADQ), François Gervais (CETAQ), Stéphanie Gervais (IRDA), Daniel Bergeron (Agronome), Mélodie Juteau (Services agronomiques Mélodie Juteau), Pierre-Olivier Martel (MAPAQ), Christian Lacroix (MAPAQ), Véronique Samson (MAPAQ), Mélissa Gagnon (MAPAQ), Isabelle Couture (MAPAQ), Stéphanie Tellier (MAPAQ), Alex-Antoine Fortier-Brunelle (MAPAQ), Evelyne Barriault (MAPAQ), Carl Dion Laplante (PRISME) et Patrice Thibault (RLIO).

4 APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

La méthodologie pour calculer le besoin en eau est décrite à 4.1 et celle qui a trait à la disponibilité est abordée à 4.2, mais fait l'objet d'un rapport détaillé (*Ricard, S., M. Osina, M., F. Huchet, A. Blais-Gagnon et C. Boivin, 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; VOLET 2 – Estimation de la disponibilité en eau à l'échelle du Québec agricole. Rapport IRDA et partenaires, 58 pages.*). Ces sections décrivent les variables et les algorithmes utilisés dans EstimEau.

4.1 Besoins en eau

4.1.1 Protection contre le gel

L'estimation du besoin en eau pour la protection contre le gel repose d'abord sur la détermination du nombre d'évènements où il y a synchronisme entre un épisode de gel et un stade phénologique précis. Ce nombre est variable selon la culture, la localisation de cette dernière et le niveau de risque choisi par l'utilisateur. Le « niveau de risque » intégré dans EstimEau est basé sur l'évaluation de différentes récurrences climatiques de la période récente (1991-2017). Ce nombre est ensuite utilisé dans un calcul où la superficie à protéger, le taux d'application et la durée de l'épisode de gel sont considérés. Le volume d'eau qui y correspond est présenté à la l'étape 4 « Résultats » selon des valeurs moyennes qui sont réparties entre mai et juin. Davantage d'information est présentée à l'annexe 10.1 qui contient le rapport intégral rédigé par le collaborateur d'AAC, Jean-Thomas Denault.

4.1.1.1 *Cultures considérées, stades phénologiques d'intérêts et seuils de tolérance au gel*

Le bleuets nain, la camerise, la canneberge, la fraise d'été en année de production en rangs nattés, la framboise d'été et le raisin (viticulture) font l'objet d'une approche plus « personnalisée ». Le choix de ces cultures est associé à la disponibilité de modèles phénologiques calibrés pour le Québec qui ont été développés par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et intégrés au logiciel du Centre informatique de prévision des ravageurs en agriculture (CIPRA, Plouffe et coll. 2022). Ces modèles permettent d'estimer l'atteinte de différents stades phénologiques à partir de données météo. Une approche plus simple a été utilisée pour les cultures maraîchères qui ont été regroupées sous l'intitulé « légumes ». L'absence de modèles phénologiques et la diversité de conditions en présence expliquent ce choix. Les stades phénologiques considérés et les températures critiques utilisées sont présentés au Tableau 2 de l'annexe 10.1 qui contient le rapport intégral rédigé par un collaborateur d'AAC, Jean-Thomas Denault.

4.1.1.2 *Nombre d'évènements de synchronisme « stade-gel »*

Nombre de gels printaniers [nombre/mois] : Il s'agit du nombre d'évènements de gel qui survient durant un stade phénologique précis (fleur, fruit, ou autre stade sensible selon la culture) pour toute la durée du printemps. Ce nombre est tiré de la base de données mise sur pied dans le cadre d'EstimEau (base de données présentée à la section 5.3) où il est identifié en fonction de la localisation de l'approvisionnement en eau, de la culture et du niveau de risque (voir la variable « Niveau de risque » décrite à la section 4.1.1.3). La méthodologie complète utilisée pour la détermination du nombre d'évènements des gels est présentée à l'annexe 10.1.

Pour obtenir un nombre de gels printaniers exprimé « par mois », le nombre de gels printaniers total qui est tiré de la base de données est divisé par deux, car la majorité des gels printaniers se produisent en mai et juin. Ce « nombre moyen par mois » est ensuite attribué respectivement aux mois de mai et juin pour le calcul du volume d'eau.

4.1.1.3 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoins en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau de protection contre le gel printanier qu'il renseigne (ex. « Gel framboise d'été »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Source d'approvisionnement en eau : L'utilisateur doit choisir la source d'approvisionnement en eau utilisée pour la protection contre le gel (Étape 2 du formulaire EstimEau). C'est la localisation de cette source qui est utilisée pour déterminer la récurrence climatique.

Culture : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : bleuet nain, camerise, canneberge, fraise d'été en année production en rangs nattés, framboise d'été, légumes et raisin (viticulture).

Superficie [ha] : La superficie protégée par le système d'irrigation. L'utilisateur doit saisir un nombre au formulaire.

Taux [mm/h] : Taux d'application de l'eau par le système. L'utilisateur peut choisir dans un menu déroulant parmi : 2, 3, 4, 5 ou 6 mm/h. Par défaut, un taux de 4 mm/h est proposé à l'utilisateur.

Le taux dépend entre autres de la température de l'air et de la vitesse du vent. Le taux par défaut permet une protection « robuste » (Van der Gulik et Williams, 1988).

Astuce : Sélectionner un taux différent permet de changer, indirectement, la durée d'un épisode de protection qui elle, est fixée à 8 heures. Par exemple, pour connaître le besoin en eau d'un épisode de gel de 4 heures où le taux d'application est de 4 mm/h, il suffit de sélectionner un taux de 2 mm/h.

Étape 4 « Résultats »

Niveau de risque : Il est possible de moduler le niveau de risque de gel avant le calcul des résultats. Ce niveau de risque se base sur les récurrences des gels observés pour la période climatique récente selon les cultures. Les valeurs possibles sont : faible (récurrence de 1 année sur 10), modéré (récurrence de 1 année sur 5) et élevé (récurrence maximale de nombre d'évènements sur la période climatique considérée). Le niveau de risque par défaut est « Modéré ».

4.1.1.4 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Durée [h] : Une durée de 8 heures de protection par épisode de gel est fixée par l'outil. La durée n'est pas ajustable au formulaire, mais elle est modulable via le choix du taux (voir la variable taux ci-dessus.)

$$\text{Besoin en eau [m}^3\text{/mois]} = \text{Nombre de gels printaniers}^\dagger \text{ [nombre/mois]} \cdot \text{Superficie [ha]} \cdot \text{Taux [mm/h]} \cdot 10 \text{ [Gestion des unités}^\ddagger\text{]} \cdot 8 \text{ [h]}$$

[†] Nombre de gels printaniers = f (Niveau de risque, culture, localisation)

[‡] Gestion des unités = [10 000 m²/ha] • [1 m /1000 mm]

4.1.2 Lavage de légumes

L'estimation du besoin en eau pour le lavage de légumes dépend du poids de produit qui sera lavé. Le formulaire permet également de calculer le volume d'eau nécessaire pour le nettoyage des boîtes vides utilisées pour l'entreposage des pommes de terre. La période de l'année où il y a du lavage doit être renseignée par l'utilisateur afin de pouvoir ventiler les besoins en eau de l'exploitation sur une base mensuelle à l'étape 4 « Résultats ».

4.1.2.1 Cultures considérées et variables ayant un effet sur le volume d'eau de lavage

Le type de sol, le procédé de lavage (dispositif de réduction de la terre et système de recirculation) et le type de culture modulent l'estimation du volume d'eau pour le lavage. Les paramètres qui s'appliquent à chaque culture sont différents et sont présentés au Tableau 1.

Le type de sol (minéral ou organique) et l'utilisation de dispositif de réduction de la terre modulent le volume d'eau des légumes racines, des légumes-bulbes (poireau) et des pommes de terre (tubercules). La présence d'un dispositif de recirculation module le volume de tous les légumes. Finalement, aucun paramètre ne module le volume d'eau pour les boîtes d'entreposage vides utilisées pour la pomme de terre.

Tableau 1. Paramètres qui modulent le volume d'eau de lavage au formulaire « lavage de légumes » marqués d'un « X ».

Culture	Dispositif de réduction de la terre (oui, non)	Système de recirculation (oui, non)	Type de sol (minéral, organique)
Légumes-feuilles (ex. laitue, bok choy)		X	
Légumes-fruits (ex. courgette, tomate)		X	
Légumes-racines	X	X	X
Légume-bulbe (poireau)	X	X	X
Pomme de terre (tubercules)	X	X	X
Pomme de terre (boîte d'entreposage vide)			

L'utilisateur définit la période de l'année où il fait du lavage de légumes. Il peut choisir de laver une quantité constante de produit sur cette période. Alternativement, l'utilisateur peut choisir de spécifier une quantité de produit variant sur une base hebdomadaire. Pour l'étape 4, le volume d'eau est converti en volume d'eau « par mois ».

Les valeurs utilisées sont présentées à 5.3.3.

4.1.2.2 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoins en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau de lavage de légumes qu'il renseigne (ex. « Lavage betteraves »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Source d'approvisionnement en eau : L'utilisateur doit choisir la source d'approvisionnement en eau qui est utilisée pour le lavage de légumes (Étape 2 du formulaire EstimEau).

Culture : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : légume-feuille (ex. laitue, bok choy), légume-racine, légume-bulbe (poireau) légume-fruit (ex. courgette, tomate), pomme de terre (tubercules) ou pomme de terre (boîte d'entreposage vide).

Type de sol : L'utilisateur doit choisir parmi : minéral ou organique.

Dispositif de réduction de la terre : Dans le procédé de lavage, indique s'il y a utilisation d'un dispositif de réduction de la terre. Par exemple, du dessablage à sec, une table à doigts, ou un système de prétrempage. On cherche à savoir si de la terre est enlevée de sur les légumes avant que ceux-ci entrent dans la laveuse. L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

Système de recirculation : Indique si un système de recirculation de l'eau est utilisé dans le procédé de lavage. L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

Période de lavage : L'utilisateur doit sélectionner dans un calendrier la période où il y a du lavage de légume. Il doit sélectionner une date de début et une date de fin.

Note importante : Il faut renseigner des dates d'une même année dans tous les formulaires de besoin en eau. Si des années différentes sont renseignées, il sera impossible de passer à l'étape 4 (résultats). Un message d'erreur apparaîtra avec mention sur les dates et les besoins en eau sur des années différentes à corriger.

Quantité fixe durant la période de lavage : Autrement dit, la quantité à laver « par semaine » est-elle constante? L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

Quantité lavée [« quantité » / semaine] : Si l'utilisateur lave des boîtes vides utilisées pour l'entreposage de pommes de terre, la quantité est un « nombre de boîtes » par semaine. Si l'utilisateur lave des légumes, la quantité est en « kg de produit » par semaine. Si la quantité est « fixe », c'est-à-dire constante, alors un seul poids est demandé et est attribué à chacune des semaines de la période de lavage. Si la quantité n'est pas « fixe », alors la quantité est demandée pour chaque semaine de la période de lavage.

Astuce : Si une « quantité A » est nettoyée durant un nombre élevé de semaines (juin et juillet), et une « quantité B » (ex. août et septembre), pendant un autre nombre élevé de semaines, il est recommandé de créer deux besoins en eau de lavage. Cela évite de devoir saisir une même quantité plusieurs fois. Par exemple, créer deux formulaires : **1** formulaire avec la « quantité en juin et juillet » + **1** formulaire avec la « quantité en août et septembre ».

Volume d'eau par quantité [L/(kg de légumes ou nombre de boîtes vides)] : Il s'agit du volume d'eau utilisé par kg de légumes qui sera lavé ou par nombre de boîtes vides (cas de la pomme de terre). Ce nombre est tiré de la base de données mise sur pied dans le cadre d'EstimEau (base de données présentée à la section 5.3) où il est identifié en fonction de la culture, du type de sol, de la présence d'un dispositif de réduction de la terre et de la présence d'un système de recirculation de l'eau.

4.1.2.3 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Volume d'eau variant selon le type de matériel à nettoyer

Cas 1 : Si le type de matériel nettoyé est un légume

Si le matériel nettoyé choisi à l'intitulé « culture » est un légume (c'est-à-dire, culture = « Légume-feuille (ex. laitue, bok choy) » ou « Légume-racine » ou « Légume-bulbe (poireau) » ou « Pomme de terre (tubercules) » :

$$\text{Volume d'eau [L]} = \text{Volume d'eau}^\dagger \text{ [L/kg légumes]} \cdot \text{Poids à laver [kg légumes]}$$

† Ce volume est tiré de la base de données en fonction de : culture + type de sol + dispositif de réduction de la terre + système recirculation.

Cas 2 : Si le type de matériel nettoyé est une boîte d'entreposage vide en production de pomme de terre

Si le type de nettoyage représente une boîte d'entreposage vide (pomme de terre) :

$$\text{Volume d'eau [L]} = \text{Volume d'eau par quantité}^\dagger \text{ [L/boîte vide]} \cdot \text{Nombre de boîtes vides}$$

† Ce volume d'eau est tiré de la base de données en fonction de la culture seulement.

Calcul du volume d'eau mensuel

Nombre de semaines [semaines] : Le nombre de semaines est calculé différemment selon que la quantité de matériel nettoyé (légumes ou boîte vides) est fixe ou non durant la période de lavage.

- Si la quantité par semaine est fixe, alors le nombre de semaines correspond à « nombre de jours de la période de lavage » divisé par 7. Par exemple, une période de 26 jours sera considérée être d'une durée de 3,714 semaines (26 / 7).
- Si la quantité par semaine n'est pas fixe, alors chaque semaine dans la période est comptabilisée comme une période de 7 jours. Les semaines sont toujours considérées comme complètes (7 jours) peu importe la date de début ou la date de fin. Par exemple, si une période débute un jeudi et se termine le mardi de la semaine suivante, deux semaines sont considérées. Si une semaine est à cheval sur deux mois, le besoin en eau sera réparti au prorata des jours correspondants.

Cas 1 : Quantité lavée constante à chaque semaine (fixe = oui)

Si la quantité lavée est constante chaque semaine (fixe), alors le nombre de semaines correspond au « nombre de jours dans la période de lavage » divisé par 7. Par exemple, une période de 26 jours sera considérée être d'une durée de 3,714 semaines (26 / 7).

Volume d'eau totale [m³] = Volume [L/quantité lavée par semaine] • nombre de semaines [semaines] • quantité lavée • gestion des unités [1 m³/1000 L]

Volume d'eau mensuel [m³/mois] : L'eau est ensuite répartie mensuellement avec le ratio des jours contenus dans chaque mois sur la période identifiée. Par exemple, du 20 avril au 15 mai, donne 11 jours en avril et 15 jours en mai. Sur un total de 26 jours, 11/26 de l'eau est attribuée en avril et 15/26 de l'eau est attribué en mai.

Cas 2 : Quantité lavée variable par semaine (fixe = non)

Si la quantité à laver varie d'une semaine à l'autre, alors chaque semaine dans la période est comptabilisée comme une période de 7 jours. Les semaines sont toujours considérées comme complètes (7 jours) peu importe la date de début ou la date de fin. Par exemple, si une période débute un jeudi et termine au mardi suivant, deux semaines de 7 jours sont comptabilisées. Si une semaine est à cheval sur deux mois, le besoin en eau sera réparti au prorata des jours correspondants.

Volume d'eau hebdomadaire [m³/semaine] = Volume [L/quantité lavée par semaine] • 1 semaine • quantité lavée • gestion des unités [1 m³/1000 L]

Volume d'eau mensuel [m³/mois] = Sommation des volumes d'eau dans le mois.

4.1.3 Main d'œuvre hébergée

L'estimation du besoin en eau pour les bâtiments dépend du nombre d'occupants hébergés. La période de l'année où il y a hébergement d'ouvriers est renseignée par l'utilisateur afin que l'outil puisse ventiler les besoins en eau de l'exploitation sur une base mensuelle à l'étape 4 « Résultats ».

4.1.3.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoins en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau pour la main d'œuvre hébergée (ex. « Hébergement ouvriers A »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Période d'occupation des bâtiments : L'utilisateur sélectionne dans un calendrier la période où il y a des ouvriers qui sont hébergés sur l'entreprise.

Note importante : Il faut renseigner une seule et même année dans tous les formulaires de besoin en eau. Si plusieurs années sont renseignées, il sera impossible de passer à l'étape 4 (résultats). Un message d'erreur apparaîtra avec mention sur les dates et les besoins en eau sur des années différentes à corriger.

Nombre d'occupants fixe durant la période sélectionnée : Autrement dit, le nombre d'occupants « par semaine » est-il constant? L'utilisateur doit choisir entre oui ou non.

Attention, ne renseigner que la main d'œuvre qui est hébergée sur le site de l'exploitation décrite. L'hébergement d'ouvriers à l'extérieur de la ferme ne devrait pas faire partie du bilan en eau global de l'entreprise.

Nombre d'occupants [nombre d'ouvriers hébergés/semaine] : Si le nombre d'ouvriers est « fixe », c'est-à-dire constant, alors un seul nombre est demandé et est attribué à chacune des semaines de la période d'occupation des bâtiments. Si la quantité n'est pas « fixe », alors le nombre d'occupants est demandé pour chaque semaine de la période d'occupation des bâtiments.

Astuce : Si la ferme accueille des employés sur plusieurs semaines, il est recommandé de créer deux besoins en eau pour la main d'œuvre hébergée. Cela évite de devoir saisir un même nombre d'employés de nombreuses fois. Par exemple : créer un formulaire pour une 1^{re} vague d'accueil de mars à septembre et un 2^e formulaire, pour la seconde vague d'accueil de juin à décembre.

4.1.3.2 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Nombre de semaines : Le nombre de semaines est calculé différemment selon que le nombre d'occupants est fixe ou non durant la période d'occupation des bâtiments.

Cas 1 : Nombre d'occupants constant (fixe = oui)

Si le nombre d'occupants est fixe, alors le nombre de semaines correspond à « nombre de jours dans la période d'occupation » est divisé par 7. Par exemple, une période de 26 jours sera considérée être d'une durée de 3,714 semaines (26/7).

$$\text{Volume d'eau totale [m}^3\text{]} = 1060^\dagger [\text{L/occupant par semaine}] \cdot \text{nombre de semaines} \cdot \text{nombre d'occupants} \cdot \text{gestion des unités [1 m}^3\text{/1000 L]}$$

† Selon une consommation d'eau de 152 litres par jour par occupant (voir section 5.3.5.). Cela donne 1064 L/ occupant pour une semaine. La valeur arrondie à la dizaine est retenue, soit 1060 L/occupant par semaine.

Volume d'eau mensuel [m³] : L'eau est ensuite répartie mensuellement avec le ratio des jours contenus dans chaque mois sur la période identifiée. Par exemple, du 20 avril au 15 mai, cela donne 11 jours en avril et 15 jours en mai. Sur un total de 26 jours, 11/26 de l'eau est attribuée en avril et 15/26 de l'eau est attribué en mai.

Cas 2 : Nombre d'occupants variable par semaine (fixe = non)

Si le nombre d'occupants varie d'une semaine à l'autre, alors chaque semaine dans la période est comptabilisée comme une période de 7 jours. Les semaines sont toujours considérées comme complètes (7 jours) peu importe la date de début ou la date de fin. Par exemple, si une période débute un jeudi et se termine au mardi suivant, 2 semaines de 7 jours sont comptabilisées. Si une semaine est à cheval sur 2 mois, le besoin en eau sera réparti au prorata des jours correspondants.

$$\text{Volume d'eau hebdomadaire [m}^3\text{/semaine]} = 1060 [\text{L/occupant par semaine}] \cdot 1 \text{ semaine} \cdot \text{nombre d'occupants} \cdot \text{gestion des unités [1m}^3\text{/1000 L]}$$

$$\text{Volume d'eau mensuel [m}^3\text{/mois]} = \text{Somme des volumes d'eau dans le mois.}$$

4.1.4 Pesticides

L'estimation du besoin en eau pour les pesticides dépend de la superficie à traiter, du volume de la bouillie qui est épanchée par hectare (varie selon le type de culture) et du nombre de passages par semaine. Il est aussi possible de calculer le besoin en eau lié au traitement des pommes de terre préentreposage, via ce formulaire. La période de l'année où il y a épanchage de pesticides est renseignée par l'utilisateur afin de pouvoir ventiler les besoins en eau de l'exploitation sur une base mensuelle à l'étape 4 « Résultats ».

4.1.4.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoins en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau pour les pesticides qu'il renseigne (ex. « Pesticides concombres parcelle A »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Source d'approvisionnement en eau : L'utilisateur doit choisir la source d'approvisionnement en eau utilisée pour les pesticides.

Culture : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : bleuet en corymbe, bleuet nain, canneberge, carotte, céleri, céréales, crucifères, cucurbitacées, fraise, haricot, laitue et légumes-feuilles, maïs-grain, oignon, plantes fourragères, pois vert, pommes de terre, pommes de terre (entrepôt), pommier, solanacées, soya et vigne.

Superficie traitée [ha] : L'utilisateur doit indiquer la superficie traitée lors d'un seul passage.

Période d'application des pesticides : L'utilisateur doit sélectionner dans un calendrier la période où il y a application de pesticides sur son entreprise.

Note importante : Il faut renseigner une seule et même année dans tous les formulaires de besoin en eau. Si plusieurs années sont renseignées, il sera impossible de passer à l'étape 4 (résultats). Un message d'erreur apparaîtra avec mention sur les dates et les besoins en eau sur des années différentes à corriger.

Nombre moyen de passages hebdomadaire [passage/semaine] : Autrement dit, le nombre moyen d'applications de pesticides « par semaine ».

Volume de la bouillie [L/ha] : Volume moyen de bouillie dans le réservoir de l'épandeur. Cette valeur dépend de la culture ou groupe de cultures sélectionnées et peut être éditée par l'utilisateur si la valeur par défaut proposée est différente de celle utilisée.

4.1.4.2 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Le calcul du volume d'eau varie selon le type de matériel à traiter et se divise en deux cas présentés ci-dessous.

Cas 1 : Le traitement de pesticides est fait sur la culture au champ

Nombre de semaines : Le nombre de semaines correspond au nombre de jours dans la « Période d'application des pesticides » divisé par 7. Par exemple, une période de 26 jours sera considérée être d'une durée de 3,714 semaines (26 / 7).

$$\text{Volume d'eau totale [m}^3\text{]} = \text{Superficie traitée [ha]} \cdot \text{volume de la bouille [L/ha]} \cdot \text{nombre moyen de passages hebdomadaires [passage/semaine]} \cdot \text{gestion des unités [1 m}^3\text{/1000 L]} \cdot \text{nombre de semaines}$$

Cas 2 : Le traitement de pesticides concerne spécifiquement le traitement des pommes de terre en entrepôt en post-récolte

$$\text{Volume d'eau totale [m}^3\text{]} = \text{Masse de tubercules [tonnes métriques]} \cdot \text{volume de la bouille [L/tonnes métriques]}$$

La dernière variable produite par le calcul est le volume d'eau mensuel.

Volume d'eau mensuel [m³/mois] : L'eau est ensuite répartie mensuellement avec le ratio des jours contenus dans chaque mois sur la période d'application identifiée. Par exemple, une période d'épandage du 20 avril au 15 mai donne 11 jours en avril et 15 jours en mai. Sur un total de 26 jours, 11/26 de l'eau est attribuée au mois d'avril et 15/26 de l'eau est attribué au mois de mai.

4.1.5 Élevage (abreuvement et lavage)

L'estimation du besoin en eau pour les élevages dépend du nombre d'animaux et de la période de l'année. Pour le bovin laitier, ce besoin dépend en plus du type d'équipement utilisé pour la traite, de la quantité de lait produite par les vaches et du nombre de traites par jour. Pour les porcs, ce besoin dépend aussi de la présence ou non de dispositif anti-gaspillage. Pour le porc et le bovin (laitier ou boucherie), le volume d'eau de dilution supplémentaire par jour (utilisé pour augmenter la teneur en eau du fumier) est également considéré.

4.1.5.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoins en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau d'élevage qu'il renseigne (ex. « Troupeau laitier bâtiment A »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Source d'approvisionnement en eau : L'utilisateur doit choisir la source d'approvisionnement en eau utilisée pour l'élevage (abreuvement et lavage des bâtiments d'élevage).

Secteur de production : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant entre : bovin (laitier), bovin (boucherie), ovin, caprin, volaille, porc, équin ou cunicole.

Composition du troupeau à l'année : Selon la période de l'année identifiée, l'utilisateur doit saisir le nombre d'individus présent dans un tableau. Les types de périodes possibles sont :

- Nombre moyen par an (bovin laitier, ovin et caprin laitier, verrat, équin, cunicole de reproduction).
- Nombre par cycle (volaille, porc à l'exception du verrat, cunicole de boucherie).
- Nombre par saison : été, automne, hiver, printemps (bovin de boucherie, ovin de boucherie, caprin de boucherie).

Nombre de cycles par an : L'utilisateur doit saisir un entier positif. À noter que cette valeur n'est pas utilisée dans les calculs dans cette version d'EstimEau.

Variables seulement pour le Bovin (laitier)

Précision sur l'équipement laitier : L'utilisateur doit choisir parmi :

- Stabulation libre/Logette
- Stabulation libre/Robot traite/Lavage trayons brosse
- Stabulation libre/Robot traite/Lavage trayons eau
- Stabulation entravée/Avec lactoduc 2 po
- Stabulation entravée/Avec lactoduc 2,5 po
- Stabulation entravée/Avec lactoduc 3 po
- Stabulation entravée/Avec lactoduc 3,5 po
- Stabulation entravée/Sans lactoduc

Nombre de traites par jours [traites] : L'utilisateur doit choisir parmi : 2 ou 3.

Valeur quotidienne moyenne de la production de lait [kg lait/jour] : L'utilisateur doit choisir parmi : 14, 23, 36 ou 46.

Variables seulement pour le Bovin laitier, Bovin de boucherie ou porcin

Gestion liquide du fumier : L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

Volume d'eau de dilution supplémentaire par jour (utilisé pour augmenter la teneur en eau du fumier) [L/jour] : Si la gestion du fumier est liquide, l'utilisateur doit entrer un nombre de litres qui correspond au volume qu'il ajoute à son fumier quotidiennement, au total, sur l'entreprise.

Variables seulement pour Porcin

Dispositif anti-gaspillage : L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

Utilisation d'eau chaude pour laver le(s) bâtiment(s) : L'utilisateur doit choisir parmi : oui ou non.

4.1.5.2 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Le calcul des besoins en eau d'élevage comprend trois algorithmes distincts pour les trois types de consommations suivantes:

- Algorithme A : Eau d'abreuvement des animaux.
- Algorithme B : Eau de lavage des bâtiments.
- Algorithme C : Volume d'eau de dilution supplémentaire pour la gestion liquide du fumier (porc et bovin seulement).

Ces algorithmes sont décrits ci-dessous. Le besoin en eau total par mois est la somme de l'eau d'abreuvement, de lavage et de dilution.

Note sur les animaux renseignés « par cycle » : L'hypothèse suppose que le nombre d'animaux est fixe sur toute l'année selon le nombre renseigné dans « cycle ». L'eau des animaux pourrait être surestimée pour certaines périodes si ces périodes ne sont pas présentes sur toute l'année. Renseigner l'état du troupeau qui consomme le plus d'eau sur la ferme, permet de visualiser les situations de « vulnérabilités » de l'entreprise à la page des résultats. Une phase ultérieure de l'outil pourrait permettre d'inclure les cycles dans un calendrier.

Note sur les animaux renseignés « par saison » : Leur nombre est distribué selon les mois de l'année de cette manière :

- Hiver = janvier, février, mars.
- Printemps = avril, mai, juin.
- Été = juillet, août, septembre.
- Automne = octobre, novembre, décembre.

Algorithme A : Eau d'abreuvement

Pour le calcul de l'eau d'abreuvement, les étapes de calculs sont les suivantes et sont illustrées à la Figure 1.

- I. À partir du formulaire de l'étape 3, le nombre d'animaux « par période indiquée » est ventilé en nombre d'animaux « par mois » (donne une matrice).
- II. À partir de la base de données, la consommation mensuelle « par type de production » est extraite (donne une matrice).
 - Pour la vache en lactation, la consommation d'eau considère la « valeur quotidienne moyenne de la production de lait ».
- III. Les deux matrices sont multipliées ensemble. La matrice de résultat donne le nombre de litres d'eau d'abreuvement par jour et par secteur de production.
- IV. La matrice de résultat est convertie en valeur mensuelle en considérant 30,5 jours/mois.
- V. Conversion en mètres cubes.

Pour tous les secteurs, l'eau d'abreuvement est sommée pour avoir une quantité mensuelle d'eau de lavage par mois pour le troupeau.

Note : Pour la volaille, l'eau d'abreuvement de la base de données est en L/1000 têtes par jour. Une gestion d'unité est donc faite à la matrice de résultat.

Composition du troupeau à l'année selon le nombre moyen par an, par cycle ou par saison [nombre de têtes] :

Production	Hiver			Printemps			Été			Automne		
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Reproduction/Porcelet sevré	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Reproduction/Truie (gestation ou en mise bas) et cochette	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Reproduction/Verrat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Boucherie/Porc à l'engraissement/25 à 50 kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Boucherie/Porc à l'engraissement/50 à 75 kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Boucherie/Porc à l'engraissement/75 à 100 kg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2



Eau d'abreuvement [L/tête par jour] :

Production	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Reproduction/Porcelet sevré	1	1	1	2	2	2,5	2,5	2,5	2	2	2	1
Reproduction/Truie (gestation ou en mise bas) et cochette	18	18	18	23	23	25	25	25	23	23	23	18
Reproduction/Verrat	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Boucherie/Porc à l'engraissement/25 à 50 kg	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5	5	4,5	4,5	4,5	4,5
Boucherie/Porc à l'engraissement/50 à 75 kg	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	8,5	8,5	8,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Boucherie/Porc à l'engraissement/75 à 100 kg	8	8	8	8	8	12	12	12	8	8	8	8



Eau d'abreuvement [L/type de production par jour] :

Production	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Reproduction/Porcelet sevré	2	2	2	4	4	5	5	5	4	4	4	2
Reproduction/Truie (gestation ou en mise bas) et cochette	36	36	36	46	46	50	50	50	46	46	46	36
Reproduction/Verrat	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Boucherie/Porc à l'engraissement/25 à 50 kg	9	9	9	9	9	10	10	10	9	9	9	9
Boucherie/Porc à l'engraissement/50 à 75 kg	13	13	13	13	13	17	17	17	13	13	13	13
Boucherie/Porc à l'engraissement/75 à 100 kg	16	16	16	16	16	24	24	24	16	16	16	16

Figure 1. Calcul de l'eau d'abreuvement, exemple fictif avec le secteur de production porcin.

Algorithme B : Eau de lavage des bâtiments

Pour les vaches en lactation, le calcul se fait ainsi.

- I. La « précision sur l'équipement laitier » permet d'aller chercher une valeur d'eau de lavage [L/tête par jour] dans la base de données. Ce nombre est multiplié par le nombre de vaches en lactation, et ventilé mensuellement dans une matrice.
- II. Pour la balance du troupeau laitier (vache tarie, génisse, et veau), la valeur d'eau de lavage est directement extraite de la base de données [L/tête par jour].
- III. L'eau de lavage est ventilée par mois dans une matrice de résultat.
- IV. Analogiquement à l'exemple sur la Figure 1 pour l'abreuvement, la matrice du nombre d'individus est multipliée par la matrice de consommation journalière.
- V. La matrice de résultat est convertie en valeur mensuelle en considérant 30,5 jours/mois.
- VI. Conversion en mètres cubes.

Pour l'ovin et le caprin, l'eau de lavage « par exploitation » change en fonction de la taille du troupeau.

- I. L'eau de lavage pour les brebis ou chèvres en lactation est extraite de la base de données selon les intervalles suivants : <100 animaux en lactation, 100 à 300 animaux en lactation, 301 à 500 chèvres en lactation. La valeur est sous l'unité [L/exploitation par jour].
- II. La valeur obtenue est ventilée dans une matrice de résultat de consommation « mensuelle ».
- III. La matrice de résultat est convertie en valeur mensuelle en considérant 30,5 jours/mois.
- IV. Il est considéré que les autres types d'individus des secteurs ovin et caprin ne consomment pas d'eau de lavage (tel que représenté dans la base de données).
- V. Conversion en mètres cubes.

Pour toutes les autres productions (bovin de boucherie, volaille, porc, équin et cunicole), la valeur d'eau de lavage est directement extraite de la base de données [L/tête par jour].

- I. La valeur d'eau de lavage est directement extraite de la base de données pour la production [L/tête par jour].
- II. L'eau de lavage est ventilée par mois dans une matrice.
- III. Analogiquement à l'exemple sur la Figure 1 pour l'abreuvement, la matrice du nombre d'individus est multipliée par la matrice de consommation journalière, cela donne une matrice de résultat.
- IV. La matrice de résultat est convertie en valeur mensuelle en considérant 30,5 jours/mois.
- V. Conversion en mètres cubes

Pour tous les secteurs, l'eau de lavage est sommée pour avoir une quantité mensuelle d'eau de lavage par mois par troupeau.

Algorithme C : Volume d'eau de dilution supplémentaire

Si, et seulement si, la gestion du fumier est liquide, alors :

- I. Le volume d'eau de dilution supplémentaire par jour, utilisé pour augmenter la teneur en eau du fumier, est récupéré.
- II. Cette valeur est ventilée dans une matrice de 12 mois. Cela donne une matrice avec volumes d'eau (L de dilution/entreprise par jour), ventilée selon les mois de l'année.
- III. La matrice est multipliée par 30,5. Cela donne les quantités mensuelles de dilution pour chaque mois.
- IV. Conversion en mètres cubes.

4.1.6 Irrigation

L'estimation du besoin en eau d'une culture repose sur une approche par bilan hydrique où le contexte de production spécifié est soumis à des conditions météorologiques historiques sur une base quotidienne. Ce besoin correspond à la quantité d'eau qu'il serait nécessaire d'apporter avec un système d'irrigation donné pour éviter ou tolérer un stress hydrique à la culture. Ce besoin est variable selon la culture, la superficie que celle-ci occupe, la capacité de rétention en eau du sol, la présence ou non de compaction qui limite l'enracinement, le moment où le bilan hydrique débute et se termine, l'objectif visé, le type de système d'irrigation et enfin, l'année ou le type de saison choisi. Le besoin en eau est ventilé mensuellement, en termes de volume d'eau et de nombre d'épisodes.

4.1.6.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 3 « Besoin en eau »

Nom de l'activité : L'utilisateur doit saisir un « nom d'activité » qui décrit le besoin en eau d'irrigation qu'il renseigne (ex. « Betteraves champ 2 »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Source d'approvisionnement en eau : L'utilisateur doit choisir dans le menu déroulant parmi : « Aucune » ou la source d'approvisionnement en eau utilisée pour la culture considérée. Cette source a préalablement été renseignée à l'Étape 2 « Approvisionnement ».

Culture : L'utilisateur doit choisir une culture dans le menu déroulant (voir Tableau 14 de la section 5.3.7.).

Culture sans pluie : L'utilisateur peut choisir dans un menu déroulant « Oui » ou laisser le choix par défaut, soit « Non ». Le choix « Oui » enlève les précipitations des données météorologiques historiques utilisées pour le bilan hydrique. Autrement dit, ces conditions se rapprochent d'une culture sous abri, sans toutefois corriger les valeurs d'évapotranspiration. Les conditions d'évapotranspiration qui ont cours à l'intérieur d'un tunnel ou d'une serre sont impossibles à déduire à partir des valeurs historiques utilisées par l'outil.

Superficie du champ : L'utilisateur doit inscrire la superficie du champ considéré. La superficie est utilisée pour convertir le besoin en eau en volume (m³).

Méthode pour déterminer la capacité de rétention en eau du sol : L'utilisateur doit renseigner la capacité de rétention en eau du sol. Pour cela il peut sélectionner une texture de sol dans le triangle textural ou bien inscrire cette valeur manuellement. La voie du triangle implique une étape supplémentaire obligatoire « **Particules de sol > 2 mm** » où l'utilisateur doit entrer un nombre qui correspond au % de particules de sol qui ont un diamètre supérieur à 2 mm. Cette valeur (> 0) vient diminuer la capacité de rétention en eau du sol.

Compaction : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : « Oui » ou « Non ». Cette étape a un impact sur la profondeur racinaire maximale qui sera considérée dans le bilan hydrique et par conséquent, sur la réserve en eau du sol facilement utilisable maximale (RFU max). Pour chaque culture, il y a une valeur qui fixe la profondeur maximale d'enracinement et cette dernière est revue à la baisse en présence de compaction. Par exemple, pour le haricot extra-fin la valeur maximale est de 45 cm, alors qu'elle sera de 30 cm si l'utilisateur choisit « Oui » pour la compaction.

Utilisation d'Outil d'Aide à la Décision (OAD) : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : « Oui » ou « Non ». Le choix n'est pas utilisé dans les calculs dans cette version d'EstimEau.

Date de semis, plantation ou débourrement : L'utilisateur doit sélectionner dans un calendrier la date qui correspond au jour 1 de la culture considérée. Il s'agit du point de départ du bilan hydrique.

Date de fin : L'utilisateur doit sélectionner dans un calendrier la date qui correspond à la fin du cycle normale de la culture considérée. Il s'agit de la fin de la récolte pour une culture annuelle ou l'aoûtement pour une culture vivace.

Note importante : Il faut renseigner une seule et même année dans tous les formulaires de besoin en eau. Si plusieurs années sont renseignées, il sera impossible de passer à l'étape 4 (résultats). Un message d'erreur apparaîtra avec mention sur les dates et les besoins en eau sur des années différentes à corriger.

Objectif visé : L'utilisateur doit choisir entre un objectif de « confort hydrique » ou « assurance récolte ». L'objectif « assurance récolte » est imposé en ce qui a trait aux grandes cultures et aux plantes fourragères.

Système d'irrigation : L'utilisateur doit choisir dans un menu déroulant parmi : Aspersion fixe mobile (pivot, rampe frontale), Aspersion fixe (gicleurs ou canons sur barres), Aspersion mobile (canon, rampe avec enrouleur), Goutte-à-goutte, Goutte-à-goutte mobile (pivot ou rampe avec tubes de goutte-à-goutte), il peut aussi choisir « Aucun ». Le choix a un impact sur l'apport en eau considérée.

4.1.6.2 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Période couverte par le bilan hydrique et attribution des valeurs de coefficient cultural (Kc) et de profondeur d'enracinement

Les dates de début et de fin qui doivent être entrées par l'utilisateur sont utilisées par l'outil pour délimiter la période où le bilan sera exécuté. La période est alors subdivisée en quatre stades (1 à 4), dont la durée de chacun d'eux est spécifique à la culture sélectionnée. Pour que le bilan hydrique puisse être exécuté, il faut d'abord qu'une valeur de coefficient cultural (Kc) et de profondeur racinaire soit attribuée à chacune des journées circonscrites par la période. Les valeurs utilisées dépendent de la culture sélectionnée. Ces valeurs peuvent changer dans le temps et les stades permettent d'aiguiller ces changements.

- **Stade 1 :**
 - Peu importe la culture, le jour 1 de la période débute à ce stade.
 - Le nombre de jours consécutifs à ce stade est variable pour les cultures semées.
 - Les cultures vivaces et transplantées passent au stade 2 dès le jour 2.
 - Kc = Valeur initiale et cette dernière est constante d'une journée à l'autre.
 - Profondeur racinaire = Valeur initiale et elle est constante d'une journée à l'autre.
- **Stade 2 :**
 - Kc = Quotidiennement, la valeur croît de façon linéaire depuis la valeur initiale jusqu'à la valeur maximale.
 - Profondeur racinaire = Quotidiennement, la valeur croît de façon linéaire depuis la valeur initiale jusqu'à la valeur maximale.
- **Stade 3**
 - Kc = Valeur maximale et constante.
 - Profondeur racine = Valeur maximale et constante.
 - Une culture qui est détruite à ce stade ne peut pas atteindre le stade 4.
- **Stade 4**
 - Kc = Décroissance linéaire depuis valeur maximale jusqu'à valeur minimale.
 - Profondeur racine = valeur maximale.

À cette étape, chacune des journées comprises dans la période s'est d'abord vu attribuer un stade précis, puis une valeur de Kc et une valeur de profondeur racinaire.

La réserve en eau du sol facilement utilisable par la culture (RFU max)

Lorsque l'information ayant trait à la capacité de rétention en eau du sol est issue de la voie du triangle textural, elle aboutit à une valeur de réserve utile en eau du sol (RU) dite « brute ». En présence de particules de sol ayant un diamètre supérieur à 2 mm, la proportion entrée par l'utilisateur est retranchée de cette RU brute et devient à ce moment une RU « nette ». La voie de la méthode avancée, où l'utilisateur renseigne manuellement une valeur de RFU-PT, aboutit directement à une RU « nette ». Cette RU est considérée être la même pour l'ensemble de la profondeur de sol prise en compte. La profondeur considérée est égale à la profondeur racinaire.

La réserve facilement utilisable en eau du sol par la culture (RFU) maximale peut maintenant être calculée par l'outil.

Une RFU maximale, exprimée en hauteur d'eau (mm), est calculée pour chacune des journées de la période. Ce calcul, effectué quotidiennement, implique : 1) la capacité de rétention en eau du sol en présence (RU nette); 2) la profondeur racinaire du moment, selon le stade de développement; et 3) un facteur de correction qui tient compte du développement du système racinaire. Le facteur de correction utilisé est respectivement de 0,33, 0,50 et 0,66 pour les stades 1, 2, 3 et de 0,66 pour le stade 4 (Chambre d'agriculture, 2017). De plus, les premiers 60 cm sont traités de la même façon, alors qu'un facteur de 0,33 est appliqué pour toute profondeur qui excède 60 cm, peu importe le stade. Cette réserve n'est pas nécessairement la hauteur d'eau présente dans le sol pour une journée donnée, mais plutôt la hauteur maximale que le sol peut contenir à une journée donnée.

Voici un exemple de calcul de la RFU maximale pour une culture ayant un enracinement de 30 cm, dans un loam (RU = 2 mm) au stade 3

$$\text{RFU max [mm]} = 2 \text{ [mm/cm]} \cdot 30 \text{ [cm]} \cdot 0,66 = 39,6 \text{ [mm]}$$

Évapotranspiration de la culture (ETC) et apports en eau

Le bilan hydrique est exécuté sur une base quotidienne.

La variation quotidienne de la RFU dépend de l'évapotranspiration de la culture (ETC) et des apports en eau conséquents à la pluie et à l'irrigation. L'ETC quotidien est soustrait à la RFU du début de la journée et puis les apports provenant des précipitations sont additionnés.

L'ETC quotidienne est obtenue en utilisant la valeur d'ETP du jour (station météo la plus près¹) et du Kc qui a été attribué à cette journée (ETC = ETP • Kc). En ce qui a trait aux apports en eau conséquents aux précipitations, ils proviennent de la même station météo que celle utilisée pour l'ETP.

La RFU est considérée pleine au jour 1 et ne peut pas contenir plus d'eau que la valeur maximale de la RFU au jour considéré.

quotidiennement, la décision ou non d'intervenir avec l'irrigation dépend d'abord de l'objectif. Un épisode d'irrigation est considéré chaque fois où le bilan hydrique atteint la valeur de 0 avec l'objectif « Confort hydrique », alors qu'il faut attendre 4 jours depuis l'atteinte du 0 avec l'objectif « Assurance récolte ». Le résultat de ce calcul est constaté après avoir soustrait l'ETC de la journée à la RFU de départ et s'il y a lieu, additionné les apports en eau conséquents à la pluie, sans dépasser la RFU max.

Voici un exemple avec une RFU max de 39,6 mm, une RFU de départ au 23 juin de 15 mm, une valeur d'ETP de 5 mm, un Kc de 0,6 et une pluie de 45 mm

$$\begin{aligned} \text{RFU fin (23 juin)} &= 23 \text{ mm} - (5 \text{ mm} \cdot 0,6) + 45 \text{ mm} = 65 \text{ mm (pas d'irrigation, car RFU fin} > 0) \\ \text{RFU départ (24 juin)} &= 39,6 \text{ mm (car } 65\text{mm} > 39,6 \text{ mm)} \end{aligned}$$

¹ L'équation utilisée pour calculer l'ETP peut être différente d'une station à l'autre.

L'apport d'eau exprimé en hauteur appliquée (mm) dépend du type de système d'irrigation sélectionné par l'utilisateur (Aspersion = 20 mm, Goutte-à-goutte = 2 mm et Pivot-goutte-à-goutte = 10 mm) et le volume (m³) dépend de la superficie (ha) de la culture. Ces valeurs ne peuvent pas être modifiées par l'utilisateur.

La hauteur d'eau appliquée avec l'irrigation sera ajoutée à la RFU de départ de la journée suivante, toujours dans les limites de celles-ci (RFU max).

À l'étape 4, soit celle des résultats, l'utilisateur doit choisir un type de saison parmi normale, humide ou sèche, ou encore, choisir une année en particulier (1998-2022). Ce choix détermine les données météorologiques (ETP et précipitations) qui seront utilisées.

Un type de saison regroupe un nombre variable de saisons précises (1998 à 2022). Si l'utilisateur choisit un type de saison, le bilan hydrique sera exécuté pour chacune des années impliquées. Les résultats seront la moyenne du nombre d'irrigations/saison et la moyenne du volume/saison.

4.2 Disponibilité de l'eau

4.2.1 Approvisionnement en eau (exploitabilité)

Les approvisionnements en eau définis par l'utilisateur servent à établir le bilan en eau à la page des résultats et par conséquent, à estimer la vulnérabilité de l'entreprise au déficit hydrique. Toutes les informations sont renseignées à l'étape 2.

4.2.1.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 2 « Approvisionnement en eau »

Nom de l'approvisionnement : L'utilisateur doit saisir un nom pour la « source d'approvisionnement en eau » qu'il renseigne (ex. « Étang A »). Ce nom sera utilisé à la page des résultats.

Type d'approvisionnement : L'utilisateur doit choisir parmi : aqueduc municipal, étang artificiel, fleuve/lac/rivière/ruisseau (FLRR), hydrant, puits ou réservoir.

Limite d'approvisionnement quotidienne [m³] : L'utilisateur doit saisir une valeur positive (2 décimales maximum). Demandé si le type d'approvisionnement est : aqueduc municipal, fleuve/lac/rivière/ruisseau (FLRR), hydrant, ou puits.

Précision sur l'origine de l'approvisionnement : L'utilisateur doit préciser l'origine de l'approvisionnement si celui choisi est parmi : étang artificiel, hydrant ou réservoir. Les choix possibles varient selon le type d'approvisionnement.

- Étang artificiel : fonte neige, eau souterraine (Puits), eau de surface (FLRR) ou aqueduc.
- Hydrant² : eau souterraine (Puits), eau de surface (FLRR) ou aqueduc.
- Réservoir : captage actif pluie, eau souterraine (Puits), eau de surface (FLRR) ou aqueduc.

Dans la version d'EstimEau liée à ce rapport, la précision sur l'origine de l'approvisionnement n'intervient pas dans les calculs.

Une fois à sec, combien de fois êtes-vous capable de le remplir sur l'été? L'utilisateur doit saisir un entier positif. L'utilisateur doit préciser cette information si le type d'approvisionnement choisi est étang ou réservoir.

Volume de votre réservoir [m³]. L'utilisateur doit préciser cette information si le type d'approvisionnement choisi est un réservoir.

Dimension de votre étang [m] : L'utilisateur doit indiquer ces dimensions à partir de la surface du sol : longueur, largeur et profondeur. Pour considérer la présence de pentes, 25 % sont retranchés au volume.

Localisez votre source d'approvisionnement [degrés décimaux] : L'utilisateur doit positionner la source d'approvisionnement en eau à l'aide de l'interface Google Map.

² Borne-fontaine de réseau d'irrigation.

4.2.1.2 Calcul

Tous les calculs sur la disponibilité en eau de l'entreprise se font à l'étape 4 (page des résultats) et sont présentés à la section « 4.2.4.2 Vulnérabilités par approvisionnement ».

4.2.2 Eau de surface et eau souterraine (disponibilité potentielle)

La disponibilité de l'eau de surface et celle de l'eau souterraine sont des valeurs de disponibilité potentielles qui dépendent de la localisation de l'entreprise qui a été définie à « l'Étape 1 ».

4.2.2.1 Variables qui dépendent de l'utilisateur

Étape 1 « Localisation de l'exploitation »

Localisation géographique de l'exploitation [degrés décimaux] : L'utilisateur doit positionner son exploitation à l'aide de l'interface Google Map.

4.2.2.2 Calcul

Étape 4 « Résultats »

Le « calcul » des eaux de surface et souterraines repose essentiellement sur l'interrogation de base de données géoréférencées.

Eau de surface

Disponibilité des eaux de surface [m³/s par mois] : Cette donnée est tirée de la base de données des eaux de surfaces. Le polygone le plus près de la localisation géographique de l'exploitation est utilisé. Les données d'eau de surface sont au format ShapeFile et couvrent le territoire agricole du Québec. Chaque polygone du shapefile contient 12 valeurs qui représentent la quantité d'eau moyenne annuelle disponible pour chaque mois de l'année.

La valeur de la base de données est en m³/s et elle est convertie en m³/mois. De plus, 15 % de la valeur est retenu. Cette valeur est en lien avec le règlement ayant trait au prélèvement d'eau de surface. Pour plus d'information à ce sujet, vous pouvez consulter le rapport suivant :

Ricard, S., M. Osina, M., F. Huchet, A. Blais-Gagnon et C. Boivin, 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; VOLET 2 – Estimation de la disponibilité en eau à l'échelle du Québec agricole. Rapport IRDA et partenaires, 58 pages.

Disponibilité de l'eau de surface mensuelle [milliers m³/mois] = Disponibilité de l'eau de surface [m³/s/mois] • 60 s/min • 60 min/heure • 24 heures/jour • 30,5 jours/mois • 0,15 [ratio] • 1/1000 [pour obtenir des valeurs en milliers]

Disponibilité de l'eau de surface annuelle [milliers m³/an] = Sommation des valeurs mensuelles d'eau de surface.

Les eaux de surfaces mensuelles et annuelles sont présentées dans le tableau des résultats.

Eau souterraine

Disponibilité des eaux souterraines [m³/an] : Cette donnée est tirée de la base de données des eaux souterraines d'après le centroïde le plus près de la localisation géographique de l'exploitation. Les données d'eaux souterraines sont au format raster avec une grille de 1 km sur 1 km (1 km²) qui contiennent des points qui représentent leurs « centroïdes ». Chaque point contient une valeur moyenne annuelle de disponibilité qui a été multipliée par la dimension de la tuile (1 km²) pour avoir une valeur en m³ à la page des résultats.

Il s'agit d'une recharge annuelle uniquement. Elle est présentée dans le tableau des résultats.

4.2.3 Eau de pluie récupérée par les toitures (disponibilité potentielle)

4.2.3.1 *Variables qui dépendent de l'utilisateur*

Étape 1 « Localisation de l'exploitation »

Localisation géographique de l'exploitation [degrés décimaux] : L'utilisateur positionnement son exploitation à l'aide de l'interface Google Map.

Superficie totale de toiture des bâtiments [m²] : L'utilisateur renseigne facultativement la superficie totale des bâtiments sur le lieu de son exploitation.

Étape 4 « Résultats »

Type de saison : L'utilisateur choisit dans un menu déroulant parmi : sèche, normal, humide, ou le choix d'une seule année entre 1998 et 2022.

4.2.3.2 Calcul

- I. Dans la base de données météorologique (présentée à la section 5.3.1), la station météo la plus près de l'exploitation est identifiée.
 - Si la **station** la plus près est à **> 50 km**, l'algorithme s'arrête (alors aucune donnée d'eau de pluie via la toiture n'est fournie au tableau des résultats).
 - Si la **station** la plus près est à **< 50 km**, les données sont retenues et l'algorithme se poursuit.
- II. Les données sont filtrées pour ne conserver que les données du 1^{er} avril au 31 octobre, inclusivement. Selon le « type de saison » qui a été sélectionnée, les deux cas de calculs sont :
 - Si le « **type de saison** » représente une **année civile** (ex. 2014), alors l'utilisateur doit passer à l'étape suivante.
 - Sinon, si le « **type de saison** » est « **sèche** », « **normale** », ou « **humide** », alors :
 - a. Filtrer la table météorologique pour conserver seulement les valeurs du 1^{er} avril (pourrait y avoir 1 à n années). (La valeur du 1^{er} avril est choisie pour réduire la taille du tableau extrait, l'indice de précipitation normalisé (INP) est uniforme « par année »).
 - b. Filtrer table météorologique pour conserver seulement les valeurs qui correspondent au « type de saison » sous la colonne « indice de précipitation normalisé ».
 - c. Faire la moyenne « par jour » des précipitations pour chacune des années prises en considération.
- III. Les précipitations quotidiennes (mm) sont multipliées par la « Superficie totale de toiture des bâtiments en m². Donne des litres par jour (1 mm x 1 m² = 1 L).
- IV. Les 214 résultats trouvés (214 jours entre le 1^{er} avril et le 31 octobre) sont additionnés « par mois ». L'eau de pluie (L) se trouve donc à être répartie sur sept mois (avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre).
- V. La valeur est divisée par 1000 pour exprimer les résultats finaux en m³.
- VI. Au tableau des résultats, les valeurs mensuelles et le total annuel (1^{er} avril au 31 octobre) sont présentés et arrondis au m³.

4.2.4 Page des résultats (tableaux et règles de mises en forme)

À la page « résultats » (4^e et dernière étape d'EstimEau) se trouvent les résultats généraux et détaillés de l'entreprise sur son bilan en eau et sa vulnérabilité du déficit en eau. Une échelle de vulnérabilité au déficit en eau, via l'utilisation de couleurs, est également présente sur toute la page.

4.2.4.1 Résultats généraux

À la section « résultats généraux » un tableau présente la somme de tous les besoins et approvisionnements renseignés par l'utilisateur dans les différents formulaires. Il s'agit du bilan global annuel de l'entreprise. Le calcul du bilan global est fait ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Besoins en eau estimés [m}^3\text{]} &= \text{Somme de tous les besoins en eau calculés [m}^3\text{]} \\ \text{Apports estimés [m}^3\text{]} &= \text{Somme de tous les approvisionnements en eau calculés [m}^3\text{]} \\ \text{Bilan (apport - besoins) [m}^3\text{]} &= \text{Apports estimés [m}^3\text{]} - \text{Besoins en eau estimés [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

Si à au moins un mois de la section « Vulnérabilité par approvisionnement » (section 4.2.4.2), les besoins sont plus grands que les apports, alors un symbole de mise en garde apparaît à côté de la valeur du « Bilan (apport – besoins) » tel que présenté à la Figure 2.



Figure 2. Symbole de mise en garde.

4.2.4.2 Vulnérabilités par approvisionnement

À la section « vulnérabilités par approvisionnement », un tableau présente les besoins en eau, les sources d'approvisionnement et les bilans (approvisionnement – besoin) sur une base mensuelle. Le tableau fournit, en plus, le cumul annuel pour chaque source ou besoin.

Tous les « noms d'activités » et « nom d'approvisionnement » présentés au tableau sont ceux qui ont été définis par l'utilisateur aux étapes 1 à 3. Les besoins en eau sont regroupés par approvisionnement et il est possible de les rendre « actif » ou « inactif », ce qui a pour conséquence d'inclure un besoin, oui ou non, dans le bilan mensuel. Toutes les valeurs sont en m³.

Le calcul est différent selon les trois cas : général, cas particulier de l'irrigation et le cas particulier de l'étang et des réservoirs.

Cas général (sauf irrigation, étangs et réservoirs)

Le tableau montre :

1. Les approvisionnements en eau (sauf étangs et réservoirs) mensuel et total annuel par approvisionnement en m³.
2. Les besoins en eau mensuel et total annuel par approvisionnement.
3. Le bilan en eau = approvisionnement en eau - besoin en eau.

À noter que le bilan n'est pas fait sur les résultats annuels.

Une couleur de fond indique la vulnérabilité par approvisionnement (voir section 4.2.4.4)

Cas de l'irrigation

Présence d'approvisionnement :

- a. S'il a une source d'approvisionnement : la ligne « approvisionnement » comprend des données.
- b. Si l'utilisateur a choisi « aucun » comme « source d'approvisionnement en eau » au formulaire irrigation : alors la ligne approvisionnement est vide.

Bilan:

- a. S'il n'y a pas eu d'irrigation durant le mois, alors:
 - i. Le bilan est surligné « vert ».
 - ii. Il n'y a aucun chiffre dans la case du bilan.
- b. S'il y a eu au moins une irrigation durant le mois, alors :
 - i. Si le bilan du mois est positif :
 - Le bilan est surligné « vert ».
 - Le chiffre dans de la case est le besoin en eau du mois.
 - ii. Si le bilan du mois est négatif :
 - Le bilan est surligné « rouge ».
 - Le chiffre dans la case est le bilan du mois : approvisionnement – besoin.

Cas des étangs et des réservoirs

Le volume annuel maximum disponible pour un étang ou un réservoir (aussi appelé réserve) est le point de départ et constitue la « réserve ». L'étang/réservoir est vidé progressivement comme s'il s'agissait d'une batterie :

- Du mois d'avril au mois d'octobre, ce volume est vidé progressivement en soustrayant, mensuellement, les besoins en eau.
- Tant que la « réserve » du mois est > 0 , l'approvisionnement est égal au besoin.
- Une fois que « besoin en eau du mois » $>$ « réserve en eau du mois », la réserve est « déplacée » dans « approvisionnement » et la réserve est remise à 0.
- Le bilan est surligné « vert » si positif et surligné « rouge » si négatif.

4.2.4.3 Disponibilités potentielles

Les disponibilités potentielles sont calculées telles qu'expliquées aux sections 4.2.2 et 4.2.3. Aucune mise en forme de couleur n'est appliquée à cette section de la page de résultats.

- Eaux de surface : Les totaux mensuels et le total annuel sont indiqués.
- Eaux souterraines : Seule la valeur annuelle est indiquée.
- Eau de pluie via la toiture : Les totaux mensuels d'avril à octobre (inclusivement) sont indiqués.

4.2.4.4 Échelle de vulnérabilité pour les résultats (règles de couleurs)

Une échelle de couleur est utilisée pour renseigner l'échelle de vulnérabilité à laquelle l'exploitation (section « résultats généraux ») et les sources d'approvisionnement (section « par approvisionnement ») sont exposées. L'échelle de vulnérabilité s'appuie sur le ratio : eau disponible / besoin en eau (excepté pour l'irrigation où tout bilan négatif est rouge et tout bilan positif est vert). Ces ratios sont illustrés à la Tableau 2 de la section 4.2.4.4.

Tableau 2. Échelle de vulnérabilité utilisée par sources d'approvisionnement en eau, et pour le bilan global de l'entreprise (ratio : eau disponible / besoin en eau).

Disponibilité	Échelle
≥ 125 % du total des besoins	Vert
100 à 124 % du total des besoins †	Jaune
75 à 99 % du total des besoins †	Orange
< 75 % du total des besoins	Rouge

† Pour le besoin en eau d'irrigation, ainsi que pour toute source d'approvisionnement de type étang ou réservoir : tout bilan négatif est rouge, et tout bilan positif est vert.

4.3 Identifier des techniques de gestion de l'eau à adopter pour limiter les conflits d'usage

Lors de la recherche d'information et la consultation d'experts ayant mené à la construction de la base de données, des bonnes pratiques de gestion de l'eau (BPGE) ont été relevées. Elles sont mises en commun par type d'activité dans le Tableau 3 présenté aux pages suivantes.

Dans une version ultérieure d'EstimEau, ces techniques pourraient faire l'objet de propositions personnalisées à l'utilisateur.

Elles sont aussi accessibles via l'onglet « En savoir plus à <https://estimeau.ca/>

Tableau 3. Bonnes pratiques de gestion de l'eau (BPGE).

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Général		Récupérer et utiliser l'eau de pluie.	Ward et McKague (2023), Boivin et coll. (2024)
		Utiliser des compteurs d'eau pour connaître les volumes utilisés à la ferme.	Ward et McKague (2023)
		Valider les valeurs proposées par EstimEau avec un agronome.	Équipe de rédaction
Élevage	Général	Tenir compte de la prise alimentaire, la composition des aliments, la température ambiante, le poids de l'animal et l'intensité de son activité physique pour évaluer le besoin en eau.	Ward et McKague (2023)
		Récupérer et utiliser complètement l'eau des refroidisseurs à plaque.	LPLC (2024)
		Recycler l'eau de lavage des systèmes de traite et des réservoirs à lait pour laver les aires d'attente et les planchers.	LPLC (2024)
		Minimiser la quantité d'eau nécessaire pour le déplacement du lisier vers les installations d'entreposage.	Ward et McKague (2023)
	Abreuvement	Tenir compte de la teneur en eau des aliments.	Ward et McKague (2023)
	Bovin laitier (abreuvement)	Tenir compte du fait que les périodes de consommation maximale d'eau et d'aliments coïncident généralement.	Ward et McKague (2023)
		Gérer le stress thermique pour réduire la consommation d'eau d'abreuvement.	LPLC (2024)
		Surveiller et contrôler les fuites (abreuvoirs, les bols à eau, boyaux, robinets, etc.).	LPLC (2024)
	Lavage des bâtiments	Choisir des matériaux qui facilitent le nettoyage au moment de la construction d'un bâtiment agricole.	
		Mesurer sa consommation d'eau permet de choisir un système approprié et dont la capacité est suffisante.	Hawkins et Barkes (2022)
		Utiliser un étalonnage et un réglage adéquat des cycles de lavage du lactoduc et du refroidisseur à lait.	Hawkins et Barkes (2022)
		Réutiliser les eaux de lavage pour nettoyer les planchers.	Hawkins et Barkes (2022)
	Lavage des bâtiments (exploitations laitières)	Évacuer directement les eaux restées propres (ex. trop-plein des récupérateurs de chaleur) sans passer par les avaloirs.	Hawkins et Barkes (2022)
		Évacuer les eaux de lavage au stockage, au lieu de les réutiliser à d'autres fins.	Hawkins et Barkes (2022)
		Ajouter l'eau du refroidisseur à lait aux eaux de lavage.	Hawkins et Barkes (2022)
		Ajouter les eaux usées d'autres provenances (machines à laver, sanitaires, etc.) aux eaux de lavage.	Hawkins et Barkes (2022)

Tableau 3 (suite 1 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Élevage (suite)	Cunicole (abreuvement)	Tenir compte de la température ambiante.	Ward et McKague (2023)
		Tenir compte du régime alimentaire (contenu en fibres et protéines). Une teneur élevée en fibres ou en protéines augmente le besoin en eau.	Ward et McKague (2023)
	Porcin (général)	Tenir compte du fait que le gaspillage d'eau augmente le volume de lisier à épandre.	Ricard et Turcotte (2022)
	Porcin (abreuvement)	Utiliser des abreuvoirs économiseurs d'eau.	Turcotte et coll. (2023)
		Privilégier, s'il y a lieu, des sucres à bille ou suspendues.	Turcotte et coll. (2023)
		Ajuster le débit d'eau des abreuvoirs en fonction du stade de production et des recommandations du fabricant.	Turcotte et coll. (2023)
		Ajuster la hauteur de l'équipement d'abreuvement en fonction du stade de production et des recommandations du fabricant.	Turcotte et coll. (2023)
		Adapter la hauteur des abreuvoirs à la taille des animaux pour minimiser le gaspillage d'eau et faciliter l'accès.	Turcotte et coll. (2023), Ramonet et coll. (2017)
		Utiliser un débit d'abreuvement adéquat et ajusté au système d'abreuvement utilisé et au stade de production visé.	Turcotte et coll. (2023), Massabie et coll. (2014), Ramonet et coll. (2017)
		Tenir compte du fait que le facteur le plus important pour une utilisation durable de l'eau est la gestion des abreuvoirs	Turcotte et coll. (2023), Massabie et coll. (2014).
	Porcin (lavage des bâtiments)	Réparer les fuites et les bris dans les équipements, ainsi que sur les lignes d'approvisionnement.	Turcotte et coll. (2023)
		Tenir compte du type de machine et de buse, car il a un impact sur le temps de lavage et par conséquent, le volume d'eau.	Turcotte et coll. (2023)
		Utiliser des machines à haute pression pour le nettoyage.	Turcotte et coll. (2023)
		Choisir des matériaux facilement lavables et limitant les accumulations de matières organiques lors de la conception des porcheries	Turcotte et coll. (2023)
		Effectuer une préparation à sec en enlevant la majorité des matières organiques accumulées (ex. déjections, aliment) pour diminuer la quantité d'eau requise pour le lavage.	Turcotte et coll. (2023)
		Réparer les fuites et les bris dans les équipements, ainsi que sur les lignes d'approvisionnement.	Turcotte et coll. (2023)
		Tenir compte du type de machine et de buse, car il a un impact sur le temps de lavage et par conséquent, le volume d'eau.	Turcotte et coll. (2023)
		Choisir des matériaux facilement lavables et limitant les accumulations de matières organiques lors de la conception des porcheries.	Turcotte et coll. (2023)

Tableau 3 (suite 2 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Élevage (suite)	Porcin (lavage des bâtiments, suite)	Effectuer une préparation à sec en enlevant la majorité des matières organiques accumulées (ex. déjections, aliment) pour diminuer la quantité d'eau requise pour le lavage.	Turcotte et coll. (2023)
		Limiter les accumulations d'eau pendant le lavage pour éviter de diminuer l'efficacité des agents nettoyants.	Turcotte et coll. (2023)
		Utiliser de l'eau chaude pour diminuer le temps de lavage.	Turcotte et coll. (2023)
		Effectuer un prétrempage dans les 3 à 4 heures suivant le départ des animaux, soit lorsque les conditions sont encore adéquates pour éviter le durcissement du lisier.	Turcotte et coll. (2023)
		Favoriser le prétrempage automatique au détriment du prétrempage manuel.	Turcotte et coll. (2023)
		Favoriser le prétrempage intermittent au détriment du prétrempage continu.	Turcotte et coll. (2023)
		Utiliser un agent mouillant pour diminuer la quantité d'eau nécessaire et ramollir les souillures.	Turcotte et coll. (2023)
		Utiliser des agents nettoyants (savons et détergents) adaptés aux micro-organismes présents dans l'élevage et à la qualité de l'eau.	Turcotte et coll. (2023)
		Éviter la formation de biofilms.	Turcotte et coll. (2023)
		Favoriser un angle de 45° par rapport à la surface à nettoyer afin de diminuer la quantité d'eau requise.	Turcotte et coll. (2023)
	Porcin (employés)	Utiliser des pommeaux de douche à économie d'eau.	Turcotte et coll. (2023)
		Utiliser des machines à laver à haute efficacité.	Turcotte et coll. (2023)
	Volaille (abreuvement)	Utiliser et bien installer les tétines améliore la propreté des abreuvoirs et réduit les débordements d'eau.	Ward et McKague (2023)
		Utiliser des abreuvoirs siphoniques ou des auges placées sous les abreuvoirs à tétines dans le cas des oiseaux élevés en cage.	Ward et McKague (2023)
		Tenir compte du fait que les volailles sont plus sensibles au goût et à la teneur en minéraux de l'eau potable que les autres animaux d'élevage.	Ward et McKague (2023)
Tenir compte du fait que le comportement des canards est celui d'un animal aquatique, ce qui entraîne souvent du gaspillage.		Massabie et coll. (2014)	

Tableau 3 (suite 3 de 7)

Irrigation	Culture	Cibler des stades précis de développement en contexte d'approvisionnement en eau contraignant (ex. nombre maximal tubercules de pommes de terre vs poids moyen)	Landry et coll. (2014)
		Privilégier un cultivar ou culture plus résistant au stress hydrique.	Boivin et coll. (2017a), Boivin et coll. (2021)
		Tenir compte de la réserve en eau du sol (texture) et la résistante des différents cultivars/cultures au stress hydrique lors de planification des semis/implantations « par parcelle ».	Boivin et coll. (2017a), Boivin et coll. (2021)
	Expertise	Être accompagné d'un professionnel dans la réalisation et l'analyse du diagnostic de la performance d'un système d'irrigation.	Nadon et coll. (2017)
	Outil d'aide à la décision (OAD)	Utiliser des OAD pour piloter les irrigations.	Boivin et coll. (2018)
		Bien installer un OAD : 1 dans la zone de prélèvement (centre de la zone racinaire) et 1 à la limite inférieure du système racinaire (sous les racines).	Boivin et coll. (2018)
		Ajuster la hauteur d'eau appliquée selon la profondeur d'enracinement et la réponse d'un OAD à la limite inférieure des racines (sous les racines).	Boivin et coll. (2018)
		Suivre l'évolution du statut hydrique quotidiennement (minimalement).	Boivin et coll. (2018)
		Établir une consigne selon l'approche du Point tournant (PT) afin de connaître le moment où la RFU est épuisée.	Boivin et coll. (2018)
		Suivre les conditions météorologiques pour éviter les apports inutiles d'eau par irrigation qui en favorisent le lessivage (ex. avant une averse).	Deschênes et coll. (2024)
		Utiliser une valve compteur d'eau.	Deschênes et coll. (2024)
	Ressource eau	Considérer l'objectif « assurance récolte » plutôt que « confort hydrique » dans un contexte d'approvisionnement en eau contraignant.	Boivin et coll. (2018)
		Diminuer la superficie en culture ou prioriser des champs selon le volume d'eau disponible.	Boivin et coll. (2018)

Tableau 3 (suite 4 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Irrigation (suite)	Performance du système d'irrigation	Fractionner la hauteur d'eau apportée (25 %, 75 %) ou irriguer après une pluie de +/- 5 mm (pivot central).	Boivin et coll. (2018)
		Éviter d'irriguer lors de la présence de forts vents avec des systèmes par aspersion.	Nadon et coll. (2017)
		Faire un diagnostic de la performance du système d'irrigation.	Boivin et coll. (2018)
		Utiliser des tuyaux qui réduisent la perte de charge.	Deschênes et coll. (2024)
		Dans la fraise irriguée par goutte-à-goutte, si plus d'eau doit être apportée, favoriser l'augmentation de la fréquence à l'augmentation de la durée des épisodes d'irrigation.	Boivin et coll. (2018)
		En contexte d'approvisionnement en eau limité dans la pomme de terre, considérer utiliser un système mobile d'irrigation en début de saison suivi d'un goutte-à-goutte installé au renchaussage dans un entre rangs sur deux.	Boivin et coll. (2018)
		Pratiquer l'irrigation déficitaire dans le cas où l'irrigation est utilisée comme une « assurance récolte » plutôt que dans un but de « maintiens du confort hydrique ».	Deschênes et coll. (2024)
		Augmenter le nombre de tubulures de goutte-à-goutte dans le cas d'un sol drainant pour que le bulbe d'humectation couvre une plus grande proportion de la zone racinaire.	Boivin et Deschênes (2011)
	Santé des sols	Avoir une pression des pneus adaptée aux conditions de sol.	
		Favoriser des conditions de sol non limitatives à l'enracinement en profondeur.	Boivin et coll. (2018)
		Avoir recours à une plante abris au semis	
		Avoir recours à une culture de couverture au semis.	
		Avoir recours au travail réduit du sol pour éviter la compaction.	
		Pratiquer l'agriculture à circulation contrôlée, aussi connue sous le nom de « Controlled traffic farming ».	
		Augmenter la matière organique du sol.	
		Tenir compte du statut hydrique du sol lors d'une fertigation pour éviter d'intervenir en conditions trop humides.	Boivin et coll. (2018)
Envisager le recours à de l'engrais à libération contrôlée en remplacement de la fertigation.	Boivin et coll. (2016)		

Tableau 3 (suite 5 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Lavage des légumes	Général	Valider que l'option de lavage de légumes et de traitement des eaux de rejets est adaptée à son exploitation.	Brassard et coll. (2014)
		Réduire les débits ou favoriser une plus grande recirculation de l'eau dans les premières parties de la laveuse (près de l'entrée des légumes) car le dernier rinçage doit se faire avec de l'eau potable. Favoriser le captage de l'eau à recirculer dans les dernières parties du processus (dernières parties de la laveuse) pour capter l'eau avec moins de présence de solides.	Brassard et coll. (2014)
		Utiliser un système d'enlèvement de la terre et des matières végétales à sec pour réduire la taille et le coût du matériel de traitement de l'eau de lavage après le processus de lavage.	Brassard et coll. (2014)
		Pour les légumes racines, favoriser l'usage de dispositifs d'enlèvement de la terre afin de réduire la quantité d'eau utilisée pour le lavage, et aussi, la quantité d'eau totale à traiter.	Godbout (2013), MAAARO (2017)
	Sol organique	Tenir compte du fait qu'en terre noire (sols organiques), les particules sont plus difficiles à déloger, ce qui demande plus d'eau.	Équipe d'ingénierie agroenvironnementale de l'IRDA

Tableau 3 (suite 6 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Main-d'œuvre hébergée	Général	Sensibiliser le personnel sur l'importance de la conservation de l'eau et encourager l'adoption de pratiques économes en eau.	
		Réparer les fuites et inspecter périodiquement la tuyauterie.	MAMH (2024)
		Attendre que la machine à laver soit remplie au maximum de sa capacité avant de la mettre en marche.	MAMH (2024)
		Utiliser un modèle de machine à laver certifié Energy Star.	
	Robinets	Fermer le robinet lors du lavage des mains, du brossage des dents et du rasage.	MAMH (2024)
		Installer des aérateurs de robinets.	MAMH (2024)
	Salle de bain	Utiliser des urinoirs.	
		Privilégiez la prise de douches plutôt que celle de bains.	MAMH (2024)
		Utiliser un pommeau de douche certifié WaterSense.	MAMH (2024)
		Utiliser une toilette certifiée WaterSense ou à faible débit.	MAMH (2024)
		Savoir que certaines fuites sont silencieuses. Pour déterminer si une toilette coule, verser deux ou trois gouttes de colorant alimentaire dans le réservoir. Si l'eau de la cuvette devient colorée après quelques minutes, c'est qu'il y a une fuite.	MAMH (2024)
	Usages extérieurs	Éviter ou réduire l'usage de l'eau lors du nettoyage extérieur (asphalte, murs extérieurs, etc.), en utilisant des brosses et un balai ou encore en utilisant un sceau de lavage plutôt qu'un tuyau d'arrosage.	MAMH (2024)
		Munir le boyau extérieur d'une fermeture à relâchement tenu à la main.	MAMH (2024)
Vaisselle	Utiliser un lave-vaisselle certifié Energy Star.	MAMH (2024)	
Pesticides	Général	Calibrer le pulvérisateur.	Duchesne et coll. (2016)
		Vérifier la présence de fuite dans le système d'aspersion (boyaux, raccords, etc.).	

Tableau 3 (suite 7 de 7)

Type d'activité		Bonne pratique de gestion de l'eau	Source
Protection contre le gel printanier	Général	Installer la sonde de suivi de la température pour la gestion du gel à la hauteur sensible de la culture (fruit, fleur), car lors de faibles vents (< 5-8 km/h), il existe généralement un gradient de température verticale où les températures en hauteur sont plus chaudes.	Anderson et coll. (2022), Anderson et coll. (2023), Pelletier et coll. (2017)
		Envisager d'autres méthodes de protection contre le gel que l'irrigation. Ex. : bâche, machine à vent, aménagement de la ferme, stratégie combinée d'irrigation sur bâche, etc.	Anderson et coll. (2023)
		Aménager la ferme de façon à éviter l'accumulation des masses d'air froid lors de gel radiatif.	Anderson et coll. (2023)
		Connaître les zones sensibles sur sa ferme et orienter une stratégie de récolte où ces zones sont récoltées en premier.	Anderson et coll. (2023)
		Installer un nombre suffisant de sondes de température à la hauteur sensible (fruit, fleur, bourgeons, etc.) et faire un suivi continu pour s'assurer de déclencher les méthodes de protection à temps.	Anderson et coll. (2023), Ikani (2022), Pelletier et coll. (2017)
		Automatiser l'irrigation contre le gel afin de prédire plus précisément le risque de gel (et économiser énergie et ressource en eau).	Pelletier et coll. (2017)
		Tenir compte du fait que d'implanter un changement de pratique culturale qui favorise la hâtivité d'une culture (ex. pour atteindre un marché de primeur) peut introduire une vulnérabilité accrue au gel printanier, donc une vulnérabilité au déficit en eau.	Bergeron (2023b), Boivin et coll. (2019)
	Fraise	Tenir compte de l'eau disponible pour l'irrigation dans un processus de choix d'une culture et tenir compte de sa hâtivité et sa vulnérabilité au gel printanier.	Bergeron (2023b)

5 RÉSULTATS

5.1 Chronologie des dates importantes

- 2022
 - Début du projet et signature de la convention entre le MAPAQ et l'IRDA (25 mars).
 - Consolidation de l'équipe de réalisation.
 - Formation du comité suivi.
 - Rencontre n° 1 du comité suivi (8 novembre).
 - Contrat avec Alithya pour la réalisation de l'outil web.
- 2023
 - Entente avec Financière agricole du Québec pour obtenir les bases de données ayant trait à leurs stations météo (1998-2022) 171 stations.
 - Rencontre n° 2 du comité suivi (9 mai).
 - Livraison d'une version d'essai
- 2024
 - EstimEau est en ligne : <https://estimeau.ca/>

5.2 Fonctionnalités de l'outil

EstimEau est un logiciel utilisable sur Internet à partir d'un navigateur web à « <https://estimeau.ca/> ». Bien qu'il ne s'agisse pas d'une application développée pour le téléphone, certaines mises en forme sur la page facilitent la navigation à partir d'un tel appareil.

Le flux de navigation dans EstimEau est montré à la Figure 3 et il va comme suit :

- **Prérequis.** Créer un compte. Cela permet d'utiliser EstimEau et aussi de sauvegarder les informations entrées.
- **Étape 1.** Créer et localiser son exploitation. Il est possible d'ajouter autant d'exploitations que nécessaire. (Utile par exemple, pour un intervenant agricole qui ferait le suivi de plusieurs entreprises).
- **Étape 2.** Localiser et définir les caractéristiques des sources d'approvisionnement. Il est possible d'ajouter autant de sources que nécessaire.
- **Étape 3.** Ajouter les besoins en eau et répondre aux questions spécifiques à chaque besoin.
- **Étape 4.** Choisir le type de saison et le niveau de risque de gel (peut être facultatif à remplir selon les besoins de l'étape 3) et appuyer sur calculer.

Les étapes 1 à 3 servent à recueillir les renseignements utiles au calcul du bilan en eau de l'entreprise qui se trouve à l'étape 4 d'EstimEau. Ce bilan s'appuie exclusivement sur les données entrées par l'utilisateur et les algorithmes détaillés plus haut dans ce rapport.

La page des résultats (étape 4) met en relation les besoins en eau avec les sources d'approvisionnement et calcule des bilans. Toutes les valeurs présentes sur cette page sont en mètres cubes, exceptées si mentionnées autrement. La page est divisée en trois sections :

- **Résultats généraux** : Le cumulatif annuel des besoins en eau, des apports en eau (sources d'approvisionnement) et le bilan (apports - besoins) de l'exploitation.
- **Vulnérabilités par approvisionnement** : Tous les besoins en eau qui sont ventilés par sources d'approvisionnement, ainsi que le bilan (apports - besoins).
- **Autres disponibilités potentielles** : Les eaux souterraines et de surface potentiellement disponible près du positionnement de l'exploitation.

Une échelle de couleur est utilisée pour faire ressortir la vulnérabilité à laquelle l'exploitation (section « résultats généraux ») et ses sources d'approvisionnement (section « par approvisionnement ») sont soumises. Cette échelle de vulnérabilité est présentée au Tableau 2 de la section 4.2.4.4. (section qui traite des algorithmes de la page des résultats).

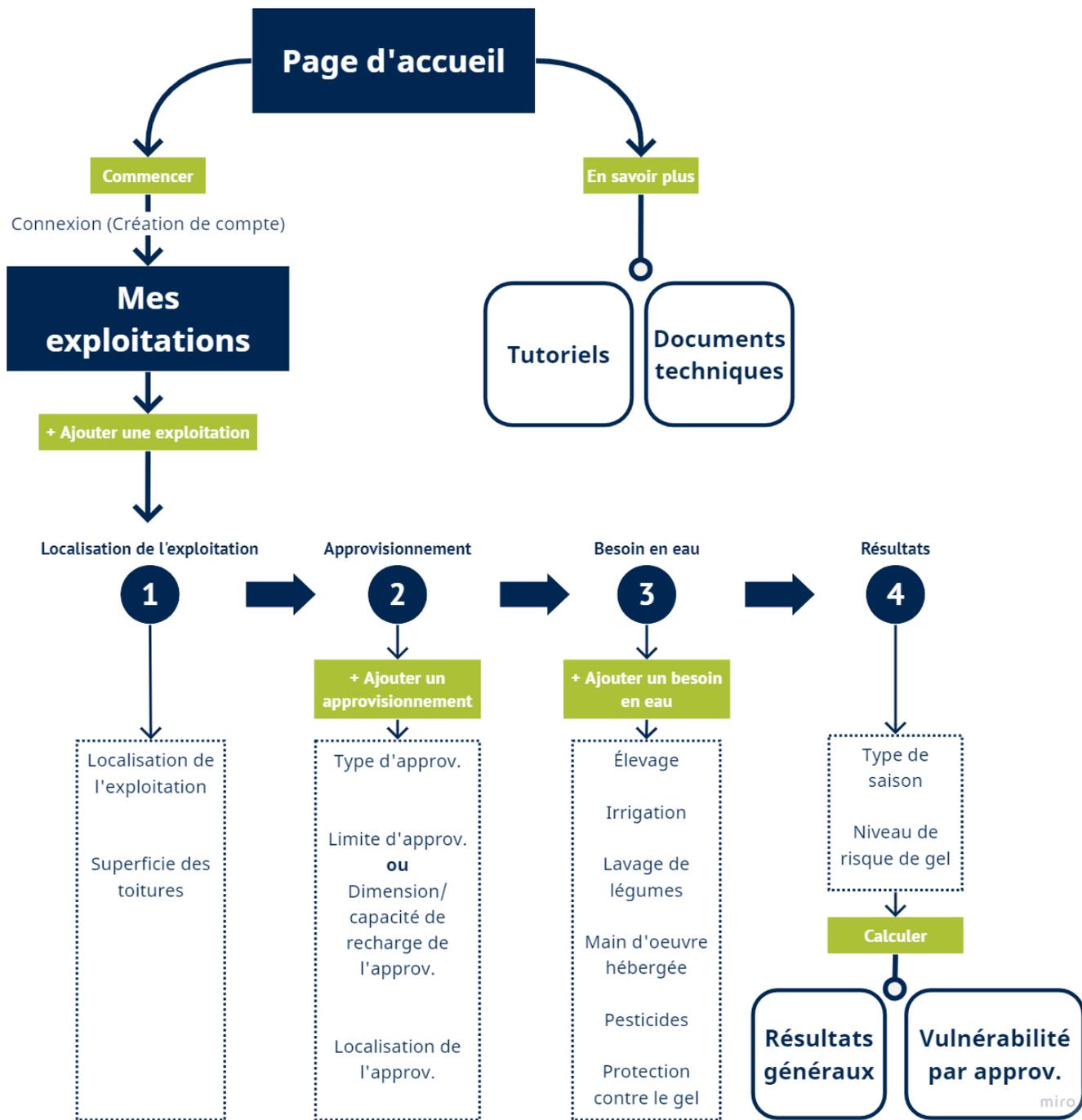


Figure 3. Plan du site et principales actions requises par l'utilisateur.

Pour l'eau potentiellement disponible, aucune échelle de couleur n'est utilisée, toutefois l'échelle de disponibilité pour les eaux souterraines avait fait l'objet d'une réflexion et est présentée au Tableau 4 même si elle n'était pas implantée dans l'outil au moment de publier ce rapport.

Tableau 4. Échelle de disponibilité des eaux souterraines, en milliers $m^3/km^2/an$.

Disponibilité	Échelle
< 100	Faible
100 à 150	Modéré
151 à 200	Élevé
201 à 250	Importante
> 250	Significative

5.3 Sources de données

Les sources de données d'EstimEau sont présentées dans cette section.

5.3.1 Données météorologiques

Les données météorologiques servent au calcul du besoin en eau d'irrigation et au calcul de l'eau potentiellement exploitable par la récupération via les toitures.

Les données météorologiques sont celles de La Financière agricole du Québec (FADQ). Elles ont été reçues à l'été 2023 (FADQ, 2023). Ces données ne sont pas présentées dans ce rapport. La liste des 171 stations est présentée au Tableau 5 des pages suivantes. Les données ont été reçues sous forme de tableur Excel contenant 15 colonnes et 1 561 401 lignes. Les données étaient sur une base journalière et s'étalaient du 1^{er} janvier 1988 au 31 décembre 2022. Les colonnes du tableur étaient les suivantes :

- Numéro station
- Nom de station
- Propriétaire de la station
- Altitude
- Latitude
- Longitude
- Région administrative
- Année
- Mois
- Jour
- Numéro de région administrative
- Température minimale
- Température maximale
- Précipitation sous forme de pluie
- Évapotranspiration

À cette table de données a été ajouté l'indice de précipitations normalisé (INP). La démarche de calcul pour ajouter cette colonne de donnée est décrite à la section 5.3.1.1 ci-dessous. Toutes les manipulations de données ont été faites avec le logiciel R (R Core Team, 2022).

5.3.1.1 *L'indice normalisé des précipitations*

L'indice normalisé des précipitations (INP) a été utilisé pour catégoriser les mois d'étés (juin-juillet-août) en « type de saison » : sèche, normale ou humide. La méthode de McKee et coll. (1993), a été utilisée pour classer le niveau de sécheresse par année pour chaque station. Le logiciel R (R Core Team, 2022) et la fonction « spi », du package « SPEI » (Beguería et coll., 2014) ont été utilisés. La période climatologique considérée était de 1998 à 2022. Ces données contenaient les données de pluie où des totaux mensuels ont été extraits pour chacune des 171 stations disponibles. Le laps de temps étudié était « 1 mois ». Retenir seulement certains mois de l'année n'avait pas d'impact sur le calcul de l'indice, la situation aurait été différente avec un laps > 1 mois.

Une moyenne a été appliquée sur l'indice de précipitation normalisé « par année ». Les critères de classification des sécheresses de McKee et coll. (1993), qui compte plusieurs catégories, ont été regroupées en trois catégories qui sont les suivantes :

- Sec : - 0,75 et moins
- Normal : - 0,75 à 0,75
- Humide : 0,75 et plus

Finalement, chaque année est donc classifiée avec l'un des « type d'année » suivante : sèche, humide ou normale.

5.3.1.2 Besoin en eau en fonction des facteurs affectant le risque de sécheresse agricole

Le besoin en eau d'irrigation et le volume d'eau récupérable via les toitures (voir l'aperçu de la méthodologie, section 4.2.3) utilisent la base de données météorologiques où l'utilisateur choisit « le type de saison » sur lequel se base un scénario de vulnérabilité au déficit hydrique à la « page des résultats » (section 4.2.4).

La sécheresse agricole se produit lorsque le déclin de l'humidité du sol impacte négativement les cultures (Ochsner et coll., 2013). Un suivi de l'humidité du sol est nécessaire pour fournir une évaluation juste de la gravité d'une « sécheresse agricole » (Ochsner et coll., 2013). Actuellement, il n'existe pas de tel réseau de suivi au Québec.

La teneur en eau d'un sol en culture (non irriguée) dépend grandement de l'évapotranspiration (ETP), ainsi que de la fréquence et de l'intensité des pluies. Sans avoir la prétention de fournir un « indice de sécheresse agricole » – qui nécessiterait de combiner les données à grande échelle de rendements + propriétés de sol + météorologiques historiques tel que démontré dans Quiring et Papakryiakou (2003) – le Tableau 5 présente 4 facteurs qui peuvent être utilisés par l'utilisateur d'EstimEau afin de cibler les années susceptibles d'être représentatives des conditions rencontrées lors d'une « sécheresse agricole » selon la localisation (1 à 3) et un 4^e facteur qui pourrait être utilisé pour une année où les conditions rencontrées sont moins exigeantes d'un point de vue de la demande en évapotranspiration. Ces 4 facteurs sont :

1. Année(s) avec le plus grand nombre de jours sans précipitations (sommés des jours) en juin, juillet et août.
2. Année(s) avec le plus grand nombre de jours consécutifs sans précipitations en juin, juillet et août.
3. Année(s) avec l'ETP moyenne en juin, juillet et août, la plus élevée.
4. Année(s) avec l'ETP moyenne en juin, juillet et août, la plus basse.

Les données du Tableau 5 ont été triées successivement par longitude, latitude et région pour en faciliter le repérage. Les journées ayant des précipitations inférieures à 3 mm ont été considérées comme des journées « sans précipitations ». Les moyennes et les maximums présentés sont calculés pour les mois de juin, juillet et août. Toutes les manipulations de données ont été faites avec le logiciel R (R Core Team, 2022).

Tableau 5. Les années qui correspondent à la description d'un facteur ciblé comme ayant un impact sur la sécheresse agricole sont présentées pour chacune des 171 stations météo utilisées par EstimEau.

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
Ab.-T.	47,332	-79,348	Duhamel	2018	2020	2015, 2019	2011
Ab.-T.	47,437	-79,439	Saint-Bruno-de-Guigues	2018	2020	2005	2005
Ab.-T.	47,540	-78,953	Latulipe	2018	2008	2005, 2019	2005
Ab.-T.	47,650	-79,321	Guerin	2018	2009	2019	2022
Ab.-T.	48,012	-79,135	Cloutier	2018	2016	2019	2016, 2019
Ab.-T.	48,057	-77,787	Val-d'Or RCS	2019	2008	2021	2007
Ab.-T.	48,246	-79,034	Rouyn	2005	2017	2021	2017
Ab.-T.	48,418	-78,018	Saint-Marc-de-Figuery	2018	2009	2019, 2021	2019
Ab.-T.	48,475	-77,655	Barraute	2018	2009	2021	2017
Ab.-T.	48,575	-78,255	Pépinière Trécesson	2005	2022	2021	2017
Ab.-T.	48,660	-78,715	Privat	2018	2008	2021	2014
Ab.-T.	48,664	-79,165	Palmarolle	2016	2008	2021	2017
Ab.-T.	48,806	-79,067	Macamic	2020	2008	2018	1999, 2003, 2022
Ab.-T.	48,859	-79,362	La Reine	2018	2008	2018	1999, 2003
B.-St-L.	47,355	-70,031	La Pocatière	2018	2009	2020	2001, 2002
B.-St-L.	47,417	-69,800	Mont-Carmel	2018	2008	2000, 2017, 2019, 2020	2001
B.-St-L.	47,555	-69,128	Estcourt	2018	2008, 2015	2017, 2018	2010
B.-St-L.	47,558	-69,838	Kamouraska	2018	2021	2019	2001, 2002
B.-St-L.	47,587	-68,783	Témiscouata-sur-le-Lac	2018	2022	2010, 2017, 2018	2010
B.-St-L.	47,645	-69,606	Saint-Joseph-de-Kamouraska	2021	2019	2019, 2020	2013, 2020, 2021
B.-St-L.	47,805	-69,548	Rivière-du-Loup	2005, 2010	2016	2018, 2020	2010, 2018
B.-St-L.	47,837	-69,391	Pépinière St-Modeste	2018	2009	2020	2020
B.-St-L.	47,938	-69,042	Saint-Jean-de-Dieu	2021	2009	2020	2010
B.-St-L.	47,945	-69,390	Saint-Arsène	2020	2009	2020	2003, 2013, 2020, 2021
B.-St-L.	48,059	-69,281	Saint-Éloi	2018	2022	2020	2010
B.-St-L.	48,070	-68,606	Esprit-Saint	2021	2015	2017	2010
B.-St-L.	48,285	-68,842	Saint-Fabien	1999	2022	2017	2010

Tableau 5 (suite 1 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
B.-St-L.	48,300	-67,250	Causapscal	2021	2008	2010	2010
B.-St-L.	48,355	-67,551	Saint-Léon-le-Grand	2018	2019	2017	2017
B.-St-L.	48,417	-68,116	Saint-Gabriel-de-Rimouski	2014	2016	2012	2010
B.-St-L.	48,418	-68,532	Rimouski	2021	2016	2017	2017
B.-St-L.	48,507	-67,440	Lac Matapédia	2021	2008	2018	2017
B.-St-L.	48,564	-67,701	Sayabec	2021	2008	2017, 2018	2017
B.-St-L.	48,584	-68,117	Saint-Joseph-de-Lepage	2021	2009	2017	2017
B.-St-L.	48,605	-68,196	Mont-Joli	2018	2009	2021	2017
B.-St-L.	48,761	-67,739	Saint-Ulric-de-Matane	2021	2009	2010, 2017	2017
B.-St-L.	48,786	-67,457	Matane	2021	2016	2013	2017
C.-N.	48,224	-69,797	Sacré-Cœur	2021	2008	2002	2010
C.-N.	48,267	-69,533	Grandes-Bergeronnes	2021	2008	2021	2008
C.-N.	48,719	-69,613	Escoumins	1999	2016	2002, 2021	2017
C.-N.	49,135	-68,202	Baie-Comeau RCS	2021	2011	2013	2016
C.-Qc	45,825	-72,537	Saint-Germain-de-Grantham	2019	2009	2002	2019, 2021
C.-Qc	45,829	-72,206	Saint-Félix-de-Kingsey	2018	2008	2021	2001
C.-Qc	45,987	-72,260	Sainte-Clotilde-de-Horton	2018	2000	2012	2001
C.-Qc	46,026	-71,961	Saint-Christophe-d'Arthabaska	2020	2009	2012, 2020, 2021	2021
C.-Qc	46,121	-72,646	La Visitation	2018	2009	2021	2021
C.-Qc	46,125	-71,896	Princeville	2020	2009	2014, 2020, 2021	2021
C.-Qc	46,216	-72,650	Nicolet	2021	2009	2018	2018
C.-Qc	46,233	-72,376	Saint-Célestin	2020	2008	2020	2016, 2020, 2021
C.-Qc	46,236	-72,078	Saint-Louis-de-Blandford	2018	2009	2021	2021
C.-Qc	46,340	-71,552	Inverness	2018	2009	2021	2013, 2018
C.-Qc	46,461	-72,156	Sainte-Cécile-de-Levrard	2018	2008, 2009	2020	2020
Cap.-N.	46,677	-71,925	Deschambault SM	2020	2022	2002	2021
Cap.-N.	46,804	-71,382	Québec	2019	2016	2002	2021

Tableau 5 (suite 2 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
Cap.-N.	46,837	-71,197	Beauport	2016	2009, 2022	2002	2019
Cap.-N.	46,872	-70,992	Saint-Laurent	2018	2008	2002, 2017	2010
Cap.-N.	46,885	-71,910	Saint-Léonard-de-Portneuf	2020	2008	2002	2021
Cap.-N.	46,972	-70,957	Sainte-Famille IO	2018	2008	2002	2010, 2021
Cap.-N.	47,078	-70,780	Cap-Tourmente	2021	2016	2017	2019
Cap.-N.	47,460	-70,502	Baie-Saint-Paul	2018	2020	2021	2021
Cap.-N.	47,596	-70,407	Saint-Hilarion F	2021	2000	2021	2006
Ch.-App.	45,914	-70,596	Saint-Martin	2018	2020	2021	2002
Ch.-App.	46,036	-70,871	Saint-Éphrem	2020	2008, 2013	2021	2001
Ch.-App.	46,049	-71,266	Thetford Mines	2018	2009	2021	2021
Ch.-App.	46,217	-71,121	East Broughton	2018	2013	2002, 2012, 2021	1998, 1999
Ch.-App.	46,220	-70,395	Saint-Prosper	2021	2009	2021	2021
Ch.-App.	46,252	-70,752	Beauceville F	2019	2009	2021	2002
Ch.-App.	46,472	-71,538	Dosquet	2018	2013, 2015	2012	2018
Ch.-App.	46,476	-70,765	Frampton	2005	2020	2012, 2021	2007
Ch.-App.	46,495	-70,203	Saint-Camille-de-Lellis	2019	2015	2021	2001
Ch.-App.	46,497	-71,186	Saint-Bernard	2016	2009	2012	2017
Ch.-App.	46,571	-71,842	Saint-Édouard-de-Lotbinière	2020	2008, 2009	2020	2001
Ch.-App.	46,673	-70,873	Honfleur	2020	2008	2014	2017
Ch.-App.	46,675	-71,531	Saint-Antoine-de-Tilly	2020	2009	2012, 2020	2021
Ch.-App.	46,706	-70,583	Armagh	2018	2013	2002, 2020	2002
Ch.-App.	46,741	-70,954	Saint-Charles-de-Bellechasse	2020	2008	2014	2017
Ch.-App.	46,887	-70,072	Saint-Marcel	2018	2022	2002	2002
Ch.-App.	46,935	-70,636	Saint-Pierre-de-la-Riv.-du-Sud	2018	2022	2012, 2018	2017
Ch.-App.	46,981	-70,326	Montmagny	2019	2009	2018	2001
Ch.-App.	47,176	-70,261	Saint-Aubert	2018	2009	2012	2001

Tableau 5 (suite 3 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précip.
Estrie	45,046	-72,403	Potton	2018	2021	2020	2020
Estrie	45,050	-72,833	Frelighsburg	2005	2019	2016	2016
Estrie	45,096	-71,714	Saint-Herménégilde	2018	2021	2012	2003
Estrie	45,099	-72,017	Stanstead	2018	2021	2021	2016
Estrie	45,244	-72,604	Lac-Brome	2018	2000	2011	2012
Estrie	45,260	-71,834	Compton	2018	2000	2020	2005
Estrie	45,303	-72,983	Farnham F	2019	2015	2011	2001
Estrie	45,368	-71,823	Lennoxville	2020	2017	2020	2017
Estrie	45,396	-71,490	Newport	2021	2000	2012, 2020	2002, 2012
Estrie	45,405	-71,231	La Patrie	2018	2022	2021	2021
Estrie	45,433	-71,683	Sherbrooke	2022	1998, 2015	2012, 2020, 2021	2005
Estrie	45,436	-72,351	Lawrenceville	2016, 2018	2000	2012, 2018	2012
Estrie	45,480	-72,745	Sainte-Cécile-de-Milton	2018	2015	2019	2012
Estrie	45,537	-71,538	Bury	2020	1998	2021	2002
Estrie	45,589	-72,093	Melbourne	2018	2021	2012	2005
Estrie	45,633	-70,923	Sainte-Cécile-de-Whitton	2018	2021	2020	2020
Estrie	45,659	-71,786	Saint-Georges-de-Windsor	2018	2021	2012	2002
Estrie	45,786	-71,324	Stratford	2018	2021	2021	2012, 2020
Estrie	45,862	-70,944	Courcelles	2018	2020	2002, 2021	2000
G.-Î.-M.	47,363	-61,924	L'Étang-du-Nord	2013	2016	2016, 2022	2000
G.-Î.-M.	47,987	-67,079	Saint-Alexis-de-Matapédia	2021	2016	2018	2008
G.-Î.-M.	48,012	-65,331	New-Carlisle	1999	2016	2018	2020
G.-Î.-M.	48,125	-65,125	Saint-Godefroi	1999	2016	2018	2012
G.-Î.-M.	48,161	-66,366	Nouvelle	2022	2011	2018	2020
G.-Î.-M.	48,189	-65,832	New-Richmond	2021	2022	2018	2020
G.-Î.-M.	48,459	-64,353	Percé	1999	2016	2017	2017
G.-Î.-M.	49,100	-66,619	Cap-Chat-Est	2021	2016	2019	2005, 2013, 2019
G.-Î.-M.	49,250	-65,317	Cap-Madeleine	1999	2016	2019	2019

Tableau 5 (suite 4 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
Lan.	45,816	-73,433	L'Assomption	2020	2009	2021	2021
Lan.	45,957	-73,557	Saint-Jacques	2018	2009	2021	2018, 2020
Lan.	46,009	-73,216	Lanoraie	2016	2022	2012, 2018, 2021	2001, 2020
Lan.	46,244	-73,386	Saint-Cléophas	2018	2022	2018	2020
Laur.	45,606	-74,137	Mirabel F	2018	2000	2001, 2002, 2021	2001
Laur.	45,667	-74,471	Brownsburg-Chatham	2020	2000	2002, 2021	2001
Laur.	45,767	-73,849	Sainte-Anne-des-Plaines	2018	2009	2002, 2020	2001
Laur.	45,964	-74,580	ArundelF	2019	2016	2021	2002, 2016
Laur.	46,216	-75,196	Papineau Labelle	2019	2000	1999	2016
Laur.	46,477	-74,930	Rivière-Rouge	2018	2020, 2022	2021	1999, 2001, 2021
Laur.	46,524	-75,490	Mont Laurier F	2018	2022	2012	2002
Laur.	46,717	-75,405	Ferme-Neuve	2018	2008	2021	2012, 2021
Laval	45,688	-73,607	Laval	2020	2000, 2009	2002, 2003	2019
Maur.	46,201	-73,041	Maskinongé	2018	2022	2002, 2020	2020
Maur.	46,367	-72,683	Trois-Rivières A	2019	2013	2018	2021
Maur.	46,408	-72,854	Saint-Barnabé	2018	2013	2018	2020
Maur.	46,510	-72,386	Sainte-Geneviève-de-Batiscan	2018	2008	2002	2021
Maur.	46,697	-72,542	Saint-Tite	2018, 2020	2008	2012, 2021	2001
Maur.	47,631	-72,741	La Croche	2018	2008	2010	2021

Tableau 5 (suite 5 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
Mgie	45,034	-73,899	Franklin	2012	2017	2001	2001, 2018
Mgie	45,047	-73,610	Hemmingford	2018	2010	2016	2001
Mgie	45,128	-74,349	Saint-Anicet F	2012	2017	2018	2007
Mgie	45,133	-73,219	Henryville	2020	2009	2020	2001
Mgie	45,147	-74,029	Ormstown F	2020	2000	2016	2019
Mgie	45,162	-73,384	Napierville	2020	2009	2020	2001
Mgie	45,166	-73,683	Sainte-Clotilde	2022	2017	2016	2001
Mgie	45,294	-73,593	Saint-Rémi	2018	2022	2011, 2016	2001
Mgie	45,300	-73,350	L'Acadie	2020	2000	2018	2018
Mgie	45,342	-74,340	Saint-Polycarpe F	2018	2000	2019	2018
Mgie	45,348	-73,156	Saint-Grégoire	2016	2008, 2009	2019	2012
Mgie	45,449	-72,888	Saint-Paul-d'Abbotsford	2018	2009, 2015	2012	2012
Mgie	45,492	-74,402	Rigaud	2018	2003	2019	2001
Mgie	45,533	-73,161	Saint-Hilaire	2019, 2020	2009	2019	2003, 2012
Mgie	45,652	-72,803	Saint-Liboire	2018	2009	2012	2001
Mgie	45,729	-73,254	Calixa-Lavallee	2020	2009	2021	2001
Mgie	45,852	-73,117	Saint-Bernard-de-Michaudville	2020	2009	2018	2001
Mgie	45,957	-72,861	Saint-David	2018	2022	2012	2001
Mtl	45,427	-73,929	Sainte-Anne-de-Bellevue	2020	1998	2021	2001

Tableau 5 (suite 6 de 6)

Région	Lat.	Long.	Nom de station	Année(s) avec l' ETP moyenne en juin, juillet et août ...		Année(s) avec le plus grand nombre de jours...	
				... la plus élevée	... la plus basse	...sans précipitations	...consécutifs sans précipitations
Out.	45,383	-75,717	Ottawa CDA	2016	2009	2018	2018
Out.	45,530	-76,444	Bristol	2018, 2019	2009	2012	2012
Out.	45,550	-76,126	Pontiac	2016	2022	2012	2012
Out.	45,562	-75,347	Masson	2016	2000	2002, 2021	2012, 2016
Out.	45,622	-76,019	La Pêche	2016	2000, 2009	2012	2012
Out.	45,633	-76,535	Clarendon	2016	2009	2012	2012
Out.	45,755	-75,038	Saint-André-Avellin	2016	2009	2019	2001
Out.	45,793	-75,675	Val-des-Monts	2019	2000	1999, 2016	2001
Out.	45,804	-76,669	Litchfield	2018, 2019	2009	2016	2011, 2012, 2019
Out.	45,867	-77,250	Pembroke	2016	2009	2016	2001
Out.	45,978	-76,026	Lac-Sainte-Marie	2016	2022	2016	2001
Out.	46,274	-75,992	Maniwaki	2019	2000	2016	2016
Out.	46,510	-76,159	Lac Gabrielle	2018	2008	2016	2002, 2019
Out.	46,523	-75,947	Egan-Sud	2019	2008	2016	2002, 2019
S.-L.-St-J.	48,294	-70,915	La Baie F	2021	2016	2012	2009
S.-L.-St-J.	48,376	-71,173	Saguenay	2018	2004	2012	2012
S.-L.-St-J.	48,417	-71,736	Hébertville	2018	2019	2018, 2021	2009
S.-L.-St-J.	48,443	-72,096	Chambord	2018	2022	2000, 2021	2009
S.-L.-St-J.	48,505	-71,401	Saint-Charles-de-Bourget	2018, 2021	2008	2012	2009
S.-L.-St-J.	48,506	-71,742	Saint-Gédéon de Grandmont	2021	2004	2018	2009
S.-L.-St-J.	48,617	-72,410	Saint-Prime	2021	2008	2021	2012
S.-L.-St-J.	48,674	-71,720	Saint-Coeur-de-Marie	2018	2004	2010	2009
S.-L.-St-J.	48,808	-71,974	Saint-Augustin (Dalmas)	2021	2015	2018	2009
S.-L.-St-J.	48,864	-72,513	Normandin F	2021	2008	2021	2021
S.-L.-St-J.	48,970	-72,268	Saint-Eugène-d'Argentenay	2021	2008	2018	2014

5.3.2 Protection contre le gel

Les données de récurrence de gel printanier sont présentées à l'annexe 10.1 qui contient le rapport intégral rédigé par le collaborateur d'AAC, Jean-Thomas Denault.

Les données de récurrences de gels printaniers utilisées sont des images raster géoréférencées (« .tif »). Plus précisément, chaque « pixel de la matrice » géoréférencé contient la fréquence de gel printanier : par culture, par région et par niveau de risque (résolution ~ 10 km, datum WSG84).

5.3.3 Lavage de légumes

Les données pour le lavage des légumes prennent en compte les différentes catégories de légumes et aussi, le lavage des boîtes d'entreposage vides qui sont utilisées pour l'entreposage des pommes de terre.

Premièrement, l'eau de lavage des boîtes d'entreposage vides est présentée au Tableau 6. La valeur est fixe et n'est pas influencée par aucun facteur.

Tableau 6. Base de données pour le lavage des boîtes d'entreposage vide dans la pomme de terre.

Culture	Sol	Dispositif enlèvement de la terre	Système de recirculation	L d'eau / kg légumes lavé	Source et note
Pomme de terre (boîte d'entreposage vide)	s.o.	s.o.	s.o.	20	20 L par boîte, selon communication personnelle avec un agronome (Bergeron, 2023a)

s.o. sans objet.

De son côté, le volume d'eau du lavage de légumes est influencé par : le type de légume à laver, la présence ou non de dispositif de réduction de la terre (ex. du dessablage à sec, une table à doigts ou un système de prétrempage) et le type de sol (minéral ou organique).

Au moment de la recherche d'information (été 2023), la littérature du Québec contenait peu d'information sur les volumes d'eau de lavage de légumes. C'est donc en s'appuyant sur la littérature du Québec et de l'Europe, et aussi en s'appuyant sur des avis d'experts consultés à l'automne 2023 (IRDA, 2023d) que les hypothèses suivantes ont été posées pour l'estimation des volumes d'eau utilisés pour le lavage des légumes :

- Deux fois plus d'eau est utilisée avec les sols organiques que minéral, selon données brutes consultées à l'automne 2023 de l'étude de Hamel et coll. (2010) et IRDA (2023d).
- Un dispositif d'enlèvement de la terre (rouleaux, tampons, dessableurs, dépiereur, prétrempage, etc.) permet d'économiser au moins 20 % d'eau selon MAAARO (2017) et IRDA (2023d).
- Un dispositif de recirculation permet d'économiser au moins 35 % d'eau, où 35 % représentent une économie conservatrice avec un système de recirculation d'après Brassard et coll. (2014).

Le Tableau 7 présente les sources d'informations qui ont mené à l'établissement des volumes d'eau de lavage des légumes et le Tableau 8 présente les valeurs utilisées pour le lavage des légumes, ainsi que la source correspondante.

Tableau 7. Sources utilisées pour déterminer les volumes d'eau pour le lavage des légumes selon la culture, la présence de dispositif d'enlèvement de la terre, le type de sol, la présence de recirculation de l'eau, et la région canadienne ou le pays.

Culture	Légume	Dispositif enlèvement de la terre	Type sol	Recirculation de l'eau	Région ou pays	Source
Légume-bulbe	Poireau	Non	Minéral	Partielle	Qc	Godbout (2023)
Légume-bulbe	Poireau	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Gautschi et coll. (2017)
Légume-feuille	Laitue	Non	n.d.	Non	Eur.	Lehto et coll. (2014)
Légume-feuille	Laitue	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Gautschi et coll. (2017)
Légume-racine	Betterave	Non	Minéral	Non	Qc	Godbout (2023)
Légume-racine	Carotte	Non	Minéral	Partielle	Qc	Pelletier et coll. (2013)
Légume-racine	Carotte	Oui	Minéral	Non	Qc	Pelletier et coll. (2013)
Légume-racine	Betterave	Oui	Minéral	Partielle	Qc	Pelletier et coll. (2013)
Légume-racine	Carotte, betterave, panais	Oui	Minéral	Partielle	Qc	Godbout (2023)
Légume-racine	Carotte	Oui	Minéral	Partielle	Qc	Godbout (2023)
Légume-racine	Carotte	Oui	Minéral	Oui	Qc	Brassard et coll. (2014)
Légume-racine	Navet	Oui	Minéral	Oui	Qc	Brassard et coll. (2014)
Légume-racine	Carotte	Oui	Organique	Partielle	Qc	Pelletier et coll. (2013)
Légume-racine	Carotte	Non	n.d.	Non	Eur.	Lehto et coll. (2014)
Légume-racine	Carotte	Non	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	Oui	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	Oui	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	Oui	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	Oui	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	Oui	n.d.	n.d.	Ont.	MAAARO (2017)
Légume-racine	Carotte	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Gautschi et coll. (2017)
Légume-racine	Betterave	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Gautschi et coll. (2017)
Patate	Patate	Oui	Minéral	Partielle	Qc	Godbout (2023)
Patate	Patate	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Gautschi et coll. (2017)
Autres (carottes, pommes de terre)	Carotte, patate	Non	n.d.	n.d.	Eur.	Lehto et coll. (2014)
Autres (végétaux)	Végétaux	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Trajer et coll. (2021)
Autres (fruits, feuilles, racines)	Fruit, feuille, racine	n.d.	n.d.	n.d.	Ont.	Mundi et coll. (2017)
Autres (fruits)	Fruit	n.d.	n.d.	n.d.	Eur.	Trajer et coll. (2021)

Tableau 8. Base de données pour le lavage des légumes.

Culture	Sol	Dispositif d'enlèvement de la terre	Système de recirculation*	L d'eau / kg légumes lavé	Source et note
Légume-feuille (ex. laitue, bok choy)	s.o.	s.o.	Non	2,2	Gautschi et coll. (2017) et Lehto et coll. (2014). Choix de la valeur moyenne.
Légume-fruit (ex. courgette, tomate)	s.o.	s.o.	Non	2,2	Gautschi et coll. (2017) et Lehto et coll. (2014). Choix de la valeur moyenne.
Légume-racine	Minéral	Oui	Non	3,2	Calcul à partir de Pelletier et coll. (2013) (fixée à 4 L / kg lég.) selon estimation qu'une unité de déterrage réduit d'au moins 20 % le volume d'eau (MAAARO, 2017).
Légume-racine	Minéral	Non	Non	4,0	Selon Pelletier et coll. (2013).
Légume-racine	Organique	Oui	Non	6,4	Calcul à partir de la valeur fixée pour sol organique selon une estimation que le sol organique utilise 2 x plus d'eau que le sol minéral (Hamel et coll., 2010).
Légume-racine	Organique	Non	Non	8,0	Calcul à partir de Pelletier et coll. (2013) (fixée à 4 L / kg lég.) selon estimation que le sol organique utilise 2 x plus d'eau que le sol minéral (Hamel et coll., 2010).
Légume-bulbe (poireau)	Minéral	Oui	Non	6,6	Calcul à partir de Pelletier et coll. (2013) (fixée à 4 L / kg lég.) selon estimation qu'une unité de déterrage réduit d'au moins 20% le volume d'eau (MAAARO, 2017).
Légume-bulbe (poireau)	Minéral	Non	Non	8,2	Selon Pelletier et coll. (2013). Source pour un sol lourd, mais avec recirculation partielle. Comme c'est la seule valeur disponible pour poireau, et comme c'est connu que les poireaux nécessitent beaucoup d'eau, la valeur est laissée telle quelle.
Légume-bulbe (poireau)	Organique	Oui	Non	13,2	Calcul à partir de la valeur fixée pour sol organique selon l'estimation que le sol organique utilise 2 x plus d'eau que le sol minéral (selon données brutes consultées à l'automne 2023 de l'étude de Hamel et coll. (2010)).
Légume-bulbe (poireau)	Organique	Non	Non	16,5	Calcul à partir de Pelletier et coll. (2013) (fixée à 4 L / kg légume) selon l'estimation que le sol organique utilise 2 x plus d'eau que le sol minéral (selon données brutes consultées à l'automne 2023 de l'étude de Hamel et coll. (2010)).
Pomme de terre (tubercule)	Minéral	Oui	Non	3,2	Même valeur que pour légume-racine, peu d'information disponible.
Pomme de terre (tubercule)	Minéral	Non	Non	4,0	Même valeur que pour légume-racine, peu d'information disponible.
Pomme de terre (tubercule)	Organique	Oui	Non	6,4	Même valeur que pour légume-racine, peu d'information disponible.
Pomme de terre (tubercule)	Organique	Non	Non	8,0	Même valeur que pour légume-racine, peu d'information disponible.

*Un facteur de 0,65 est appliqué si présence de recirculation (tirée de Brassard et coll., 2014) où 35 % d'économie d'eau représente une économie conservatrice avec un système de recirculation.)

s.o. sans objet.

5.3.4 Main d'œuvre hébergée

La consommation en eau ayant trait à l'hébergement des ouvriers sur les fermes qui est utilisée par l'outil est de 152 L/jour par occupant (Boivin et coll., 2020b). Cela représente 1060 L d'eau par semaine pour un occupant. Bien que cette valeur soit tirée d'une étude sur un groupe de 20 travailleurs à la ferme et qu'elle représente seulement 58 % de la valeur disponible pour le secteur résidentiel (262 L/jour/occupant selon Statistique Canada, 2021d), elle a été retenue, car considérée plus représentative.

5.3.5 Pesticides

Le Tableau 9 présente les valeurs utilisées pour l'eau utilisée pour faire la bouillie de pesticides par type de culture.

Tableau 9. Base de données pour les pesticides.

Culture	Lieu du traitement	Volume d'eau par traitement		Source
		Valeur	Unité	
Bleuet en corymbe	Champ	350	L/ha	MAPAQ (2023b). Volume entre 300 et 400 L/ha, moyenne utilisée.
Bleuet nain	Champ	200	L/ha	MAPAQ (2023a)
Canneberge	Champ	250	L/ha	CETAQ (2023)
Carotte	Champ	325	L/ha	PRISME (2023). Volume entre 150 et 500 L/ha, moyenne utilisée.
Céleri	Champ	325	L/ha	PRISME (2023). Volume entre 150 et 500 L/ha, moyenne utilisée.
Céréales	Champ	150	L/ha	MAPAQ (2023c). Volume entre 100 et 200 L/ha, moyenne utilisée.
Crucifères	Champ	500	L/ha	MAPAQ (2023d)
Cucurbitacées	Champ	500	L/ha	MAPAQ (2023e)
Fraise	Champ	1000	L/ha	MAPAQ (2023f)
Haricot	Champ	500	L/ha	‡ IRDA (2023c)
Laitue et légumes feuilles	Champ	500	L/ha	PRISME (2023)
Maïs-grain	Champ	150	L/ha	MAPAQ (2023c). Volume entre 100 et 200 L/ha, moyenne utilisée.
Oignon	Champ	325	L/ha	PRISME (2023). Volume entre 150 et 500 L/ha, moyenne utilisée.
Plantes fourragères	Champ	150	L/ha	MAPAQ (2023c). Volume entre 100 et 200 L/ha, moyenne utilisée.
Pois vert	Champ	500	L/ha	‡ IRDA (2023c)
Pommes de terre	Champ	250	L/ha	RLIO (2023)
Pommes de terre (Volume entrepôt)	Volume entrepôt en post-récolte	2	L/tonne métrique de tubercules	† IRDA (2023b). Volume entre 2 et 8,3 L/tonne.
Pommier	Champ	500	L/ha	IRDA (2023a)
Solanacées	Champ	900	L/ha	MAPAQ (2023g). Volume entre 300 et 1500 L/ha, moyenne utilisée.
Soya	Champ	150	L/ha	MAPAQ (2023c). Volume entre 100 et 200 L/ha, moyenne utilisée.
Vigne	Champ	350	L/ha	MAPAQ (2023h). Volume entre 75 et 600 L/ha, moyenne utilisée.

† Le Phostrol le plus utilisé est à 2L/tonne, c'est cette valeur qui a été choisie. Les autres valeurs répertoriées étaient le Stadium à 2 L/tonne et le Biosafe Storox variant entre 4,15 et 8,3 L/tonne.

‡ Pour un pulvérisateur avec ballons d'air, volume d'eau est de 300 L/ha. La valeur sans ballon d'air est utilisée.

5.3.6 Élevages (abreuvement et lavage)

Le Tableau 10 présente les valeurs utilisées pour l'eau d'abreuvement des animaux. Les besoins en eau sont répartis par saison pour prendre en compte les fluctuations de consommation d'eau en fonction des températures annuelles. Les saisons mentionnées aux Tableau 10 réfèrent ainsi aux mois suivants :

- **Hiver** : décembre à mars.
- **Printemps et automne** : avril, mai et septembre, octobre, novembre.
- **Été** : juin à août.

Le Tableau 11 présente les valeurs utilisées pour l'eau de lavage des bâtiments d'élevage. Les sources correspondantes sont indiquées respectivement. L'eau d'abreuvement des vaches en lactation varie en fonction de la production de lait. Le Tableau 12 présente l'eau d'abreuvement en fonction des kilogrammes de lait produits par jour, et par vache.

Tableau 10. Base de données pour l'eau d'abreuvement des animaux.

Secteur de production	Production	Eau d'abreuvement *					Source
		Toute saison	Hiver	Print., aut.	Été	Unité	
Bovin (laitier)	Vache en lactation	s.o.	Voir Tableau 12			L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (laitier)	Vache tarie	s.o.	34	34	49	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (laitier)	Génisse (5-24 mois)	s.o.	14,4	25	36,3	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (laitier)	Veau (1-4 mois)	s.o.	4,9	9	13,2	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/182 kg	s.o.	15	19	25	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/273 kg	s.o.	20	26	34	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/364 kg	s.o.	23	30	40	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/273 kg	s.o.	23	29	38	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/364 kg	s.o.	28	35	47	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/454 kg	s.o.	33	41	55	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Veau 0 à 6 mois/Production/Logette nettoyée	s.o.	8	8	8	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Veau 0 à 6 mois/Production/Logette non nettoyée	s.o.	8	8	8	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache lactation et son veau	s.o.	43	56	68	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache gestation	s.o.	24	30	40	L/tête/jour	NRC (2000)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/182 kg	s.o.	15	19	25	L/tête/jour	NRC (2000), Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/273 kg	s.o.	20	26	34	L/tête/jour	NRC (2000), Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/364 kg	s.o.	23	30	40	L/tête/jour	NRC (2000), Ward et McKague (2023)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Taureau mature	s.o.	32	40	75	L/tête/jour	NRC (2000)

* Les saisons représentent les périodes chaudes et froides annuelles ainsi : hiver = décembre à février, printemps et automne = avril mai et septembre à novembre, été = juin à août.

s.o. : sans objet.

Tableau 10 (suite 1 de 3)

Secteur de production	Production	Eau d'abreuvement *					Source
		Toute saison	Hiver	Print., aut.	Été	Unité	
Ovin	Laitier/Brebis gestante	s.o.	4,4	5,75	7,1	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation	s.o.	9,4	10,4	11,4	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation	s.o.	9,4	10,4	11,4	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation	s.o.	9,4	10,4	11,4	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Laitier/Bélier	s.o.	4,4	5,75	7,1	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Boucherie/Agneau engraissement	s.o.	3,6	4,4	5,2	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Boucherie/Brebis allaitante et son agnelet	s.o.	9	9,75	10,5	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Boucherie/Brebis gestante	s.o.	4	5,25	6,5	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Ovin	Boucherie/Bélier	s.o.	4	5,25	6,5	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation	13,2	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ontario Goat Board (2015)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation	13,2	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ontario Goat Board (2015)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation	13,2	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ontario Goat Board (2015)
Caprin	Boucherie/Chevreau	7,7	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ontario Goat Board (2015)
Caprin	Boucherie/Adulte	9,5	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ontario Goat Board (2015)

* Les saisons représentent les périodes chaudes et froides annuelles ainsi : hiver = décembre à février, printemps et automne = avril mai et septembre à novembre, été = juin à août.

s.o. : sans objet

Tableau 10 (suite 2 de 3)

Secteur de production	Production	Eau d'abreuvement *					Source
		Toute saison	Hiver	Print., aut.	Été	Unité	
Volaille	Poulet à griller/Boucherie/1 à 4 semaines	s.o.	155	155	233	L/1000 têtes/jour	Ward and McKague (2023)
Volaille	Poulet à rôtir/Boucherie/5 à 7 semaines	s.o.	407	407	660	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Poulet à griller reproducteur/Poulette	105	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Poulet à griller reproducteur/Poulet reproducteur	250	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Poule pondeuse	250	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/1 à 7 semaines	s.o.	183	183	243	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/8 à 14 semaines	s.o.	570	570	786	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/15 à 21 semaines	s.o.	771	771	1108	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Dinde/Femelle reproductrice production d'œuf	s.o.	750	750	1080	L/1000 têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Volaille	Canard à rôtir/Boucherie	250	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Massabie et coll. (2013)
Volaille	Canard gavage/Boucherie	390	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Massabie et coll. (2013)
Volaille	Canard/Reproducteur	600	s.o.	s.o.	s.o.	L/1000 têtes/jour	Massabie et coll. (2013)
Cunicole	Boucherie/Lapin/6 semaines	0,3	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Cunicole	Boucherie/Lapin/12 semaines	0,64	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Cunicole	Reproduction/Lapine gestante	0,35	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
Cunicole	Reproduction/Lapine avec portée non sevrée	1,02	s.o.	s.o.	s.o.	L/lapine par jour	Ward et McKague (2023)

* Les saisons représentent les périodes chaudes et froides annuelles ainsi : hiver = décembre à février, printemps et automne = avril mai et septembre à novembre, été = juin à août.

s.o. : sans objet

Tableau 10 (suite 3 de 3)

Secteur de production	Production	Eau d'abreuvement *					Source
		Toute saison	Hiver	Print., aut.	Été	Unité	
Porcin	Reproduction/Porcelet sevré	s.o.	1	2	2,5	L/têtes/jour	Turcotte et coll. (2023)
Porcin	Reproduction/Truie (gestation ou en mise bas) et cochette	s.o.	18	23	25	L/truie/jour	Turcotte et coll. (2023)
Porcin	Reproduction/Verrat	s.o.	15	15	15	L/têtes/jour	Ward et McKague (2023)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/25 à 50 kg	s.o.	4,5	4,5	5	L/têtes/jour	Gagnon et coll. (2018)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/50 à 75 kg	s.o.	6,5	6,5	8,5	L/têtes/jour	Gagnon et coll. (2018)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/75 à 100 kg	s.o.	8	8	12	L/têtes/jour	Gagnon et coll. (2018)
Équin	Plaisance/Poney	12,5	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Plaisance/Cheval de trait	30	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Plaisance/Jument et étalon/300 à 450 kg	20	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Plaisance/Jument et étalon/450 à 500 kg	28	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Plaisance/Jument fin gestation début lactation	80	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Plaisance/Poulain non sevré	4,7	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	Cinq-Mars (2004)
Équin	Entraînement/Poney	31,25	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Entraînement/Jument et étalon/300 à 450 kg	50	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)
Équin	Entraînement/Jument et étalon/450 à 500 kg	70	s.o.	s.o.	s.o.	L/tête/jour	RESPE (2023)

* Les saisons représentent les périodes chaudes et froides annuelles ainsi : hiver = décembre à février, printemps et automne = avril mai et septembre à novembre, été = juin à août.

s.o. : sans objet

Tableau 11. Base de données pour l'eau de lavage des bâtiments d'élevage.

Secteur de production	Production	Information troupeau laitier	Eau de lavage		Source
			Valeur	Unité	
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation libre/Logette	24	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation entravée/Avec lactoduc 2 po	12	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation entravée/Avec lactoduc 2,5 po	15	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation entravée/Avec lactoduc 3 po	20	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation entravée/Avec lactoduc 3,5 po	25	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation entravée/Sans lactoduc	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation libre/Robot traite/Lavage trayons brosse	11	L/tête/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Bovin (laitier)	Vache en lactation	Stabulation libre/Robot traite/Lavage trayons eau	20	L/tête/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Bovin (laitier)	Vache tarie	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Génisse (5-24 mois)	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (laitier)	Veau (1-4 mois)	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)

s.o. : sans objet

Tableau 11 (suite 1 de 4)

Secteur de production	Production	Information troupeau laitier	Eau de lavage		Source
			Valeur	Unité	
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/182 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/273 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon semi-finition/364 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/273 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/364 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau lourd/Production/Bouvillon finition/454 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau 0 à 6 mois/Production/Logette nettoyée	s.o.	4	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Veau 0 à 6 mois/Production/Logette non nettoyée	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache lactation et son veau	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache gestation	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/182 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/273 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Vache tarie et génisse/364 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Bovin (boucherie)	Reproduction/Taureau mature	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)

s.o. : sans objet

Tableau 11 (suite 2 de 4)

Secteur de production	Production	Information troupeau laitier	Eau de lavage		Source
			Valeur	Unité	
Ovin	Laitier/Brebis gestante	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation*	<100 brebis en lactation	450	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation*	100 à 300 brebis en lactation	570	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Ovin	Laitier/Brebis en lactation*	301 à 500 brebis en lactation	680	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Ovin	Laitier/Bélier	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Ovin	Boucherie/Agneau engraissement	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Ovin	Boucherie/Brebis allaitante et son agnelet	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Ovin	Boucherie/Brebis gestante	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Ovin	Boucherie/Bélier	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation*	<100 chèvres en lactation	450	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation*	100 à 300 chèvres en lactation	570	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Caprin	Laitier/Chèvre lactation*	301 à 500 chèvres en lactation	680	L/exploitation/jour	Hawkins et Barkes (2022)
Caprin	Boucherie/Chevreau	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Caprin	Boucherie/Adulte	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)

s.o. : sans objet

* Dans l'hypothèse d'une salle de traite sèche (plancher raclé plutôt que lavé), d'une cuve réfrigérante nettoyée une fois par semaine et de la traite sans préparation (Hawkins et Barkes, 2022).

Tableau 11 (suite 3 de 4)

Secteur de production	Production	Information troupeau laitier	Eau de lavage		Source
			Valeur	Unité	
Volaille	Poulet à griller/Boucherie/1 à 4 semaines	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Poulet à rôtir/Boucherie/5 à 7 semaines	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Poulet à griller reproducteur/Poulette	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Poulet à griller reproducteur/Poulet reproducteur	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Poule pondeuse	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/1 à 7 semaines	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/8 à 14 semaines	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Dindon à griller/Boucherie/15 à 21 semaines	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Dinde/Femelle reproductrice production d'œuf	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Canard à rôtir/Boucherie	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Canard gavage/Boucherie	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Volaille	Canard/Reproducteur	s.o.	0,0041	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Cunicole	Boucherie/Lapin/6 semaines	s.o.	0	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Cunicole	Boucherie/Lapin/12 semaines	s.o.	0	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Cunicole	Reproduction/Lapine gestante	s.o.	0	L/tête par jour	Godbout et coll. (2017)
Cunicole	Reproduction/Lapine avec portée non sevrée	s.o.	2,17	L/lapine par jour	Godbout et coll. (2017)

s.o. : sans objet

Tableau 11 (suite 4 de 4)

Secteur de production	Production	Information troupeau laitier	Eau de lavage		Source
			Valeur	Unité	
Porcin	Reproduction/Porcelet sevré	s.o.	0,4	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Porcin	Reproduction/Truie (gestation ou en mise bas) et cochette	s.o.	14	L/truie/jour	Godbout et coll. (2017)
Porcin	Reproduction/Verrat	s.o.	12,1	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/25 à 50 kg	s.o.	1,8	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/50 à 75 kg	s.o.	1	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Porcin	Boucherie/Porc à l'engraissement/75 à 100 kg	s.o.	0,7	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Poney	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Cheval de trait	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Jument et étalon/300 à 450 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Jument et étalon/450 à 500 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Jument fin gestation début lactation	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Plaisance/Poulain non sevré	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Entraînement/Poney	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Entraînement/Jument et étalon/300 à 450 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)
Équin	Entraînement/Jument et étalon/450 à 500 kg	s.o.	0	L/tête/jour	Godbout et coll. (2017)

s.o. : sans objet

Tableau 12. Base de données pour l'eau d'abreuvement des vaches en lactation.

Production quotidienne de lait (kg lait/vache/jour)	Eau d'abreuvement			Source
	Printemps, automne et hiver	Été	Unité	
14	68	83	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
23	87	102	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
36	114	136	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)
46	132	155	L/tête/jour	Ward et McKague (2023)

5.3.7 Irrigation

EstimEau propose une sélection de 81 systèmes cultureux de base pour estimer les besoins en eau d'irrigation. Ces cultures ont été sélectionnées sur la base de leur importance au Québec. Le profil sectoriel (ISQ et MAPAQ, 2021) a été consulté. Afin de cibler les légumes de champs, les fruits et les grandes cultures les plus en importances, les données de Statistique Canada (Statistique Canada, 2021a, 2021b et 2021c) ont été consultées en sélectionnant les cultures ayant le nombre d'exploitants et les superficies les plus élevées.

Le Tableau 14 présente ces 81 systèmes cultureux et contient des valeurs sur :

- La durée des stades en :
 - Nombre de jours par stade.
 - Durée du **stade i** proportionnellement à la durée totale de la culture soit :
(nombre de jours au **stade i** - nombre de jours au **stade i-1**) / nombre jours à la fin du **stade 4**.
- Les coefficients cultureux (Kc) initial, maximal et final.
- Les profondeurs racinaires pour les stades : initial et maximal (sol sain ou compacté)

La correspondance, entre les stades cultureux décrits au Tableau 14 – numérotés de 0 à 4 – et leur signification est présentée à la Figure 4 ci-dessous.

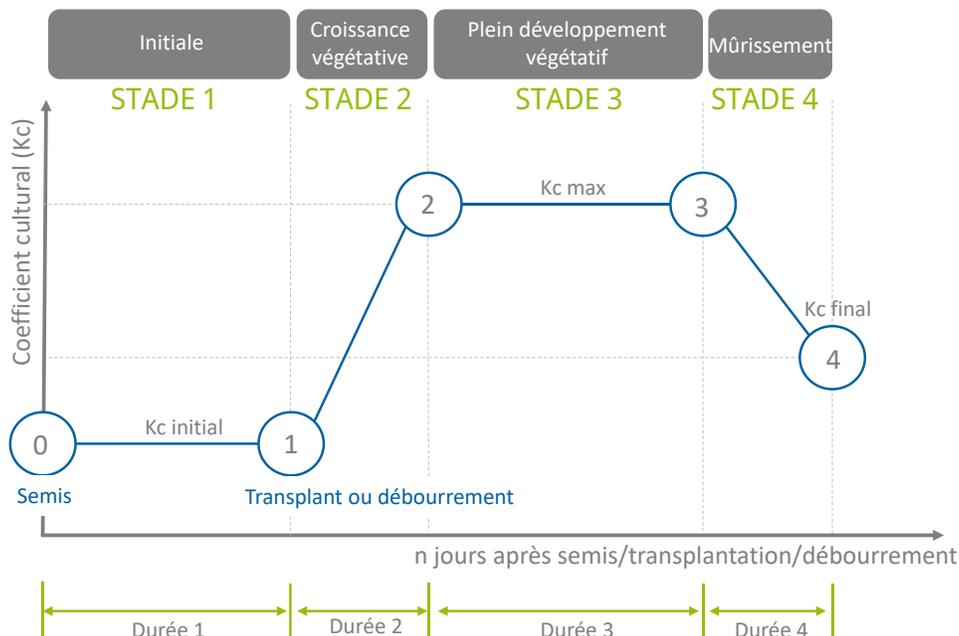


Figure 4. Évolution du coefficient culturel et des 4 stades de développements des cultures (image adaptée de Pereira et coll., 2021c).

5.3.7.1 Coefficients cultureux - Sources

Au moment de la recherche d'information, aucune liste exhaustive sur les coefficients cultureux des cultures du Québec n'a été trouvée. L'établissement des coefficients cultureux d'EstimEau s'appuie sur une démarche qui a eu lieu en trois étapes.

Étape 1. Consultation de la littérature scientifique. La récente mise à jour de la méthode FAO56 pour évaluer les besoins en eau des cultures a été utilisée (Pereira et coll., 2021a). Cette récente mise à jour regroupe une série d'articles qui proposent de nouveaux coefficients cultureux en se basant sur une large revue de littérature et constitue la mise à jour de la référence largement acceptée de Allen et coll. (1998). Les articles spécifiquement consultés de cette série sont les suivants :

- Pereira et coll. (2021b) pour les cultures maraîchères.
- Pereira et coll. (2021c) pour les grandes cultures.
- Rallo et coll. (2021) pour les cultures de type arbre et vigne.

Les coefficients cultureux maximaux et finaux (voir Figure 4) proposés pour le climat standard des cultures prioritaires ont été extraits.

Étape 2. Établissement de coefficients cultureux en s'appuyant sur des projets réalisés par l'équipe de régulation de l'eau de l'IRDA. Les projets consultés sont :

- Pomme de terre : Boivin et coll. (2017b) et Boivin et coll. (2018)
- Fraise d'automne : Boivin et coll. (2018) et données d'un projet en cours de réalisation (Boivin et coll. (2023a).
- Fraise d'été : Données d'un projet en cours de réalisation (Boivin et coll., 2023a).
- Bleuet nain – Année production et végétation : Boivin et coll. (2019), Boivin et coll. (2020a) et Boivin et coll. (2023b)
- Luzerne (2 ans et +) : Vallée et Boivin (2023)

Étape 3. Consultation d'experts locaux au printemps 2023 (IRDA, 2023e). Les coefficients issus des étapes 1 et 2 ont été mis en commun. Les coefficients issus de la littérature internationale (coefficients maximaux et finaux), ainsi que les durées, ont été ajustés afin de prendre en compte les conditions climatiques et systèmes cultureux du Québec. Les coefficients initiaux ont été établis.

5.3.7.2 Profondeurs racinaires et durées des stades Québec - Sources

L'établissement des valeurs de profondeur racinaires s'est déroulé en deux étapes.

Étape 1. La première étape a consisté en une revue de littératures où différents sites universitaires et de semenciers ont été consultés. Ces sources sont présentées au Tableau 13.

Étape 2. Ensuite, ces valeurs ont été soumises à l'avis d'experts locaux au printemps 2023 (IRDA, 2023e). Les valeurs finales retenues sont au Tableau 14.

Tableau 13. Références consultées pour la profondeur racinaire et la durée des stades.

Culture	Source
Ail	Ail Québec (2023)
Avoine	UCDAVIS (2023)
Bleuet sauvage	Gagnon et coll. (2014)
Céréales et fourrages	Semican (2023)
Céréales et fourrages	RGCQ (2021)
Céréales, fourrages et cultures maraîchères	AAF (2016)
Cultures maraîchères	Lott et Hammond (2013)
	MAAARO (2022)
	UCCE (2011)
Cultures maraîchères en plasticultures	NCSU (2023)
Cultures maraîchères et fines herbes	W.H. Perron (2023)
	Vegetomix (2023)
	Écoumène (2023)
	Pépinière Villeneuve (2023)
Millet	UGA (2022)
Orge de printemps	UMN (2021)
Panais	Ferme Sainte-Marthe (2023)
Soya	NDSU (2021)
Soya	Prograin (2020)
Tournesol	NDSU (2020)
Viticulture	Domaine Côtes d'Ardoise Vignoble (2023)

Tableau 14. Pour chaque culture, base de données sur la durée des stades, la longueur des racines et le coefficient cultural.

Culture	Catégorie	Durée stade vs durée totale (%) ¹				Longueur des racines (cm)			K _c		
		1	2	3	4	Initiale	Maximale sol sain	Max. sol compacté	Ini.	Max.	Fin
Ail - Année récolte	Transplant	0,00	0,75	0,07	0,19	15	45	30	0,5	1,05	0,70
Asperge	Vivace	0,00	0,21	0,07	0,73	60	60	45	0,5	0,95	0,30
Aubergine - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,43	0,35	0,22	15	45	30	0,4	0,80	0,80
Avoine	Semis	0,07	0,54	0,11	0,28	15	60	30	0,3	1,05	0,25
Betterave	Semis	0,09	0,75	0,15	0,00	15	45	30	0,3	1,05	1,00
Blé d'automne - Année récolte	Vivace	0,00	0,53	0,13	0,34	60	60	30	0,4	1,15	0,25
Blé de printemps	Semis	0,08	0,49	0,11	0,32	15	60	30	0,4	1,15	0,35
Bleuet corymbe	Vivace	0,00	0,21	0,43	0,36	60	60	45	0,5	1,05	1,00
Bleuet nain - Année végétation	Vivace	0,00	0,74	0,26	0,00	30	30	30	0,2	0,50	0,50
Bleuet nain - Année production	Vivace	0,00	0,33	0,67	0,00	30	30	30	0,5	0,60	0,60
Bok choy (pak choï)	Semis	0,08	0,83	0,08	0,00	15	60	30	0,3	1,00	1,00
Brocoli - Plein champ	Transplant	0,00	0,71	0,29	0,00	15	45	30	0,6	1,10	1,10
Brocoli - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,70	0,30	0,00	15	45	30	0,4	0,95	0,95
Camerise	Vivace	0,00	0,22	0,37	0,41	45	45	30	0,3	1,05	0,50
Canneberge	Vivace	0,00	0,09	0,73	0,18	15	15	15	0,5	1,05	0,50
Canola	Semis	0,08	0,60	0,11	0,20	15	60	30	0,3	1,1	0,35
Carotte - Conservation	Semis	0,07	0,58	0,09	0,26	15	45	30	0,3	1,05	0,95
Carotte - Primeur	Semis	0,11	0,79	0,10	0,00	15	45	30	0,3	1,05	0,95
Céleri	Transplant	0,00	0,89	0,11	0,00	15	45	30	0,5	1,05	1,00
Chou d'hiver	Transplant	45	30	0,50	1,05	1,00	15	45	30	0,50	1,05
Chou d'été	Transplant	30	30	0,50	1,05	1,00	15	30	30	0,50	1,05
Chou chinois	Semis	45	30	0,30	1,05	1,00	15	45	30	0,30	1,05
Chou de Bruxelles	Transplant	45	30	0,50	1,05	1,05	15	45	30	0,50	1,05
Chou frisé	Semis	30	30	0,30	1,05	1,00	15	30	30	0,30	1,05
Chou-fleur - Paillis plastique et sol butté	Transplant	45	30	0,40	0,95	0,95	15	45	30	0,40	0,95
Citrouille	Semis	45	30	0,30	1,00	0,80	15	45	30	0,30	1,00
Concombre - Frais	Semis	45	30	0,30	1,05	0,80	15	45	30	0,30	1,05
Concombre - Conservation	Semis	45	30	0,30	1,05	0,90	15	45	30	0,30	1,05
Courge d'été	Semis	45	30	0,30	1,00	0,75	15	45	30	0,30	1,00

¹ Durée **stade i** proportionnellement à la durée totale = (nombre jours à fin **stade i** - nombre jours à fin **stade i-1**) / nombre jours à fin **stade 4**

Tableau 14 (suite 1 de 2)

Culture	Catégorie	Durée stade vs durée totale (%) ¹				Longueur des racines (cm)			K _c		
		1	2	3	4	Initiale	Maximal sol sain	Max. sol compacté	Ini.	Max	Fin
Courge d'hiver	Semis	0,07	0,71	0,09	0,12	15	45	30	0,30	1,00	0,80
Courgette (Zucchini)	Semis	0,11	0,66	0,23	0,00	15	45	30	0,30	1,00	0,75
Épinard	Semis	0,15	0,67	0,19	0,00	15	15	15	0,30	1,00	1,00
Fraise été - Année production - Rangs nattés	Vivace	0,00	0,61	0,39	0,00	30	30	30	0,50	0,80	0,60
Fraise automne - Année production - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,50	0,50	0,00	30	30	30	0,20	0,60	0,60
Fraise été - Année production - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,39	0,61	0,00	30	30	30	0,40	0,60	0,60
Framboise automne	Vivace	0,00	0,60	0,40	0,00	45	45	30	0,30	0,80	0,80
Framboise été	Vivace	0,00	0,39	0,13	0,48	45	45	30	0,40	0,80	0,70
Gourgane et féverole (Frais)	Semis	0,09	0,50	0,08	0,32	15	45	30	0,30	1,10	1,05
Haricot extra-fin	Semis	0,12	0,74	0,15	0,00	15	45	30	0,30	1,05	0,95
Haricot vert et jaune	Semis	0,12	0,72	0,15	0,00	15	45	30	0,30	1,05	0,95
Haricot sec	Semis	0,08	0,47	0,10	0,35	15	45	30	0,30	1,05	0,40
Laitue bébé	Semis	0,19	0,48	0,32	0,00	15	15	15	0,30	1,00	1,00
Laitue pommée	Semis	0,06	0,83	0,11	0,00	15	30	30	0,30	1,00	1,00
Laitue romaine	Semis	0,07	0,80	0,12	0,00	15	30	30	0,30	1,00	1,00
Laitue frisée et boston	Semis	0,10	0,74	0,16	0,00	15	30	30	0,30	1,00	1,00
Luzerne (2 ans et +)	Vivace	0,00	0,35	0,65	0,00	90	90	45	0,50	0,50	0,50
Maïs-grain	Semis	0,04	0,40	0,05	0,50	15	75	30	0,30	1,20	0,45
Maïs ensilage	Semis	0,09	0,80	0,11	0,00	15	60	30	0,30	1,20	0,95
Maïs sucré	Semis	0,10	0,77	0,13	0,00	15	60	30	0,30	1,15	1,05
Millet	Semis	0,05	0,48	0,12	0,35	15	30	30	0,30	1,05	0,35
Moutarde	Semis	0,17	0,63	0,21	0,00	15	45	30	0,30	1,10	1,10

¹ Durée **stade i** proportionnellement à la durée totale = (nombre jours à fin **stade i** - nombre jours à fin **stade i-1**) / nombre jours à fin **stade 4**

Tableau 14 (suite 2 de 2)

Culture	Catégorie	Durée stade vs durée totale (%) ¹				Longueur des racines (cm)			K _c		
		1	2	3	4	Initiale	Maximal sol sain	Max. sol compacté	Ini.	Max	Fin
Navet	Semis	0,10	0,74	0,16	0,00	15	45	30	0,30	1,10	1,00
Oignon jaune semé	Semis	0,06	0,70	0,08	0,15	15	30	30	0,30	1,05	0,65
Oignon espagnol planté	Transplant	0,01	0,91	0,09	0,00	15	30	30	0,30	1,05	0,65
Oignon vert	Semis	0,11	0,76	0,13	0,00	15	15	15	0,30	1,05	0,90
Orge	Semis	0,06	0,43	0,12	0,39	15	60	30	0,30	1,05	0,25
Panais	Semis	0,20	0,24	0,40	0,16	15	45	30	0,30	1,05	1,00
Patate douce	Transplant	0,00	0,50	0,50	0,00	15	45	30	0,50	1,10	0,60
Persil	Semis	0,15	0,76	0,09	0,00	15	30	30	0,30	1,00	0,90
Piment - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,52	0,19	0,30	15	45	30	0,40	0,80	0,80
Poireau	Transplant	0,00	0,58	0,42	0,00	15	30	30	0,30	1,00	1,00
Pois mange-tout	Semis	0,12	0,74	0,15	0,00	15	45	30	0,30	1,15	1,10
Pois sec	Semis	0,08	0,52	0,10	0,30	15	45	30	0,30	1,15	0,40
Pois vert	Semis	0,11	0,75	0,14	0,00	15	45	30	0,30	1,15	1,10
Poivron - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,52	0,19	0,30	15	45	30	0,40	0,80	0,80
Pomme (nain et semi-nain)	Vivace	0,01	0,43	0,21	0,36	60	60	60	0,50	0,70	0,55
Pomme de terre	Semis	0,11	0,37	0,30	0,22	15	45	30	0,30	1,07	0,50
Radis	Semis	0,20	0,47	0,33	0,00	15	20	20	0,30	0,90	0,85
Raisin - Viticulture	Vivace	0,00	0,63	0,28	0,09	90	90	60	0,30	0,65	0,40
Raisin - Table	Vivace	0,00	0,75	0,02	0,23	90	90	60	0,30	0,70	0,50
Rhubarbe	Vivace	0,00	0,10	0,48	0,41	90	90	45	0,30	1,20	0,60
Rutabaga	Semis	0,07	0,82	0,11	0,00	15	45	30	0,30	1,10	1,00
Seigle	Semis	0,16	0,21	0,11	0,53	15	60	30	0,30	1,00	0,35
Soya hâtif	Semis	0,06	0,62	0,09	0,23	15	45	30	0,30	1,15	0,35
Soya mi-tardif	Semis	0,06	0,65	0,08	0,22	15	45	30	0,30	1,15	0,35
Soya tardif	Semis	0,05	0,70	0,08	0,17	15	45	30	0,30	1,15	0,35
Tomate moyenne - Frais	Transplant	0,00	0,52	0,22	0,26	15	60	30	0,40	1,10	1,00
Tomate grosse - Frais	Transplant	0,00	0,57	0,15	0,28	15	60	30	0,40	1,10	1,00
Tomate - Paillis plastique et sol butté	Transplant	0,00	0,48	0,15	0,37	15	60	30	0,40	0,80	0,80
Tomate italienne - Conservation	Transplant	0,00	0,56	0,24	0,20	15	60	30	0,40	1,10	0,90
Tournesol	Semis	0,05	0,60	0,19	0,17	15	75	30	0,30	1,20	0,30

¹ Durée **stade i** proportionnellement à la durée totale = (nombre de jours à fin **stade i** - nombre de jours à fin **stade i-1**) / nombre de jours à fin **stade 4**.

5.3.8 Disponibilité de l'eau de surface et de l'eau souterraine

L'information sur la démarche ayant mené aux données de disponibilité de l'eau de surface est présentée dans le rapport suivant :

Ricard, S., M. Osina, M., F. Huchet, A. Blais-Gagnon et C. Boivin, 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; VOLET 2 – Estimation de la disponibilité en eau à l'échelle du Québec agricole. Rapport IRDA et partenaires, 58 pages.

6 ACTIVITÉS DE DIFFUSION

- Page web dédiée à EstimEau
 - Tutoriels, information, rapports, etc.
 - <https://www.irda.qc.ca/fr/services/pratiques-agricoles/gestion-optimale-eau/>
- Conférence
 - Boivin, C. 2023. EstimEau et réflexions sur les moyens pour gérer les manques et les excès d'eau. Groupe de travail sur la compétitivité des secteurs maraîchers et fruitiers, Drummondville. 3 novembre.
- Conférence
 - Boivin, C. 2023. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer et les conflits d'usage. Journées horticoles et grandes cultures 2023, Saint-Rémi. 7 décembre.
 - https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/112348/estimeau-un-outil-d_aide-a-la-decision-pour-ameliorer-la-gestion-de-l_eau-et-prevenir-les-conflits-d_usage
- Conférence
 - Boivin, C. et S. Ricard. 2024. Projet EstimEau. Atelier d'échange. Ouranos, Montréal. 23 janvier.
- Article vulgarisé
 - Boivin, C. et V. Pelletier. 2024. Plus besoin de lire les feuilles de thé... on a maintenant EstimEau! Journal GTA, 8 février. p. 8.
 - <https://issuu.com/dbccommunications/docs/2024-02-08-gta>
- Entrevue Journal Agricom
 - Eau secours des fermiers. 2024. Journal Agricom. 6 mars.
 - [Eau secours des fermiers - Le 8 mars 2024 \(journalagricom.ca\)](https://journalagricom.ca/eau-secours-des-fermiers-le-8-mars-2024)
- Promotion de l'outil lors d'activités de transfert
 - Kiosque IRDA. Les Journées annuelles de l'APFFQ. 20 février 2024
 - Boivin, C. 2024. La pluie comme source d'approvisionnement en eau? Colloque sur les bonnes pratiques écoresponsables. Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans. 27 février.
- À venir
 - Balado (EAU)tremement dit
 - <https://eautrementdit.buzzsprout.com/>

7 POINTS DE CONTACT POUR INFORMATION

Volet 1 - Besoin en eau

Carl Boivin, agr., M.Sc.
IRDA
Chercheur | Régie de l'eau en productions végétales
carl.boivin@irda.qc.ca

Volet 2 - Disponibilité en eau

Simon Ricard, ing., Ph.D.
IRDA
Chercheur | Hydrologie
simon.ricard@irda.qc.ca

8 REMERCIEMENTS AU PARTENAIRE FINANCIER

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert.

9 RÉFÉRENCES

Ail Québec. 2023. Cultivez votre ail [En ligne] <https://ail.quebec/cultivez-votre-ail/>, page consultée le 21 avril 2023.

Alberta Agriculture and Forestry (AAF). 2016. Alberta irrigation management manual [En ligne] <https://open.alberta.ca/publications/alberta-irrigation-management-manual>, page consultée le 24 avril 2023.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

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.

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. 306 pages.

Beguiría S., S. M. Vicente-Serrano, F. Reig, B. Latorre. 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. International Journal of Climatology 34(10): 3001-3023.

Bergeron, D. 2023a. Communication personnelle, 18 septembre 2023.

Bergeron, D. 2023b. Communication personnelle, 26 juillet 2023.

Landry, C., C., Boivin et J. Vallée. 2014. Relations entre le statut hydrique du sol et les stades de développement de la pomme de terre irriguée. Rapport final remis au CDAQ. IRDA. 58 p.

Boivin, C. et P. Deschênes. 2011. Stratégies d'irrigation dans la fraise à jours neutres. Rapport final. IRDA. 105 p.

Boivin, C., C. Landry et D. Bergeron. 2016. Mise au point d'une stratégie culturale innovante conjuguant la gestion de l'eau et de l'azote dans la fraise à jours neutres. Rapport déposé au MAPAQ. Projet IA214185. IRDA. 17 pages.

Boivin, C., J. Vallée et D. Bergeron. 2017a. Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre : investiguer du côté des cultivars. Rapport final présenté au MAPAQ dans le cadre du Programme Innov'Action agroalimentaire. IRDA, 31 p.

Boivin, C. J. Vallée, D. Bergeron et P. Deschênes. 2017b. Outils d'aide à la décision en gestion de l'irrigation : l'assise d'un réseau d'appui pour les producteurs de pommes de terre. Rapport final. IRDA 11 pages.

Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.

Boivin, C., J. Vallée, A. Lamontagne et P.-O. Martel. 2020a. Est-ce possible d'expliquer la variabilité à l'intérieur d'une bleuetière. Rapport remis à la DRSLSJ du MAPAQ. 41 p.

Boivin, C., J. Vallée, P.-A. Taillon et D. Bergeron. 2020b. Le défi de l'eau : l'Île d'Orléans se mobilise. Rapport remis à la MRC de l'Île d'Orléans. IRDA. 53 p.

Boivin, C., J. Vallée et P.-A. 2021. Taillon Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre par une connaissance plus approfondie des cultivars. Rapport final. IRDA. 53 p.

Boivin, C. et coll. 2023a. Projet en cours de réalisation. Optimiser la gestion de l'eau dans le secteur de la production de fraises et framboises au Québec : mobiliser les producteurs. No 22-003-PAD. IRDA.

Boivin, C., J. Vallée et L. Anderson. 2023b. Améliorer les conditions environnementales du bleuet sauvage cultivé à l'aide de pratiques culturales ayant trait au travail du sol, à la régulation de l'eau et à la fertilisation. Rapport IRDA. 73 p.

Boivin C. et coll. 2024. Projet pilote sur la valorisation de l'eau provenant des précipitations dans la filière des productions horticoles. Rapport final en cours de dépôt. IRDA.

Brassard, P., M. Généreux, C. Côté, S. Godbout et L. Belzile. 2014. Solutions optimales pour une gestion durable des eaux de lavage de légumes à l'échelle de la ferme : projets pilotes. Association des producteurs maraîchers du Québec. 61 p.

Chambre d'agriculture. 2017. Caractérisation de la réserve en eau des sols à partir des sondages pédologiques à la tarière. [En ligne] https://tarn.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/074_Inst-Tarn/4-AGROENVIRONNEMENT/Eau_OU_Irrigation/sondage_tariere_complet.pdf

Club Environnemental et Technique Atocas Québec (CETAQ). 2023. Communication personnelle, juin 2023.

Cinq-Mars, D. 2004. L'eau. MAPAQ, Direction de l'innovation scientifique et technologique [En ligne] <https://www.agrireseau.net/cheval/documents/Eau.pdf>, page consultée le 6 juin 2023.

Deschênes, P., Boivin C. et Pelletier V. 2024. Rapport d'étape- Diminuer la vulnérabilité au déficit hydrique des systèmes cultureux : Examiner, articuler, et diffuser de l'information vers les acteurs concernés par la gestion de l'eau. IRDA. 19 p.

Domaine Côtes d'Ardoise Vignoble. 2023. Calendrier viticole [En ligne] <https://cotesardoise.com/calendrier-viticole/>, page consultée le 21 avril 2023.

Écoumène. 2023. Semence bio [En ligne] <https://www.ecoumene.com/>, page consultée le 21 avril 2023.

Duchesne R.-M., Y. Brochu, R. Lavoie, J. Lauzier et L. Vallières. 2016. Guide - Je règle mon pulvérisateur. 21 p. [En ligne] <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/92693/reglage-du-pulverisateur>, page consultée le 5 mars 2024.

Ferme Sainte-Marthe. 2023. Réussir la culture du panais [En ligne] <https://www.fermedesaintemarthe.com/reussir-la-culture-du-panais-p-13296>, page consultée le 21 avril 2023.

Gagnon, P., F. Fortin, L. Maignel, J. G. Turgeon, V. C. Simard et B. Sullivan. 2018. Analyse de la consommation d'eau individuelle et par case des porcs en croissance. Journées Recherche Porcine, 50, 317-322. [En ligne] <https://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2018/bienetre/b07.pdf>, page consultée le 21 juin 2023.

Gagnon, S., M.-È. Moreau et V. Moreau. 2014. La production du bleuets sauvage dans une perspective de développement durable. 232 p.

Gautschi, S., D. Brunner et R. Fritschi. 2017. Guide pratique - Évacuation des eaux usées des entreprises productrices de légumes. 56 p.

Godbout, S. 2023. Mandat en cours de réalisation « Gestion environnementale des eaux usées en agriculture ». IRDA.

Godbout, S., P. Brassard et J. Palacios. 2017. Calcul du volume de fumier pour le dimensionnement des structures d'entreposage : Évaluation des volumes complémentaires. Guide Technique. 19 p. [En ligne] https://www.agrireseau.net/documents/Document_95550.pdf, page consultée le 27 juin 2023.

Hamel, C., M. Généreux et C. Côté. 2010. Gestion environnementale de l'eau en production maraîchère : Phase 1. Rapport final de projet 1er mars 2009 – 31 mars 2010. Fédération des producteurs maraîchers du Québec. 17 p.

Hawkins, B. et B. Barkes. 2022. Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs - Gestion des eaux de lavage des salles de traite. Fiche technique no 22-042. AGDEX 720/410. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 10 p. [En ligne] <https://files.ontario.ca/omafra-handling-milking-centre-washwater-22-042-fr-2022-11-23.pdf>, page consultée le 13 juin 2023.

Ikani, V. 2022. Analyse des éléments climatiques – environnementaux et leurs influences sur la formation et sur l'intensité du gel radiatif dans un vignoble de Chaudière-Appalaches. 44 p. [En ligne] https://www.agrireseau.net/documents/Document_109728.pdf, page consultée le 28 février 2022.

Institut de la statistique du Québec (ISQ) et ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). 2021. Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec [En ligne] <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/profil-sectoriel-industrie-bioalimentaire-quebec-edition-2021.pdf>, page consultée le 3 mars 2023.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 2023. Communication personnelle, juin 2023.

IRDA. 2023a. Communication personnelle pour l'eau utilisée dans les pesticides, juin 2023.

IRDA. 2023b. Communication personnelle pour l'eau utilisée dans les pesticides, septembre 2023.

IRDA. 2023c. Communication personnelle pour l'eau utilisée dans les pesticides, juin 2023.

IRDA. 2023d. Communications personnelles pour l'eau utilisée dans le lavage des légumes, avril à août 2023.

IRDA. 2023e. Communication personnelle, printemps 2023.

La Financière agricole du Québec (FADQ). 2023. Direction de l'assurance récolte. Communication personnelle, mars 2023.

Lehto, M., I. Sipilä, L. Alakukku, et H. R. Kymäläinen. 2014. Water consumption and wastewaters in fresh-cut vegetable production. Agricultural and food science.

Les producteurs laitiers du Canada (LPLC). 2024. L'utilisation de l'eau sur les fermes laitières canadiennes [En ligne] <https://producteurslaitiersducanada.ca/fr/developpement-durable/eau>, page consultée le 4 mars 2024.

Lott, E. D. et V. E. Hammond. 2013. Water Wise - Vegetable and fruit production. G2189. University of Nebraska - Lincoln Extension, Institute of agriculture and Natural Resources. 4 p. <https://extensionpubs.unl.edu/publication/1479>

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario (MAAARO). 2017. Guide sur le traitement de l'eau de lavage des légumes et des fruits. Publication 854F. 138 p.

MAAARO. 2017. Guide sur le traitement de l'eau de lavage des légumes et des fruits. Publication 854F. 138 p. [En ligne] <https://www.ontario.ca/fr/page/publication-854f-guide-sur-le-traitement-de-leau-de-lavage-des-legumes-et-des-fruits>, page consultée le 5 avril 2023.

MAAARO. 2022. Irrigating vegetable crops [En ligne] <https://www.ontario.ca/page/irrigating-vegetable-crops>, page consultée le 19 mai 2023.

Massabie, P., C. Aubert, J. L. Ménard, H. Roy, A. L. Boulestreau-Boulay, A. Dubois, E. Dezat, G. Dennery, P. Roussel, C. Martineau, P. Brunschwig, J. Thomas, J. P. Quillien, P. Briand, S. Coutant, L. Fulbert, T. Huneau, S. Lowagie, J. P. Magnière, M. Nicoud, D. Piroux, A. Boudon. 2013. Maîtrise des consommations d'eau en élevage: élaboration d'un référentiel, identification des moyens de réduction, construction d'une démarche de diagnostic. Innovations Agronomiques (30) 87-101.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). 2023a. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023b. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023c. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023d. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023e. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023f. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023g. Communication personnelle, juin 2023.

MAPAQ. 2023h. Communication personnelle, juin 2023.

Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH). 2023. Campagne Mon empreinte bleue – trucs et astuces [En ligne] <https://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/campagne-mon-empreinte-bleue/trucs-et-astuces/>, page consultée le 2024-03-01.

Massabie, P., C. Aubert, J. L. Ménard, H. Roy, A. L. Boulestreau-Boulay, A. Dubois, E. Dezat, G. Dennery, P. Roussel, C. Martineau, P. Brunschwig, J. Thomas, J. P. Quillien, P. Briand, S. Coutant, L. Fulbert, T. Huneau, S. Lowagie, J. P. Magnière, M. Nicoud, D. Piroux, A. Boudon. 2013. Maîtrise des consommations d'eau en élevage: élaboration d'un référentiel, identification des moyens de réduction, construction d'une démarche de diagnostic. Innovations Agronomiques (30) 87-101

- McKee, T. B., N. J. Doesken et J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Volume 17. No 22. p. 179-183.
- Mundi, G. S., R. G. Zytner et K. Warriner. 2017. Fruit and vegetable wash-water characterization, treatment feasibility study and decision matrices. Canadian Journal of Civil Engineering, 44(11), 971-983.
- Nadon, S., D. Bergeron, C. Boivin et J. Vallée. 2016. Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte en champ. Rapport final. IRDA. 61 p.
- National Research Council (NRC). 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000. Washington, DC: The National Academies Press. [En ligne] <http://www.nap.edu/catalog/9791.html>, page consultée le 15 juin 2023.
- North Carolina State University (NCSU). 2023. Plasticulture for Commercial Vegetables [En ligne] <https://content.ces.ncsu.edu/plasticulture-for-commercial-vegetables>, page consultée le 21 avril 2023.
- North Dakota State University (NDSU). 2020. Sunflower Production Guide [En ligne] <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/sunflower-production-guide>, page consultée le 21 avril 2023.
- North Dakota State University (NDSU). 2021. Soybean Growth and Management Quick Guide [En ligne] <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/soybean-growth-and-management-quick-guide>, page consultée le 21 avril 2023.
- Ontario Goat. 2015. Goats and Water – Goat Gazette December 2015. 2p. [En ligne] <https://ontariogoat.ca/wp-content/uploads/2015/12/OG-Gazette-6-Water-FINAL-2015-12.pdf>, page consultée le 19 juin 2023.
- Ochsner, T. E., M. H. Cosh, R. H. Cuenca, W. A. Dorigo, C. S. Draper, Y. Hagimoto, et M. Zreda. 2013. State of the art in large-scale soil moisture monitoring. Soil Science Society of America Journal, 77(6), 1888-1919.
- Organisation météorologique mondiale (OMM). 2012. Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. [En ligne] https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7770, page consultée le 27 juin 2023.
- Pelletier, F., S. Godbout, C. Côté, M. Généreux, J.-P. Larouche, M. Girard et M. Belzile. 2013. Predicting wash water characteristics produced by root crop washing processes. La Société Canadienne de Génie Agroalimentaire et de Bioingénierie. CSBE13-62. 1-7.
- Pelletier, V., S. J. Gumiere, S. Pepin, J. Gallichand, J. Caron. 2017. Positioning temperature sensors for frost protection in northern cranberry production. Agricultural Sciences, 8(9), 960-971.
- Pépinière Villeneuve. 2023. Calendrier des semis [En ligne] <https://pepinierenvilleneuve.com/calendrier-semis/>, page consultée le 21 avril 2023.
- Pereira, L. S., P. Paredes, D. J. López-Urrea, et N. Jovanovic. 2021a. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. Agricultural Water Management. Volume 248. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106697>.

- Pereira, L.S., P. Paredes, D. J. Hunsaker, R. Lopez-Urrea et Z. Mohammadi Shad. 2021c. Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106466>
- Pereira, L.S., P. Paredes, R. López-Urrea, D. J. Hunsaker, M. Mota, Z. Mohammadi Shad. 2021b. Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management*. Volume 243. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>.
- Plouffe, D., G. Bourgeois, N. Beaudry, G. Chouinard, D. Choquette. 2022. *CIPRA - Centre informatique de prévision des ravageurs en agriculture: guide des cultures*, Agriculture et agroalimentaire Canada, 269 pages. https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/aac-aafc/A42-119-2022-fra.pdf
- Productions en Régie Intégrée du Sud de Montréal (PRISME). 2023. Communication personnelle, juin 2023.
- Prograin. 2020. Tout savoir sur l'évaluation des populations de soya [En ligne] <https://prograin.ca/ca/fr/2020/05/26/tout-savoir-sur-levaluation-des-populations-de-soya/>, page consultée le 21 avril 2023.
- Quiring, S. M. et T. N Papakryiakou. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and forest meteorology*, 118(1-2), 49-62.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rallo, G., T. Paço, P. Paredes, A. Puig, G. Provenzano, R. Massai et L. S. Pereira. 2021. Updated single and dual crop coefficients for trees and vine crops <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- Ramonet, Y., J. Chiron, F. Etoire, A. Fabre, A. Laval, B. Nielsen, F. Pol, A. Prunier et M.C. Meunier-Salaün. 2017. Abreuvement des porcs : état des connaissances et conséquences sur le bien-être des animaux et la gestion des effluents chez des porcs alimentés en soupe. *Journées de la Recherche Porcine* (49) 139-150.
- Réseau d'épidémiologie-surveillance en pathologie équine (RESPE). 2023. L'eau et l'abreuvement chez le cheval [En ligne] <https://respe.net/leau-et-labreuvement-chez-le-cheval/>, page consultée le 21 juin 2023.
- Réseaux des grandes cultures du Québec (RGCQ). 2021. Guide 2021 [En ligne] <https://rgcq.ca/>, page consultée le 21 avril 2023.
- Réseau de lutte intégrée Orléans inc (RLIO). 2023. Communication personnelle pour l'eau utilisée dans les pesticides, juin 2023.
- Ricard M.-A. et S. Turcotte. 2022. Utilisation de l'eau à la ferme : des données québécoises. CDPQ. *Porc Québec - Mars 2023*, 3 p.
- Ricard, S., M. Osina, F. Huchet, A. Blais-Gagnon et C. Boivin, 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; *VOLET 2 – Estimation de la disponibilité en eau à l'échelle du Québec agricole*. Rapport IRDA et partenaires, 58 pages.
- Semican. 2023. Semences [En ligne] <https://www.semicanseed.com/>, page consultée le 21 avril 2023.

Statistique Canada. 2021a. Grandes cultures et foin. Tableau 32-10-0309-01. Recensement de l'agriculture [En ligne] <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210030901>, page consultée le 3 mars 2023.

Statistique Canada. 2021b. Légumes de champ. Tableau 32-10-0355-01. Recensement de l'agriculture [En ligne] <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035501>, page consultée le 3 mars 2023.

Statistique Canada. 2021c. Fruits. Tableau 32-10-0315-01. Recensement de l'agriculture [En ligne] <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210031501>, page consultée le 3 mars 2023.

Statistique Canada. 2021d. Utilisation d'eau potable selon le secteur et utilisation quotidienne moyenne. Tableau : 38-10-0271-01. Recensement de l'agriculture [En ligne] <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810027101>, page consultée le 23 décembre 2021.

Trajer, J., R. Winiczenko et B. Drózdź. 2021. Analysis of water consumption in fruit and vegetable processing plants with the use of artificial intelligence. *Applied Sciences*, 11(21), 10167.

Turcotte, S., G. Dumas, M.-A. Ricard. 2023. Déterminer les facteurs favorisant une utilisation durable de l'eau et mesurer l'utilisation de l'eau à l'échelle des fermes porcines du Québec. Rapport final. Centre de développement du porc du Québec inc. 93 p. [En ligne] <https://www.cdpq.ca/getattachment/Recherche-et-developpement/Projets-de-recherche/Projet-254/Projet-254-rapport.pdf.aspx>, page consultée le 13 juillet 2023.

University of California Cooperative Extension (UCCE). 2011. Vegetable root depths - to gauche watering depth [En ligne] <https://celosangeles.ucanr.edu/files/121762.pdf>, page consultée le 21 avril 2023.

University of California Davis (UCDAVIS). 2023. Covercrop Oat [En ligne] <https://sarep.ucdavis.edu/covercrop/oat>, page consultée le 21 avril 2023.

University of Georgia Extension (UGA). 2022. Pearl Millet for Grain, Bulletin 1216 [En ligne] <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=b1216>, page consultée le 21 avril 2023.

University of Minnesota Extension (UMN). 2021. Spring barley growth and development guide [En ligne] <https://extension.umn.edu/growing-small-grains/spring-barley-growth-and-development-guide#growth-timeline-and-process-791511>, page consultée le 21 avril 2023.

Vallée, J., C. Boivin, D. Bergeron, R. Audet et F. Chrétien. 2014. *Comparaison et évaluation d'outils de gestion de l'irrigation*. Rapport final remis au CDAQ. IRDA, 74 p.

Vallée, J. D. Bergeron et C. Boivin. 2017. Irrigation goutte à goutte de la pomme de terre. Rapport final. IRDA. 26 p.

Vallée, J. et C. Boivin. 2023. Irrigation des plantes fourragères : outiller le milieu pour qu'il puisse prendre les bonnes décisions. Rapport final. IRDA. 137 p.

Van der Gulik, T.W. et R.J. Williams. 1988. B.C. Frost Protection Guide. B.C. Ministry of Agriculture and Fisheries. 45 p.

Vegetomix. 2023. Catalogue de semences [En ligne] <https://vegetomix.ca/>, page consultée le 21 avril 2023.

W.H. Perron. 2023. [En ligne] <https://whperron.com/>, page consultée le 21 avril 2023.

Ward D. et K. McKague. 2023. Les exigences en eau des animaux d'élevage. Fiche technique no 23-024. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 7p. [En ligne] <https://files.ontario.ca/omafra-water-requirements-livestock-23-024-fr-2023-04-25.pdf>, page consultée le 13 juillet 2023.

10.1 Annexe 1 : Protection contre le gel (Rapport intégral Jean-Thomas Denault - AAC)

Dans cette section est annexée le rapport qui décrit la démarche intégrale qui a été utilisée pour déterminer le nombre d'événements de gel où il y a un a synchronisme avec un stade sensible des cultures au printemps, et ce, sur une grille géoréférencée pour le Québec agricole.

Note : La numérotation des pages et les sauts de page ont été modifiés depuis du document original (reçu le 2024-03-1) afin de permettre une intégration harmonieuse à ce rapport global de projet. Ces ajustements ont été faits par l'équipe de l'IRDA. Aucune autre modification intentionnelle n'a été faite.

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Rapport de projet J-003067

Projet EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la
gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage

*Objectif 4. Méthodologie et résultats de l'évaluation du synchronisme
« fleur-gel » / « fruit-gel » des principales cultures horticoles*

Denault, Jean-Thomas
2023-08-02

Ce rapport présente la contribution d'AAC au projet EstimEau, soit « Évaluer les besoins en eau actuels et futurs de l'irrigation contre le gel pour un système cultural donné » de façon à répondre à l'objectif 4 du projet.

Description de la méthodologie proposée

1. Déterminer la date des stades phénologiques d'intérêt et seuils de tolérance au gel

La tolérance au gel des cultures varie grandement en fonction des différentes cultures, mais également à la physiologie associée aux différents stades phénologiques de ces dernières. Au fil des ans, AAC a développé une série de modèles phénologiques, calibrés en fonction de données d'observations recueillies au Québec (Plouffe et al. 2022). Ces modèles sont pour la plupart associés à des cumuls spécifiques de degrés-jour précisés au Tableau 1.

La première étape vise à déterminer la date de l'atteinte des différents stades phénologiques des cultures visées. Pour ce faire, les modèles phénologiques disponibles dans CIPRA ont été appliqués pour chacun des points d'une grille de données de stations interpolées sur grilles (NRCAN ANUSPLIN version 2) et des données issues d'une réanalyse climatique (RDRSv21). La date (en jour de calendrier) de l'atteinte des différents stades phénologiques a été calculée pour la fraise, la canneberge, le bleuet nain, la camerise, la framboise et la vigne pour chacune des années entre 1961 et 2017 dans le cas d'ANUSPLIN et de 1981 à 2018 dans le cas de la réanalyse.

Les cultures maraîchères ont demandé un traitement particulier étant donné leur grande diversité des espèces cultivées, de leur tolérance au gel, leur date d'implantation et leurs modes d'implantation (transplant vs semis). Une approche simplifiée, basée sur un calendrier d'implantation selon différentes régions est utilisée. Le début des travaux est ainsi initié entre le 24 avril au 15 mai selon les régions (Figure 1).

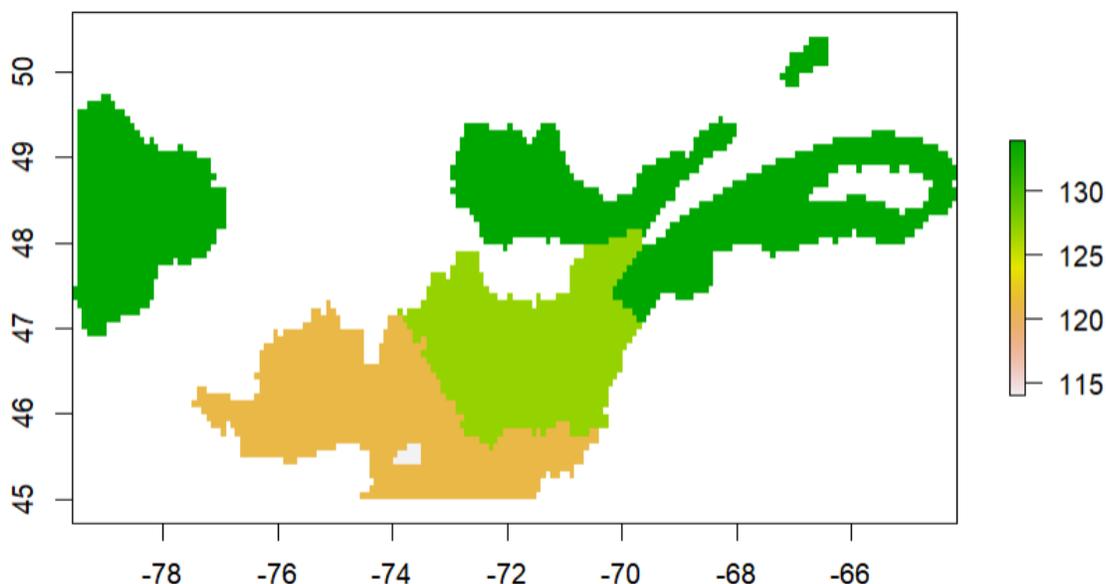


Figure 1. Dates de début des travaux fixées pour les cultures maraîchères pour les différentes régions administratives du Québec. (Montréal-Laval : 24 avril, Montérégie, Estrie, Outaouais, Laurentides, Lanaudière : 1^{er} mai, Mauricie, Centre-du-Québec, Capitale-Nationale, Chaudière-Appalaches : 7 mai, Abitibi-Témiscamingue, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie-Îles de la Madeleine : 15 mai)

Par la suite, différentes températures critiques de tolérance au gel ont été documentées pour les cultures. Pour le projet, nous avons essayé d'identifier les températures critiques diffusées auprès des intervenants du secteur agricole québécois dans différentes présentations ou guides de productions. Ces températures peuvent être basées sur des observations recueillies en conditions de production ou dans des systèmes entièrement contrôlés (ex. chambre de croissance). Le lien avec les différents stades phénologiques retrouvés dans les modèles est présenté dans le Tableau 2.

Des seuils ajustés sont également présentés. Ces seuils sont établis en ajoutant 2 °C ou 4 °C aux températures critiques documentées afin de prendre en considération la différence de température mesurée au niveau du point de croissance et celle mesurée aux stations météorologiques (habituellement 1,5 à 2 m) et, ainsi, mieux refléter les températures pour lesquelles des mesures de protection sont enclenchées (Lélia Anderson, communication personnelle). Les températures ajustées de +4°C sont adaptées pour les plants courts (canneberge, fraise, bleuet nain) alors que les températures de +2 °C sont adaptées pour les plants hauts (framboise, vigne, camerise).

2. Évaluer le nombre d'évènements de synchronisme « fleur-gel » ou « fruit-gel » au cours de la période d'intérêt

Pour cinq stades phénologiques pré-identifiés, couvrant la période de risque de dommages aux cultures qui peuvent être protégées par irrigation (habituellement, entre l'éclatement des bourgeons et la fin de la floraison), la fréquence à laquelle la température minimale journalière des données de stations interpolées sur grilles est inférieure aux températures critiques est compilée pour chacune des années des différents jeux de données. Les statistiques (centiles 10, 20, 50, 80, 90) sont ensuite compilées pour l'ensemble du jeu de données et pour différentes périodes climatiques (1961-1990; 1971-2000; 1981-2010; récentes (27 années) : 1991-2017).

Pour les cultures maraîchères, les occurrences sont compilées entre la date de début des travaux présenté à la figure 1 et le 1^{er} juillet annuellement.

Cette approche est utilisée aux seuils de températures critiques identifiés en 1.

Limitations importantes : L'approche permet la quantification des risques de synchronisme « gel-fleur » ou « gel-fruit » sur des variétés dites témoins. Toutefois, plusieurs pratiques (paillis, drainage, choix de variétés) des producteurs peuvent influencer la vitesse de développement de leurs cultures et influencer leur vulnérabilité aux risques. Un facteur de sécurité pourrait être rajouté en fin de démarche pour représenter cet enjeu et permettre aux producteurs d'ajuster le risque aux conditions pratiques de la ferme.

3. Décrire les caractéristiques des épisodes de gel (intensité; durée) avec données de stations météo

Afin de caractériser les épisodes de gel, l'évaluation du synchronisme « fruit-gel » sera également effectuée en utilisant des données de stations météorologiques retrouvées dans différentes régions du Québec (Tableau 1). Les variables de température, humidité relative et vitesse des vents des données horaires des périodes documentées seront analysées pour documenter la durée (Nb d'heures < seuil) et l'intensité (T min et Td min) du gel.

Tableau 1. Sélection et disponibilité des données des stations météorologiques

Region administrative	ID station	Nom	Gestionnaire de réseau	Disponibilité des données Agrométéo QC
Saguenay-Lac-Saint-Jean	cwod	Normandin	DEA	2005-2017
Abitibi-Temiscamingue	cyuy	Rouyn A	DEA	2005-2017
Bas-Saint-Laurent	cqpm	Pépinière St-Modeste	DCF	2005-2017
Bas-Saint-Laurent	cwst	La Pocatière	DEA	2005-2017
Capitale-Nationale	cwqb	Québec	DEA	2005-2017
Centre-du-Quebec	cmlu	Lemieux	DEA	2005-2017
Centre-du-Quebec	cwnq	Nicolet	DEA	2005-2017
Estrie	cwqh	Lennoxville	DEA	2005-2017
Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine	cwoc	New Carlisle	DEA	2005-2017
Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine	cwrz	Cap D'Espoir	DEA	2005-2017
Lanaudière	cwew	L'Assomption	DEA	2005-2017
Laurentides	cymx	Mirabel	DEA	2005-2017
Monteregie Ouest	cwiz	L'Acadie	DEA	2005-2017
Montréal	cwvq	Sainte-Anne-de-Bellevue	DEA	2005-2017
Outaouais	cynd	Gatineau A	DEA	2005-2017

Tableau 2. Résumé des modèles phénologiques (CipraR) et des températures critiques utilisés

Cultures	Cultivars	Méthode cumul Degrés-jour (DJ) (date début, Tbase, Toptimale)	Stades phénologiques (DJ aux stades phénologiques pertinents) ¹	Températures critiques tirées de la littérature ² (°C)	Températures critiques ajustées (+2 °C)	Températures critiques au sol (+4 °C)
Fraise ^{2a}	Jewel	Sinus simple (1 ^{er} mars, 0, 30)	1. Début végétation (241) 2. Début bouton vert (395) 3. Bouton vert avancé (451) 4. Floraison (607) 5. Fruit vert (739)	NA -5.5 (-5.0) -2.2 (-2.0) 0.0 -2.2 (-2.0)	NA -3.0 0.0 2.0 0.0	-1.0 2.0 4.0 2.0
Framboisier ^{2b}	Killarney	Sinus simple (1 ^{er} mars, 1.7, 30)	1. Pointe verte (189) 2. Boutons verts serrés (300) 3. Boutons verts regroupés (430) 4. Boutons verts dégagés (513) 5. Floraison (686)	NA NA (-20) NA (-5) -1.0 -1.0	NA -10.0 -3.0 1.0 1.0	- - - - -
Canneberge ^{2c}	ND	Sinus simple (1 ^{er} mars, 5, 30)	1. Début élongation (365) 2. Début crochet (503) 3. 10 % floraison (663) 4. 10 % nouaison (777) 5. 95 % floraison (867)	-3.8 -1.1 (-1.0) -1.1 (-1.0) -1.1 (-1.0) -1.1 (-1.0)	-1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	- 3.0 3.0 3.0 3.0

1. Plouffe *et al.*, 2022. CIPRA - Centre informatique de prévision des ravageurs en agriculture: guide des cultures. ISBN 978-0-660-21483-2

2a. Martsoff and Gerber, Ohio Strawberry Manual, Bulletin no 436 : cited in MAPAQ-Réseau d'avertissement phytosanitaire. 2022.

2b. Demchak, K. 2020 Frost and Freeze Damage on Berry Crops. PennState Extension.

2c. Workmaster *et al.* 2009. Frost Hardiness of Cranberry Plant : A guide to manage the crop during critical periods in spring and fall. University of Wisconsin

Tableau 2 (suite)

Cultures	Cultivars	Méthode cumul Degrés-jour (DJ) (date début, Tbase, Toptimale)	Stades phénologiques (DJ aux stades phénologiques pertinents) ¹	Températures critiques tirées de la littérature ² (°C)	Températures critiques ajustées (+2 °C)	Températures critiques au sol (+4 °C)
Bleuet nain (fleurs) ^{2d}	ND	Sinus simple (1 ^{er} mars, 0, 28)	1. Émergence des boutons floraux (285)	-5.0	-3.0	-1.0
Bleuet nain (fruits)			2. Boutons floraux (358)	-3.5 (-3.0)	-1.0	1.0
			3. Pleine floraison (498)	-2.0	0.0	2.0
			4. Fin de la floraison (548)	-2.0	0.0	2.0
			5. Véraison (1138)	NA	NA	-
			6. Fruits matures-récolte (1516)	-2.0	0.0	2.0
Camerise ^{2e} (cépage hâtif : Berry Blue)	Berry Blue	Sinus simple (1 ^{er} mars, 3, 25)	1. Débourrement avancé (117)	-45	-43	-
			2. Bouton serré (160)	-26	-24	-
			3. Début floraison (187)	-6.0	-4.0	-
			4. Pleine floraison (267)	-6.0	-4.0	-
			5. Véraison (636)	-6.0	-4.0	-
Vigne ^{2f} (Cépages à débourrement hâtif)	Hâtifs	Sinus simple (1 ^{er} mars, 10, 30)	1. Bourgeon dans le coton (52)	-4.0	-2.0	-
			2. Pointe verte (88)	-2.0	0.0	-
			3. 1 ^{re} feuille étalée (102)	-1.0	1.0	-
			4. 3 feuilles étalées (130)	0.0	2.0	-
			5. Boutons floraux agglomérés (218)	0.0	2.0	-
Cultures maraichères	ND	Régions 06-13: Début 24 avril Régions 05-07-14-15-16 : Début 1 ^{er} mai Régions 03-04-12-17 : Début 7 mai Régions 01-02-08-09-10-11 : Début 14 mai		-2.0	0.0	-

2d. Yarborough, D. 2015. Flower primordia development stage. Fact Sheet no. 216, University of Maine Extension no. 2003.

2d. Boivin, et coll. 2019. « Régie raisonnée de l'eau pour le bleuet nain cultivé dans un contexte de climat variable et en évolution », 170 pages.

2e. MAPAQ. 2015. La Camerise : Guide de production, Edition 2015. ISBN: 978-2-550-72641-8

2f. Willwerth *et al.* 2014. Best Management Practices for Reducing Winter Injury in Grapevines. Cool climate Oenology and Viticulture Institute

RÉSULTATS

1. Influence du choix des données climatiques sur la date d'atteinte des stades phénologiques

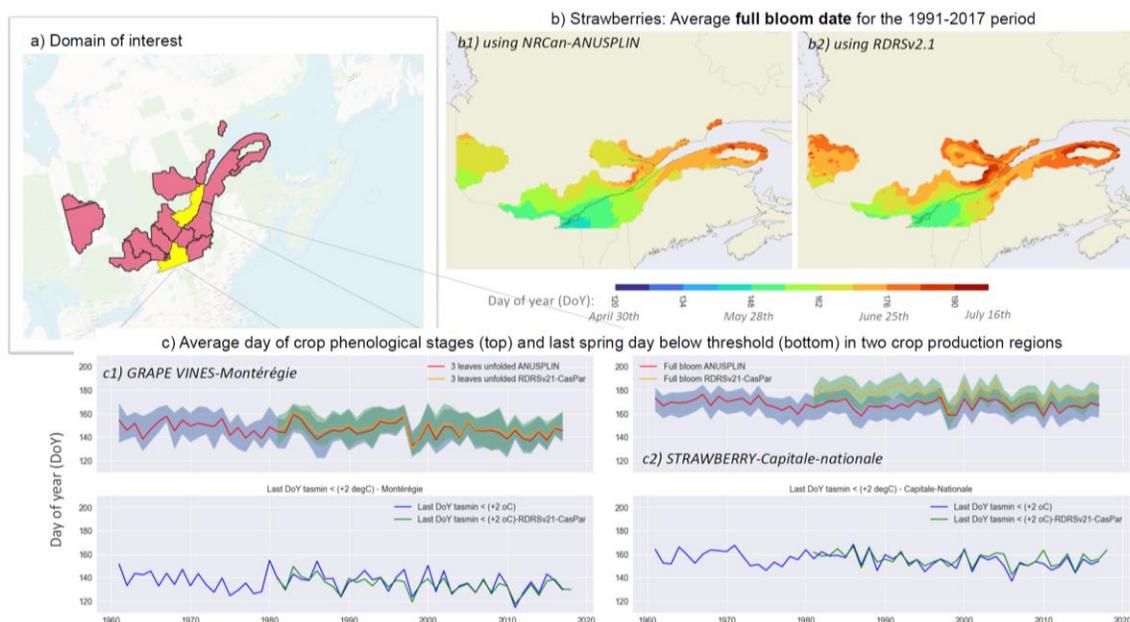


Figure 2. Dates moyennes de la pleine floraison du fraisier estimée à l'aide de NRCan-ANUSPLIN (b1) et RDRSv21 (b2) et séries temporelles des dates des stades phénologiques et de la date du gel (ou température critique) pour les vignes en Montérégie (c1) et les fraises dans la Capitale-Nationale (c2).

Le choix de la source de données influence grandement l'estimation des dates de l'atteinte des différents stades phénologiques, et plus particulièrement dans les régions les plus nordiques.

L'atteinte des principaux stades phénologiques survient en moyenne de 7 à 14 jours plus tardivement dans les régions nordiques avec l'utilisation de RDRSv21 (fig. b2 and c2)³, alors que la différence entre la date du dernier la dernière température sous le seuil critique des deux produits est beaucoup moins prononcée (fig. c1 and c2). L'évaluation de la climatologie de la date du dernier gel permet d'ailleurs de distinguer des différences plus importantes entre les deux sources de données pour des récurrences plus faibles (ex. 2 ans sur 10) (Annexe 2). Cette distinction a une forte influence sur le nombre d'évènements « gel-fleur » modélisés, l'utilisation de RDRS réduisant de façon systématique le nombre d'évènements comptabilisé.

Les modèles bioclimatiques disponibles dans CIPRA ont tous été établis en utilisant des données en provenance de stations météorologiques de référence. Afin d'évaluer la qualité des estimations produites par les modèles bioclimatiques, une comparaison avec les estimations produites à partir des données des 15 stations météorologiques identifiées (tableau 1) a été complétée.

³ Les graphiques pour la canneberge (centre du Québec) et les bleuets sauvages (Saguenay-Lac-Saint-Jean) sont disponibles à l'annexe 1.

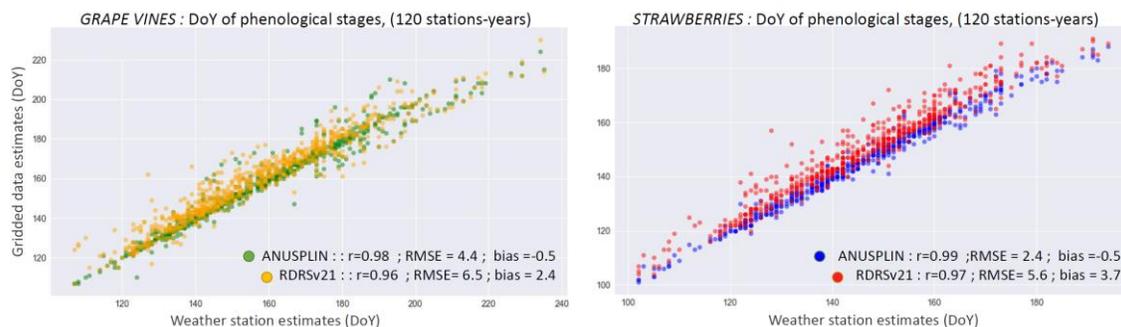


Figure 3. Comparaison aux coordonnées des stations météo entre les dates d'atteintes des seuils phénologiques de la vigne (a) et de la fraise estimées par NRCan-ANUSPLIN et RDRSv21 et les dates estimées avec les données des stations météo.

NRCan-ANUSPLIN permet une meilleure estimation des stades phénologiques que RDRSv21 lorsque comparé aux estimations de stations météo sur l'ensemble des indicateurs considérés (Fig2 a et b. coefficient de corrélation de Pearson, erreur quadratique moyenne, biais). Ce résultat est peu surprenant considérant que plusieurs de ces stations sont utilisées dans la production du produit sur grille (données fortement autocorrélées). Le fait que la réanalyse représente la moyenne des conditions de surface selon la description de l'occupation du territoire (ex. forêt, agriculture, eau et territoire urbanisé) pourrait expliquer cette différence. La comparaison spatiale des dates d'estimation de la floraison de la fraise est mise à l'annexe 3. Cette performance semble conforter le choix de NRCan-ANUSPLIN pour évaluer le synchronisme « fleur-gel ».

La recalibration des dates d'atteinte des principaux stades phénologiques devrait être menée avant de promouvoir l'utilisation d'un autre produit climatique, tel que RDRSv21, pour modéliser la phénologie des cultures. Également, il serait pertinent de valider si les années présentant un synchronisme « fleur-gel » correspondent avec des années répertoriées avec des dommages aux cultures (surtout dans le cas où des cultures peu protégées).

2. Synchronisme « fleur-gel » pour les cultures identifiées d'intérêt dans le projet.

Une sélection de séries temporelles présentant les dates moyennes d'atteinte des stades phénologiques sensibles (présentés au tableau 2) dans certaines régions de production et la dernière date de l'atteinte du seuil de la température critique est présentée à la figure 4. Cette sélection permet de bien visualiser les années pour lesquelles le synchronisme « fleur-gel » était bien présent. Une tendance à la baisse de la date de l'atteinte du seuil de la température critique semble présente pour toutes les régions et particulièrement observable au cours de la période récente. Cette tendance est particulièrement notable dans l'estimation du nombre de jours de synchronisme "fleur-gel" pour la période 1991-2017 (Annexe 4).

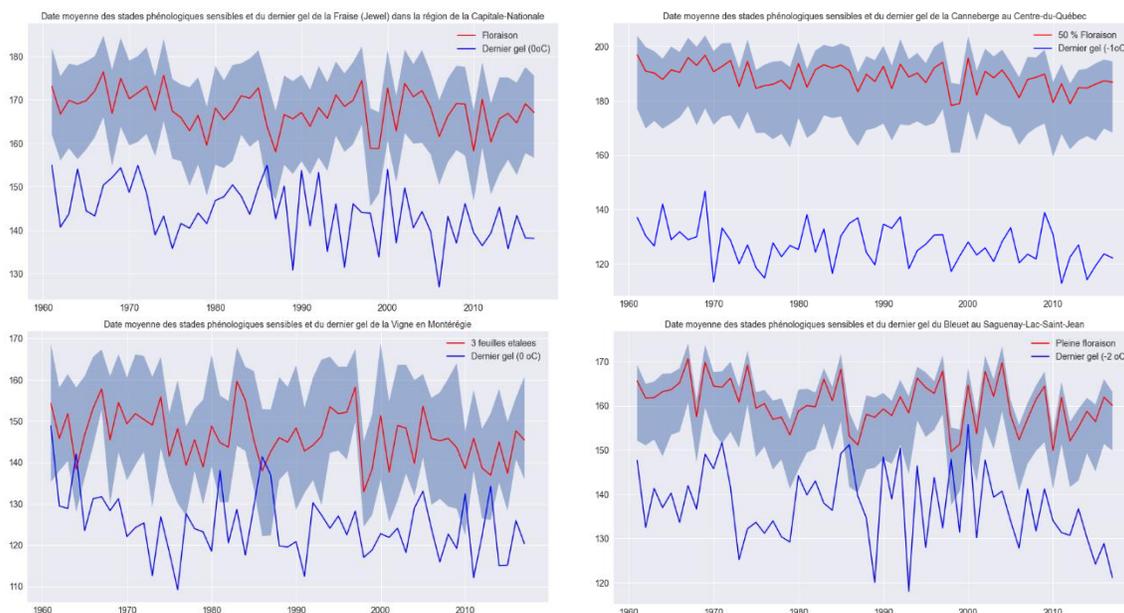


Figure 4. Séries temporelles présentant les dates moyennes des stades phénologiques d'intérêt et la température du dernier gel pour a) la Fraise dans la Capitale-Nationale, b) la Canneberge au Centre-du-Québec, c) la Vigne en Montérégie et d) le Bleuet nain au Saguenay Lac-Saint-Jean évalué avec ANUSPLIN.

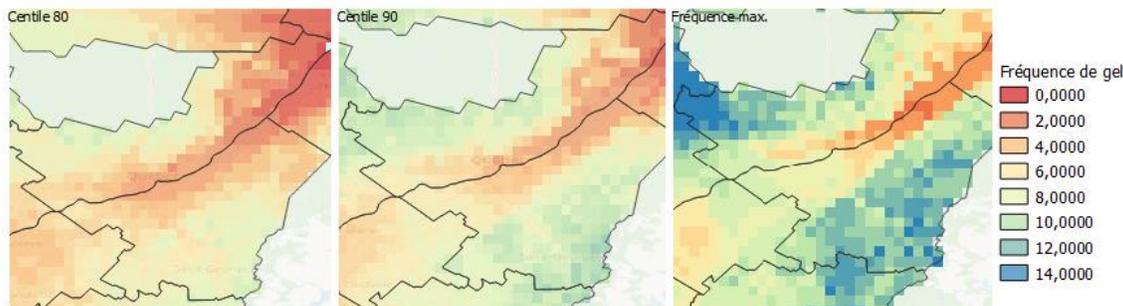
Limitations : Le présent projet présente une estimation du synchronisme dans des conditions moyennes, telles qu'évaluées lors de la calibration des modèles phénologiques. Plusieurs éléments vont influencer le développement des cultures, que ce soit par le choix les conditions microclimatiques réelles de la parcelle (influencée par sa pente, orientation, texture du sol, etc.), les pratiques du producteur telles que l'utilisation de paillis, filets ou bâches et bien sûr le cultivar réellement utilisé. Il existe toutefois très peu de données de validation qui permettent d'établir la fréquence moyenne pour laquelle le démarrage des systèmes d'irrigation pour la protection contre le gel est nécessaire. L'utilisation de seuils tirés de la littérature a résulté à de très faibles fréquences du synchronisme « fleur-gel » (Tableau 3).

Tableau 3. Réurrences moyennes du nombre de jours de synchronisme "fleur-gel" pour la zone agricole du Québec au cours de la période 1991-2017 estimée sous les seuils tirés de la littérature.

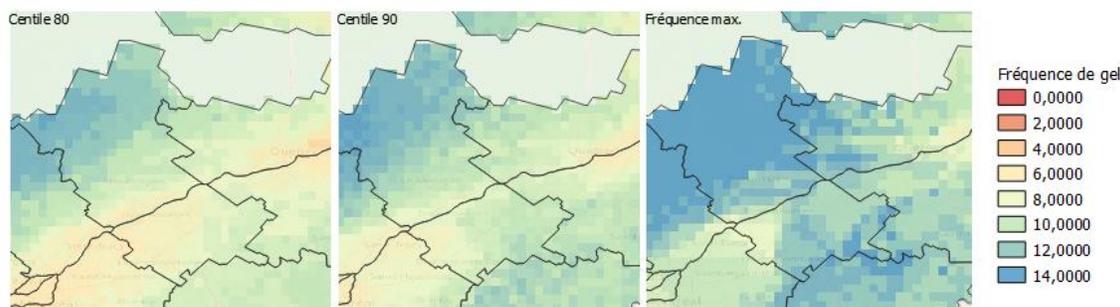
Réurrences	Seuils tirés de la littérature						
	Fraise	Bleuet	Camerise	Canneberge	Framboise	Vigne	Légumes
9 années/10 (C10)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
4 années/5 (C20)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
1 année/2 (C50)	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0
1 année/5 (C80)	0,7	0,6	0,0	0,0	0,0	1,9	2,3
1 année/10 (C90)	1,1	1,1	0,0	0,0	0,1	2,6	3,2
Max	2,7	2,2	0,1	0,1	0,8	4,8	4,9

Validation partielle et sélection d'une plage de valeur représentative de la pratique courante.

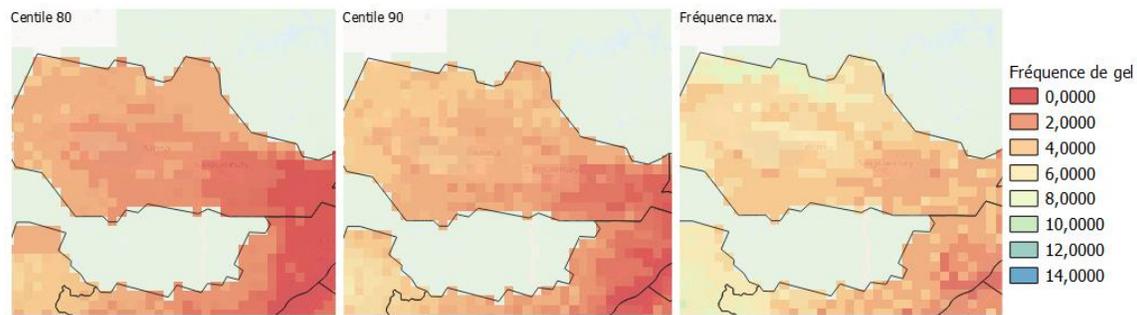
Ainsi, pour la fraise, l'estimation de la fréquence des périodes de protection contre le gel était de 4 à 6 irrigations dans les régions de la Capitale-Nationale et de 6-8 dans la région de Chaudière-Appalaches (Daniel Bergeron, communication personnelle). Cette estimation correspond également à celle d'un producteur de la région de Portneuf, rapportée en 2023 (La Terre, [8 juin 2023](#)). Les années 2019 et 2023 ayant été particulièrement difficiles en termes de protection contre le gel, le choix des fréquences estimées les plus élevées (correspondants au centiles 80 et au maximum de la période 1991-2017) ont été utilisées pour estimer la plage des fréquences de protection contre le gel. Ainsi, les fréquences moyennes varient de 4,8 à 8,6 et de 5,6 à 9,9 pour la région de la Capitale nationale et Chaudière-Appalaches respectivement, permettant une estimation de la fréquence de gel correspondant à celles documentées (Annexe 6).



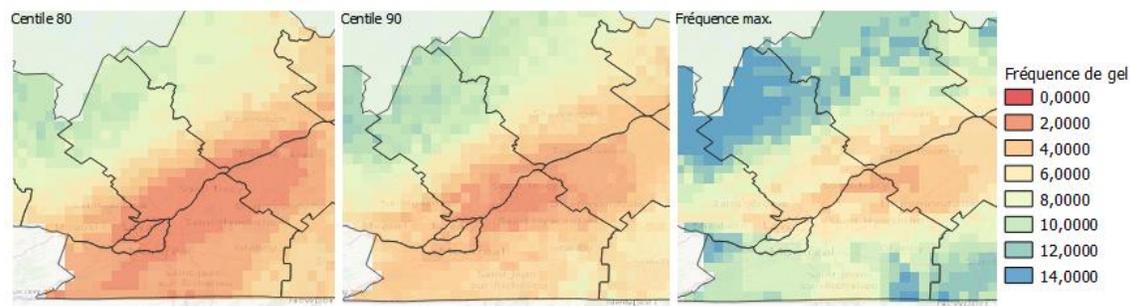
Pour la canneberge, l'estimation de la pratique des producteurs est d'environ 10-12 irrigations pour la principale région de production, au Centre-du-Québec (Vincent Pelletier, communication personnelle). Le début connu de la période de protection a amené à devancer la période de risque de la culture de cinq semaines pour couvrir des stades qui n'étaient pas représentés par le modèle phénologique de CIPRA. La fréquence estimée par le modèle ajusté varie en moyenne de 7,8 à 11,4 au Centre-du-Québec (fréquence du centile 80 et maximale) (Annexe 6).



Boivin et coll. (2019) estimait la fréquence des gels au cours de la floraison du bleuet nain à 1 à 1,9 jour par an sur 39 points grilles associées aux zones de production (pas d'information sur les statistiques utilisées) pour la période 1981-2010 (Annexe 7). Un projet récent a documenté jusqu'à six (6) épisodes de gel au cours de la floraison du bleuet au Lac-Saint-Jean (Anderson et coll. 2022). L'utilisation des mêmes seuils de risque (seuils ajustés +2°C), permet une estimation dans le même ordre de grandeur, soit 2,2 à 4,6 jours en moyenne sur la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (fréquence du centile 80 et maximale) (Annexe 6). Le fait que le modèle soit initié au premier mars alors que Boivin et coll. utilisait la date à laquelle le couvert de neige descend sous les 10 cm, devance légèrement la période à risque de dommages par le gel et augmentant la fréquence des épisodes de gel au cours de la floraison du bleuet, en plus d'allonger la période à risque à l'émergence des boutons floraux. L'utilisation d'un seuil ajustée pour les cultures basses (seuils ajustés +4°C) fait augmenter la fréquence à 5,3 à 8,6 jours par an, ce qui semble un peu élevé par rapport à la pratique courante des producteurs.



Pour la vigne, les estimations de la fréquence des périodes de protection contre le gel étaient 3 à 8 irrigations dans les régions de la Montérégie (Evelyne Barriault, communication personnelle). Les fréquences moyennes estimées par le modèle de variétés à phenologie hâtive de CIPRA variaient entre 2,9 et 8,4 pour cette région (fréquence du centile 80 et maximale).



Finalement, pour la camerise, il semblerait que les risques demeurent très faibles et que très peu de producteurs auraient des systèmes de protection installés. Seule la période de gel prolongée en 2021 aurait causé des dommages à cette culture au cours des dernières années (Jacques Gagnon, communication personnelle). L'estimation moyenne variant de 0.2 à 1.4 gel/an serait conservatrice.

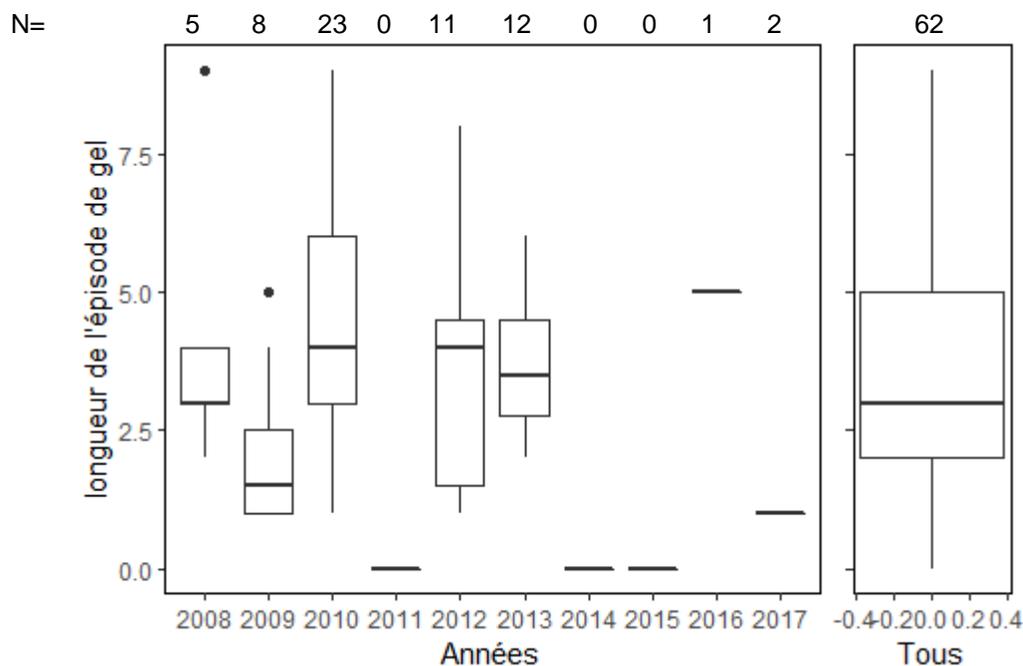
La fréquence du synchronisme « fleur-gel » varie grandement selon les régions. Les cartes représentant le nombre de jours/an du synchronisme « fleur-gel » au cours de la période récente (1991-2017) des différentes cultures d'intérêt sont présentées aux annexes 5 et 6. Seuls les seuils ajustés correspondants aux validations partielles sont présentés. Les régions du nord-ouest de la province (Abitibi, et les sections nord des Laurentides et de Lanaudière) présentent, pour la plupart des cultures, les zones les plus à risque pour le synchronisme « fruit-gel ». Des secteurs du Centre-du-Québec et de l'Estrie présentent également parfois un risque plus important de synchronisme, possiblement associé au développement hâtif des cultures par rapport aux régions plus à l'est.

Tableau 4. Réurrences moyennes du nombre de jours de synchronisme "fleur-gel" pour la zone agricole du Québec au cours de la période 1991-2017 ajustée.

Réurrences	Seuils ajustés +2°C ou +4°C						
	Fraise	Bleuet	Camerise	Canneberge	Framboise	Vigne	Légumes
9 années/10 (C10)	1,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,1	0,9
4 années/5 (C20)	1,8	0,1	0,0	4,2	0,0	0,6	1,6
1 année/2 (C50)	3,9	1,1	0,0	6,5	0,0	2,6	3,4
1 année/5 (C80)	6,4	2,2	0,0	8,8	0,5	4,8	6,0
1 année/10 (C90)	7,9	3,0	0,3	10,0	0,8	6,1	7,2
Max	11,1	4,6	0,9	12,7	2,4	9,3	9,6

3. Évaluation de la durée de la période de gel (effet régions/période)

Les épisodes de synchronisme « fleur-gel » ont été extraits à partir des données des 15 stations météo identifiées au tableau 1. Le modèle phénologique du bleuet nain est présenté à titre d'exemple. Pour les 120 stations-années utilisées, 62 épisodes ont été répertoriés. La fréquence des épisodes semble sensiblement la même que celle évaluée sur l'ensemble de la province avec ANUSPLIN. La durée moyenne de ces épisodes était de 3,5 heures, mais variait de 1 à 9 heures (figure 5). La moyenne de la vitesse de vents moyens était de 5,5 km/h au cours des périodes de gel, avec 81% des épisodes qui présentaient des vitesses des vents se retrouvant sous les 8 km/h. Pour plus de 50% des événements, la température minimale était à 1°C du point de rosée.



Statistiques descriptives de la durée (heures) des 62 épisodes de synchronisme fleur-gel

Min	10%	20%	Moyenne	50%	80%	90%	Max
1.0	1.0	2.0	3.55	3.5	6.0	6.9	9.0

Figure 5. Fréquence et durée des épisodes de synchronismes «fleur-gel» évaluées à partir des données horaires de 15 stations météos sélectionnées.

Conclusion :

Le présent projet présente une estimation du synchronisme dans des conditions moyennes, telles qu'évaluées lors de la calibration des modèles phénologiques. Ces estimations permettent de fournir une première estimation du risque pour une région et une culture donnée, mais ne peuvent représenter l'ensemble des cas d'espèce (cultivars, sols, topographie, pratiques) qui peuvent influencer le risque.

Afin de considérer une certaine variabilité, une plage de valeurs, tirée des récurrences de fréquence d'une année sur cinq (centile 80, conditions protégées) et maximale (vulnérables) sera fourni à l'utilisateur de l'outil. Ces fréquences fournies sont dans la plage de valeur possible proposée par des d'experts de la production.

Livrables :

GeoTiff transmis à la compagnie Alithya;

Fraise

Bleuet

Camerise

Canneberge

Framboise

Vigne

Légumes

Références :**Fraise :**

- Martsoff and Gerber, Ohio Strawberry Manual, Bulletin no 436, Cooperative Extension Service, Ohio, (Cité dans le Réseau d'avertissement phytosanitaire. Avertissement No 8, 2 juin 2021
<https://www.agrireseau.net/rap/documents/105720/fraise-avertissement-no-8-2-juin-2021>)
<https://www.ontario.ca/fr/page/irrigation-des-fraisiers-pour-les-protger-contre-le-gel>

Framboise :

- Demchak, K. 2020 Frost and Freeze Damage on Berry Crops. PennState Extension.
<https://extension.psu.edu/frost-and-freeze-damage-on-berry-crops>

Canneberge :

- UMass extension. 2019. Spring frost tolerances of Cranberry buds. based upon work under Project No. MAS00999.
- Workmaster B.A.A, Palta J.P. 2009. Frost Hardiness of Cranberry Plant : A guide to manage the crop during critical periods in spring and fall. University of Wisconsin
(Cit s dans <https://fruitdor.ca/fr/nos-references-agricoles/> section sur la protection contre le gel)

Bleuet nain :

- Hicklenton et al. 2002. Freeze damage and frost tolerance thresholds for flowers of the lowbush blueberry (*Vaccinium Angustifolium* ait). Acta Horticulturae, n 574, p. 193-201.
- Rowland, L.J., Ogden, E.L., Ehlenfeldt, M.K. et Arora, R. 2008. Cold tolerance of blueberry genotypes throughout the dormant period from acclimation to deacclimation. HortScience 43(7):1970-1974.
- Yarborough, D. 2015. Flower primordia development stage. Fact Sheet no. 216, University of Maine, Extension no. 2003. Consulté sur Internet en mai 2019:
<https://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/irrigation/flower-primordia-development-stage/>
(Cités dans Anderson, et coll. 2019. « Régie raisonnée de l'eau pour le bleuet nain cultivé dans un contexte de climat variable et en évolution », 170 pages.)
- Boivin, et coll. 2022. Mise à 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. 47 pages.

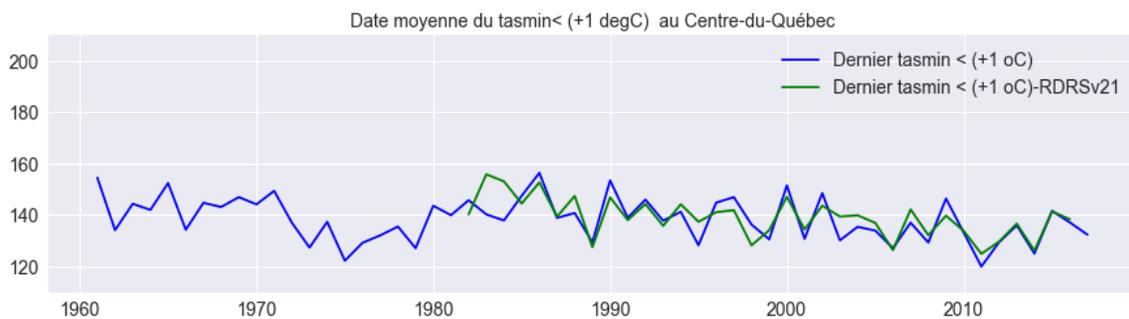
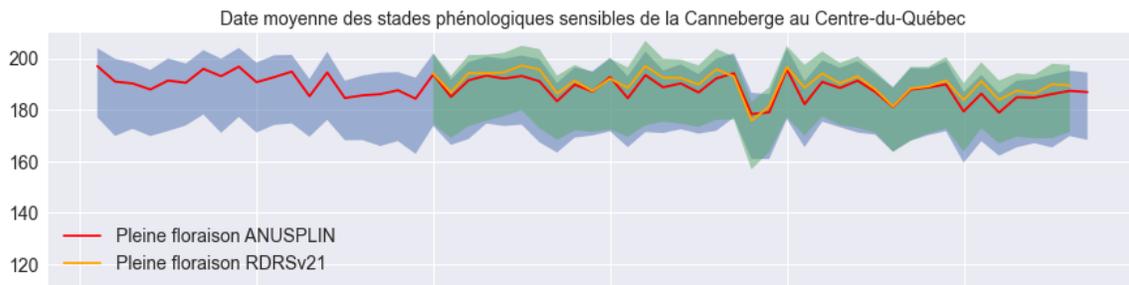
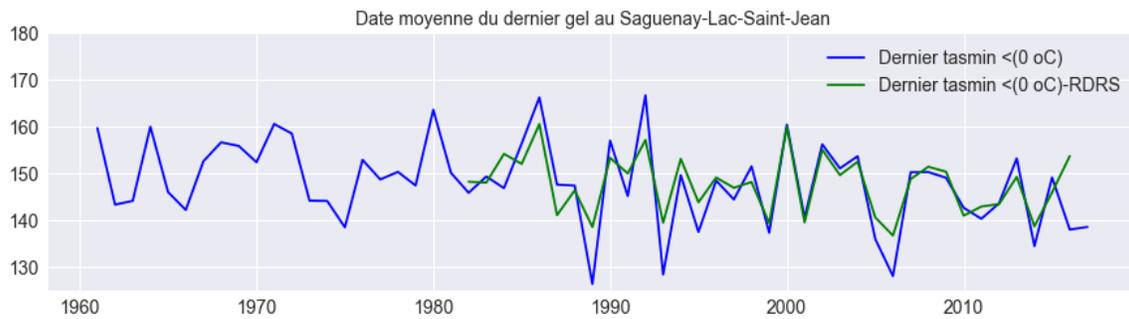
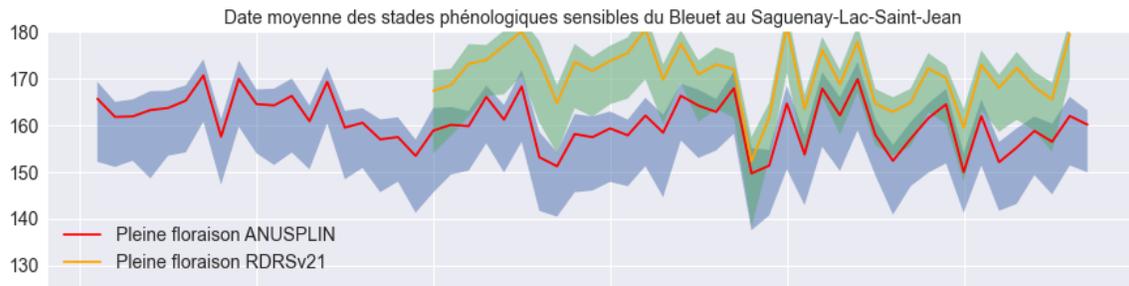
Camerise :

- MAPAQ. 2015. La Camerise : Guide de production, Edition 2015. ISBN: 978-2-550-72641-8

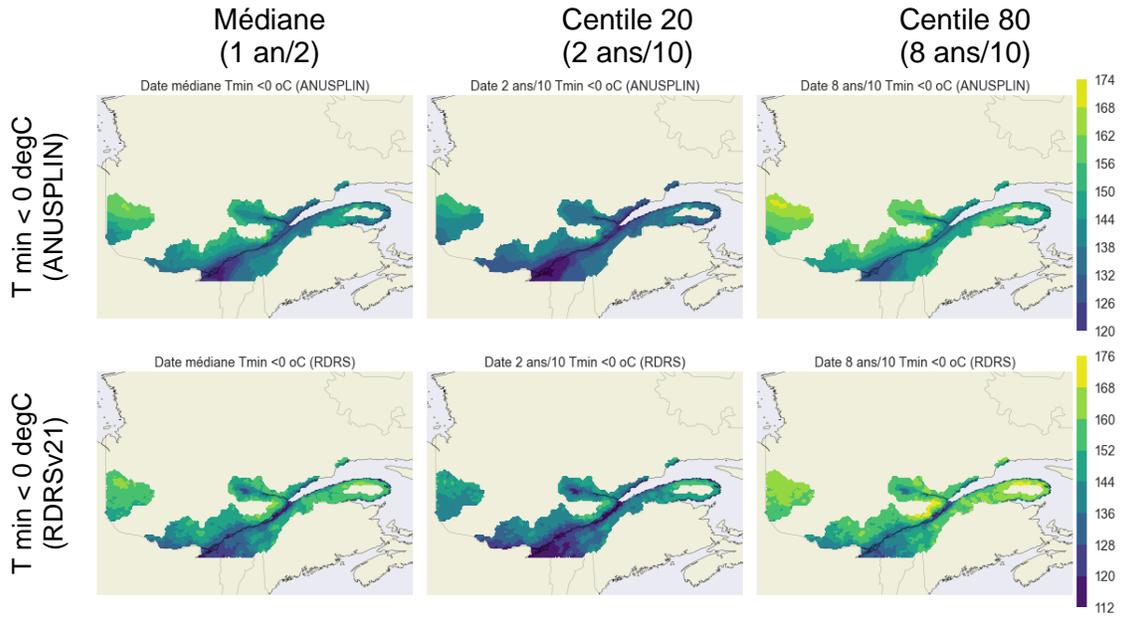
Vignes :

- [Best Management Practices for Reducing Winter Injury in Grapevines](#) de l'Université Brock en Ontario. (Cité dans le Réseau d'avertissement phytosanitaire Vignes. Avertissement No 2, mai 2023

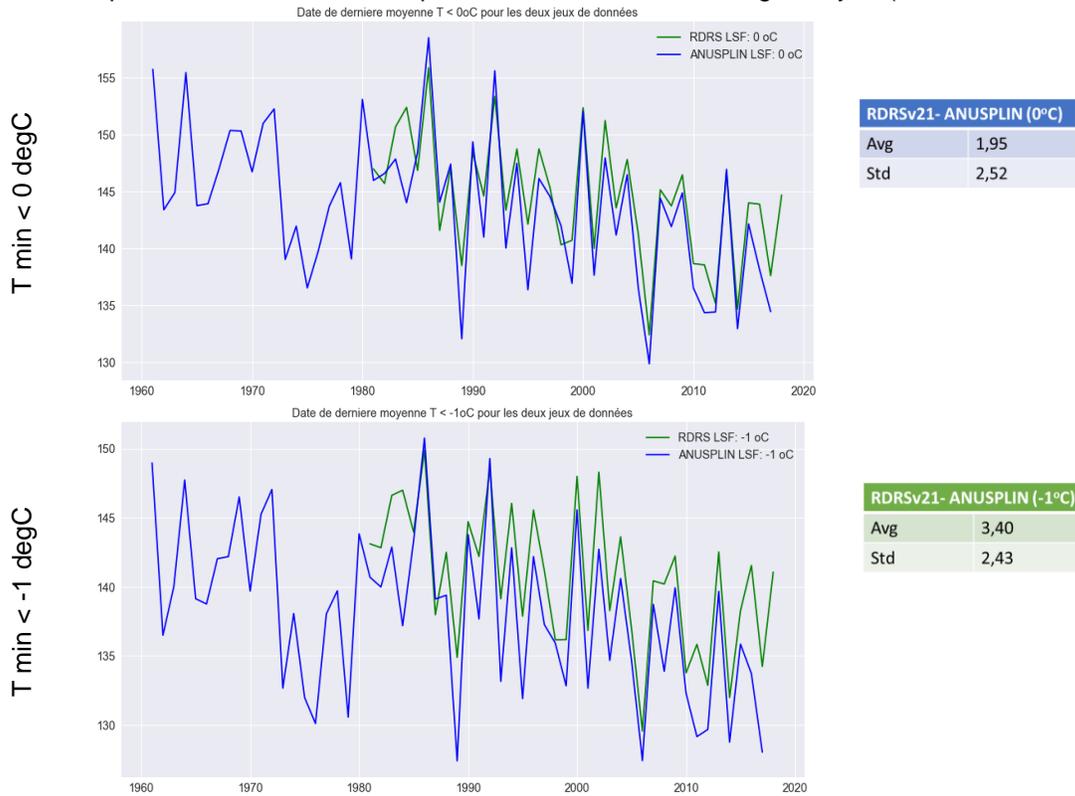
Annexe 1. Comparaison de la série temporelle des dates de derniers gels et des dates d'atteinte des stades phénologiques pour les autres cultures



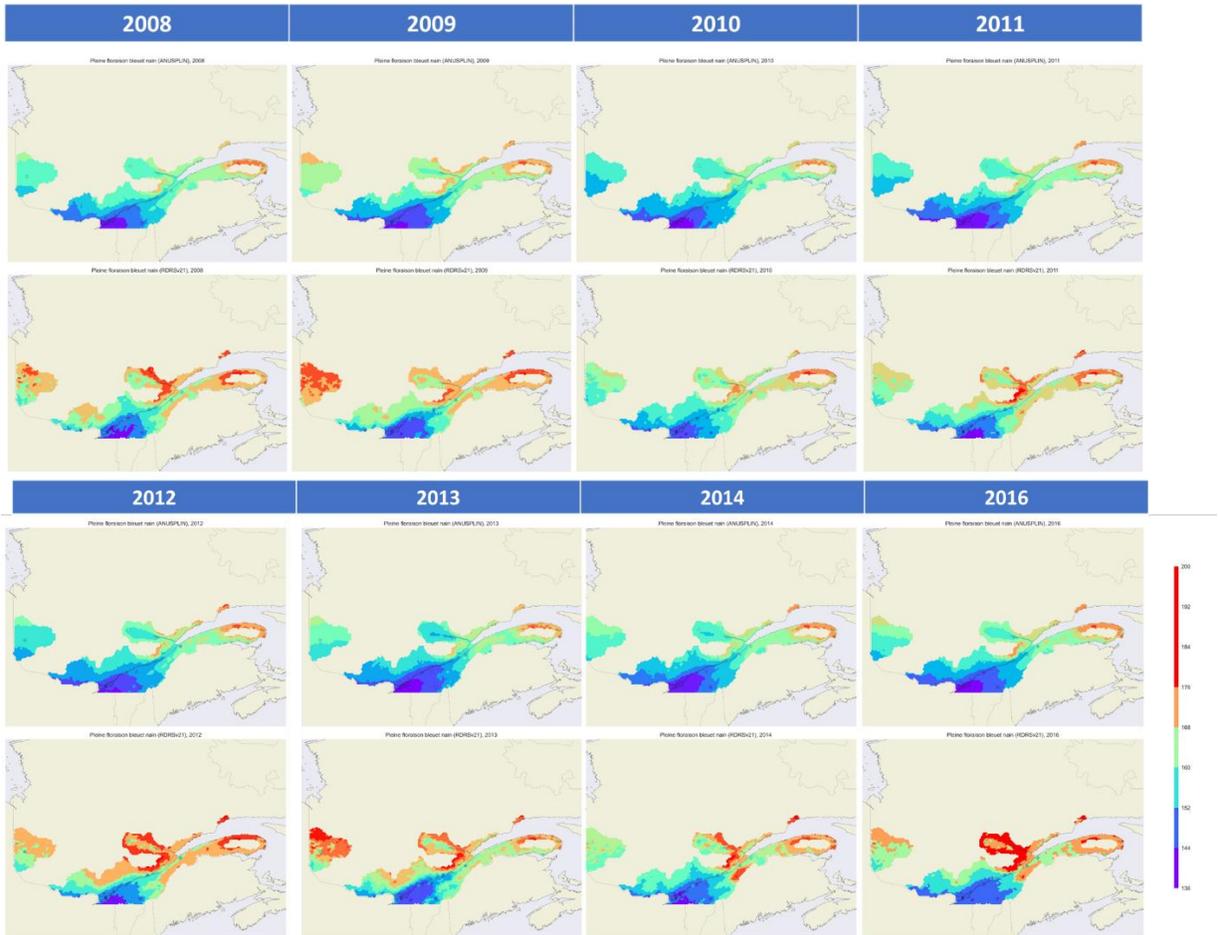
Annexe 2. Effet de la source de données sur la date de dernier gel estimé



Comparaison dans la série temporelle de la date du dernier gel moyen (seuil 0°C et -1 °C)



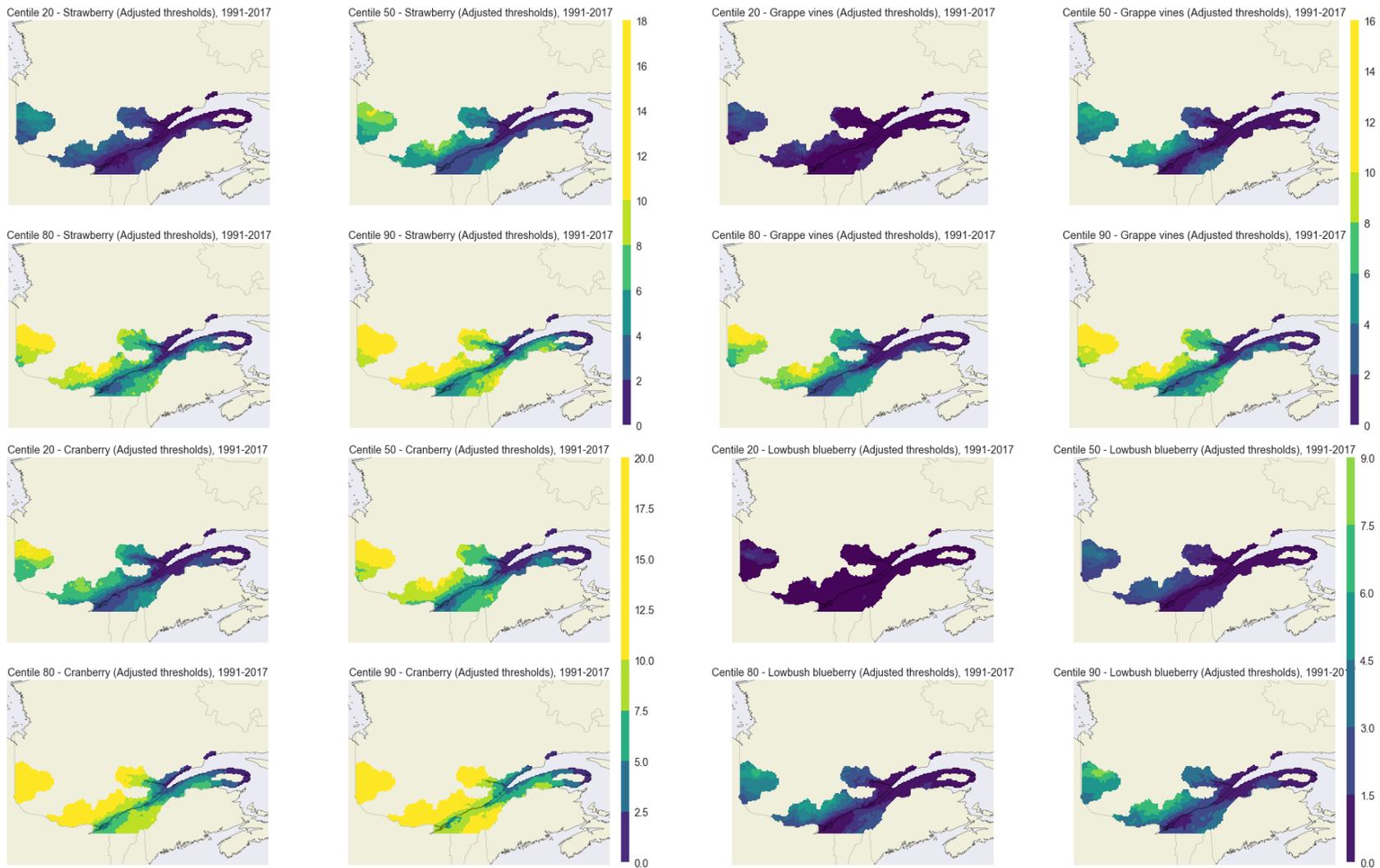
Annexe 3. Série temporelle de l'estimation de la date de pleine floraison du fraisier - comparaison des estimations de NRCan-ANUSPLIN, RDRS et des estimations aux coordonnées de 15 stations météorologiques



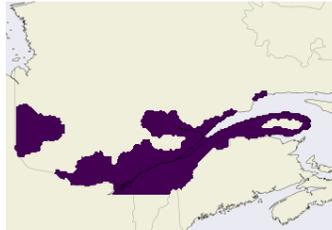
Annexe 4. Évolution des occurrences moyennes (seuils ajustés + 2oC) au cours des périodes 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 et 1991-2017

1 année/2 (C50)				
Production	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2017
Fraise	1,6	1,6	1,5	1,3
Bleuet	1,1	1,2	1,4	1,1
Camerise	0,0	0,0	0,0	0,0
Canneberge	0,0	0,0	0,0	0,0
Framboise	0,2	0,2	0,1	0,0
Vigne	2,6	3,0	3,0	2,6
Légumes	5,0	4,6	4,4	3,4
1 année/5 (C80)				
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2017
Fraise	3,4	3,4	3,2	2,7
Bleuet	2,7	2,7	2,8	2,4
Camerise	0,0	0,1	0,1	0,0
Canneberge	0,2	0,3	0,1	0,0
Framboise	0,9	1,1	0,7	0,5
Vigne	5,3	5,7	5,4	4,8
Légumes	7,1	6,6	6,6	6,0
1 année/10 (C90)				
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2017
Fraise	4,6	4,5	4,3	3,6
Bleuet	3,6	3,6	3,7	3,1
Camerise	0,2	0,3	0,4	0,3
Canneberge	0,5	0,6	0,4	0,2
Framboise	1,5	1,7	1,3	0,8
Vigne	7,3	7,3	7,0	6,1
Légumes	8,3	7,6	7,5	7,2
Fréquence maximale				
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2017
Fraise	8,6	8,5	8,2	5,8
Bleuet	7,7	7,5	7,2	5,0
Camerise	1,6	1,7	1,8	0,9
Canneberge	1,6	1,6	1,4	0,8
Framboise	3,9	3,9	3,4	2,4
Vigne	13,2	12,7	12,5	9,3
Légumes	6,3	5,4	5,3	4,9

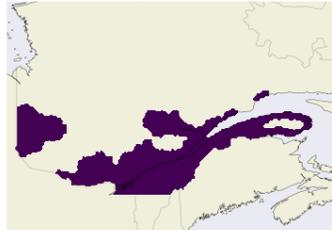
Annexe 5. Centile 20, 50, 80 et 90 de la fréquence du synchronisme gel-fleur (scénario conservateur)



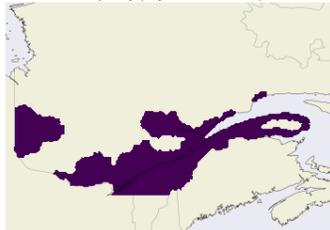
Centile 20 - Haskap berry (Adjusted thresholds), 1991-2017



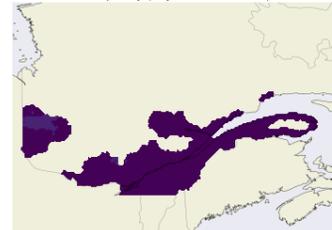
Centile 50 - Haskap berry (Adjusted thresholds), 1991-2017



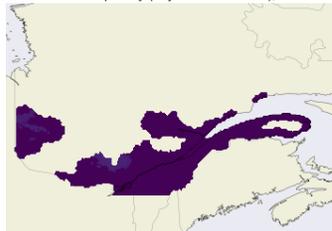
Centile 20 - Raspberry (Adjusted thresholds), 1991-2017



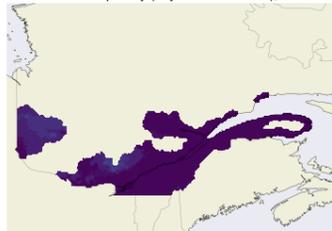
Centile 50 - Raspberry (Adjusted thresholds), 1991-2017



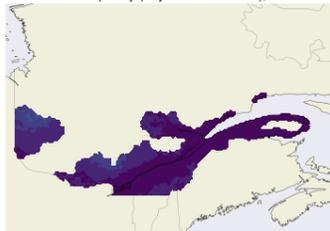
Centile 80 - Haskap berry (Adjusted thresholds), 1991-2017



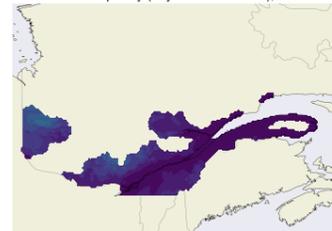
Centile 90 - Haskap berry (Adjusted thresholds), 1991-2017



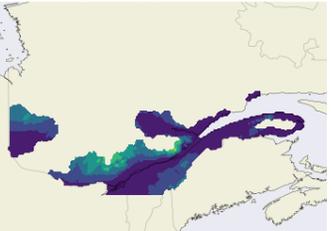
Centile 80 - Raspberry (Adjusted thresholds), 1991-2017



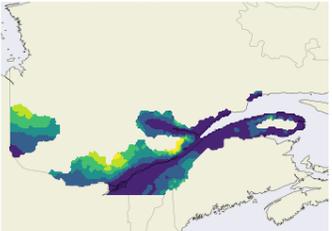
Centile 90 - Raspberry (Adjusted thresholds), 1991-2017



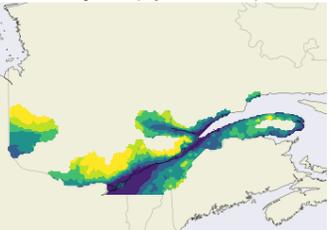
Centile 20 - Vegetables (Adjusted thresholds), 1991-2017



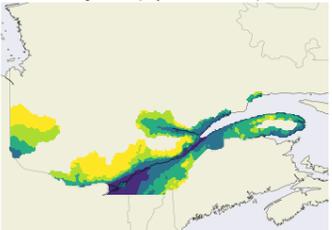
Centile 50 - Vegetables (Adjusted thresholds), 1991-2017



Centile 80 - Vegetables (Adjusted thresholds), 1991-2017



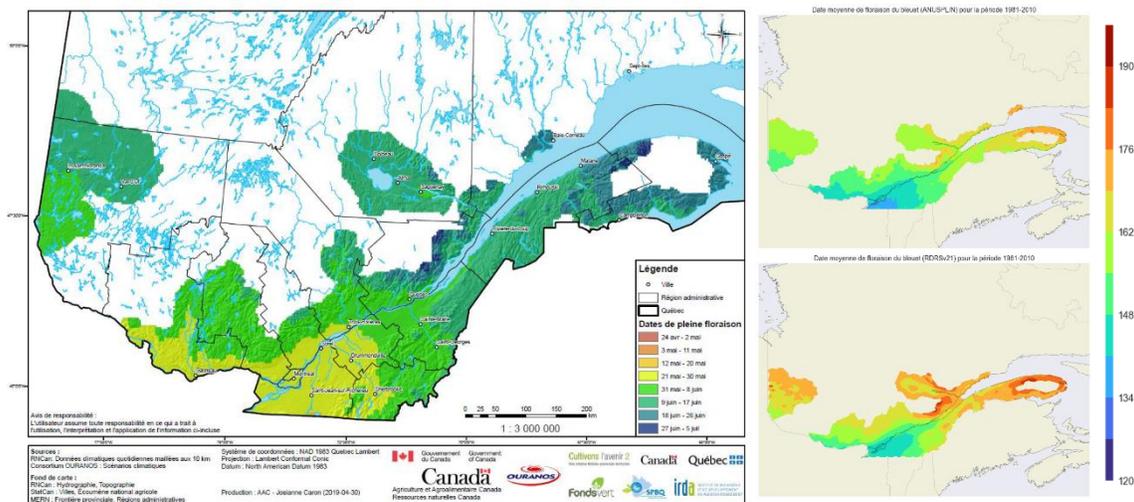
Centile 90 - Vegetables (Adjusted thresholds), 1991-2017



Annexe 6. Tableau des fréquences moyennes sur le territoire des régions administratives

RES_NM_REG	Nb de pixels	Fraise			Bleuet nain			Camerise			Canneberge			Framboise			Vigne			Légumes		
		C80	C90	Max	C80	C90	Max	C80	C90	Max	C80	C90	Max	C80	C90	Max	C80	C90	Max	C80	C90	Max
Bas-Saint-Laurent	404	3,2	4,9	7,2	0,5	1,1	2,9	0,0	0,0	0,1	4,6	5,7	7,9	0,0	0,0	0,7	1,0	2,2	6,0	4,1	5,0	6,0
Saguenay-Lac-Saint-Jean	431	6,7	8,1	11,3	2,2	3,0	4,6	0,0	0,0	0,9	9,5	10,5	12,3	0,3	0,8	1,8	4,4	6,1	9,8	6,0	7,1	9,3
Capitale-Nationale	251	4,8	6,1	8,6	1,3	1,9	3,5	0,0	0,0	0,5	6,9	8,0	10,1	0,1	0,4	1,3	2,5	3,7	7,2	6,9	8,1	10,2
Mauricie	246	7,7	9,4	13,9	3,5	4,4	6,0	0,0	0,2	1,7	10,8	11,7	14,6	0,7	1,1	2,2	6,3	7,4	9,5	7,3	8,5	11,7
Estrie	173	7,1	8,3	10,1	2,4	3,2	5,0	0,0	0,0	1,2	9,3	10,6	12,0	0,5	1,0	2,2	5,2	6,2	9,9	5,7	7,0	9,4
Montréal	11	3,9	4,0	5,0	1,0	1,1	3,2	0,0	0,0	0,0	6,0	7,1	9,5	0,0	0,0	0,9	2,2	3,6	8,0	3,0	3,7	6,6
Outaouais	260	8,6	10,0	14,1	3,4	4,2	7,5	0,0	0,2	1,6	11,5	13,2	16,2	0,5	1,1	2,3	7,4	8,7	11,2	6,9	8,0	11,7
Abitibi-Témiscamingue	563	10,3	11,9	16,8	4,7	5,5	7,3	0,1	1,0	1,9	13,2	14,7	19,3	1,1	1,7	6,5	8,7	10,8	14,9	7,1	8,9	11,7
Côte-Nord (1)	38	0,9	1,6	5,3	0,0	0,2	2,0	0,0	0,0	0,0	1,6	2,1	3,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	4,5	3,1	4,3	5,7
Côte-Nord (2)	131	0,2	1,0	1,9	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,3	4,2	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,7	6,8	8,1
Nord-du-Québec	112	12,7	15,5	20,2	5,5	6,7	11,1	0,2	1,1	2,2	14,6	16,6	20,3	1,9	2,6	6,1	11,0	13,3	20,3	10,8	12,8	15,5
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	307	2,1	3,1	5,5	0,2	0,5	1,8	0,0	0,0	0,0	3,0	3,7	5,4	0,0	0,0	0,3	0,5	1,1	3,2	4,6	5,5	6,9
Chaudière-Appalaches	272	5,6	7,4	9,9	1,8	2,5	3,9	0,0	0,0	0,6	8,1	9,2	11,3	0,1	0,5	1,9	3,8	5,0	6,9	4,7	5,7	8,4
Laval	3	3,6	4,0	5,0	1,0	1,0	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0	7,6	9,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,7	7,7	3,0	3,8	6,7
Lanaudière	168	7,8	9,4	12,8	3,3	4,1	5,6	0,3	0,5	1,4	10,5	11,6	15,0	0,7	1,1	2,2	6,3	7,2	9,9	8,9	10,4	13,1
Laurentides	277	9,0	10,5	14,4	4,2	5,3	7,2	0,2	0,5	1,4	12,1	13,3	17,4	1,0	1,6	3,0	8,1	9,1	11,9	9,5	11,2	15,7
Montérégie	194	4,4	5,1	6,7	1,0	1,6	4,3	0,0	0,0	0,1	7,1	8,4	10,3	0,0	0,2	1,1	2,9	4,2	8,4	1,3	1,9	3,2
Centre-du-Québec	124	4,9	6,1	7,8	1,3	1,9	3,4	0,0	0,0	0,1	7,8	9,2	11,4	0,0	0,4	1,2	3,3	3,9	5,1	2,3	3,0	4,8

Annexe 7. Comparaison des résultats avec ceux publiés dans le projet Boivin et coll. 2019



Analyse : Jours 160 à 169 pour le SLSJ : Différence possiblement associée à l'ajout du modèle de neige pour initier le calcul du modèle de phénologie. Très similaire dans le sud du QC.

Résumé des statistiques tirées du projet Boivin et coll. 2019.

Tableau 45. Indices associés aux risques de gel pour la culture du bleuet nain au Saguenay Lac-St-Jean en climat actuel (1981-2010) et futur (2041-2070).

Indices	Climat de référence (1981-2010)	Scénario CC inférieur (2041-2070)	Scénario CC supérieur (2041-2070)
Dates du dernier gel printanier *	19/05 - 10/06 (Figure 34)	19/05 - 30/05 (Figure 35)	3/04 - 25/04 (Figure 36)
Dates du premier gel automnal	3/09 - 21/09	13/09 - 1/10	11/10 - 20/10
Nombre de jours où Tmin < 0°C pendant la floraison	1,0 - 1,9	0,0 - 0,9	1,0 - 2,9
Nombre de jours où Tmin < 0°C pendant la maturation des fruits	0,0 - 0,9	0,0 - 0,9	0,0 - 0,9

*Indice illustré sous forme de carte du Québec agricole.

Tableau 44. Indices associés à la phénologie de la culture du bleuet nain au Saguenay Lac-St-Jean en climat actuel (1981-2010) et futur (2041-2070).

Indices	Climat de référence (1981-2010)	Scénario CC inférieur (2041-2070)	Scénario CC supérieur (2041-2070)
Dates moyennes de la pleine floraison *	9/06 - 17/06 (Figure 31)	31/05 - 8/06 (Figure 32)	3/05 - 20/05 (Figure 33)
Dates moyennes de maturité des fruits	14/08 - 24/08	2/08 - 13/08	29/06 - 21/07

*Indice illustré sous forme de carte du Québec agricole.