



**PROGRAMME D'APPUI À LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS  
CLIMATIQUES EN AGRICULTURE**

**Performance agronomique de 10 variétés de brocolis dans un contexte de  
production commerciale propice ou non aux stress climatiques  
(EAU-001) (6803225)**

08-2020 – 03-2023

**RAPPORT FINAL**

Réalisé par :  
Jérémy Vallée, IRDA  
Carl Boivin, IRDA

Mars 2023

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.

## TABLES DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>RÉSUMÉ DU PROJET</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1	Objectif général .....	6
2.2	Objectifs spécifiques .....	6
2.3	Site expérimental.....	6
2.4	Système cultural et régie de culture .....	6
2.5	Traitements .....	7
2.5.1	Variété.....	7
2.5.2	Stress climatiques .....	7
2.6	Dispositif expérimental et analyses statistiques.....	7
2.7	Paramètres mesurés.....	11
2.7.1	Propriétés physiques du sol.....	11
2.7.2	Conditions météorologiques .....	11
2.7.3	Microclimat système cultural.....	11
2.7.4	Statut hydrique du sol.....	11
2.7.5	Régie d'irrigation .....	12
2.7.6	Rendement de la culture .....	13
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS</b> .....	<b>14</b>
3.1	Caractérisation du sol.....	14
3.2	Précipitations totales et évapotranspiration potentielle .....	15
3.3	Microclimat système cultural .....	16
3.3.1	Accumulation de la chaleur.....	19
3.3.2	Humidité relative de l'air .....	20
3.3.3	Facteurs qui influencent le microclimat du système cultural.....	22
3.4	Régie d'irrigation .....	25
3.5	Statut hydrique du sol.....	25
3.6	Rendement de la culture .....	33
3.6.1	Biomasse aérienne totale .....	34
3.6.2	Rendement total .....	35
3.6.3	Rendement vendable .....	36
3.6.4	Diamètre de l'inflorescence .....	37
3.7	Qualité de la récolte .....	38
3.7.1	Proportion de la récolte vendable .....	38
3.7.2	« Type » d'inflorescence commercialisée .....	39
3.7.3	Facteurs de déclassement.....	42
<b>4</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>DIFFUSION DES RÉSULTATS</b> .....	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>APPLICATION POSSIBLE POUR L'INDUSTRIE</b> .....	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>PERSONNE-RESSOURCE POUR INFORMATION</b> .....	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET</b> .....	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>REMERCIEMENT AUX PARTENAIRES FINANCIERS</b> .....	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>Références</b> .....	<b>47</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXE</b> .....	<b>48</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma du dispositif expérimental de l'essai 1, saison 2021.....	9
Figure 2. Schéma du dispositif expérimental pour les essais 2 et 3, saison 2022. ....	10
Figure 3. Chronique de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle cumulatives (mm), ayant trait aux essais 1(a), 2(b) et 3(c).....	15
Figure 4. Chronique de la température moyenne de l'air (°C), avec et sans tunnel – Essai 1. ....	16
Figure 5. Chronique de la température moyenne de l'air (°C), avec et sans tunnel – Essai 2. ....	17
Figure 6. Chronique de la température moyenne de l'air (°C), avec et sans tunnel – Essai 3. ....	18
Figure 7. Évolution des degrés-jour en base 10 °C lors des essais 1(a), 2(b) et 3(c). ....	19
Figure 8. Chronique de l'humidité relative de l'air (%), avec et sans tunnel, selon l'essai du 3 au 21 juin 2021 (a), du 20 mai au 25 juillet 2022 (b) et du 26 juillet au 14 octobre 2022 (c). ....	21
Figure 9. Écart de température de l'air (°C) entre l'intérieur et l'extérieur du tunnel, radiation solaire (w/m <sup>2</sup> ) durant le 12 juin 2021.....	22
Figure 10. Écart d'humidité relative (%) entre l'air sous le tunnel et celui sans tunnel selon l'heure de la journée, du 31 mai au 24 juillet à l'exclusion du 6 au 10, le 15 et le 20 juillet 2022 (essai 2) et du 4 août au 13 octobre, à l'exclusion du 22 au 24 août 2022 (essai 3).....	23
Figure 11. Humidité relative de l'air ambiant à la station météorologique (%) et écart (%) entre l'humidité relative de l'air sous le tunnel et celle de l'air ambiant du 23 au 28 juin 2022.....	24
Figure 12. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 1 pour les parcelles 2 (A) et 3 (B) (sans tunnel), selon la variété. ....	27
Figure 13. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 1 pour les parcelles 6 (sans tunnel) (A) et 7 (tunnel) (B), selon la variété. ....	28
Figure 14. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 2 pour les parcelles 3 (sans tunnel) (A) et 4 (tunnel) (B), selon la variété. ....	29
Figure 15. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 2 pour les parcelles 5 (sans tunnel) (A) et 6 (tunnel) (B), selon la variété. ....	30
Figure 16. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 3 pour les parcelles 3 (sans tunnel) (A) et 4 (tunnel) (B), selon la variété. ....	31
Figure 17. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm <sup>3</sup> eau / cm <sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 3 pour les parcelles 5 (sans tunnel) (A) et 6 (tunnel) (B), selon la variété. ....	32
Figure 18. Biomasse aérienne totale par plant (kg), selon la variété et l'essai. ....	34
Figure 19. Rendement total par plant (kg), selon la variété et l'essai. ....	35
Figure 20. Rendement vendable par plant (kg), selon la variété et l'essai.....	36

Figure 21. Diamètre de l'inflorescence (cm), selon la variété et l'essai. ....	37
Figure 22. Proportion vendable de la récolte (%), selon la variété et l'essai.....	38
Figure 23. Brocolis en serre avant la transplantation. ....	56
Figure 24. Tunnelflex installé dans le dispositif 2021. ....	56
Figure 25. Vue générale du dispositif lors de l'implantation, 2021.....	57
Figure 26. Vue générale du dispositif lors de l'implantation (Essai 2), 2022.....	57
Figure 27. Station météorologique Climavue 50. ....	58
Figure 28. Installation d'une sonde TDR près d'un plant. ....	59
Figure 29. Exemple d'un brocoli (Emerald Crown) ayant une belle forme et une belle couleur. .....	60
Figure 30. Couronne de brocoli à gauche et bouquet à droite.....	61
Figure 31. Exemples de brocoli (Millenium) ayant une belle forme, mais une mauvaise couleur. .....	62
Figure 32. Exemples de brocoli (Imperial) ayant une mauvaise forme, mais une belle couleur. .....	62

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractérisation physico-chimique du sol. ....	14
Tableau 2. Masse volumique apparente du sol selon la parcelle. ....	14
Tableau 3. Registre abrégé des irrigations, sur une base quotidienne, selon le nombre d'épisode(s), le volume total (l) et la hauteur totale et moyenne appliquée (mm) selon l'essai. ....	25
Tableau 4. Proportion de la récolte vendable (%) selon le type d'inflorescence (couronne ou bouquet) en termes de poids ou de nombre selon la variété et l'essai. ....	41
Tableau 5. Présence du critère de déclassement (rendement non commercialisable) (%) selon les cultivars et l'essai. ....	42
Tableau 6. Description commerciale des variétés utilisées pour l'essai. ....	48
Tableau 7. Gain de température quotidien engendré par l'utilisation des tunnels, saison 2021-2022. ....	49
Tableau 8. Registre complet des épisodes d'irrigation selon l'essai. ....	52
Tableau 9. Biomasse aérienne totale (kg), rendement total par plant (kg), rendement vendable par plant (kg) ainsi que le diamètre de l'inflorescence (cm) selon l'essai, le cultivar et le traitement. (effet du traitement non significatif à $p \leq 0,05$ ).....	55

**PERFORMANCE AGRONOMIQUE DE 10 VARIÉTÉS DE BROCOLIS DANS UN  
CONTEXTE DE PRODUCTION COMMERCIALE ET PROPICE OU NON AUX STRESS  
CLIMATIQUES  
(EAU-001) (6803225)**

## **1 RÉSUMÉ DU PROJET**

Le mandat de ce projet a été d'effectuer des essais avec 10 variétés de brocolis, destinés au marché frais, dans le but d'évaluer et documenter leur tolérance aux stress climatiques afin de limiter les impacts des changements climatiques. La sélection des variétés a été encadrée selon leur habilité à croître en fonction d'un climat représentatif de celui de la Pennsylvanie ou de New York. Les variétés qui ont été retenues pour les essais sont : Diamante, Green Magic, Wolfman, Millenium, BC 1764, Eastern Crown, Emerald Crown, Imperial, FBC 6317 et Emerald Star. Trois essais ont été réalisés en contexte de production commerciale dans la région de Laval chez Les Productions Margiric. Ces cycles de production ont respectivement débuté par la mise en terre (loam) de plantules le 28 mai 2021, le 20 mai et le 26 juillet 2022, pour les essais (E) 1, 2 et 3. Ces dernières avaient préalablement été semées en serre sur la même entreprise.

Les stress climatiques souhaités étaient tributaires de l'ajout de tunnels (tunnels chenille) au système cultural en place, soit un sol façonné en butte dont la surface est recouverte de paillis de plastique noir et qui est irrigué par un système goutte-à-goutte. Le tunnel a eu un impact marqué sur l'augmentation de la température de l'air et de l'humidité relative de celui-ci. Une hausse de l'accumulation de la chaleur (exprimée sous forme de degrés-jour en base 10 °C) de 15 %, mesurée lors du 3<sup>e</sup> essai et des fluctuations de l'humidité de l'air entre -20 et 30 % ont été enregistrées.

Maintenir la culture en condition de confort hydrique a été l'objectif poursuivi avec l'irrigation. Pour ce faire, le nombre de jours où au moins un épisode d'irrigation a été nécessaire a respectivement été de 43, 53 et 46 pour E1-2-3. Traduit en hauteur d'eau appliquée, cela donne 78, 112 et 70 mm, respectivement pour E1-2-3.

Les paramètres retenus pour comparer les variétés sont la biomasse aérienne totale (tige, feuilles et inflorescence), le rendement total (inflorescence vendable ou non), le rendement vendable et le diamètre de l'inflorescence. Le traitement avec stress climatiques (tunnel) n'a eu aucun effet significatif en facteur simple ni en interaction avec la variété (tunnel x variété) sur les quatre paramètres mentionnés précédemment. Il y a toutefois eu des différences significatives entre les variétés, à l'intérieur d'un même essai et ces dernières sont résumées au paragraphe suivant.

Diamante est la variété qui a la biomasse aérienne la plus élevée, alors que la plus basse revient à FBC 6317 et Emerald Star (E1-2-3). Pour le rendement total, Emerald Crown est parmi les meilleurs (E1-2) et les pires (E3). Diamante fait bonne figure (E1), Emerald Crown (E1-2) et FBC 6317 sont dans les meilleurs (E2-3). Wolfman se retrouve dans les pires (E1-2-3), Imperial aussi (E2-3). Pour le rendement vendable, Diamante est dans les plus élevés (E1), Eastern Crown (E1-E2), BC 1764 (E2-3) et aussi Emerald crown (E1). Pour les pires, notons Wolfman (E1-3), Imperial (E2), Emerald Crown (E3) et Green Magic (E3). Pour la proportion du rendement qui est commercialisable, les variétés suivantes ont la plus élevée : Diamante (E1), Millenium (E1-3), Wolfman (E1-3) et parmi la plus basse, notons : BC 1764 (E1-3) et FBC 6317 (E1-3). Enfin, les principales raisons de déclassement ont trait à la forme et à la couleur.

## 2 OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

### 2.1 Objectif général

Effectuer des essais de variétés de brocolis dans le but d'évaluer et documenter leur tolérance aux stress climatiques afin de limiter les impacts des changements climatiques en climat futur.

### 2.2 Objectifs spécifiques

1. Comparer 10 variétés de brocolis pour le marché frais, dont 8 sélectionnés en fonction du climat représentatif de la Pennsylvanie ou de New York;
2. Documenter la réponse aux stress climatiques des 10 variétés de brocolis produits en plein champ et sous tunnel;
3. Documenter la régie d'irrigation;
4. Transférer les résultats aux utilisateurs potentiels.

### 2.3 Site expérimental

Les essais ont été réalisés dans la région de Laval en conditions de production commerciale chez Les Productions Margiric (45,648821°, -73,726193°).

### 2.4 Système cultural et régie de culture

Pour chacun des essais, le sol a d'abord été butté puis recouvert d'un paillis de plastique noir. Lors de cette opération, deux tubes de goutte-à-goutte (Netafim, Streamline X SLKF63806.16-16) ont été légèrement enfouis longitudinalement. La largeur d'une butte est de 91,4 cm à sa base et la distance centre-centre entre deux buttes adjacentes est de 1,83 m. Les plantules de brocolis sont ensuite mises en terre, selon le plan de l'expérience, à raison de 3 rangs par butte où le rang du centre est bordé par les deux tubes de goutte-à-goutte.

Essai 1 - En 2021 l'implantation a été effectuée le 28 mai et la densité visée de 54 680 plants/ha est le résultat d'un patron de plantation en quinconce où 30 cm séparent les plants sur le rang et où deux rangs adjacents sont à 23 cm l'un de l'autre. La durée de cet essai a été de 69 jours.

Essais 2 et 3 - En 2022, les plantules ont été respectivement mises en terre le 20 mai et le 26 juillet, pour les essais 2 et 3. Le patron de plantation a été légèrement modifié, où 24 cm séparaient alors les plants et 30 cm séparaient 2 rangs adjacents, pour une densité de 54 964 plants/ha. La durée de l'essai 2 a été de 67 jours, alors que celle de l'essai 3 a été de 81 jours.

La densité généralement visée par cette entreprise varie entre 60 000 et 70 000 brocolis/ha. Celle utilisée pour le projet est légèrement inférieure et elle est attribuable à la distance entre les buttes qui était plus élevée dans ce champ. À la ferme, la culture du brocoli s'inscrit dans une rotation de cultures sur une période minimale de quatre ans en association avec différentes cultures, dont le poivron, le cantaloup, la laitue, le maïs-grain et le maïs sucré. La régie de culture a été sous la responsabilité de l'entreprise, hormis la plantation, la gestion des irrigations et les récoltes.

## 2.5 Traitements

### 2.5.1 Variété

La sélection des variétés a été guidée en fonction d'un climat représentatif de celui de la Pennsylvanie ou de New York. Pour compléter ce groupe, des variétés actuellement produites au Québec ont été utilisées comme témoins. Cet exercice de sélection a été réalisé avec le semencier (Norseco) et Les Productions Margiric. Les 10 variétés de brocolis qui ont été retenues pour réaliser les 3 essais sont : Diamante, Green Magic, Wolfman, Millenium, BC 1764, Eastern Crown, Emerald Crown, Imperial, FBC 6317 et Emerald Star. Une description commerciale des variétés est présentée au Tableau 6, en annexe. Ces variétés ont été utilisées en 2021 et 2022. Les plants utilisés ont été semés en serre et entretenus par l'entreprise jusqu'à la plantation (Figure 23, en annexe).

### 2.5.2 Stress climatiques

Des tunnels (TunnelFlex, BioPlus) ont été utilisés pour simuler un climat plus chaud (Figure 24, en annexe). En 2021, les tunnels rétractables ont été installés immédiatement après la plantation et ont joué leur rôle jusqu'au 21 juin. Lors d'un traitement phytosanitaire, le film de plastique des tunnels a été endommagé, ce qui a permis au vent de s'engouffrer à l'intérieur et causer des dommages irréparables. Pour la saison 2022, la hauteur des arches qui supporte le film de plastique a été diminuée pour réduire le risque de contact avec le pulvérisateur à pesticides. Les tunnels ont été en opération à partir de la 2<sup>e</sup> semaine suivant la plantation (pour éviter d'endommager les plantules), et ce, jusqu'à la dernière récolte. Les tunnels ont été ouverts ponctuellement pour permettre les traitements phytosanitaires et pour éviter une température excessive ou pour effectuer les récoltes. Les dates d'ouverture des tunnels pour éviter la chaleur excessive ont été du 6 au 10 juillet inclusivement et du 22 au 24 août inclusivement. Pour la récolte, les dates d'ouverture ont été le 15 juillet, 20 juillet, 22 et 28 septembre ainsi que le 4 octobre.

## 2.6 Dispositif expérimental et analyses statistiques

Le dispositif expérimental est un plan en tiroirs (split-plot) où « Avec et Sans tunnel » a été en parcelles principales et où les 10 cultivars ont été en sous-parcelles. Le tout a été répété 4 fois (Blocs) pour un total de 80 unités expérimentales (2 systèmes de production x 10 cultivars x 4 blocs) (Figure 1, Figure 2). La parcelle principale a été d'une longueur de 15 m, soit environ 150 brocolis ou la longueur d'un tunnel rétractable. Les sous-parcelles ont été d'une longueur d'environ 1,5 m ou 15 brocolis. Le dispositif expérimental a compté un total d'environ 1400 brocolis, incluant ceux dans les rangs de garde. Le dispositif a été implanté le 28 mai 2021, le 20 mai et le 26 juillet 2022 (Figure 25 et Figure 26, en annexe).

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R version 4.2.1 (2022-06-23 ucrt). Pour chacune des caractéristiques du rendement, une modélisation avec des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) afin de pouvoir accommoder les différents types de distributions et inclure des variables aléatoires a été effectuée. Lorsque nécessaire, un modèle de la variance pour homogénéiser la variance des résidus a été inclus. Les modèles comportent : Facteurs fixes : (Stress climatiques, Variété, Interaction Stress climatique x Variété et Numéro de l'essai (1, 2 et 3)

La récolte du 4 août 2021 a été retirée de l'analyse statistique. Les données mesurées lors de cette journée ont été jugées comme anormales en comparaison avec celles obtenues pour les



autres récoltes de 2021. En effet, les biomasses aériennes et les rendements ont été de 1,5 fois à 3 fois supérieures aux valeurs obtenues lors des autres récoltes. Or, la dernière récolte remontait à 5 jours seulement par rapport à la précédente. Ces augmentations ont été observées pour tous les cultivars. De plus, ces augmentations sont associées à des diamètres d'inflorescences réduits, ce qui est contre-intuitif. Puisque chaque brocoli récolté a été photographié individuellement, les diamètres des inflorescences ont pu être vérifiés a posteriori.

Ainsi, l'échantillonnage dans l'essai 1 n'est pas balancé (nombre d'échantillons/cultivar), ce qui peut introduire des biais de sorte que les erreurs types, intervalles de confiance et valeurs de  $p$  ne seront pas exacts. Il ne faut donc ne pas s'attacher aux valeurs brutes et s'en tenir qu'aux tendances.

Afin de déterminer quels facteurs font varier les rendements de brocoli, des modèles avec différents facteurs ont été comparés entre eux. La comparaison s'est effectuée avec le critère d'information AIC (Akaike, 1974). L'AIC est un indice de la correspondance des données à un modèle. C'est une mesure de l'information inexplicée avec une pénalité pour la complexité du modèle. Un modèle qui est parcimonieux et correspond bien aux données a donc un plus petit AIC qu'un modèle trop complexe ou correspondant moins bien aux données. Une différence de deux ou plus ( $\Delta AIC \geq 2$ ) entre modèles est généralement indicative d'une différence intéressante.

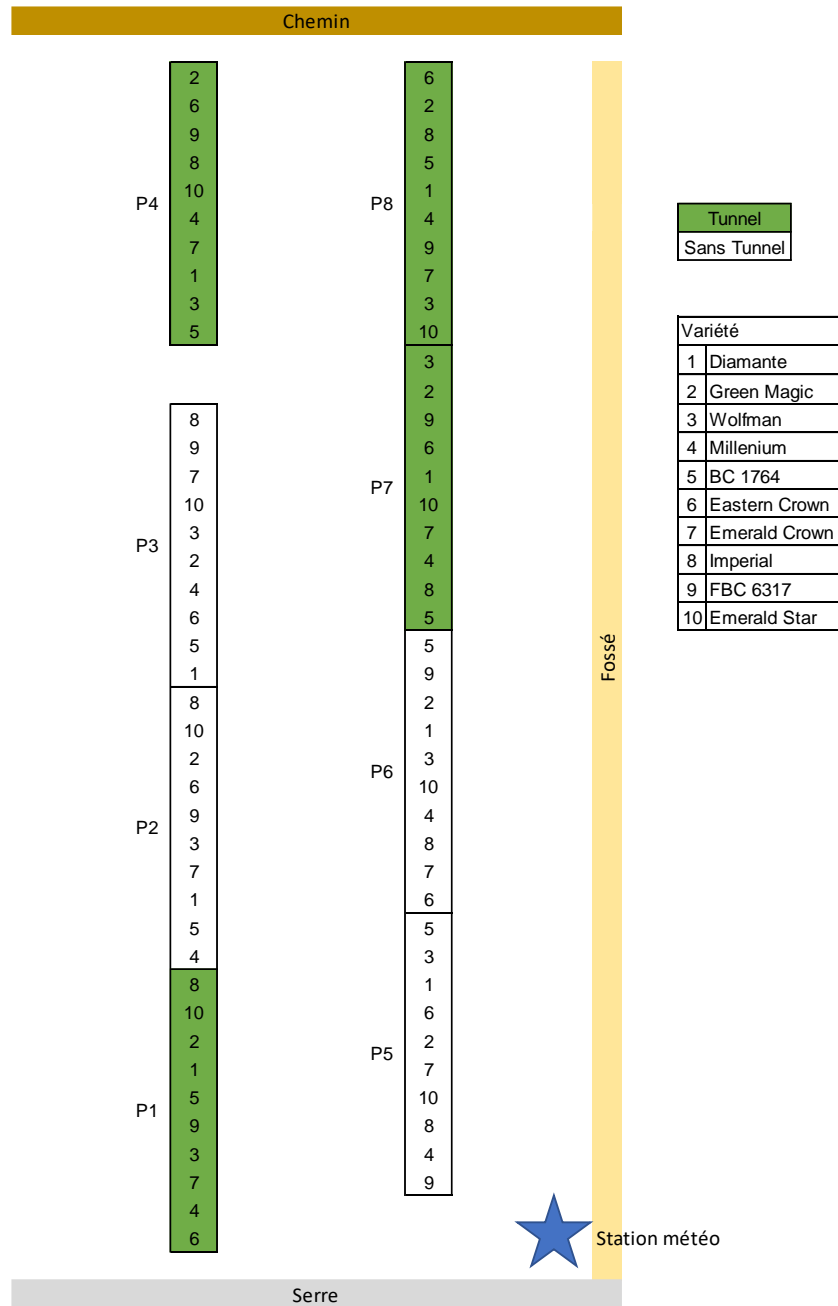


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental de l'essai 1, saison 2021.

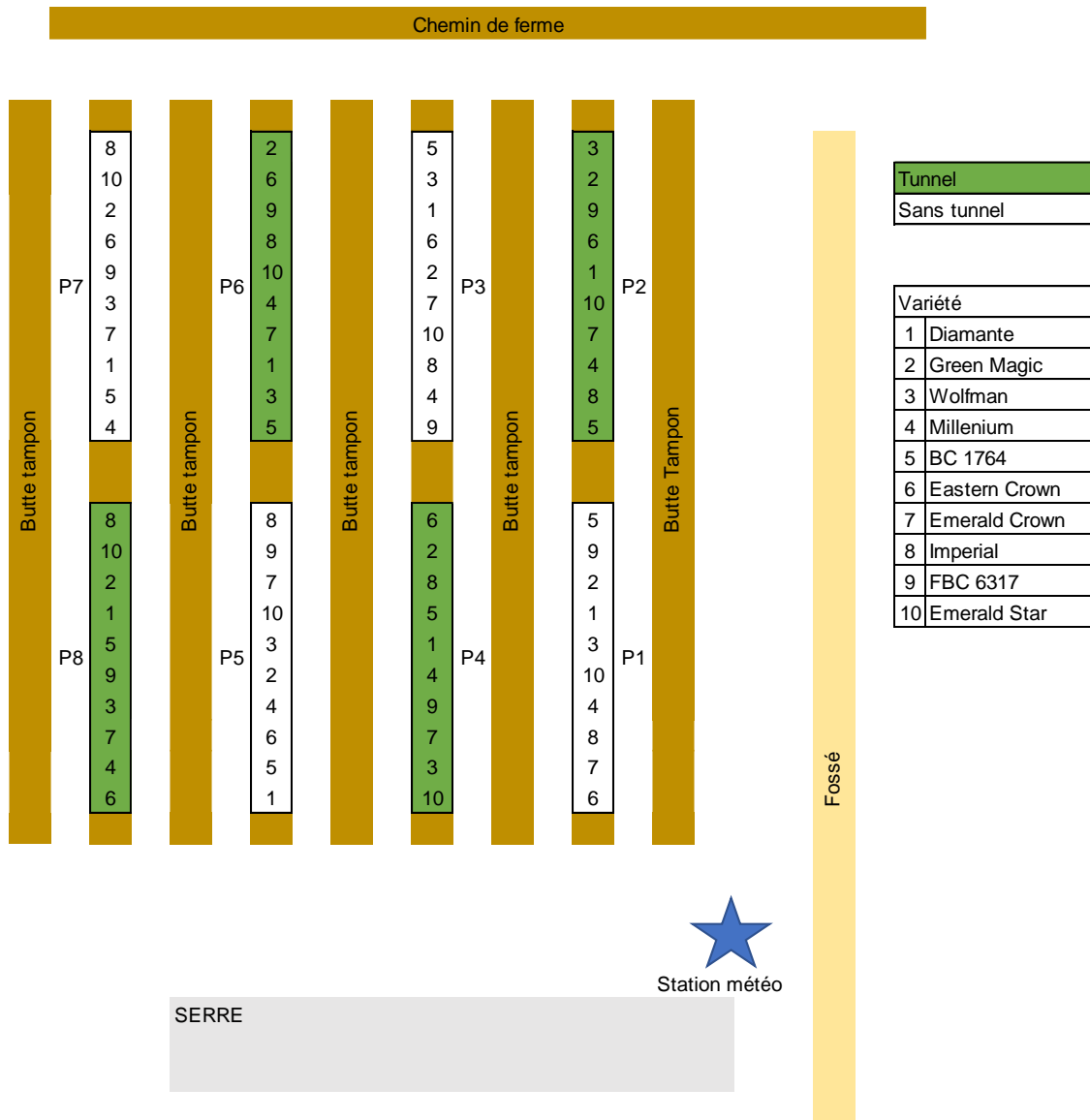


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental pour les essais 2 et 3, saison 2022.

## 2.7 Paramètres mesurés

### 2.7.1 Propriétés physiques du sol

Des échantillons de sol ont été prélevés dans l'horizon 0 à 20 cm après le façonnement du sol en buttes. Le  $pH_{\text{eau}}$  a été mesuré dans un rapport sol/eau 1:1 (CPVQ, 1988). La granulométrie a été déterminée par la méthode de l'hydromètre en six points, suivie d'un tamisage des sables (Gee et Bauder, 1986). La texture du sol a donc été déterminée avec les analyses granulométriques effectuées en laboratoire et du diagramme triangulaire des classes de texture de sols (AAC, 2002). Le contenu en matière organique totale a été calculé selon le contenu en  $C_{\text{tot}}$ , déterminé au LECO, avec un facteur de conversion de 1,724. Enfin, la proportion de particules de sol dont le diamètre est supérieur à 2 mm a été mesurée. De plus, la masse volumique apparente du sol a été mesurée pour chaque parcelle le 14 octobre 2022. Pour ce faire, un volume de sol non perturbé a été prélevé à l'aide d'un cylindre métallique dont le volume était connu (profondeur entre 9 et 15 cm). Le sol recueilli a ensuite été séché à 105 °C pendant 48 h. Le poids du sol sec a ensuite été rapporté sur le volume du cylindre pour déterminer la masse volumique apparente du sol.

### 2.7.2 Conditions météorologiques

En 2021 et 2022, la température et l'humidité relative de l'air, la radiation solaire, la vitesse et la direction du vent, ainsi que la pluviométrie ont été mesurées en continu avec une station météorologique installée à quelques mètres du dispositif expérimental (Climavue50, Campbell Scientific) (Figure 27). L'évapotranspiration potentielle ( $ET_p$ ) a donc pu être calculée avec la formule standardisée courte de Penman-Montheith (ASCE, 2005).

### 2.7.3 Microclimat système cultural

En 2021, la température et l'humidité relative de l'air à la hauteur de l'inflorescence ont été mesurées dans une parcelle avec tunnel et une autre, sans tunnel (HC-S3, Rotronic, avec protection contre radiation solaire). De plus, la température de l'air a été mesurée (MX2201, Onset) dans deux répétitions, avec et sans tunnel, dans les parcelles 2, 4, 5 et 7 (Figure 1).

En 2022, la température et l'humidité relative de l'air à la hauteur de l'inflorescence ont été mesurées dans les parcelles 1, 4, 6 et 7 (U23 Pro v2, Onset) (Figure 2). Ces mesures ont aussi été effectuées dans les parcelles 3 et 4 (Essai 2) et dans les parcelles 5 et 6 (Essai 3) pour permettre un suivi à distance (109, Campbell Scientific).

### 2.7.4 Statut hydrique du sol

Le prélèvement en eau de la culture a été mesuré avec 40 sondes TDR (CS650, Campbell Scientific) qui ont été installées dès la plantation pour suivre la teneur en eau volumique du sol (0-30 cm) en continu dans 4 répétitions (1 TDR/variété x 10 variétés x 4 répétitions) (Figure 28, en annexe). Elles ont été connectées sur des acquiseurs de données (CR300, Campbell Scientific). En 2021, les sondes ont été installées dans 3 répétitions sans tunnel et 1 répétition avec tunnel. En 2022, les sondes ont été dans 2 répétitions avec et sans tunnel.

Lorsque les conditions s'y prêtent, les sondes TDR permettent d'évaluer l'évapotranspiration de la culture ( $ET_c$ ) et d'estimer des coefficients culturaux ( $K_c$ ). Pour ce faire, la variation quotidienne de la teneur en eau volumique mesurée pour chaque TDR installée dans une zone de prélèvement active est rapportée en mm d'eau. La valeur obtenue est utilisée pour évaluer

$ET_{c-TDR}$ . La valeur mesurée à la fin du prélèvement quotidien (20 h) est soustraite de la valeur mesurée au début du prélèvement (8 h), et ce, pour chacune des TDR. Les valeurs issues de journées durant lesquelles il y a eu des apports en eau (précipitations ou irrigation) et celles au lendemain ne peuvent pas être considérées. Par la suite, les prélèvements ( $ET_{c-TDR}$ ) sont mis en relation avec l'évapotranspiration potentielle horaire ( $ET_p$ ) pour déterminer le  $K_c$ , tel que décrit par Allen et coll. (1998). Sans nécessairement être identique, la variation quotidienne de ces deux valeurs doit aller dans la même direction. Une augmentation de  $ET_p$  qui ne se répercute pas sur une augmentation du prélèvement de la culture, indique fort probablement que la culture subit une contrainte à prélever l'eau, donc un stress. Il est à noter qu'il n'a pas été possible d'effectuer cet exercice compte tenu du nombre élevé de journées où le sol a reçu des apports en eau.

### 2.7.5 Régie d'irrigation

L'objectif qui a été poursuivi avec l'irrigation dans ce projet en a été un de confort hydrique. Les premiers jours qui suivent la plantation sont critiques pour de jeunes plants. Leur système racinaire est peu profond et éloigné de la source de l'apport en eau (émetteur du système d'irrigation). De plus, comme la culture ne recouvre pas encore le paillis de plastique, la chaleur peut y être intense lors d'une journée ensoleillée. Conséquemment, en absence de pluie, l'irrigation est déclenchée sans égard aux sondes TDR ou tensiomètre, qui à ce moment, ne peuvent pas avoir une lecture représentative de l'environnement immédiat du système racinaire de la culture qui est dans un volume restreint de sol.

La consultation des outils d'aide à la décision a été quasi quotidienne. Techniquement parlant, le suivi quotidien du statut hydrique du sol a été effectué avec un tensiomètre (RSUV, Irrrometer,) connecté à un acquiiseur de données (CR300, Campbell Scientific) et des sondes TDR (CS650, Campbell Scientific) qui ont pu être consultées à distance (variété Diamante en 2021 et variétés Emerald Crown, Green Magic, Imperial et BC 1764 en 2022). Le suivi des irrigations a été effectué à distance grâce à un modem cellulaire. Les irrigations pouvaient être déclenchées à distance par l'entremise de valves électriques (2400, Irritrol). Le suivi des volumes d'eau utilisés lors des irrigations a été effectué à l'aide de la minuterie interne de l'acquiiseur de données (CR1000, Campbell Scientific). De plus, un capteur de pression (17.600G, BD Sensors) a permis de confirmer le bon fonctionnement du système. Le nombre d'irrigations et la durée ont donc été mesurés précisément. Le débit et le volume total irrigué ont été déterminés grâce aux caractéristiques du système d'irrigation, de la pression d'opération (0,8 bar), ainsi que la durée pour chaque épisode.

La décision de déclencher l'irrigation et le nombre d'épisodes durant une journée se sont appuyés sur l'objectif d'éviter un assèchement du sol et ces décisions étaient prises quotidiennement. Les apports en eau ont toujours été faits en période de prélèvement en eau actif par la culture ou sur le point de débiter. Par exemple, une journée où trois irrigations ont été nécessaires, ces dernières ont été faites tôt le matin, en fin d'avant-midi et avant 15 h, pour la dernière. La régie d'irrigation effectuée a été la même, peu importe le traitement.

### 2.7.6 Rendement de la culture

Essai 1 – Les récoltes ont été réalisées les 23, 27 et 30 juillet et le 4 août 2021.

Essai 2 – Les récoltes ont été réalisées les 15, 20 et 25 juillet 2022.

Essai 3 – Les récoltes ont été réalisées les 22 et 28 septembre et les 4 et 14 octobre.

Sur les 15 brocolis qui composaient l'unité expérimentale, 9 d'entre eux, situés au centre de la parcelle, ont été récoltés et classés. Le rendement vendable a été mesuré selon les critères de qualités établis pour le marché frais. La couleur, la forme, les défauts physiologiques et les dommages liés aux problèmes phytosanitaires ont été évalués pour chaque brocoli récolté. La raison du déclassement a été indiquée pour chaque brocoli jugé invendable (Figure 29, en annexe).

Finalement, les brocolis ont été catégorisés selon la mise en marché la plus appropriée (couronne ou bouquet) (Figure 30, en annexe). La couronne ou le bouquet a été choisi de manière à favoriser le meilleur rendement vendable possible. Le choix de la catégorie de commercialisation a été effectué par la même personne pour l'ensemble des récoltes et les critères de sélection ont été les mêmes. Cependant, il faut mentionner que ces critères sont d'ordre qualitatif et se sont appuyés sur ceux du producteur. La couronne commercialisable mesure entre 12 et 15 cm de diamètre, tandis que le bouquet est privilégié lorsque celui-ci atteint 10 cm de diamètre.

### 3 RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

#### 3.1 Caractérisation du sol

Les essais ont été réalisés dans un loam (série Farmington et Chateauguay) où le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  moyen est de 8,0. Ce sol renferme une faible proportion de détritits (1,8 %) et un taux de matière organique de 2,3 % (Tableau 1).

Tableau 1. Caractérisation physico-chimique du sol.

Texture	$\text{pH}_{\text{eau}}$	Détritits*	M.O.
		(%)	
Loam	8,0	1,8	2,3

\*Particules de sol ayant un diamètre supérieur à 2 mm.

La masse volumique apparente du sol a été mesurée en 2022 et est présentée au Tableau 2 selon la parcelle. Les valeurs de ces dernières sont généralement supérieures à  $1,5 \text{ g/cm}^3$ . Les valeurs de masse volumique apparente peuvent être considérées comme élevées. Toutefois, les valeurs mesurées ici représentent une image de l'état du sol dans la butte en fin de saison. Dans un tel contexte de culture annuelle, le sol est complètement bouleversé au printemps et à l'automne. La valeur de masse volumique apparente obtenue est celle d'un sol travaillé.

Tableau 2. Masse volumique apparente du sol selon la parcelle.

Parcelle	1	2	3	4	5	6	7	8
Masse volumique apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	1,63	1,58	1,49	1,54	1,41	1,59	1,38	1,57

### 3.2 Précipitations totales et évapotranspiration potentielle

La pluviométrie totale (P) et l'évapotranspiration potentielle ( $ET_p$ ) pour chacun des trois essais sont présentées à la Figure 3, sur une base cumulative. Rapporté sur une base quotidienne, l' $ET_p$  moyen est respectivement de 4,2, 3,5 et 2,6 mm, pour les essais 1(a), 2(b) et 3(c). En date du 29 juillet 2021, le bilan des précipitations moins l'évapotranspiration ( $P-ET_p$ ), qui a été initié au 30 mai, est de -65,7 mm (192,9 mm - 258,6 mm), soit un bilan négatif. Ce même exercice a été fait pour les essais 2 et 3 où il en résulte un bilan positif de respectivement, 86,1 et 207,7 mm. Les normales climatiques 1981 à 2010 pour la station de Sainte-Thérèse Ouest (située à 12,2 km des essais) sont de 93,1, 105,7, 101,4 100,9, 99,2 et 105,9 mm respectivement pour les mois de mai à octobre inclusivement (Gouvernement du Canada, 2023). Ainsi, la normale climatique pour juin et juillet totalise 207,1 mm. L'essai 1, avec une pluviométrie totale de 192,9 mm (30 mai au 29 juillet 2021), a donc été réalisé dans des conditions proches de la normale climatique. Pour l'essai 2, la pluviométrie totale de 317,3 mm (20 mai au 25 juillet 2022) excède la normale climatique (207,1 mm). Finalement, l'essai 3 avec une pluviométrie de 416,2 mm (26 juillet au 14 octobre 2022) dépasse également la normale climatique combinée d'août, septembre et octobre qui s'élève à 306 mm dans une période plus courte.

Il faut être prudent quant à l'interprétation qui est faite de ces bilans. Il s'agit de précipitations totales, dont la proportion qui a un potentiel d'être valorisée par la culture dépend de plusieurs facteurs, dont l'architecture du système cultural, la capacité de rétention en eau du sol au moment de l'apport, l'étendue du système racinaire, etc. Aussi, il est à noter que la présence de tunnel a détourné les précipitations dans les entre-rangs. Cela dit, ça permet d'avoir une idée du contexte météorologique dans lequel les trois essais ont été réalisés.

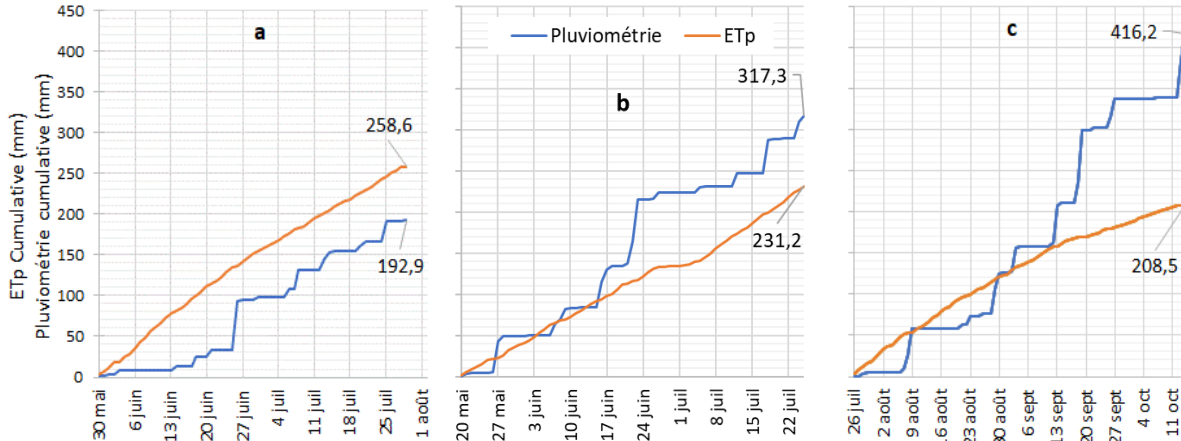


Figure 3. Chronique de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle cumulatives (mm), ayant trait aux essais 1(a), 2(b) et 3(c).



### 3.3 Microclimat système cultural

La température de l'air au niveau du couvert végétal, à l'intérieur et à l'extérieur des tunnels, ainsi que l'écart entre ces deux environnements sont présentés aux Figure 4, Figure 5 et Figure 6, respectivement pour le 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> essai. Par ailleurs, l'écart de température a été calculé pour chaque jour où les tunnels étaient fonctionnels (Tableau 7, en annexe).

Essai 1 – La température maximale de l'air à l'intérieur des tunnels a été globalement plus élevée au début de la période (Figure 4). Les écarts les plus importants ont été observés durant le jour au moment où les températures maximales étaient atteintes. Le gain maximal de température a été mesuré le 12 juin (10,9 °C). Entre le 3 et le 18 juin inclusivement, le gain quotidien maximal moyen mesuré a été de 4,8 °C. Au courant de la nuit, la différence a été négligeable. Cela explique que, sur une base quotidienne (24 h), le gain moyen de température atteint 1,4°C. Par la suite, les tunnels n'étant plus opérationnels, aucune différence n'a pu être observée.

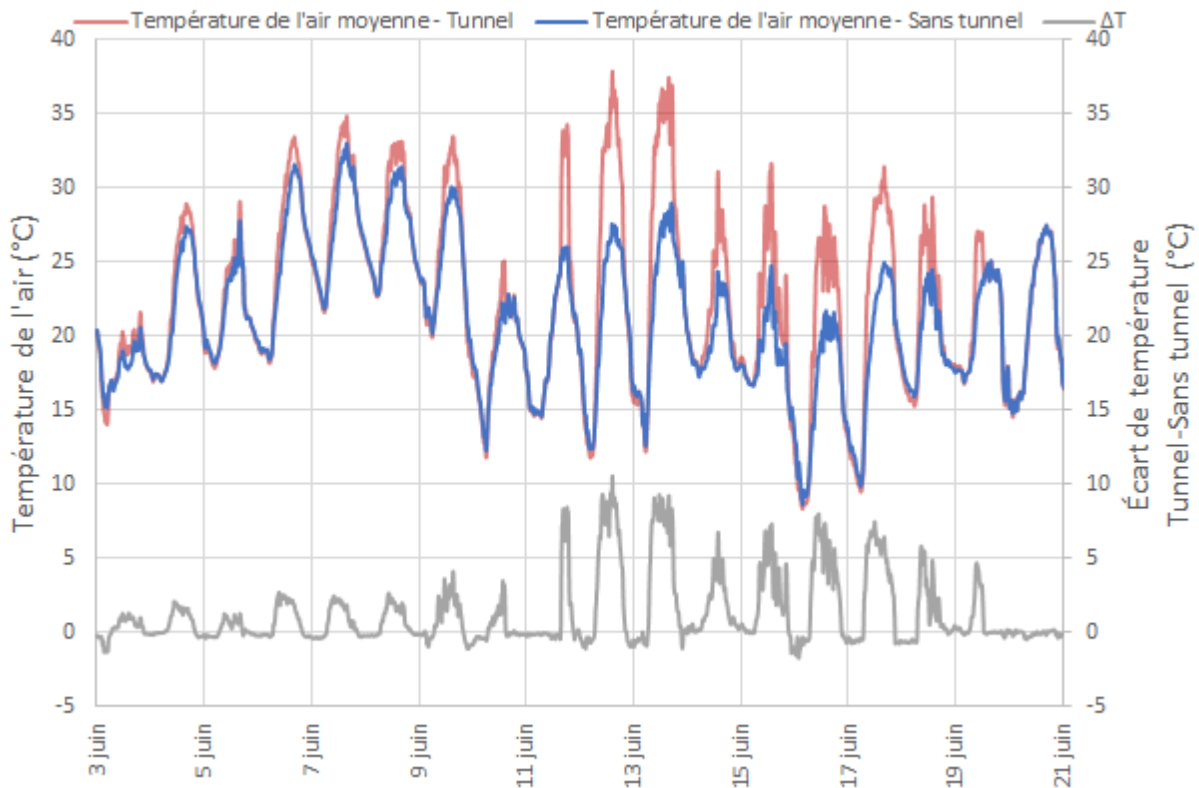


Figure 4. Chronique de la température moyenne de l'air (°C), avec et sans tunnel – Essai 1.

Essai 2 - Les tunnels ont été fonctionnels à partir du 31 mai (Figure 5), moment à partir duquel des différences marquées de température de l'air ont été mesurées. Tout comme en 2021, le gain de température s'exprime plus fortement lorsque les températures maximales sont observées. Le gain de température maximale mesuré a été de 11,5 °C, le 2 juin. En moyenne, au courant du mois de juin, le gain de température maximale mesurée a été de 3,9 °C. Des gains de température ont été observés durant les premières semaines de manière très constante. Par la suite, le gain de température a été plus faible. Ce schéma s'est poursuivi et accentué après la réinstallation des tunnels le 11 juillet (les tunnels ont été ouverts du 6 au 10 juillet inclusivement). À partir de ce moment, la différence entre les traitements a été presque nulle. En effet, durant le mois de juillet, le gain de température maximal enregistré s'est élevé à 0,8 °C, une différence considérable par rapport au mois de juin. Ceci pourrait s'expliquer par la manière dont la température a été suivie dans les tunnels. La position des sondes est dans le couvert végétal. Au début, les plants sont peu développés et la biomasse n'est pas très dense aux alentours de la sonde. Il est possible qu'au fur et à mesure que la végétation se densifie dans l'environnement immédiat de la sonde, qu'un microclimat s'installe. La transpiration des plants sert entre autres à maintenir une température adéquate pour leur développement. À cet instant, la sonde mesure un autre environnement que celui de l'air qui est au-dessus de la culture et sous le tunnel. De plus, le film de plastique installé sur l'armature des tunnels comporte des perforations dans le bas qui permettent une certaine ventilation dans les tunnels. Avec les feuilles formant une sorte de dôme, le brassage de l'air était peut-être plus limité à l'intérieur de la végétation.

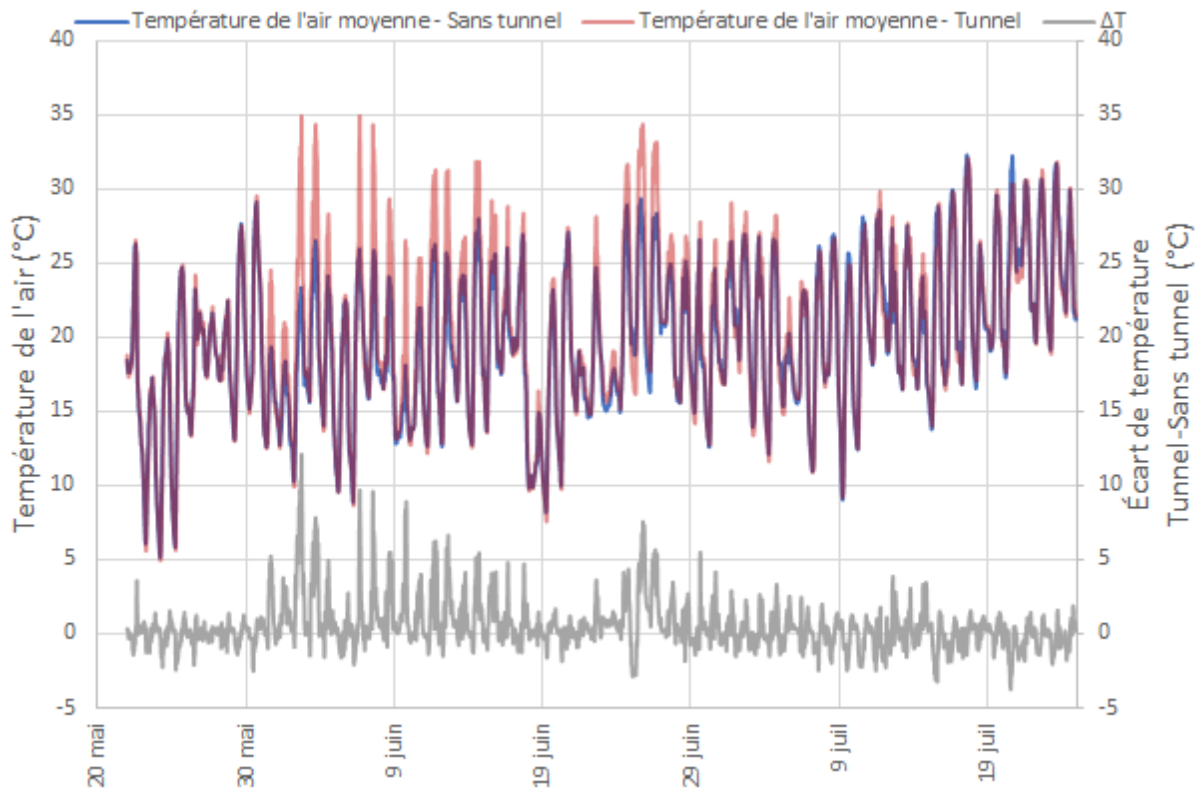
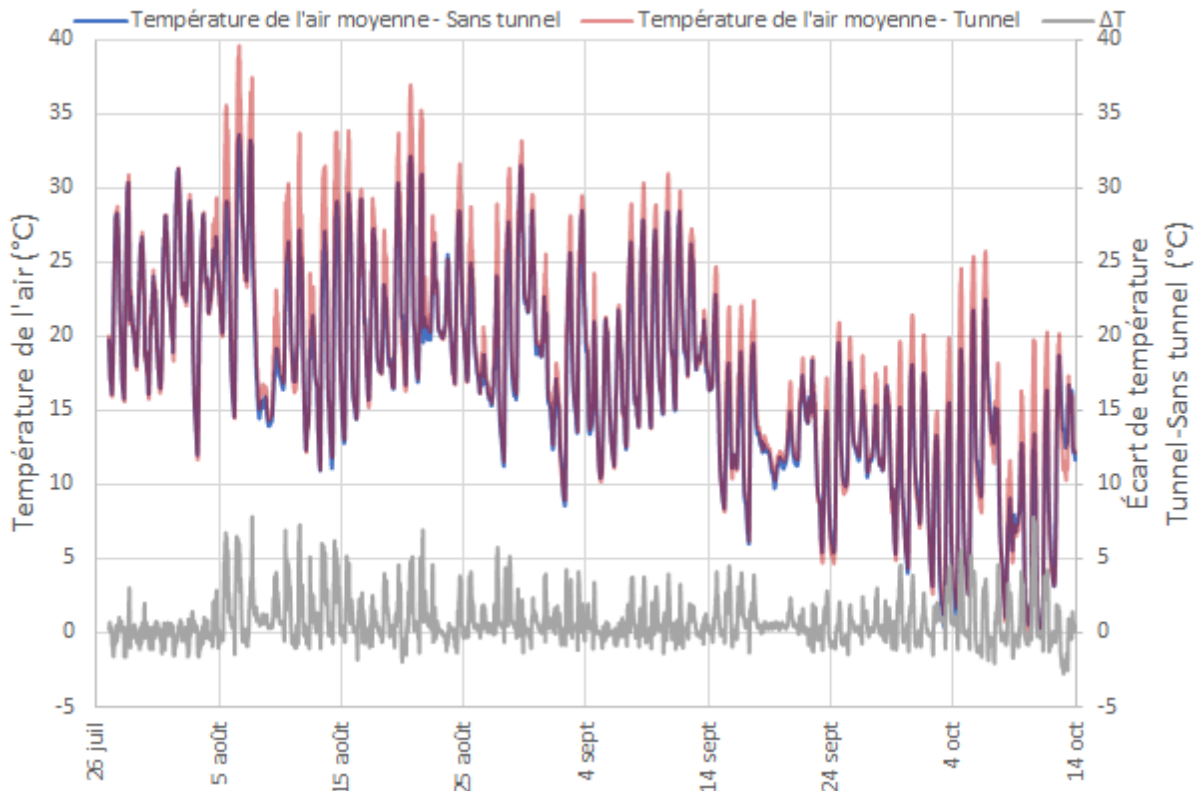


Figure 5. Chronique de la température moyenne de l'air (°C), avec et sans tunnel – Essai 2.

Essai 3 - Les tunnels ont été en opération à partir du 4 août (Figure 6). Le gain de température maximale a rapidement été atteint (11 août) avec une différence de 6,5 °C. Le schéma de diminution du gain de température s'est également poursuivi lors de cet essai, plus particulièrement au mois de septembre. Ainsi, le gain de température maximale mesurée a été de 3,3 et de 1,9 °C respectivement pour le mois d'août et septembre. Néanmoins, plus tard en saison, pour certaines journées, le gain de température maximale a été important. Par exemple, le 10 octobre, le gain maximal a été de 6,4 °C.



### 3.3.1 Accumulation de la chaleur

Au courant de la saison, le gain de température de l'air dans les tunnels a été mesuré. Pour évaluer l'accumulation de chaleur dans le système cultural, un indice sous forme de degrés-jour de croissance en base 10 °C ( $DJ_{b10}$ ) a été calculé pour comparer les systèmes entre eux (Figure 7).

Lors de l'essai 1(a), au terme de la période comprise entre le 3 juin au 1<sup>er</sup> août 2021, les  $DJ_{b10}$  ont atteint 688,8 et 654,5 respectivement avec et sans tunnel. Pour l'essai 2(b), les  $DJ_{b10}$  se sont élevés à 693,7 pour les tunnels et à 631,9 sans tunnel. Finalement, lors de l'essai 3(c), les  $DJ_{b10}$  ont atteint 685,5 dans les tunnels et 597,6 sans tunnel. C'est également lors de ce 3<sup>e</sup> essai que le gain de chaleur a été le plus important avec une augmentation de près de 15 %. En ce qui concerne les tunnels, les  $DJ_{b10}$  des 3 essais sont assez similaires avec un écart inférieur à 10. En contrepartie, des différences demeurent plus importantes dans le traitement sans tunnel avec un écart de 56,9 entre les essais 1 et 3. L'écart entre les traitements selon les essais s'est exprimé de manière croissante avec des écarts de 34,3, 61,8 et 87,6 respectivement pour les essais 1, 2 et 3. Lors de l'essai 1, l'accumulation de chaleur a été limitée par la durée où les tunnels ont été en place. Ainsi, l'accumulation de la chaleur aurait pu s'exprimer de manière plus importante puisque les  $DJ_{b10}$  accumulés par le traitement sans tunnel lors de cet essai sont les plus élevés.

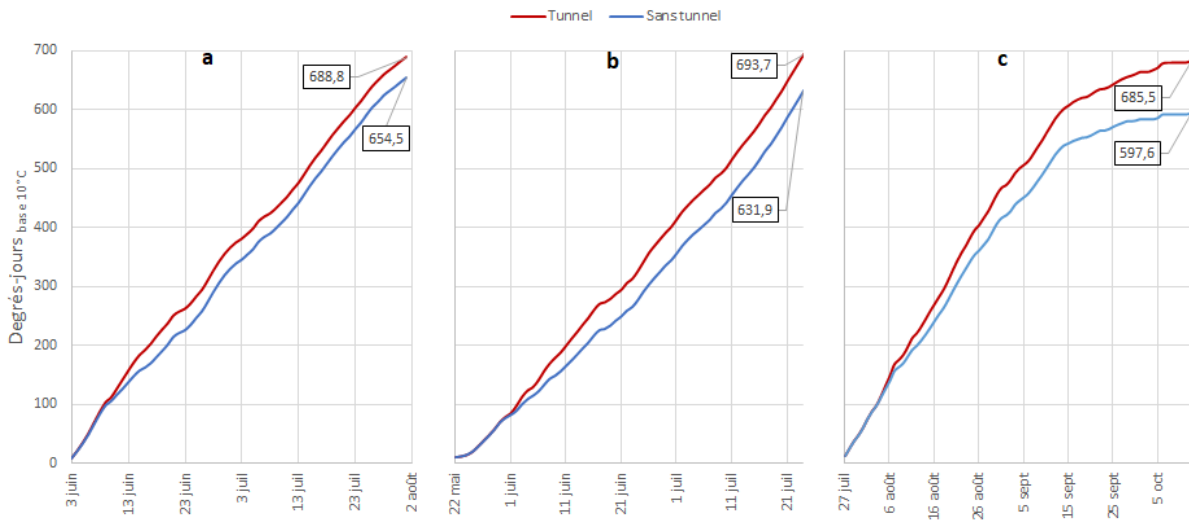


Figure 7. Évolution des degrés-jour en base 10 °C lors des essais 1(a), 2(b) et 3(c).

### 3.3.2 Humidité relative de l'air

L'humidité relative (HR) de l'air, avec et sans tunnel, mesurée en continu est présentée à la Figure 8 selon les essais 1(a), 2(b) et 3(c). De plus, l'écart d'HR entre les deux contextes (avec et sans tunnel) est aussi présenté.

Les tunnels semblent avoir influencé l'humidité dans une certaine mesure. Les fluctuations semblent avoir été plus importantes tout au long des essais. Pour effectuer une analyse plus complète du paramètre de l'humidité, l'année 2022 a été utilisée.

Essai 2 (b) et 3(c) - Au début juin, la présence des tunnels a amplifié les variations de l'HR. Pour une même journée, à certains moments, l'HR était plus importante dans les tunnels et à d'autres moments l'HR y était plus basse. Ce schéma s'est poursuivi durant les premières semaines de l'essai 2 et 3. Par la suite, soit après environ 3 semaines de croissance sous tunnel, la situation évolue et l'HR à l'intérieur y est globalement plus élevée. Avec la croissance de la végétation à l'intérieur du tunnel et la transpiration qui s'en suit, il est logique d'avancer que l'humidité avait tendance à s'y accumuler. L'humidité supplémentaire ainsi observée avec les tunnels a, dans une certaine mesure, influencé la transpiration des plants. Il persiste néanmoins une grande variabilité dans les valeurs mesurées avec des fluctuations qui oscillent entre -20 et 30 % tout au long des essais.

Dans ces fluctuations, il existe une certaine variation attribuable aux instruments. Pour effectuer cette analyse, la moyenne des deux sondes par traitement a été calculée et comparée. La période du 6 au 10 juillet 2022 a permis d'établir l'ampleur du bruit de fond. Durant cette période, l'HR dans le tunnel a été en moyenne de 1,1 % inférieure en comparaison avec le traitement sans tunnel. Toujours durant la même période, l'écart d'HR entre les traitements a été au maximum de 11,4 % et au minimum de -14,6 %. L'écart moyen mesuré durant cette période est toutefois inférieur à la précision des capteurs qui se situent à  $\pm 2,5$  % de 10 %, et ce, à 90 % d'HR à un maximum de  $\pm 3,5$  % à 25°C et de  $\pm 5$  % sous 10 % et au-dessus de 90 % d'humidité<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Spécifications disponibles au <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-001a#specifications>

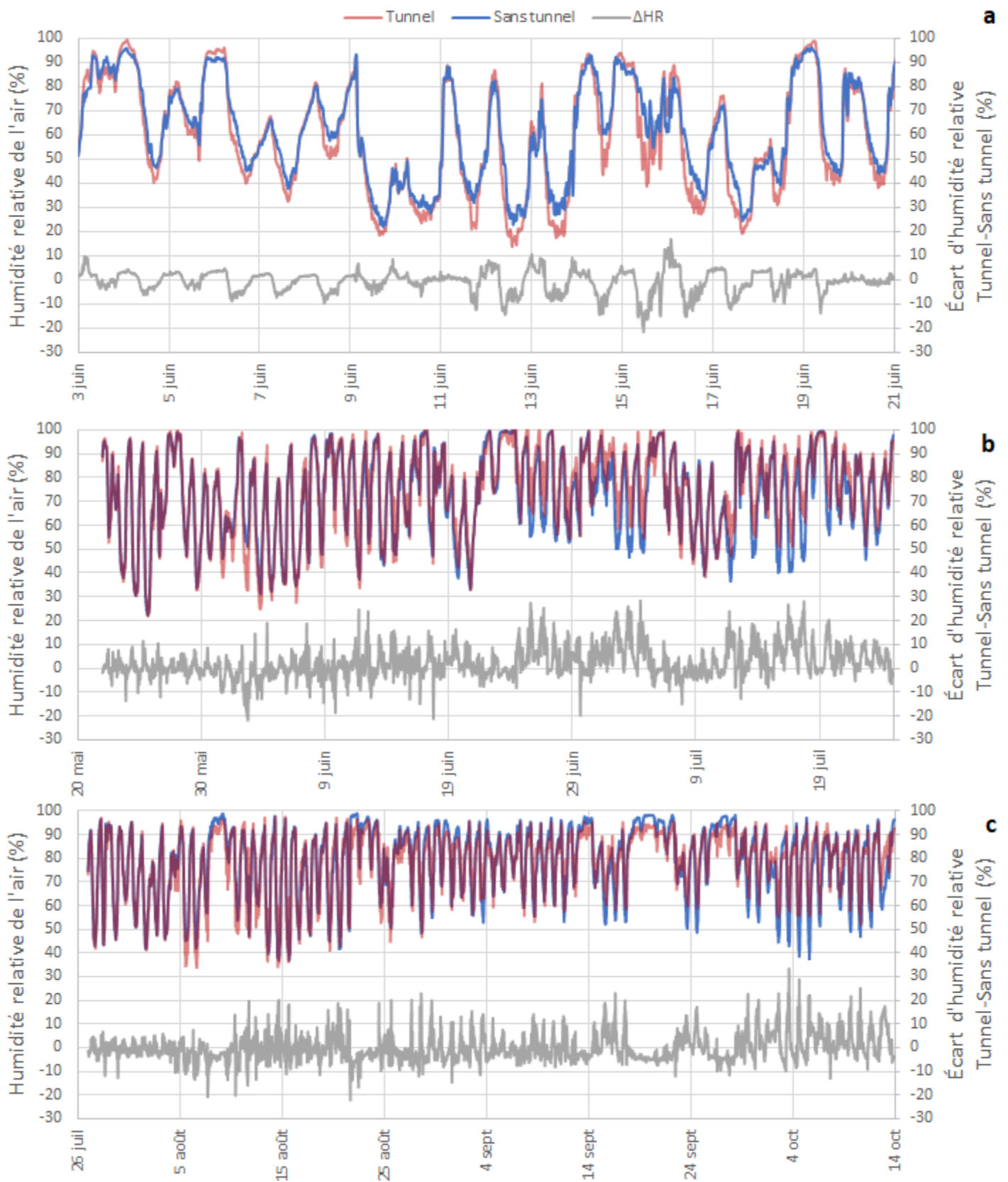


Figure 8. Chronique de l'humidité relative de l'air (%), avec et sans tunnel, selon l'essai du 3 au 21 juin 2021 (a), du 20 mai au 25 juillet 2022 (b) et du 26 juillet au 14 octobre 2022 (c).

### 3.3.3 Facteurs qui influencent le microclimat du système cultural

Les facteurs qui influencent le microclimat du système cultural dont les différences ont été mises de l'avant précédemment sont de nature principalement météorologique. La température, l'humidité relative, la vitesse du vent et la radiation solaire sont les principaux paramètres qui ont été analysés pour déterminer ceux qui ont eu le plus d'impact sur le microclimat au niveau du système cultural.

Tel que démontré précédemment, l'écart de température de l'air à l'intérieur du tunnel en comparaison avec celle à l'extérieur peut, à certains moments, être assez important. Le gain absolu de température a été mesuré le 2 juin 2022 à 18h15 et il est de 12°C. Les écarts de température suivent assez bien l'évolution de la radiation solaire au courant de la journée (Figure 9). Cet effet de serre est plus important au début de la saison lorsque l'environnement immédiat de la sonde n'est pas complètement entouré de feuillage. Par la suite, les longueurs d'onde piégées par les tunnels réchauffent inévitablement l'air qui se situe entre les plants et le film de plastique, mais cela n'a pu être mesuré directement.

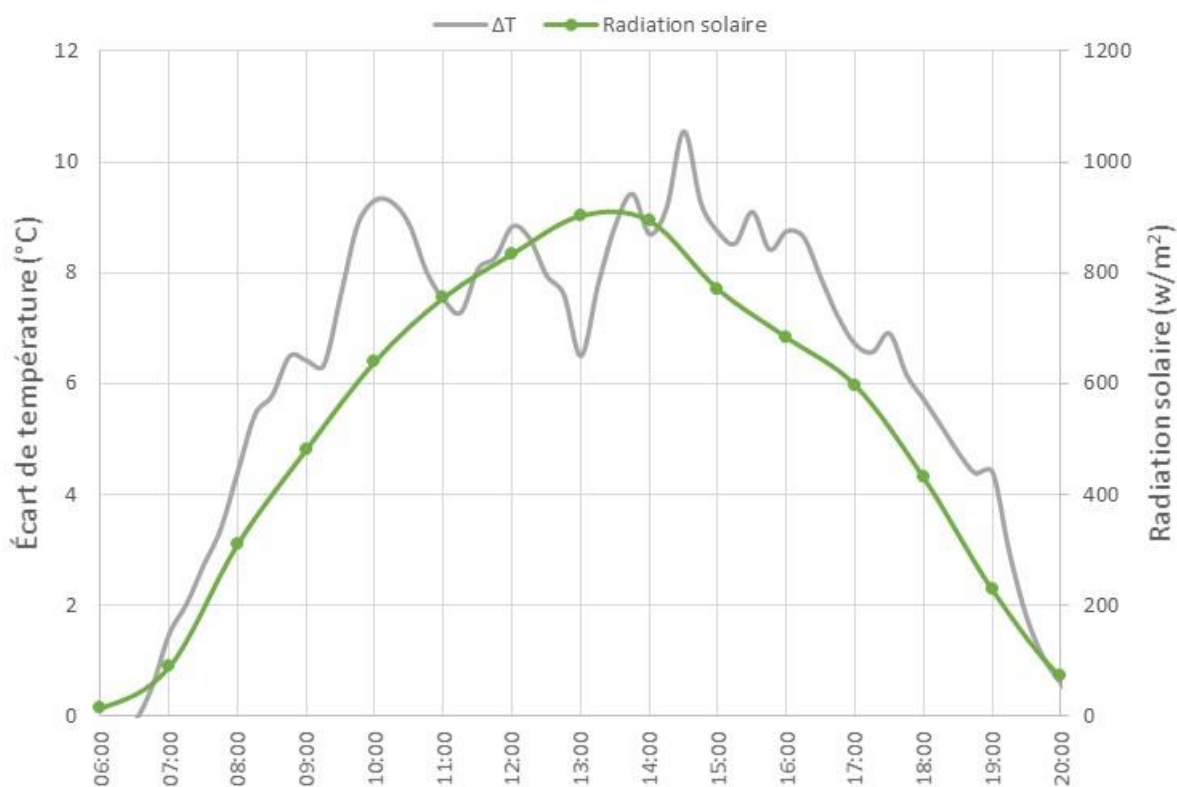


Figure 9. Écart de température de l'air (°C) entre l'intérieur et l'extérieur du tunnel, radiation solaire (w/m<sup>2</sup>) durant le 12 juin 2021.

L'écart de chaleur s'exprime donc dans un phénomène diurne qui s'explique notamment par la radiation solaire. Les autres paramètres exercent aussi une certaine influence, mais semblent moins importants.



De la même manière, l'écart d'humidité devrait s'exprimer lorsque les plants transpirent durant le jour. Pour vérifier cette hypothèse, l'écart d'humidité moyen a été calculé sur une base horaire, et ce, pour chaque jour où les tunnels ont été fonctionnels (Figure 10). L'hypothèse semble se confirmer avec les valeurs moyennes plus élevées au courant de la journée. En effet, pour l'essai 2, l'humidité est d'environ 5 % plus élevée dans les tunnels entre 8 et 17 h. Pour l'essai 3, l'écart est moins important, mais atteint tout de même une valeur maximale de 5 % à 15 h. Les fluctuations tant minimales que maximales sont également plus importantes durant le jour.

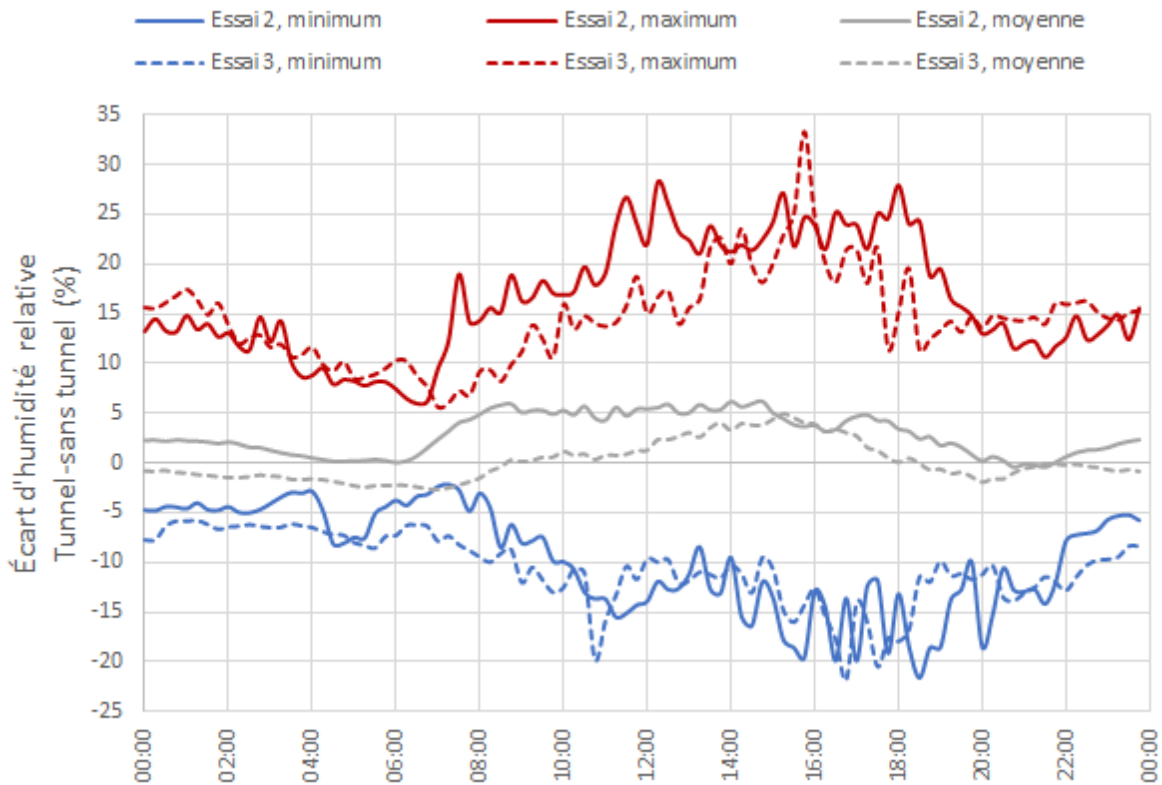


Figure 10. Écart d'humidité relative (%) entre l'air sous le tunnel et celui sans tunnel selon l'heure de la journée, du 31 mai au 24 juillet à l'exclusion du 6 au 10, le 15 et le 20 juillet 2022 (essai 2) et du 4 août au 13 octobre, à l'exclusion du 22 au 24 août 2022 (essai 3).



L'écart entre l'humidité relative de l'air à l'intérieur du tunnel et celle mesurée à l'extérieur par la station météorologique située à proximité est présenté à la Figure 11. Durant cette période, plus l'humidité de l'air était importante, moins l'écart avec l'humidité à l'intérieur du tunnel était important. Ainsi, l'écart se crée sporadiquement lorsque l'humidité de l'air ambiant diminue. Au fur et à mesure que l'humidité de l'air augmente, l'écart d'humidité possible entre l'air ambiant et celui des tunnels diminue. Typiquement, les écarts importants mesurés (supérieurs à 15 %) se sont produits lorsque l'humidité de l'air était inférieure à 70 %. Le système de tunnel utilisé comme dispositif pour augmenter la température à des fins de simulation des changements climatiques modifie considérablement l'environnement du plant en limitant les précipitations, l'intensité lumineuse et les échanges gazeux. Ces limitations ne sont pas présentes dans d'autres systèmes utilisés pour modéliser une augmentation de la température tel l'*open-top chamber* et pourraient être adaptées aux cultures ayant une hauteur plus élevée (Marion, 1996, Welshofer et coll., 2017).

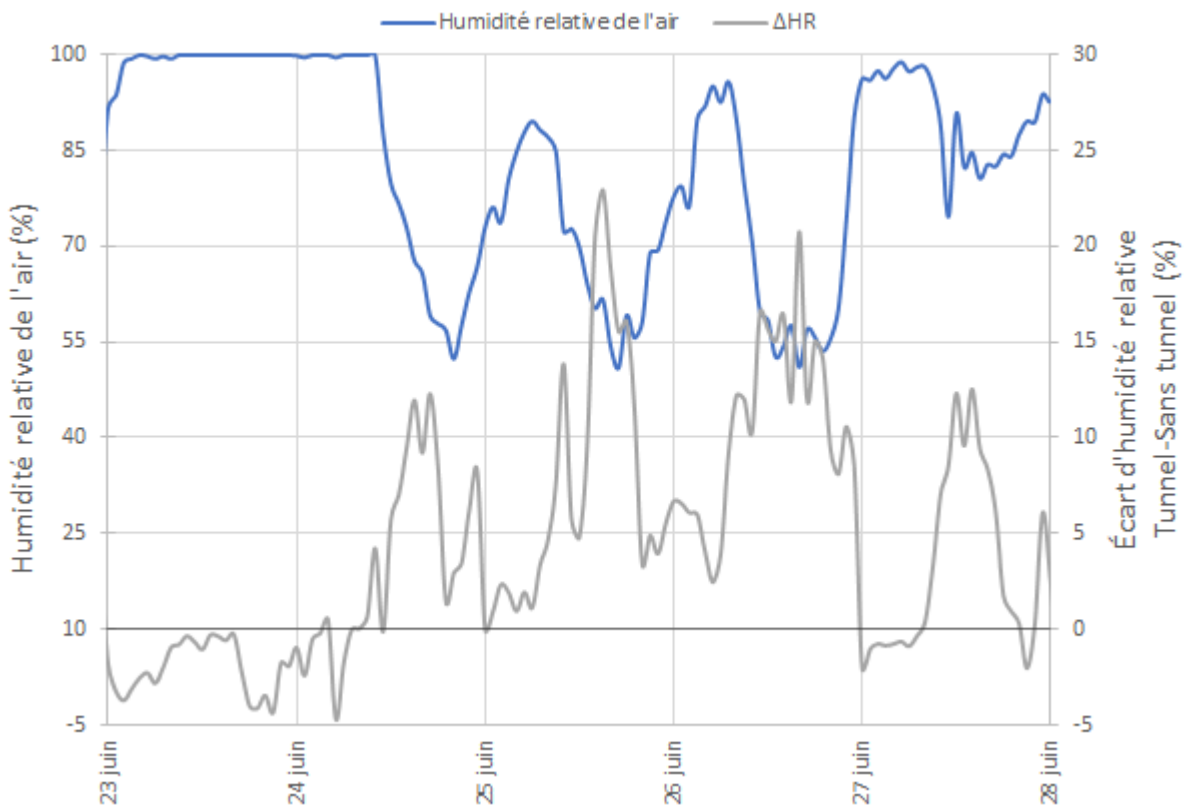


Figure 11. Humidité relative de l'air ambiant à la station météorologique (%) et écart (%) entre l'humidité relative de l'air sous le tunnel et celle de l'air ambiant du 23 au 28 juin 2022.

### 3.4 Régie d'irrigation

Un registre abrégé des irrigations pour la saison 2021 et 2022 est présenté au Tableau 3, celui qui est exhaustif est présenté au Tableau 8, en annexe. Le nombre d'irrigations a respectivement été de 65, 98 et 60 lors des essais 1, 2 et 3. Entre 1 et 3 épisodes par jour ont été nécessaires pour maintenir le statut hydrique du sol dans une zone idéale (données présentées au Tableau 8). Exprimé sous forme de hauteur d'eau moyenne, un épisode apportait environ 1,2 mm.

Tableau 3. Registre abrégé des irrigations, sur une base quotidienne, selon le nombre d'épisode(s), le volume total (l) et la hauteur totale et moyenne appliquée (mm) selon l'essai.

Année	Essai	N <sup>bre</sup> de jours avec épisode(s) d'irrigation	N <sup>bre</sup> total d'épisodes d'irrigation	Volume total (l)	Hauteur totale (mm)	Hauteur moy. par épisode (mm)
2021	1	43	65	22 144	78	1,2
2022	2	53	98	106 259	112	1,1
2022	3	46	60	66 158	70	1,2

### 3.5 Statut hydrique du sol

L'évolution de la teneur en eau volumique du sol dans l'horizon 0-30 cm est présentée selon l'essai et la parcelle principale qui a fait l'objet d'un suivi (Figure 12 à la Figure 17). Chacune des variétés a fait l'objet d'un suivi dans 4 parcelles différentes.

Essai 1 - En 2021, le prélèvement ne diffère que très légèrement selon qu'il y ait ou non un tunnel, et ce, jusqu'à leur démantèlement le 21 juin (Figure 12, Figure 13). Le prélèvement en eau devient plus intense à partir de la fin juin où même deux épisodes d'irrigation par jour ne suffisent pas à compenser les pertes en eau. Les précipitations des 26 et 27 juin ont permis de rétablir la réserve en eau du sol. À partir du 1<sup>er</sup> juillet, jusqu'à trois épisodes d'irrigation par jour auront été nécessaires pour maintenir des conditions de confort hydrique. Malgré la présence d'un paillis de plastique, ce système cultural bénéficie des apports en eau provenant de la pluie. L'épisode du 9 juillet est un bon exemple où le statut hydrique du sol revient à la capacité au champ. Les jours qui suivent cet épisode, même si de multiples irrigations quotidiennes ont lieu, il est difficile de maintenir le statut hydrique au même niveau. Finalement, durant la dernière partie de l'essai (mi-juillet jusqu'à la fin de la récolte), le statut hydrique se maintient relativement stable, puis diminue légèrement. Finalement, il est possible de remarquer une variabilité dans l'amplitude de la réponse des sondes, et ce, même si les sondes sont installées à l'identique d'un cultivar à l'autre (l'emplacement de la sonde par rapport au plant et au tube de goutte-à-goutte est constant). La distance entre la sonde et un goutteur peut cependant différer d'un cultivar à l'autre.

En 2022, la modification aux tunnels a permis de faciliter leur gestion au quotidien et de limiter les risques de bris. Leur fonctionnement a ainsi été assuré pour la durée des essais à l'exception de certaines périodes où la chaleur intense a dicté l'ouverture de ceux-ci. De la plantation jusqu'au 31 mai, le statut hydrique des parcelles est identique, peu importe le traitement (Figure 14, Figure 15). Par la suite, les tunnels étant en place, les parcelles sous tunnels sont coupées des apports par la pluie. Il est possible de constater une légère diminution du statut hydrique dans la parcelle 4 (P4) entre le 12 et 20 juin approximativement en comparaison avec la parcelle 3 (P3). Toutefois, durant cette même période, il est possible

de constater une diminution équivalente du statut hydrique du sol et plus particulièrement pour le cultivar Millenium. Pour la parcelle 6 (P6), cette diminution est à peine mesurée pour l'ensemble des cultivars et l'exception de la légère baisse pour Diamante et Green Magic. La régie d'irrigation a ensuite été ajustée en augmentant la fréquence quotidienne (à partir du 20 juin). Ces irrigations pulsées ont permis de maintenir le statut hydrique de manière optimale jusqu'aux récoltes pour la plupart des cultivars. Cependant, le cultivar Emerald Crown, FBC 6317, Millenium et Wolfman dans la parcelle 3 (P3) semblent avoir eu un prélèvement plus actif et important que le reste des cultivars pour la même parcelle. Cette disparité a été principalement mesurée dans la parcelle 3 (P3) et ne se reflète pas dans la parcelle 5 pour les mêmes cultivars. En effet, dans la parcelle 5 (P5), seulement le cultivar Imperial s'est détaché du groupe et a présenté un prélèvement plus important que les autres cultivars. À la lumière de ces observations et en gardant en tête l'imprécision de la technologie des sondes de teneurs en eau, il n'y a donc pas vraiment eu d'écart de prélèvement en eau notable entre les cultivars durant l'essai 2.

Lors de l'essai 3, le prélèvement en eau a été très similaire entre les parcelles (Figure 15, Figure 16). Comme mentionné précédemment, pour une période plus longue de 14 jours, l'évapotranspiration potentielle cumulative a été moins importante par rapport à l'essai 2 (Figure 3). Ceci se transpose directement dans le statut hydrique du sol mesuré durant l'essai. Le prélèvement en eau a été globalement moins intense et peu de variation a été mesurée au courant de cette période. Les irrigations effectuées ont maintenu le statut hydrique du sol très stable durant cette période. Cependant, pour la parcelle 5 (P5), entre le 6 et le 14 septembre, un assèchement a été mesuré pour l'ensemble des cultivars à l'exception du cultivar Imperial. Cet assèchement n'a pu être mesuré dans les autres parcelles. Finalement, le cultivar Emerald Crown dans la parcelle 5 (P5) s'est démarqué puisque son prélèvement semble avoir été le plus actif de l'essai. Le prélèvement en eau des cultivars durant l'essai 3 a suivi une tendance très similaire à l'essai 2.

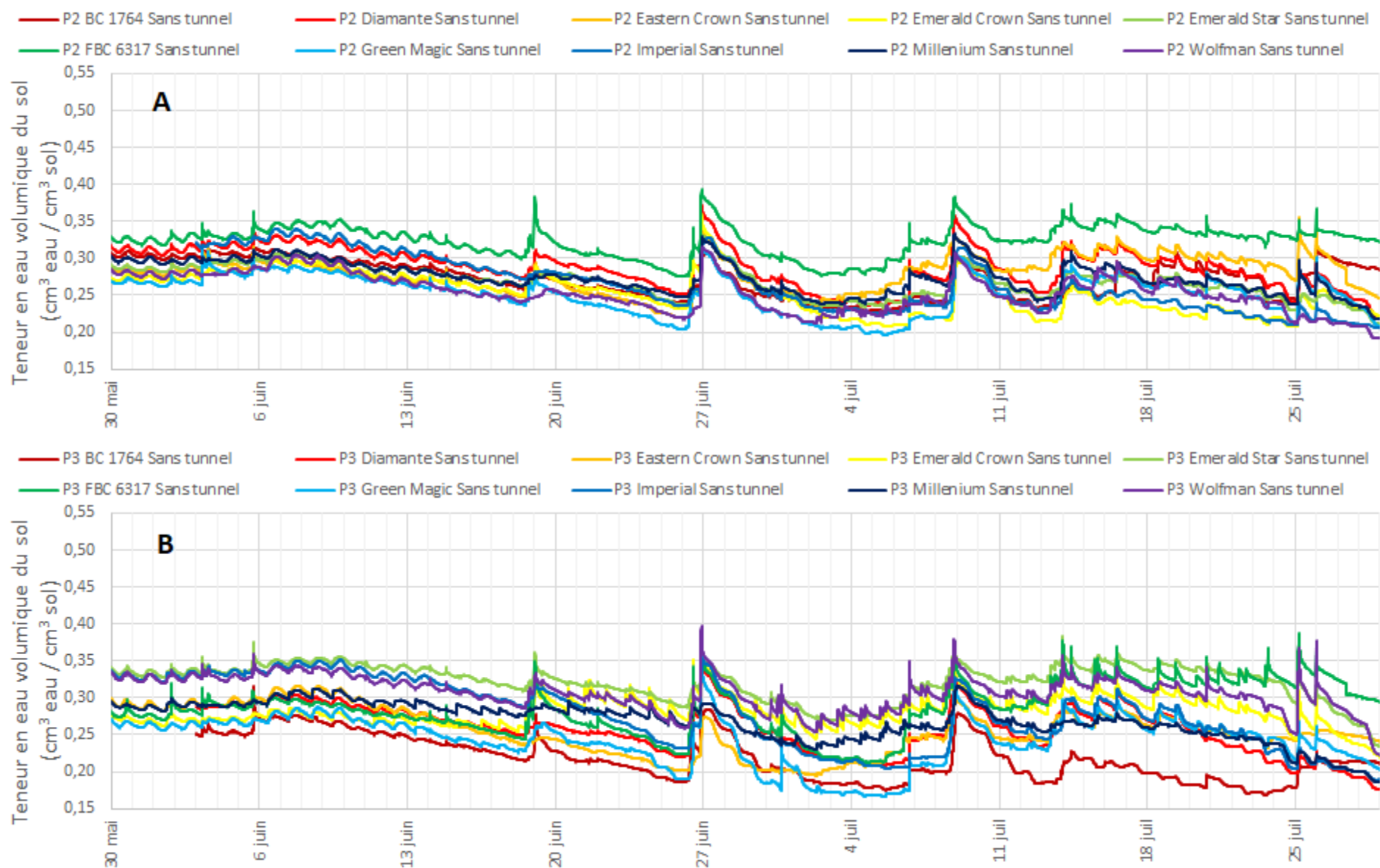


Figure 12. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 1 pour les parcelles 2 (A) et 3 (B) (sans tunnel), selon la variété.

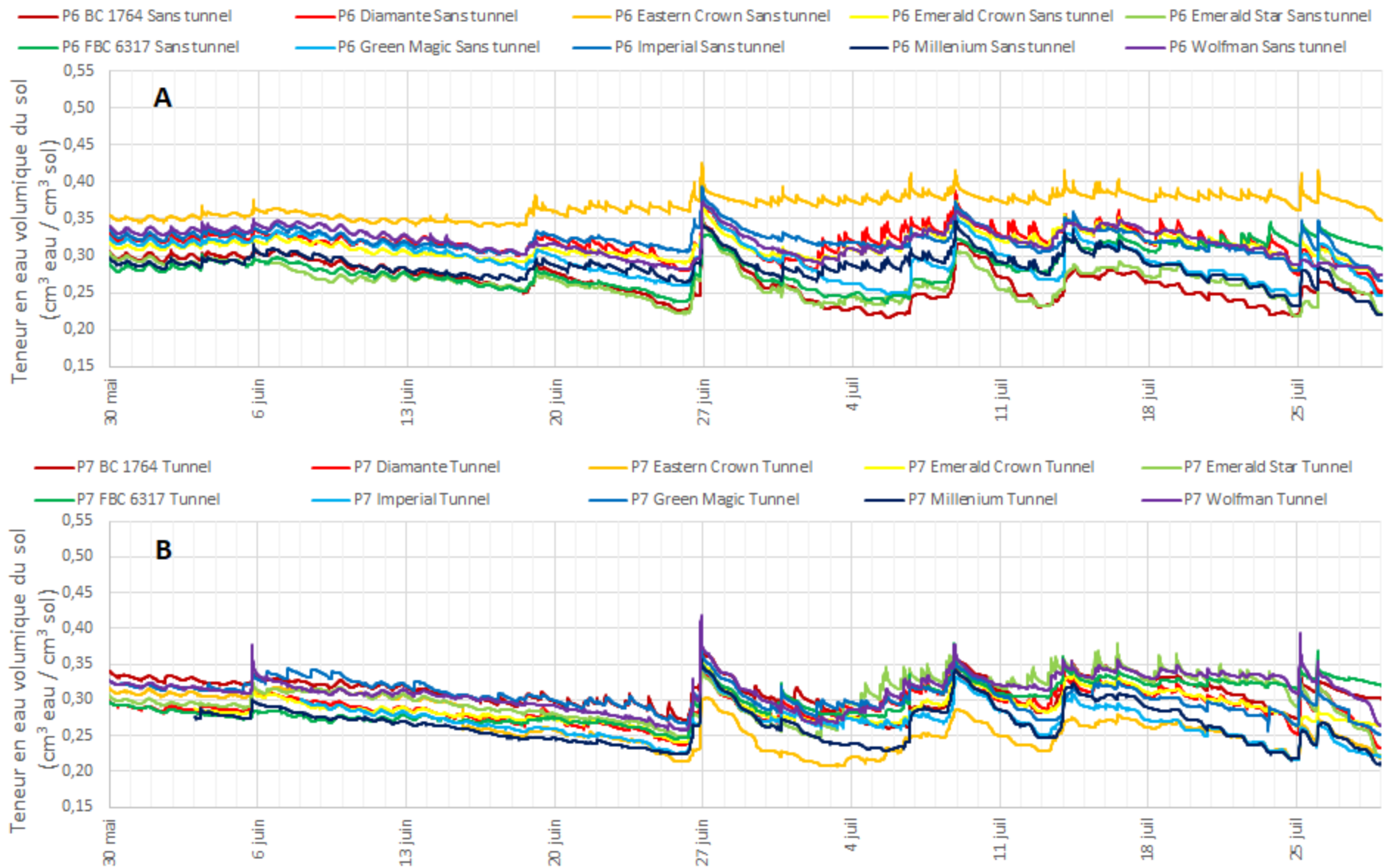


Figure 13. Évolution de la teneur en eau volumique du sol ( $\text{cm}^3 \text{ eau} / \text{cm}^3 \text{ sol}$ ) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 1 pour les parcelles 6 (sans tunnel) (A) et 7 (tunnel) (B), selon la variété.

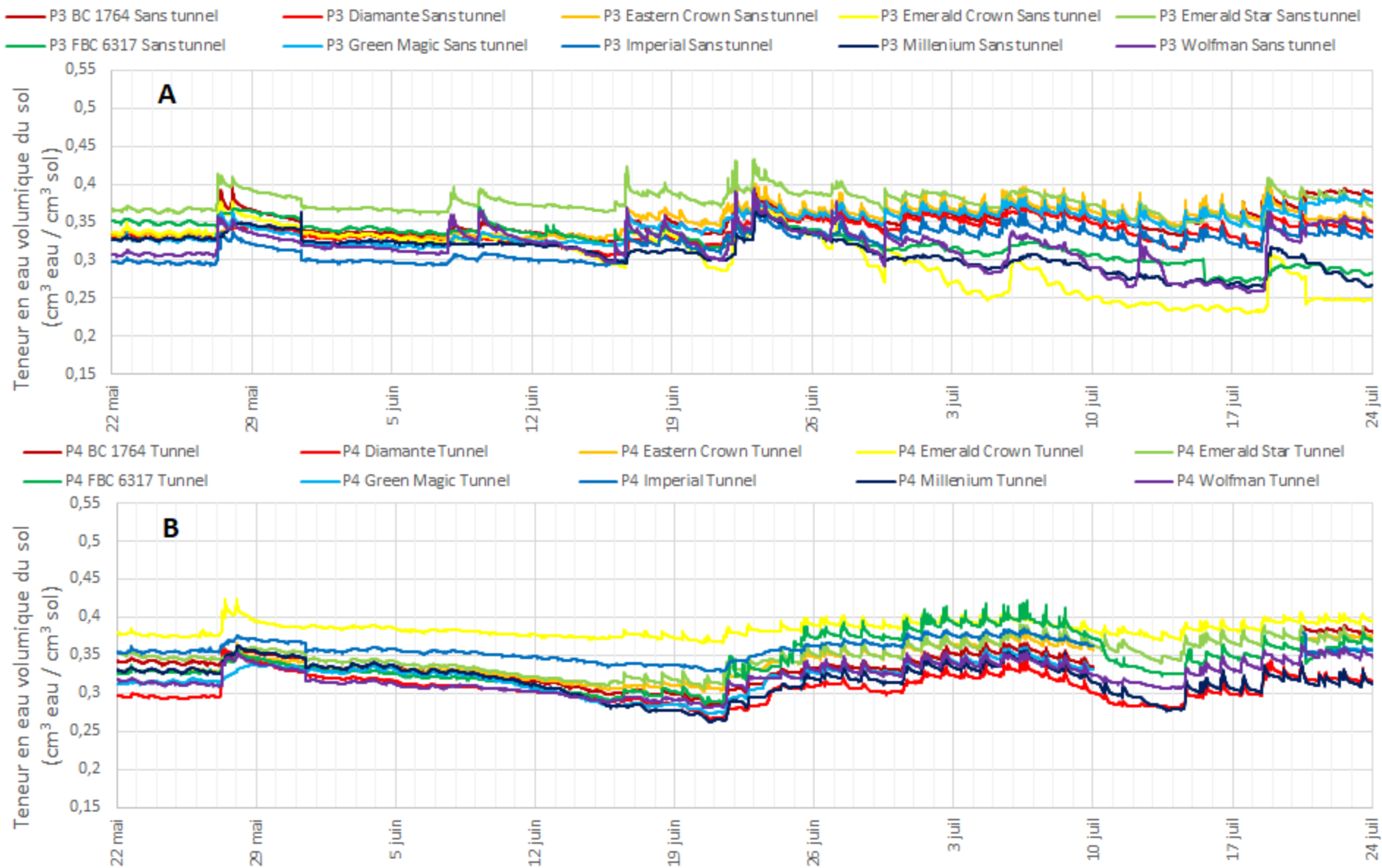


Figure 14. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 2 pour les parcelles 3 (sans tunnel) (A) et 4 (tunnel) (B), selon la variété.

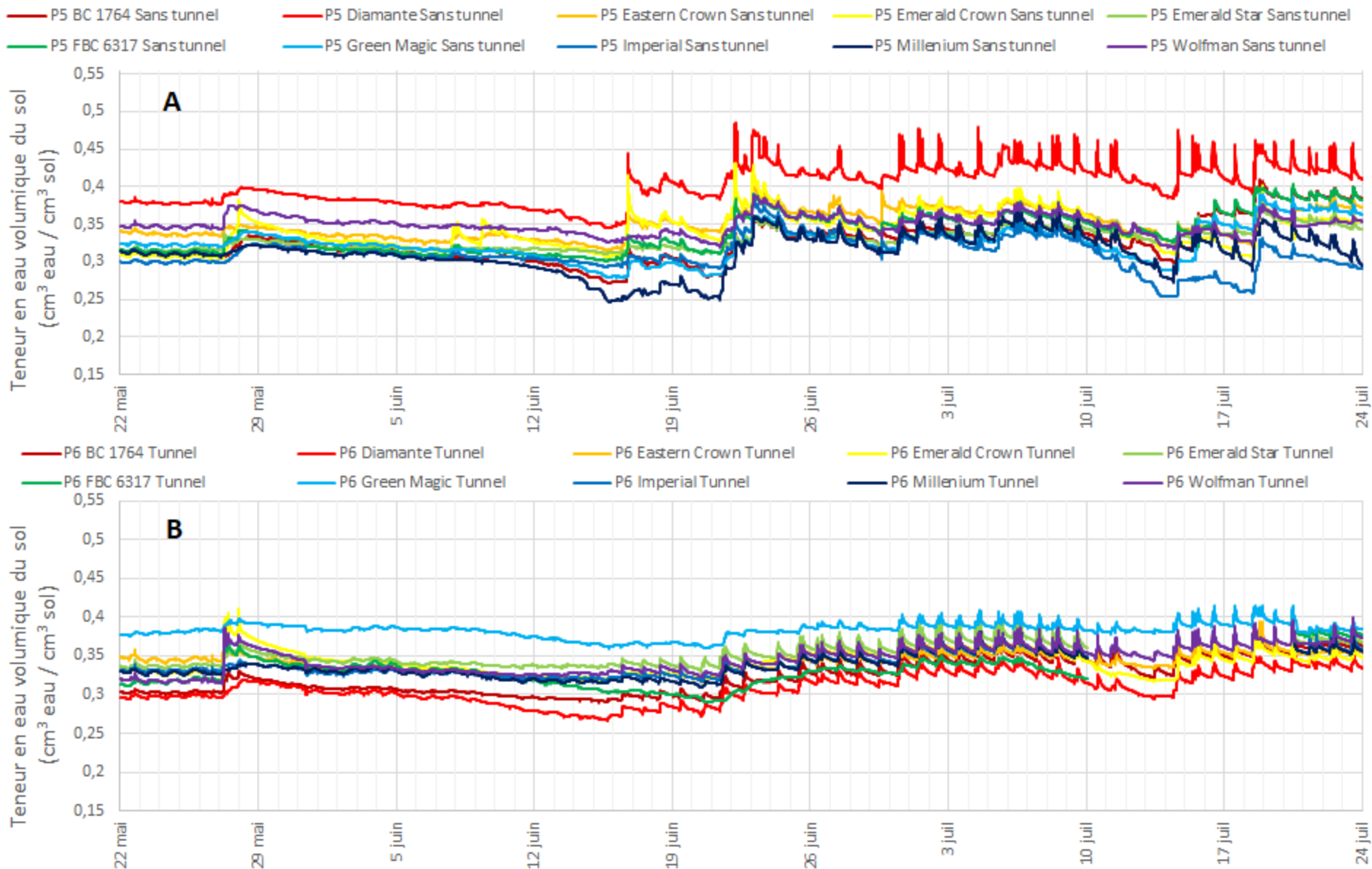


Figure 15. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 2 pour les parcelles 5 (sans tunnel) (A) et 6 (tunnel) (B), selon la variété.

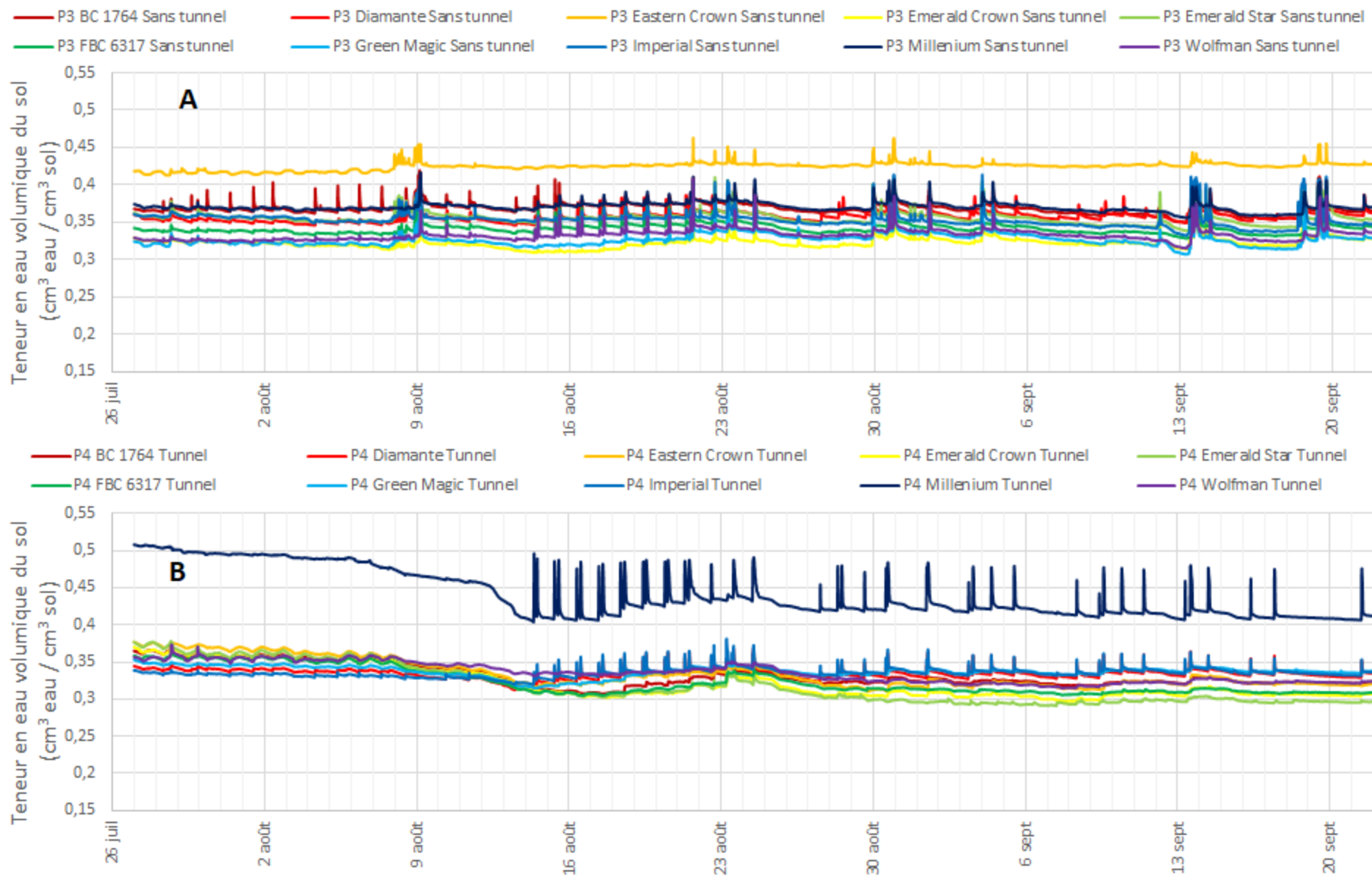


Figure 16. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 3 pour les parcelles 3 (sans tunnel) (A) et 4 (tunnel) (B), selon la variété.



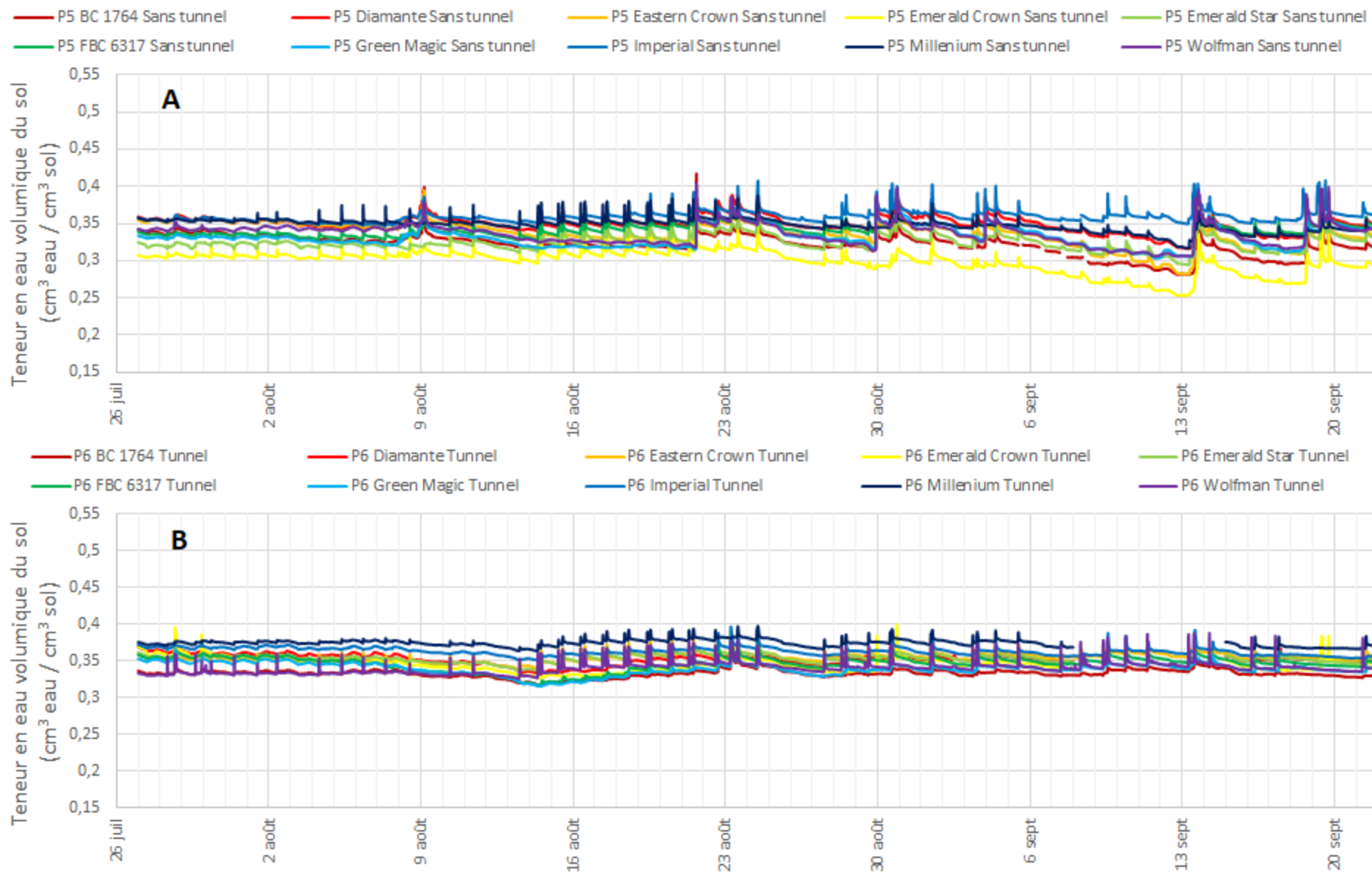


Figure 17. Évolution de la teneur en eau volumique du sol (cm<sup>3</sup> eau / cm<sup>3</sup> sol) dans l'horizon 0-30 cm, lors de l'essai 3 pour les parcelles 5 (sans tunnel) (A) et 6 (tunnel) (B), selon la variété.

### 3.6 Rendement de la culture

Le traitement avec stress climatiques (tunnel) n'a eu aucun effet significatif en facteur simple ni en interaction avec la variété (tunnel x variété) sur les quatre paramètres mentionnés précédemment. Il y a toutefois eu des différences significatives entre les variétés, à l'intérieur d'un même essai. Ces résultats sont présentés aux Figure 18, Figure 19, Figure 20 et Figure 21. À l'intérieur d'un même essai, une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) est représentée par une lettre différente dans le tableau situé en haut de chaque graphique. Il est à noter que l'ensemble des résultats, selon le traitement, sont présentés en annexe au Tableau 9. L'ajout d'un témoin sans stress thermique, obtenu grâce à l'ajout d'un système d'irrigation par aspersion (micro-aspersion), aurait peut-être modifié l'effet significatif du traitement en facteur simple.

### 3.6.1 Biomasse aérienne totale

La biomasse totale est présentée à la Figure 19 selon la variété et l'essai. Une différence significative implique un  $p \leq 0,05$ . La biomasse moyenne se situe entre 0,849 et 1,652 kg pour l'essai 1, entre 0,535 et 0,674 kg pour l'essai 2 et entre 0,551 et 0,739 kg pour l'essai 3.

Essai 1 – La biomasse de Diamante est significativement supérieure à celle de toutes les autres variétés. FBC 6317, Emerald Star et BC 1764 ont eu la biomasse totale la plus basse. Celle de FBC 6317 est significativement plus basse que toutes les variétés, hormis celle d'Emerald Star, à qui elle est comparable. La biomasse d'Emerald Star est significativement plus basse que celle de Diamante, Green Magic, Imperial et Millenium. Enfin, la biomasse de BC 1764 est significativement plus basse que celle de Diamante, Imperial et Millenium.

Essai 2 - Diamante est la variété dont la biomasse est significativement supérieure à celle du plus grand nombre de variétés, soit BC 1764, Emerald Star, FBC 6317, Green Magic et Millenium, les autres ont une biomasse comparable. Globalement, FBC 6317, Emerald Star et Millenium ont eu la biomasse la plus basse. La biomasse de FBC 6317 est significativement plus basse de celle de Diamante, Eastern Crown, Emerald Crown, Imperial et Wolfman, alors qu'elle est comparable à celle de BC 1764, Emerald Star, Green Magic et Millenium. La biomasse d'Emerald Star est significativement plus basse que celle de Diamante et d'Emerald Crown, alors qu'elle est comparable à celle des autres variétés. Enfin, la biomasse de Millenium est comparable à celles des autres variétés, hormis pour celle de Diamante qui est significativement plus élevée.

Essai 3 – Globalement, Diamante et Green Magic sont les variétés dont la biomasse est la plus élevée. Celles de Diamante et Green Magic sont significativement plus élevées que BC 1764, Emerald Crown, Emerald Star et FBC 6317, et celle de Eastern Crown pour Diamante. Enfin, FBC 6317, Emerald Crown et Emerald Star sont les variétés dont la biomasse est plus basse.

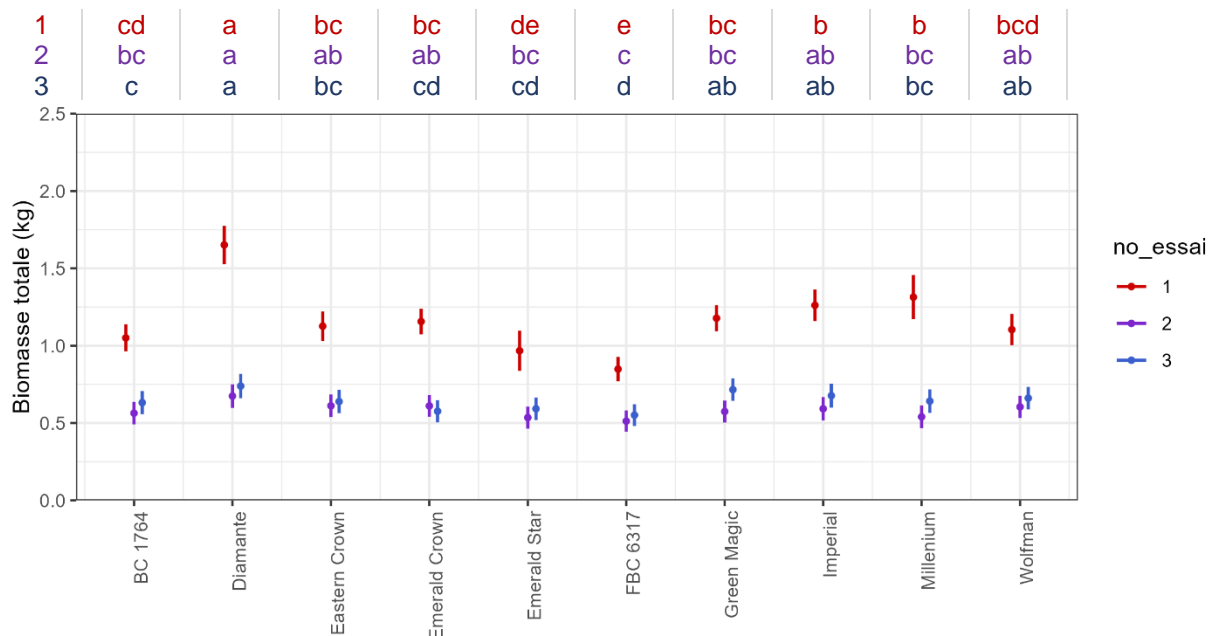


Figure 18. Biomasse aérienne totale par plant (kg), selon la variété et l'essai.

### 3.6.2 Rendement total

Le rendement total (inflorescences vendables ou non) est présenté à la Figure 18 selon la variété et l'essai. Une différence significative implique un  $p \leq 0,05$ . Ce rendement se situe entre 0,192 et 0,326 kg pour l'essai 1, entre 0,121 et 0,180 kg pour l'essai 2 et entre 0,105 et 0,172 kg pour l'essai 3.

Essai 1 – Emerald Crown et Diamante sont les variétés qui se démarquent pour leur rendement élevé, alors que Wolfman se démarque pour son rendement plus bas. Le rendement d'Emerald Crown est significativement plus élevé que celui de BC 1764, Emerald Star, FBC 6317, Green Magic et Wolfman, alors que celui de Diamante est significativement plus élevé que celui d'Emerald Star et Wolfman. En ce qui a trait à Wolfman, son rendement est significativement plus bas que celui de l'ensemble des variétés, hormis Emerald Star.

Essai 2 – Les variétés qui se démarquent pour leur rendement plus élevé sont Eastern Crown, Emerald Crown et FBC 6317, alors qu'Emerald Star, Imperial, Millenium et Wolfman se démarquent pour leur rendement plus bas. Le rendement du trio de tête est significativement plus élevé que celui d'Emerald Star, Imperial, Millenium et Wolfman, auquel il faut ajouter Diamante pour FBC 6317.

Essai 3 – FBC 6317 et BC 1764 sont les deux variétés qui ont le mieux performé, alors que les pires sont Wolfman, Imperial et Emerald Crown. FBC 6317 est significativement supérieur à toutes les variétés, hormis BC 1764. Cette dernière est supérieure à Emerald Crown, Emerald Star, Green Magic, Imperial et Wolfman. Le rendement total de Wolfman est significativement plus bas que toutes les autres variétés, hormis Imperial et Emerald Crown avec qui il partage le bas de ce classement.

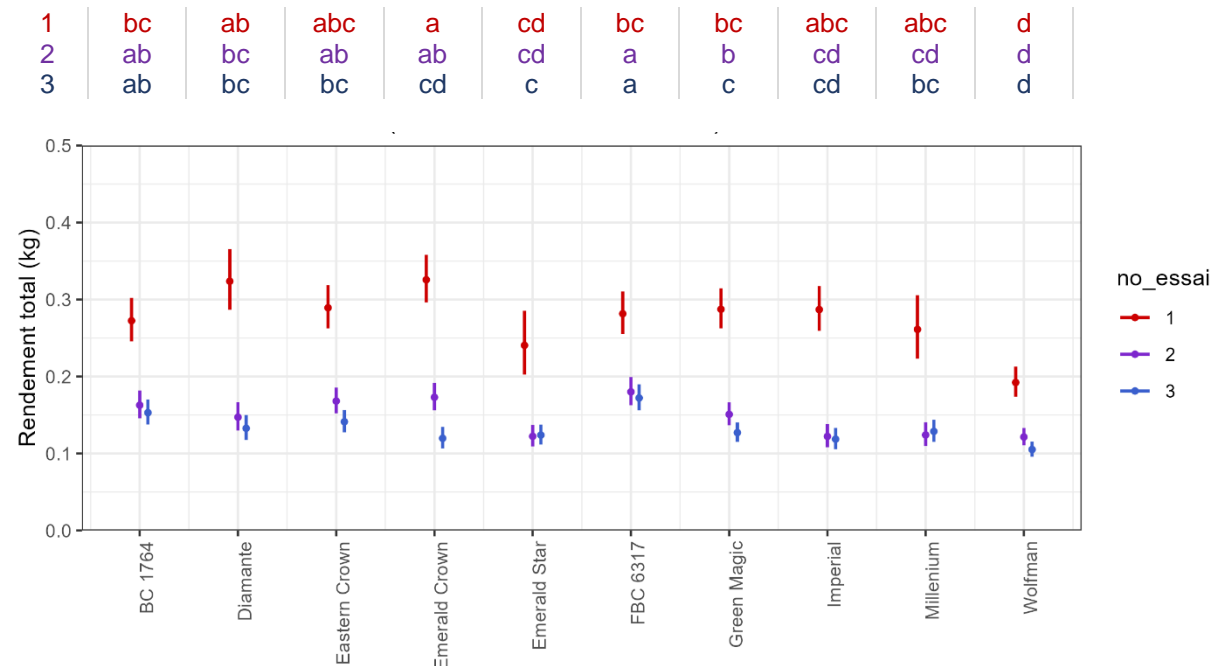


Figure 19. Rendement total par plant (kg), selon la variété et l'essai.

### 3.6.3 Rendement vendable

Le rendement vendable est présenté à la Figure 19 selon la variété et l'essai. Une différence significative implique un  $p \leq 0,05$ . Ce rendement se situe entre 0,196 et 0,300 kg pour l'essai 1, entre 0,127 et 0,181 kg pour l'essai 2 et entre 0,107 et 0,191 kg pour l'essai 3.

Essai 1 – Diamante, Emerald Crown et Eastern Crown sont les variétés qui ont le rendement vendable les plus élevé, alors que Wolfman et FBC 6317 sont ceux ayant le rendement vendable le plus faible. Le rendement de Diamante est significativement supérieur à celui de Emerald Star, FBC 6317, Green Magic, Imperial et Wolfman. Celui d'Eastern Crown et de Emerald Crown est significativement plus haut que celui d'Emerald Star, FBC 6317 et Wolfman. Le rendement de Wolfman est significativement plus bas que celui de toutes les autres variétés, hormis pour FBC 6317 et pour BC 1764, pour qui il n'y a pas assez de données pour réaliser une analyse fiable (abandon d'une récolte). Le rendement de FBC 6317 est significativement plus bas que celui de Diamante, Eastern Crown et Emerald Crown.

Essai 2 – Eastern Crown, BC 1764 et FBC 6317 sont les variétés qui ont eu le meilleur rendement, alors qu'Emerald Star, Imperial et Millenium sont celles qui ont eu le pire. Le rendement d'Eastern Crown, de BC 1764 et de FBC 6317 est significativement plus élevé que celui d'Emerald Star, Imperial, Millenium et Wolfman.

Essai 3 – Les meilleurs rendements ont été observés avec BC 1764, FBC 6317 et Emerald Star, alors que les pires l'ont été avec Emerald Crown, Wolfman et Green Magic. Le rendement des variétés qui sont dans les trois premières positions est significativement plus élevé que celui de Emerald Crown, Green Magic et Wolfman. Emerald Crown a un rendement significativement plus bas que celui de BC 1764, Diamante, Eastern Crown, Emerald Star, FBC 6317, Imperial et Millenium.

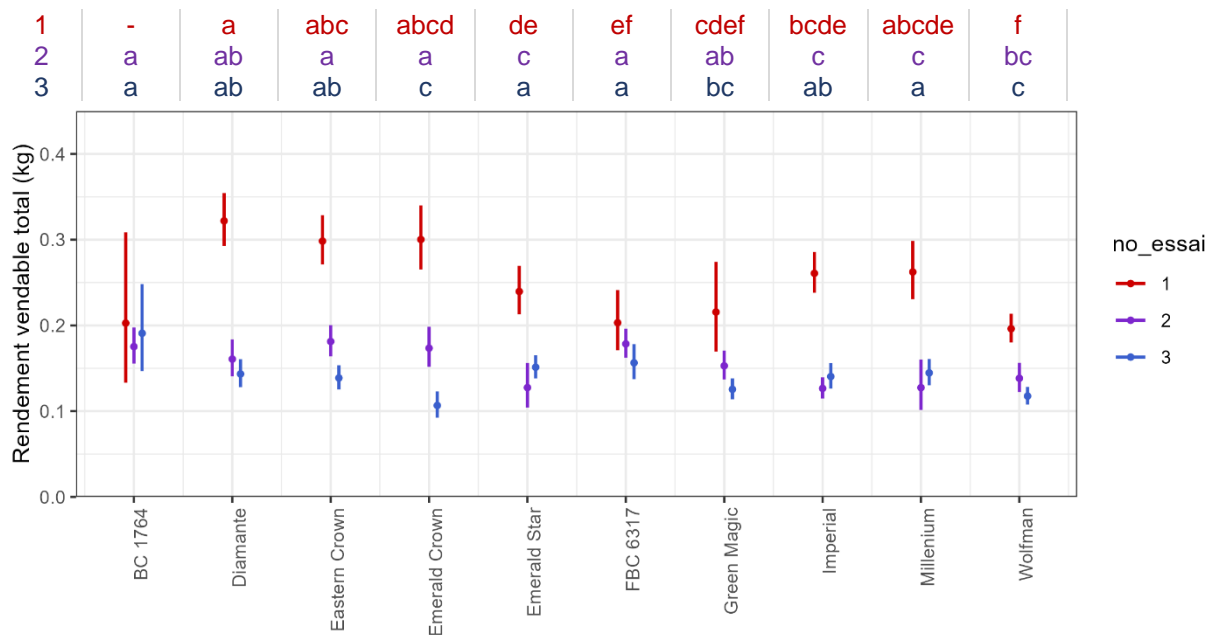


Figure 20. Rendement vendable par plant (kg), selon la variété et l'essai.

### 3.6.4 Diamètre de l'inflorescence

Le diamètre de l'inflorescence est présenté à la Figure 21 selon la variété et l'essai. Une différence significative implique un  $p \leq 0,05$ . Ce diamètre varie entre 13,4 et 15,9 cm pour l'essai 1, entre 9,3 et 13,9 cm pour l'essai 2 et entre 9,4 et 13,8 cm pour l'essai 3.

Essai 1 – Les inflorescences avec le plus grand diamètre ont été observées avec la variété Diamante, alors que les plus petits l'ont principalement été avec Emerald Star. Le diamètre de l'inflorescence de Diamante est significativement plus grand que celui d'Emerald Crown, Emerald Star et FBC 6317, alors que celui d'Emerald Star est significativement plus bas que celui de Diamante, Eastern Crown et Imperial.

Essai 2 – BC 1764 et FBC 6317 sont les variétés dont le diamètre de l'inflorescence est le plus grand. Celui de Millenium et d'Imperial est dans les plus petits. Le diamètre de l'inflorescence de BC 1764 est significativement supérieur à celui de toutes les autres variétés à l'exception de celui de FBC 6317 et Wolfman. Alors que ce dernier a une inflorescence au diamètre significativement supérieur à celui de Diamante, Eastern Crown, Emerald Crown, Emerald Star, Green Magic, Imperial et Millenium. Le diamètre de l'inflorescence de Millenium est significativement plus petit que celui de BC 1764, Eastern Crown, Emerald Crown, FBC 5317, Green Magic et Wolfman.

Essai 3 – BC 1764 et FBC 6317 sont les variétés dont le diamètre de l'inflorescence est le plus grand. Celui d'Emerald Crown est dans les plus petits. Le diamètre de l'inflorescence de BC 1764 et de FBC 6317 est significativement supérieur à celui de toutes les autres variétés à l'exception de celui de Eastern Crown. Celui d'Emerald Crown est significativement plus petit que celui de BC 1764, FBC 6317, Green Magic et Wolfman.

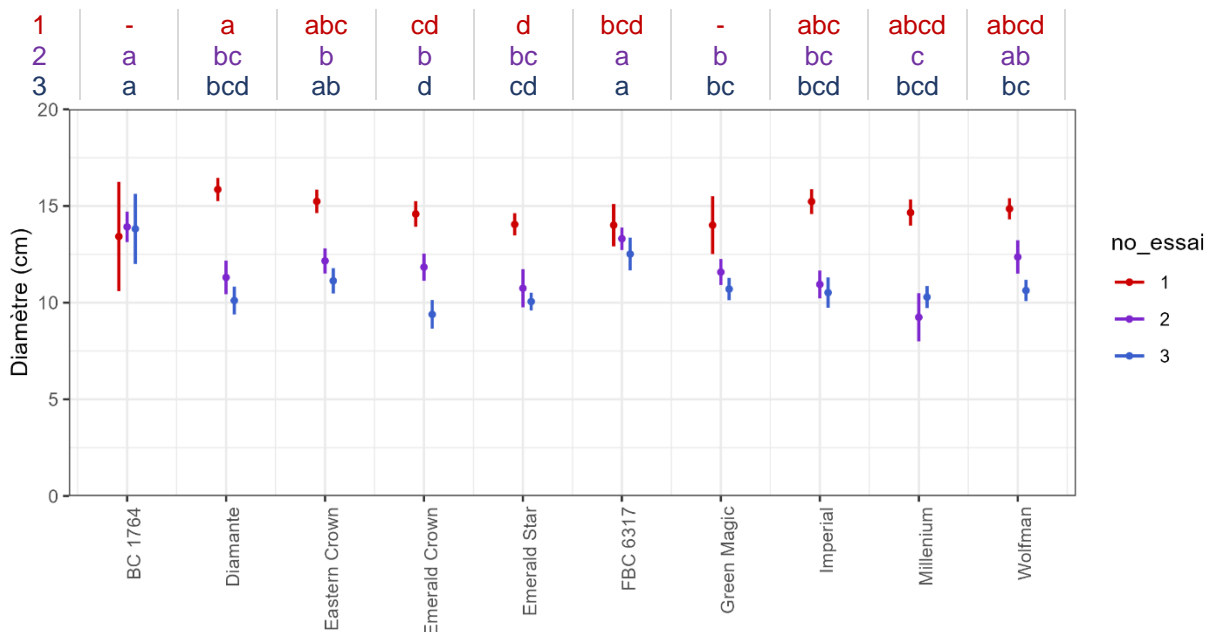


Figure 21. Diamètre de l'inflorescence (cm), selon la variété et l'essai.

### 3.7 Qualité de la récolte

La proportion du rendement total qui est commercialisable, le type d'inflorescence commercialisé et les critères de déclassement (couleur, forme, présence de ravageurs et maturité inégale) sont des paramètres qui permettent l'évaluation de la qualité des cultivars.

#### 3.7.1 Proportion de la récolte vendable

La proportion de la récolte qui a été jugée vendable (nombre de brocolis vendables / nombre de brocolis récoltés) est présentée à la Figure 22 selon la variété et l'essai. Une différence significative implique un  $p \leq 0,05$ .

Essai 1 – Diamante, Wolfman et Millenium ont eu la proportion vendable la plus élevée avec respectivement 86, 79 et 76 %, alors que BC 1764, Green Magic et FBC 6317 ont eu celle la plus basse avec respectivement 1, 3 et 7 %. Significativement parlant, la vendabilité de Diamante dépasse celle d'Emerald Crown, FBC 6317, Green Magic et BC 1764. Celle de Wolfman est significativement supérieure à celle de BC 1764, Emerald Crown, FBC 6317 et Green Magic. Enfin, celle de Millenium est significativement supérieure à celle de BC 1764, FBC 6317 et Green Magic.

Essai 2 – FBC 6317, Imperial et Eastern Crown sont les variétés qui ont eu la proportion la plus élevée d'inflorescences vendables avec respectivement, 52, 41 et 38 %, alors que Emerald Star, Millenium et Wolfman ont eu la pire avec respectivement 3, 5 et 12 %. La vendabilité de FBC 6317 est significativement supérieure à celle de Diamante, Emerald Star, Green Magic, Millenium et Wolfman. Celle d'Imperial est significativement plus élevée que celle de Diamante, Emerald Star, Millenium et Wolfman. Enfin, celle d'Eastern Crown est significativement supérieure à celle d'Emerald Star, Millenium et Wolfman.

Essai 3 – Wolfman, Emerald Star et Millenium sont en tête avec respectivement 45, 39 et 36 %, mais ils ne sont significativement différents qu'avec BC 1764, comme toutes les autres variétés, hormis FBC 6317. Wolfman, est significativement différent de FBC 6317.

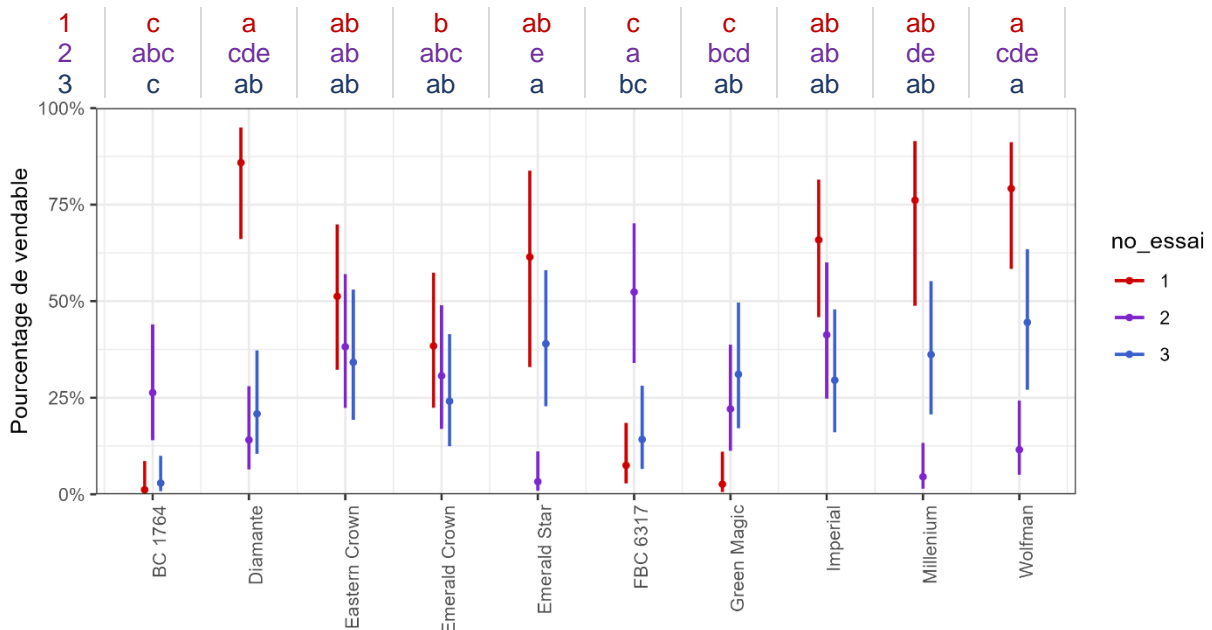


Figure 22. Proportion vendable de la récolte (%), selon la variété et l'essai.

### 3.7.2 « Type » d'inflorescence commercialisée

Selon le marché visé, le type d'inflorescence commercialisable peut devenir un avantage pour une variété. À cet effet, la proportion du rendement vendable a été décortiquée selon le type d'inflorescence et la variété (



Tableau 4). Les proportions du rendement vendable exprimées selon le nombre de brocolis récolté sont similaires à la proportion exprimée selon le poids des brocolis. Cela revient donc à dire que le poids moyen d'une couronne est équivalent au poids moyen d'un bouquet.

Essai 1 – Lors du premier essai, le choix de la catégorie de commercialisation a été fait sans équivoque pour la plupart des variétés à l'exception d'Emerald Crown et Wolfman où près de la moitié des brocolis vendables aurait pu l'être sous forme de bouquet ou de couronne. La couronne a été nettement dominante pour Diamante et Eastern Crown, tandis que le bouquet a été favorisé pour BC 1764, Emerald Star, FBC 6317, Green Magic, Imperial et Millenium.

Essai 2 – Au courant du 2<sup>e</sup> essai, les variétés ont aussi été récoltées d'une manière assez claire. Seul BC 1764 a été récolté autant en couronne qu'en bouquet. Pour les autres variétés, un type d'inflorescence a été favorisé. Seul Emerald Star a été majoritairement récolté pour la couronne. Les autres cultivars l'ont majoritairement été pour le bouquet.

Essai 3 – La tendance s'est poursuivie lors du 3<sup>e</sup> essai avec seulement deux variétés (BC 1764 et FBC 6317) qui ont principalement été commercialisées avec la couronne, tandis que les autres l'ont été pour le bouquet.

De manière générale, le bouquet a globalement été favorisé pour la majorité des cultivars, peu importe l'essai. Puisque le diamètre minimal du bouquet était inférieur à la couronne, la récolte a pu favoriser ce marché. Selon Deslauriers (2023), le marché au Québec est destiné à 60 % pour la couronne et 40 % pour le bouquet. De plus, selon Gibouleau (2023), la rentabilité serait la même, peu importe le modèle de commercialisation.

Tableau 4. Proportion de la récolte vendable (%) selon le type d'inflorescence (couronne ou bouquet) en termes de poids ou de nombre selon la variété et l'essai.

Essai	Cultivar	Proportion de la récolte vendable (%)			
		Nombre		Poids	
		Couronne	Bouquet	Couronne	Bouquet
1	BC 1764	0,0	100,0	0,0	100,0
	Diamante	71,4	28,6	77,6	22,4
	Eastern Crown	78,6	21,4	80,8	19,2
	Emerald Crown	50,0	50,0	49,6	50,4
	Emerald Star	10,0	90,0	10,5	89,5
	FBC 6317	0,0	100,0	0,0	100,0
	Green Magic	0,0	100,0	0,0	100,0
	Imperial	34,3	65,7	39,3	60,7
	Millenium	30,8	69,2	39,2	60,8
	Wolfman	42,9	57,1	45,0	55,0
2	BC 1764	52,4	47,6	57,3	42,7
	Diamante	33,3	66,7	32,8	67,2
	Eastern Crown	34,5	65,5	40,0	60,0
	Emerald Crown	25,0	75,0	30,1	69,9
	Emerald Star	66,7	33,3	76,7	23,3
	FBC 6317	26,3	73,7	31,2	68,8
	Green Magic	5,6	94,4	7,5	92,5
	Imperial	12,9	87,1	15,8	84,2
	Millenium	0,0	100,0	0,0	100,0
	Wolfman	40,0	60,0	43,4	56,6
3	BC 1764	66,7	33,3	81,0	19,0
	Diamante	5,6	94,4	6,3	93,7
	Eastern Crown	33,3	66,7	38,2	61,8
	Emerald Crown	10,0	90,0	13,7	86,3
	Emerald Star	0,0	100,0	0,0	100,0
	FBC 6317	76,9	23,1	82,0	18,0
	Green Magic	20,0	80,0	25,2	74,8
	Imperial	0,0	100,0	0,0	100,0
	Millenium	0,0	100,0	0,0	100,0
	Wolfman	15,2	84,8	15,4	84,6

### 3.7.3 Facteurs de déclassement

Le rendement non vendable a donc été déclassé par un ou plusieurs des critères présentés au Tableau 5. Le déclassement par un ou plusieurs critères permet d'obtenir une somme des pourcentages pouvant excéder 100 %. Lors du 1<sup>er</sup> essai, la taille trop faible de l'échantillonnage pour Diamante, Emerald Star, Imperial, Millenium et Wolfman ne permet pas d'établir la présence des critères de déclassement. Les principales causes de déclassement des brocolis ont été la forme (Figure 32) et la couleur, soit le « type » de vert recherché (Figure 31).

Tableau 5. Présence du critère de déclassement (rendement non commercialisable) (%) selon les cultivars et l'essai.

Essai	Cultivar	Présence du critère de déclassement (%)			
		Forme	Couleur	Ravageurs	Maturité inégale
1	BC 1764	98,5	83,6	9,0	0,0
	Diamante	-----	-----	n.d.	-----
	Eastern Crown	67,9	32,1	28,6	0,0
	Emerald Crown	100,0	78,9	5,3	0,0
	Emerald Star	-----	-----	n.d.	-----
	FBC 6317	92,1	82,5	0,0	0,0
	Green Magic	87,1	80,6	0,0	0,0
	Imperial	-----	-----	n.d.	-----
	Millenium	-----	-----	n.d.	-----
	Wolfman	-----	-----	n.d.	-----
2	BC 1764	95,9	65,3	4,1	4,1
	Diamante	86,4	88,1	0,0	27,1
	Eastern Crown	93,0	11,6	7,0	4,7
	Emerald Crown	89,6	50,0	0,0	6,3
	Emerald Star	88,2	92,6	1,5	10,3
	FBC 6317	82,8	65,5	20,7	0,0
	Green Magic	92,0	72,0	16,0	4,0
	Imperial	88,9	16,7	8,3	22,2
	Millenium	75,0	95,3	1,6	18,8
	Wolfman	90,2	78,7	3,3	6,6
3	BC 1764	97,0	92,5	6,0	4,5
	Diamante	70,0	72,0	8,0	24,0
	Eastern Crown	100,0	21,1	7,9	5,3
	Emerald Crown	88,0	66,0	8,0	26,0
	Emerald Star	46,2	33,3	23,1	43,6
	FBC 6317	98,1	44,2	13,5	3,8
	Green Magic	93,6	48,9	8,5	8,5
	Imperial	87,5	35,0	20,0	20,0
	Millenium	38,5	64,1	20,5	33,3
	Wolfman	93,8	53,1	71,9	9,4

## 4 CONCLUSION

Le recours à des tunnels a été efficace pour modifier l'environnement où les brocolis ont crû. Globalement, la température et l'humidité relative de l'air y étaient plus élevées. Il n'a toutefois pas été possible de mesurer un effet significatif de ce stress climatique sur la productivité des variétés qui ont fait l'objet des essais.

En moyenne, l'évapotranspiration potentielle cumulative, rapportée sur une base quotidienne, a respectivement été de 4,2, 3,5 et 2,6 mm, pour les essais 1, 2 et 3. S'il faut être prudent quant à l'interprétation qu'il est possible de faire avec des valeurs moyennes, il est fort probable que les conditions de l'essai 1 étaient plus propices à ce que la culture subisse un stress climatique, suivi de celles de l'essai 2 et 3. Il devient alors intéressant de constater que les trois variétés qui ont le mieux performé en termes de rendement vendable lors de l'essai 1 sont Diamante, Emerald Crown et Eastern Crown. Ce dernier a bien performé à l'essai 2. Notons enfin que le rendement de BC 1764 a été parmi les plus élevés aux essais 2 et 3.

Par ailleurs, il est reconnu que le brocoli est une plante de climat frais et que la qualité de l'inflorescence est négativement affectée par la chaleur (Siomos et coll., 2022). Les intervenants qui gravitent autour de ce secteur de production sont constamment à la recherche de variétés qui sont les plus performantes. La couleur et la forme de l'inflorescence du brocoli sont deux critères de qualité de la mise en marché qui exclut d'emblée plusieurs variétés. C'est d'ailleurs ces deux critères qui expliquent l'essentiel des déclassements lors des récoltes. Les pointes de chaleur durant l'été sont déjà une problématique, en climat actuel, qui pousse les semenciers et les producteurs à se questionner sur les solutions possibles. En attendant le développement de nouvelles variétés, il y a dans le panier de solutions potentielles qui est possible d'explorer à court terme des pratiques culturales comme le refroidissement du couvert végétal à l'aide de la micro-aspersion.

## **5 DIFFUSION DES RÉSULTATS**

Au moment de rédiger ce rapport, aucune activité de diffusion n'a été effectuée. Deux des trois essais ont été réalisés durant la 2<sup>e</sup> année du projet. Il était donc difficile de réaliser des activités de diffusion en s'appuyant sur une seule année de résultats. L'analyse des résultats est une étape importante sur laquelle s'appuie une offre de diffusion crédible. L'analyse complète des résultats s'est terminée en même temps que le dépôt de ce rapport et ce dépôt coïncide avec la fin du projet. Il était donc difficile d'envisager la réalisation d'activités de diffusion dans la période active du projet. Toutefois, des efforts seront déployés pour réaliser de telles activités.

## **6 APPLICATION POSSIBLE POUR L'INDUSTRIE**

À notre connaissance, il s'agit du seul essai où plusieurs variétés de brocoli ont été comparées et où les résultats sont publics. Les paramètres suivis sont une source d'information qui pourrait être utile pour une entreprise spécialisée dans la production.

## **7 PERSONNE-RESSOURCE POUR INFORMATION**

Responsable scientifique

Carl Boivin, agr., M. Sc.

Chercheur | Régie de l'eau en productions végétales

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

418 643-2380, poste 430

[carl.boivin@irda.gc.ca](mailto:carl.boivin@irda.gc.ca)

## 8 ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

### IRDA

- Équipe de régie de l'eau : Carl Boivin, Jérémie Vallée, Paul Deschênes, Lélia Anderson, Antoine Lamontagne, Francis-Olivier Lortie, Megann Desrochers et Félix-Lavoie Lochet.
- Analyses statistiques : Mick Wu

### MAPAQ

- Mélissa Gagnon

### Les Productions Margiric

- Jocelyn Gibouleau
- Dimitar Dimitrov
- Daniel Vaillancourt

### Norseco

- Martin Deslauriers
- Christine Ruckstuhl

## **9 REMERCIEMENT AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ce projet a été réalisé en vertu du Programme d'appui à la lutte contre les changements climatiques en agriculture et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.

## 10 Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 2002. Le système canadien de classification des sols, 3<sup>e</sup> édition, Presses scientifiques du CNRC, Ottawa, Canada, 196 p.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control. Volume: 19, No. 6.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes et M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop Requirements. FAO Irrigation and drainage no. 56, Food and Agriculture organization, Rome 333 p.
- American Society of Civil Engineering (ASCE), 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report of ASCE Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, American Society of Civil Engineering, 59 p.
- Bergeron, D., C. Boivin, S. Bonin, C. Côté, I. Couture, P. Deschênes, M. Généreux, A. Lamontagne, C. Landry, M. Marchand-Roy, J. Vallée. 2018. Guide technique - Gestion raisonnée de l'irrigation CRAAQ. 320 p.
- Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ), 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. CPVQ, Québec, Agdex 533, méthode SS-1.
- Deslauriers, M. 2023, Communication personnelle, Directeur des ventes, Norseco.
- Gee, G.W. et J.W. Bauder, 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed) Methods of soil analysis, Part 1. ASA, Monograph No 9, 2nd edition, Madison, WI.
- Gibouleau, J. 2023. Communication personnelle, Les productions Margiric.
- Gouvernement du Canada, 2023. Résultats de station - Normales et moyennes climatiques de 1981-2010, [En ligne], [https://climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/station\\_select\\_1981\\_2010\\_f.html?searchType=stnProx&txtRadius=25&selCity=&selPark=&txtCentralLatDeg=&txtCentralLatMin=&txtCentralLatSec=&txtCentralLongDeg=&txtCentralLongMin=&txtCentralLongSec=&optProxType=decimal&txtLatDecDeg=45%2C6488&txtLongDecDeg=-73%2C72619](https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/station_select_1981_2010_f.html?searchType=stnProx&txtRadius=25&selCity=&selPark=&txtCentralLatDeg=&txtCentralLatMin=&txtCentralLatSec=&txtCentralLongDeg=&txtCentralLongMin=&txtCentralLongSec=&optProxType=decimal&txtLatDecDeg=45%2C6488&txtLongDecDeg=-73%2C72619), page consultée le 9 mars 2023.
- Hazera, 2023. Wolfman, [En ligne], <https://us.hazera.com/crops/wolfman/>, page consultée le 9 mars 2023.
- Marion, G. M. (1996). Temperature enhancement experiments. In U. Molau, & P. Mølgaard (Eds.), ITEX manual (pp. 17–22). Copenhagen, Denmark: Danish Polar Center.
- Norseco, 2023. Catalogue – Production maraîchère, saison 2023, [En ligne], <https://norseco.shelfpublication.com/francais/0000713/10>, page consultée le 9 mars 2023.
- Sakata, non daté. Broccoli, [En ligne], <https://sakatavegetables.com/vegetable/broccoli/>, page consultée le 9 mars 2023.
- Siomos, A.S., K. Koularmanis et P. Tsouvaltzis, The Impacts of the Emerging Climate Change on Broccoli (Brassica oleracea L. var. italica Plenck.) Crop. Horticulturae 2022, 8, 1032.
- Welshofer, K.B, P.L. Zarnetske, N. K. Lany et L.A.E Thompson, 2017. Open-top chambers for temperature manipulation in taller-stature plant communities, Methods on Ecology and Evolution, volume 9, no. 2, p.254-259.



## 11 ANNEXE

Tableau 6. Description commerciale des variétés utilisées pour l'essai.

Variété	Maturité (jours)	Saison de récolte	Forme de l'inflorescence	Utilisation	Description
BC 1764	76	Printemps-automne	Dômée	Bouquet, couronne	Variété qui démontre une bonne tolérance à la chaleur. Bonne alternative à Green Magic en raison de l'incidence moins élevée de « cat eye ».
Diamante	105*	Été - Automne	Dômée	Couronne, transformation	Excellent choix pour la couronne et la transformation. Belle couleur bleu-vert qui perdure même après la récolte.
Eastern Crown	74	Été - Automne	Dômée	Couronne	Variété hors du commun qui produit des têtes bleu-vert à petits grains raffinées qui tolèrent très bien la chaleur. Plant compact qui donne un excellent rendement pour le marché de la couronne.
Emerald Crown	80	Été - Automne	Dômée	Couronne	Têtes fermes avec de petits grains. Ne devient pas pourpre sous l'effet du froid.
Emerald Star	105*	Printemps-automne	Dômée	Couronne	Variété produisant des inflorescences serrées et fermes de couleur bleu-vert. Plant ouvert facilitant la récolte.
FBC 6317 (Kingdom)	71	Printemps-automne	Dômée	Couronne	Variété impressionnante qui se démarque par sa très grande uniformité en maturité et en forme. Tête vert foncé, aux grains de grosseur moyenne, ferme et bien dômée, sur un petit plant ouvert. Un brocoli de grande qualité pour commencer et finir la saison.
Green Magic	80	Printemps-automne	Dômée	Bouquet, couronne	Variété uniforme et tolérante à la chaleur.
Imperial	88	Été - Automne	Dômée	Bouquet, couronne	Type Diplomat, tolérant à la chaleur. Faible pourcentage de cœurs creux.
Millenium	105*	Printemps - Été - Automne	Dômée	Bouquet, couronne	Bonne tolérance à la chaleur, ne devient pas pourpre sous l'effet du froid. Belle couleur bleu-vert qui perdure même après la récolte.
Wolfman	90 à 120	n.d.	Dômée	n.d.	Récolte uniforme pour le marché frais.

\*Nombre de jours à maturité à partir de la graine. Le nombre de jours moyen est calculé en fonction d'une culture automnale de brocoli situé à Salinas en Californie.

(Tableau tiré de Sakata, non daté; Hazera, 2023; Norseco, 2023)

Tableau 7. Gain de température quotidien engendré par l'utilisation des tunnels, saison 2021-2022.

Année	Essai	Date	Écart de température quotidien (°C) <sup>1</sup>				
			Minimum <sup>2</sup>	Maximum <sup>2</sup>	Moyenne <sup>2</sup>		
2021	1	3 juin	-1,1	1,1	0,3		
		4 juin	-0,1	1,4	0,6		
		5 juin	-0,3	1,4	0,2		
		6 juin	-0,2	1,8	0,9		
		7 juin	-0,2	1,9	0,7		
		8 juin	-0,1	2,1	0,7		
		9 juin	-0,7	3,5	0,8		
		10 juin	-0,6	2,5	0,3		
		11 juin	-0,1	8,0	1,1		
		12 juin	-0,5	10,9	3,5		
		13 juin	-0,5	8,6	3,5		
		14 juin	0,3	6,8	1,6		
		15 juin	-1,0	7,6	2,2		
		16 juin	-0,3	7,0	2,7		
		17 juin	-0,4	6,6	2,7		
		18 juin	-0,6	5,4	1,1		
		19 juin	0,0	2,1	0,7		
		20 juin	-0,1	-0,1	-0,1		
		21 juin	0,0	0,0	0,0		
		2022	2	31 mai	-0,09	2,14	1,37
				1 juin	-0,21	2,62	1,13
2 juin	-0,34			11,48	3,89		
3 juin	0,17			7,83	2,87		
4 juin	0,17			4,16	1,05		
5 juin	n.d.			n.d.	n.d.		
6 juin	-0,13			8,92	0,98		
7 juin	0,09			8,47	1,71		
8 juin	-0,04			5,23	1,67		
9 juin	0,28			8,41	1,86		
10 juin	-0,34			3,39	0,93		
11 juin	-0,47			5,02	1,77		
12 juin	0,19			5,58	1,70		
13 juin	0,06			2,57	0,97		
14 juin	-0,19			3,86	1,31		
15 juin	-0,13			3,56	1,40		
16 juin	0,13			2,79	0,66		
17 juin	1,05			1,42	0,32		
18 juin	-0,21			1,46	0,19		
19 juin	-0,62			0,73	0,25		
20 juin	-0,24			0,32	-0,11		
21 juin	-0,22			0,06	0,10		
22 juin	0,26			3,41	0,69		
23 juin	0,60			1,12	0,84		
24 juin	0,21			2,75	1,42		
25 juin	-2,64			5,04	1,85		
26 juin	1,42			4,78	2,71		
27 juin	-0,62	1,97	0,91				

28 juin	0,06	1,72	0,62
29 juin	-0,71	1,22	0,24
30 juin	0,15	1,93	0,75
1 juillet	-0,04	2,60	0,38
2 juillet	-0,84	1,50	-0,01
3 juillet	-0,56	0,28	-0,06
4 juillet	-0,49	1,61	0,38
5 juillet	-0,54	2,40	0,32
6 au 10 juillet		Ouverts temporairement	
11 juillet	0,15	1,27	-0,35
12 juillet	0,60	0,79	0,27
13 juillet	0,00	0,17	0,21
14 juillet	0,04	1,50	0,69
15 juillet		Ouverts temporairement	
16 juillet	-0,36	-0,13	-0,44
17 juillet	0,00	-0,21	-0,10
18 juillet	0,49	0,24	0,25
19 juillet	0,17	0,34	0,18
20 juillet		Ouverts temporairement	
21 juillet	0,04	0,02	-0,47
22 juillet	-0,11	0,62	-0,19
23 juillet	-0,26	0,11	-0,44
24 juillet	0,24	0,13	-0,03
4 août	-0,09	2,62	0,28
5 août	0,97	6,48	2,13
6 août	-0,09	5,96	2,46
7 août	1,52	4,23	1,30
8 août	0,52	1,37	0,88
9 août	0,37	3,90	1,40
10 août	0,43	3,93	1,77
11 août	0,41	6,50	1,23
12 août	-0,13	2,85	0,80
13 août	0,09	4,38	2,10
14 août	0,66	4,66	2,08
15 août	0,26	4,23	1,54
16 août	0,02	0,64	0,49
17 août	-0,49	2,04	0,48
18 août	-0,09	3,69	0,98
19 août	0,11	3,35	0,80
20 août	-0,41	4,81	1,20
21 août	0,21	4,33	1,82
22 au 24 août		Ouverts temporairement	
25 août	-0,09	3,80	1,01
26 août	0,00	1,87	0,64
27 août	0,58	4,85	1,18
28 août	0,32	3,60	1,78
29 août	0,32	1,65	0,70
30 août	0,75	1,07	0,48
31 août	0,34	2,85	0,79
1 septembre	-0,71	1,05	0,74
2 septembre	0,36	2,49	0,84
3 septembre	0,11	1,01	0,80
4 septembre	-0,02	3,24	0,66
5 septembre	-0,24	0,15	-0,04

3

6 septembre	-0,17	0,32	-0,01
7 septembre	0,19	2,55	1,06
8 septembre	-0,04	2,49	0,63
9 septembre	-0,06	1,67	0,73
10 septembre	0,09	2,55	0,78
11 septembre	0,11	1,37	0,28
12 septembre	-0,06	1,03	0,81
13 septembre	0,32	0,67	0,25
14 septembre	-0,02	1,89	0,90
15 septembre	-0,21	3,80	1,20
16 septembre	0,56	3,09	1,30
17 septembre	0,19	2,87	1,19
18 septembre	0,28	0,39	0,38
19 septembre	0,54	0,41	0,48
20 septembre	0,51	2,04	0,87
21 septembre	0,43	1,18	0,47
22 septembre		Ouverts temporairement	
23 septembre	-0,71	2,25	0,48
24 septembre	-0,73	1,35	-0,04
25 septembre	-0,52	1,65	0,11
26 septembre	0,56	2,36	0,60
27 septembre	0,32	2,17	0,63
28 septembre		Ouverts temporairement	
29 septembre	-0,43	4,44	1,07
30 septembre	0,32	3,35	0,84
1 octobre	-0,30	2,57	0,38
2 octobre	0,00	1,63	0,64
3 octobre	0,67	4,35	1,72
4 octobre		Ouverts temporairement	
5 octobre	-0,11	3,62	1,38
6 octobre	-1,07	3,24	0,34
7 octobre	-0,49	2,75	0,36
8 octobre	-0,28	2,53	0,40
9 octobre	-0,60	3,54	0,66
10 octobre	-0,69	6,35	1,65
11 octobre	0,09	3,93	1,07
12 octobre	0,02	1,48	-0,16
13 octobre	-1,37	0,60	-0,67

<sup>1</sup> Représente l'écart de température entre le tunnel et le sans tunnel.

<sup>2</sup> Température minimale, maximale ou moyenne quotidienne (24 heures) mesurée dans le tunnel et à l'extérieur du tunnel sur la butte. Lorsque plusieurs sondes par traitement étaient installées, la température moyenne par traitement a été calculée.

Tableau 8. Registre complet des épisodes d'irrigation selon l'essai.

Année	Essai	Date avec irrigation(s)	Nombre d'épisode(s)	Durée totale épisode(s) (minutes)	Volume total (l)	Hauteur d'eau totale (mm)
2021	1	1 juin	1	30	253,8	0,9
		5 juin	1	30	253,8	0,9
		6 juin	1	30	253,8	0,9
		7 juin	1	30	253,8	0,9
		8 juin	1	30	253,8	0,9
		9 juin	1	30	253,8	0,9
		11 juin	1	30	253,8	0,9
		12 juin	1	30	253,8	0,9
		13 juin	1	30	253,8	0,9
		15 juin	1	35	296,0	1,0
		16 juin	1	30	253,8	0,9
		17 juin	1	30	253,8	0,9
		18 juin	2	60	507,5	1,8
		19 juin	1	30	253,8	0,9
		20 juin	1	45	380,6	1,3
		21 juin	2	60	507,5	1,8
		22 juin	1	30	253,8	0,9
		23 juin	2	60	507,5	1,8
		24 juin	1	45	380,6	1,3
		25 juin	1	45	380,6	1,3
		26 juin	1	45	380,6	1,3
		29 juin	1	45	380,6	1,3
		1 juillet	1	45	380,6	1,3
		2 juillet	2	90	761,3	2,7
		3 juillet	2	90	761,3	2,7
		4 juillet	2	90	761,3	2,7
		5 juillet	3	135	1 141,9	4,0
		6 juillet	2	90	761,3	2,7
		7 juillet	2	90	761,3	2,7
		8 juillet	3	135	1 141,9	4,0
		10 juillet	1	45	380,6	1,3
		11 juillet	2	90	761,3	2,7
		12 juillet	2	90	761,3	2,7
		13 juillet	3	135	1 141,9	4,0
		15 juillet	3	136	1 150,3	4,0
		16 juillet	2	90	761,3	2,7
		18 juillet	2	90	761,3	2,7
		19 juillet	1	45	380,6	1,3
		20 juillet	1	45	380,6	1,3
		21 juillet	1	45	380,6	1,3
		22 juillet	2	90	761,3	2,7
		23 juillet	2	77	651,3	2,3
		30 juillet	1	45	380,6	1,3
		Cumulatif 43 jours	65	2618	22 144,2	77,6
2022	2	22 mai	1	15	422,1	0,4
		23 mai	1	15	422,1	0,4
		24 mai	1	15	422,1	0,4
		25 mai	1	15	422,1	0,4

31 mai	1	20	562,8	0,6
2 juin	1	15	422,1	0,4
3 juin	1	15	422,1	0,4
4 juin	1	15	422,1	0,4
5 juin	1	15	422,1	0,4
6 juin	1	15	422,1	0,4
7 juin	1	20	562,8	0,6
11 juin	1	20	562,8	0,6
12 juin	1	20	562,8	0,6
13 juin	2	40	1 125,6	1,2
14 juin	1	25	703,5	0,7
15 juin	2	60	1 688,4	1,8
16 juin	1	45	1 266,3	1,3
17 juin	1	45	1 266,3	1,3
18 juin	1	45	1 266,3	1,3
19 juin	1	45	1 266,3	1,3
20 juin	2	75	2 110,5	2,2
21 juin	3	120	3 376,9	3,6
22 juin	2	75	2 110,5	2,2
24 juin	1	45	1 266,3	1,3
25 juin	3	120	3 376,9	3,6
26 juin	2	90	2 532,6	2,7
27 juin	2	75	2 110,5	2,2
28 juin	2	75	2 110,5	2,2
29 juin	1	45	1 266,3	1,3
30 juin	3	135	3 799,0	4,0
1 juillet	3	120	3 376,9	3,6
2 juillet	3	135	3 799,0	4,0
3 juillet	2	90	2 532,6	2,7
4 juillet	3	135	3 799,0	4,0
5 juillet	3	120	3 376,9	3,6
6 juillet	3	135	3 799,0	4,0
7 juillet	2	90	2 532,6	2,7
8 juillet	3	135	3 799,0	4,0
9 juillet	2	90	2 532,6	2,7
10 juillet	2	90	2 532,6	2,7
11 juillet	2	90	2 532,6	2,7
13 juillet	2	90	2 532,6	2,7
14 juillet	3	135	3 799,0	4,0
15 juillet	4	136	3 827,1	4,0
16 juillet	2	90	2 532,6	2,7
17 juillet	2	90	2 532,6	2,7
18 juillet	3	135	3 799,0	4,0
19 juillet	1	45	1 266,3	1,3
20 juillet	2	90	2 532,6	2,7
21 juillet	2	90	2 532,6	2,7
22 juillet	2	90	2 532,6	2,7
23 juillet	2	90	2 532,6	2,7
24 juillet	2	90	2 532,6	2,7
Cumulatif 53 jours	98	3 776	106 258,7	112,0
28 juillet	1	20	562,8	0,6
29 juillet	1	20	562,8	0,6
30 juillet	1	20	562,8	0,6
31 juillet	1	20	562,8	0,6
1 août	1	25	703,5	0,7
2 août	1	25	703,5	0,7

3

4 août	1	30	844,2	0,9	
5 août	1	30	844,2	0,9	
6 août	1	30	844,2	0,9	
7 août	1	30	844,2	0,9	
8 août	1	30	844,2	0,9	
10 août	1	30	844,2	0,9	
11 août	1	30	844,2	0,9	
13 août	1	30	844,2	0,9	
14 août	2	90	2 532,6	2,7	
15 août	2	90	2 532,6	2,7	
16 août	2	90	2 532,6	2,7	
17 août	2	90	2 532,6	2,7	
18 août	2	90	2 532,6	2,7	
19 août	2	90	2 532,6	2,7	
20 août	2	90	2 532,6	2,7	
21 août	2	90	2 532,6	2,7	
22 août	1	45	1 266,3	1,3	
23 août	1	45	1 266,3	1,3	
24 août	1	15	422,1	0,4	
27 août	1	45	1 266,3	1,3	
28 août	2	75	2 110,5	2,2	
29 août	1	45	1 266,3	1,3	
30 août	2	90	2 532,6	2,7	
1 septembre	2	61	1 716,6	1,8	
3 septembre	2	90	2 532,6	2,7	
4 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
5 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
8 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
9 septembre	2	90	2 532,6	2,7	
10 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
11 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
13 septembre	2	90	2 532,6	2,7	
16 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
17 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
21 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
29 septembre	1	45	1 266,3	1,3	
1 octobre	1	45	1 266,3	1,3	
6 octobre	1	45	1 266,3	1,3	
9 octobre	1	45	1 266,3	1,3	
13 octobre	1	30	844,2	0,9	
Cumulatif	46 jours	60	2 351	66 158,4	69,7

Tableau 9. Biomasse aérienne totale (kg), rendement total par plant (kg), rendement vendable par plant (kg) ainsi que le diamètre de l'inflorescence (cm) selon l'essai, le cultivar et le traitement. (effet du traitement non significatif à  $p \leq 0,05$ )

Essai	Cultivar	Biomasse aérienne totale		Rendement total par plant		Rendement vendable par plant		Diamètre de l'inflorescence (cm)	
		(kg)							
		Avec tunnel	Sans tunnel	Avec tunnel	Sans tunnel	Avec tunnel	Sans tunnel	Avec tunnel	Sans tunnel
1	BC 1764	1,11	0,99	0,29	0,23	0,20	0	17,5	14,4
	Diamante	1,72	1,53	0,34	0,29	0,35	0,30	16,2	15,0
	Eastern Crown	1,24	1,04	0,28	0,30	0,29	0,30	14,8	15,1
	Emerald Crown	1,20	1,11	0,33	0,30	0,29	0,28	15,2	14,6
	Emerald Star	1,17	0,80	0,24	0,12	0,24	0,10	14,6	6,5
	FBC 6317	0,87	0,83	0,27	0,28	0,14	0,22	15,4	15,8
	Green Magic	1,18	1,18	0,28	0,29	0,16	0	14,3	15,0
	Imperial	1,33	1,25	0,29	0,28	0,25	0,26	14,6	15,7
	Millenium	1,29	1,28	0,22	0,26	0,22	0,26	12,8	14,2
	Wolfman	1,15	1,16	0,20	0,20	0,20	0,19	14,9	14,9
2	BC 1764	0,55	0,57	0,17	0,15	0,17	0,14	14,2	13,2
	Diamante	0,61	0,74	0,13	0,16	0,16	0,15	10,2	10,1
	Eastern Crown	0,59	0,64	0,17	0,17	0,18	0,19	11,9	11,8
	Emerald Crown	0,55	0,67	0,17	0,18	0,17	0,19	12,1	12,1
	Emerald Star	0,50	0,57	0,11	0,13	0,00	0,14	10,0	10,7
	FBC 6317	0,50	0,52	0,18	0,16	0,18	0,15	13,4	11,7
	Green Magic	0,57	0,58	0,15	0,13	0,15	0,08	11,6	9,7
	Imperial	0,50	0,69	0,11	0,12	0,10	0,12	9,8	9,8
	Millenium	0,55	0,53	0,13	0,11	0,07	0,09	9,5	9,2
	Wolfman	0,59	0,62	0,12	0,12	0,12	0,15	11,7	11,8
3	BC 1764	0,61	0,65	0,13	0,17	0	0,16	12,3	13,5
	Diamante	0,69	0,78	0,12	0,13	0,09	0,13	10,0	9,1
	Eastern Crown	0,60	0,68	0,13	0,13	0,12	0,12	10,5	9,6
	Emerald Crown	0,56	0,59	0,10	0,13	0,10	0,11	10,2	9,9
	Emerald Star	0,56	0,62	0,11	0,13	0,10	0,16	8,9	8,6
	FBC 6317	0,53	0,57	0,16	0,15	0,08	0,11	12,5	10,9
	Green Magic	0,66	0,77	0,12	0,14	0,12	0,13	10,8	11,1
	Imperial	0,63	0,72	0,10	0,12	0,09	0,12	9,2	8,9
	Millenium	0,64	0,65	0,13	0,12	0,12	0,13	9,6	9,2
	Wolfman	0,64	0,68	0,09	0,10	0,10	0,10	9,2	8,8





Figure 23. Brocolis en serre avant la transplantation.



Figure 24. Tunnelflex installé dans le dispositif 2021.





Figure 25. Vue générale du dispositif lors de l'implantation, 2021.



Figure 26. Vue générale du dispositif lors de l'implantation (Essai 2), 2022





Figure 27. Station météorologique Climavue 50.





Figure 28. Installation d'une sonde TDR près d'un plant.



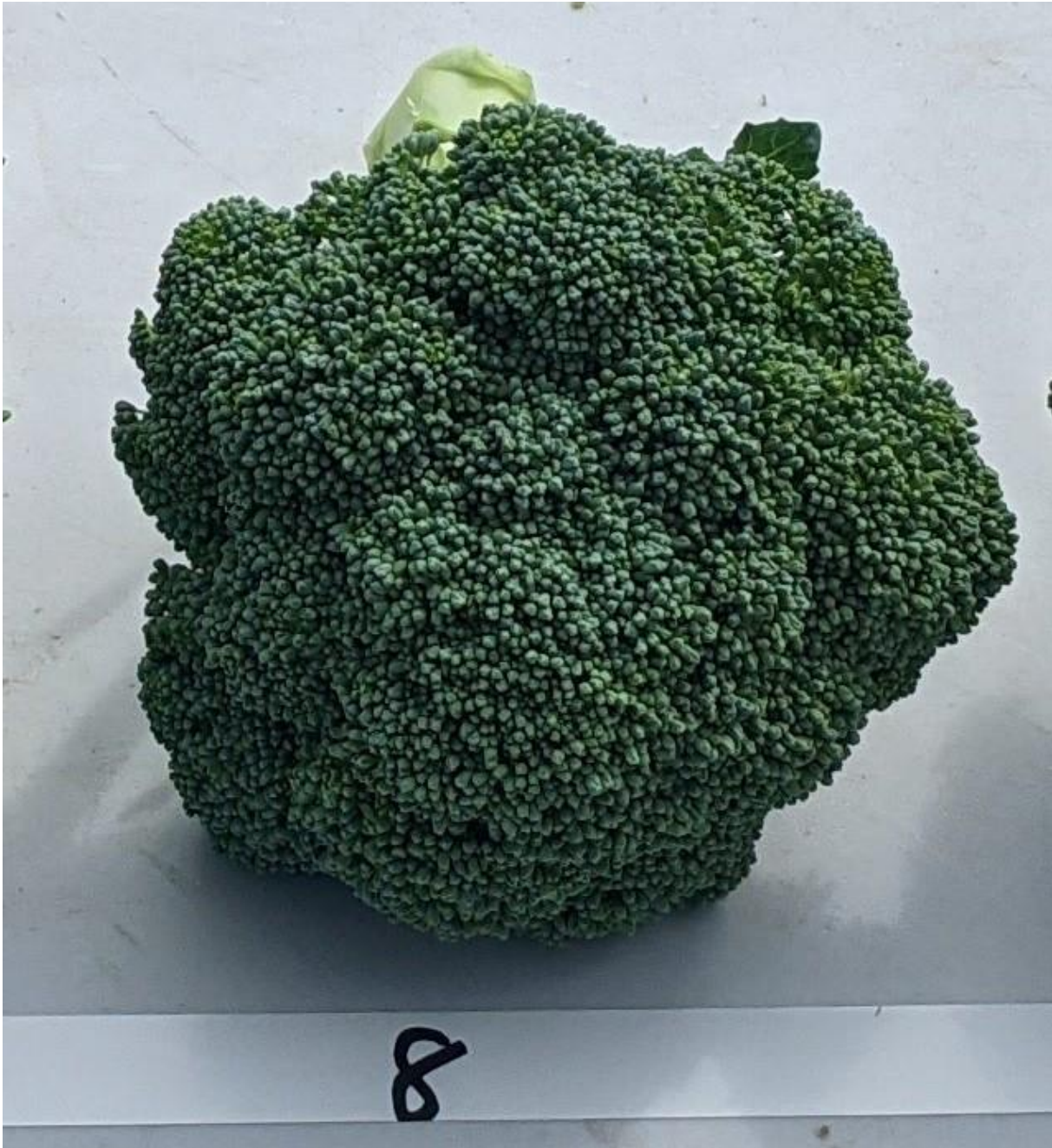


Figure 29. Exemple d'un brocoli (Emerald Crown) ayant une belle forme et une belle couleur.



Figure 30. Couronne de brocoli à gauche et bouquet à droite.





Figure 31. Exemples de brocoli (Millenium) ayant une belle forme, mais une mauvaise couleur.



Figure 32. Exemples de brocoli (Imperial) ayant une mauvaise forme, mais une belle couleur.