UCLouvain

AGRO LOUVAIN

Faculté des bioingénieurs

Impact d'un stress hydrique suivi d'une phase de récupération sur la tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*), une espèce sauvage apparentée (*Solanum chilense*) et leurs hybrides F1 et F2

Auteur : Simon Ronval

Promoteur(s) : Pr Muriel Quinet

Lecteur(s) : Pr Guillaume Lobet, Pr Stanley Lutts

Année académique 2024-2025

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de Bioingénieur en sciences agronomiques

Remerciements

Tout d'abord, je tiens sincèrement à remercier ma promotrice, Muriel Quinet, de m'avoir offert cette opportunité de réaliser mon mémoire dans ce très agréable laboratoire qu'est le GRPV. Je la remercie pour sa disponibilité tout au long de cette année et demie que j'y ai passée. Malgré le fait qu'elle déborde de mémorants à charge, elle s'est toujours montrée disponible rapidement, que ce soit pour répondre aux mails ou pour échanger de vive voix, assurant toujours un suivi de qualité.

Merci également à Pauline Moreels pour son aide rapide lorsque je l'ai sollicitée, ainsi que pour m'avoir aidé en serre et fourni des plants de tomate bien nécessaires à mon expérience.

De même, je voudrais remercier tous les autres membres que j'ai côtoyés lors de mon passage au GRPV et qui ont fait de celui-ci un moment très sympathique. En particulier, merci à Paul et Brigitte pour leur accompagnement de qualité lors de mes différentes manipulations en serre ainsi qu'en laboratoire. Merci aussi à Adrien Luyckx pour son expertise à propos de l'IRGA et pour ses réponses à mes questions. Merci enfin aux autres doctorants Nolan et Corentin pour leur contribution précieuse à l'ambiance chaleureuse et bon enfant du laboratoire.

Je remercie enfin le Pr Guillaume Lobet et le Pr Stanley Lutts d'avoir libéré de l'espace dans leur emploi du temps pour lire mon mémoire.

Enfin, merci à mes parents qui m'ont donné l'opportunité de faire des études.

Table des matières

Remerciements 2
Table des matières 4
Table des figures 7
Table des tableaux 9
Liste des acronymes 10
1. Introduction 11
2. Revue de la littérature 13
2.1 Un contexte de changement climatique 13
2.1.1 La sécheresse et ses impacts sur l'agriculture 13
2.2 Le stress hydrique 14
2.2.1 Définition du stress hydrique 14
2.2.2 L'impact du stress hydrique sur les plantes 15
2.2.3 La réponse des plantes face au stress hydrique 16
2.2.4 Les différentes manières d'évaluer et d'appliquer un stress hydrique 19
2.3 La tomate 20
2.3.1 Le genre *Solanum* 20
2.3.2 La tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*) 20
2.3.3 L'amélioration de la tomate cultivée 22
2.3.4 Une tomate sauvage prometteuse pour l'amélioration : *Solanum chilense* 23
2.3.5 *S. lycopersicum* et *S. chilense* face au stress hydrique 25
2.3.6 L'hybridation entre *S. lycopersicum* et *S. chilense* 25
3. Matériel et méthodes 28
3.1 Matériel végétal et conditions de culture 28
3.2 Conditions environnementales de la culture 30
3.2.1 Evolution de la température dans la serre 30
3.2.2 Evolution de l'humidité relative dans la serre 31
3.2.3 Teneur en eau du terreau 31
3.3 Mesures morphologiques 32
3.3.1 Nombre de feuilles 32
3.3.2 Poids secs, poids frais et contenu en eau 32
3.3.3 Surface foliaire 32
3.4 Mesures physiologiques : photosynthèse et statut hydrique 33

3.4.1 PNA (Plant nutritional analyzer) 33
3.4.2 Conductance stomatique 33
3.4.3 Paramètres liés à la photosynthèse : IRGA (Infrared gas analyzer) 33
3.4.4 Potentiel hydrique 34
3.4.5 Potentiel osmotique 34
3.5 Dosages biochimiques 35
3.5.1 Teneur en proline 35
3.5.2 Teneur en sucres solubles 36
3.6 Analyses statistique 37
4. Résultats 38
4.1 Paramètres liés à la croissance 38
4.1.1 Production de feuilles 38
4.1.2 Biomasse produite et contenu en eau 40
4.1.3 Surface foliaire 43
4.2 Photosynthèse et statut hydrique 44
4.2.1 Conductance stomatique 44
4.2.2 Taux de transpiration 47
4.2.3 Photosynthèse nette 48
4.2.4 Rendement quantique du photosystème II 49
4.2.5 Température foliaire et teneur en chlorophylle 50
4.2.6 Potentiels hydriques et osmotiques 53
4.3 Paramètres biochimiques 54
4.3.1 Quantité de proline et de sucres solubles totaux 54
4.4 Analyse en composantes principales (ACP) des différentes générations pour les deux régimes hydriques en fonction des données morphologiques et physiologiques 56
5. Discussion 59
5.1 L'impact du stress hydrique et de la réhydratation sur *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 59
5.1.1 Au niveau morphologique 59
5.1.2 Au niveau physiologique 61
5.2 Variabilité au sein de la F1 et de la F2 65
5.3 Perspectives dans l'hybridation de la tomate cultivée avec *S. chilense* dans un objectif de résistance à la sécheresse 67
5.4 Limites méthodologiques 68
6. Conclusion 70

7. Références bibliographiques 72
8. Annexes 80

Annexe 1 : Teneur en eau du terreau (%) au début de l'expérience, au début de la phase de récupération ainsi qu'à la fin de la phase de récupération chez les plantes stressées et témoins de *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2..... 80
Annexe 2 : Effet d'un stress hydrique sur la vitesse de transport des électrons (µmol d'électrons.m^{-2}.s^{-1}) mesurée à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2)..... 81
Annexe 3 : Effet d'un stress hydrique sur le taux de transpiration (mmol.m^{-2}.s^{-1}) mesuré à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2)..... 81
Annexe 4 : Effet d'un stress hydrique sur la vitesse de transport des électrons (µmol d'e^{-}.m^{-2}.s^{-1}) mesurée à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2). 82
Annexe 5 : Effet d'un stress hydrique sur le potentiel hydrique (MPa) et le potentiel osmotique (MPa) mesurés à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) 82

Table des figures

Figure 1 : Répartition mondiale des niveaux de vulnérabilité à la sécheresse..... 14
Figure 2 : Répartition de la production mondiale de tomates en 2022 (en tonnes) 21
Figure 3 : Différents organes de *S. lycopersicum*. Plants entiers (A), système racinaire (B) et inflorescence (avec ordre d'initiation des fleurs)..... 22
Figure 4 : S. chilense et ses organes aériens. *S. chilense* dans un de ses habitats naturels (A), feuilles, fleurs et fruits de l'espèce (B), *S. chilense* en serre (C)..... 24
Figure 5 : Méthodes de sélection avec un parent sauvage (en rouge) et un parent cultivé (en bleu). RIL (Recombinant Inbred Line), BIL (Backcross Inbred Line), CSSL (Chromosome Segment Substitution Line et NIL (Near Isogenic Line). AA = chromosomes d'intérêt de l'espèce sauvage, BB = chromosomes de l'espèce cultivée, BC = Backcross..... 27
Figure 6 : Répartition des plantes sur la paillasse de la serre tout au long de l'expérience..... 29
Figure 7 : Schéma temporel de l'expérience 29
Figure 8 : Évolution de la température journalière moyenne dans la serre (°C) entre le 1er octobre 2023 et le 30 novembre 2023 30
Figure 9 : Évolution de l'humidité relative journalière moyenne dans la serre (%) entre le 1er octobre et le 30 novembre 2023 31
Figure 10 : Impact d'un stress hydrique et d'une phase de récupération sur l'évolution du nombre de feuilles au cours du temps chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2. (A) comparaison des différentes générations (*S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2), (B) comparaison des différents génotypes de la F1, (C) comparaison des différents génotypes de la F2..... 39
Figure 11 : Impact d'un stress hydrique sur la surface foliaire (cm^2) mesurée à la fin de l'expérience, chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 (A) ainsi que chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B) 43
Figure 12 : Effet d'un stress hydrique sur la conductance stomatique ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$) chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2, mesurée à la fin de la période de stress (A) et à la fin de la période de récupération (B)..... 45
Figure 13 : Effet d'un stress hydrique sur la conductance stomatique ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$) chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2), mesurée à la fin de la période de stress (A) et à la fin de la période de récupération (B)..... 46

Figure 14 : Influence d'un stress hydrique sur le taux de transpiration (mmol.m^{-2}.s^{-1}) mesuré à la fin de l'expérience chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 47
Figure 15 : Influence d'un stress hydrique sur la photosynthèse nette (µmol.m^{-2}.s^{-1}) mesurée à la fin de l'expérience chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 (A) et chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B) 48
Figure 16 : Effet d'un stress hydrique sur le rendement quantique du photosystème II (µmol d'électrons/µmol de photons) mesuré à la fin de l'expérience chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 (A) et chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B) 49
Figure 17 : Impact d'un stress hydrique sur le potentiel hydrique (MPa) (A) ainsi que sur le potentiel osmotique (B) mesurés en fin d'expérience chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 53
Figure 18 : Effet d'un stress hydrique sur la quantité de proline (mmol/g de matière fraîche) (A) et sur la quantité de sucres solubles (mg/g de matière fraîche) (B) chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2 54
Figure 19 : ACP des paramètres morphologiques et physiologiques en fonction de la génération et du régime hydrique. Cercle de corrélation entre variables (A), graphe des individus (B), clustering des individus (C) 57

Table des tableaux

Tableau 1 : Poids secs et contenu en eau des feuilles, tiges et racines des plantes pour les deux régimes hydriques chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2, à la fin de l'expérience 40
Tableau 2 : Poids secs et contenu en eau des feuilles, tiges et racines des plantes pour les deux régimes hydriques chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2), à la fin de l'expérience 42
Tableau 3 : Température foliaire (°C) et teneur en chlorophylle (unités SPAD) mesurées à la fin de la période de stress ainsi qu'à la fin de la période de récupération pour les deux régimes hydriques, chez *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2..... 50
Tableau 4 : Température foliaire (°C) et teneur en chlorophylle (unités SPAD) mesurées à la fin de la période de stress ainsi qu'à la fin de la période de récupération pour les deux régimes hydriques, chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2)..... 52

Liste des acronymes

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ROS : Reactive oxygen species

WUE : Water use efficiency

ABA : Acide abscissique

CC : Capacité au champ

QTL : Quantitative trait loci

RILs : Recombinant inbred lines

NILs : Near isogenic lines

VWC : Volumetric water content

PNA : Plant nutritional analyzer

IRGA : Infrared gas analyzer

PSII : Photosystème 2

ANOVA : Analysis of variance

ACP : Analyse en composantes principales

1. Introduction

Nous traversons indéniablement une période de changement climatique à l'échelle du globe. Par rapport à l'ère préindustrielle, nous avons drastiquement augmenté nos émissions de gaz à effet de serre de telle sorte que la planète s'est réchauffée depuis 1900 de 1,1 °C en moyenne (Climat.be, 2024). Aujourd'hui, à cause de ce changement climatique, nous observons à une fréquence de plus en plus importante des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les sécheresses (GIEC, 2021). Ces phénomènes représentent une menace sur les rendements et la qualité des récoltes à l'échelle mondiale (FAO, 2024).

La sécheresse est définie comme étant un déficit anormal, sur une période prolongée, d'au moins une des composantes du cycle hydrologique terrestre (INRAE, 2024). C'est un facteur environnemental qui impacte directement la productivité agricole (Koch, 2018 ; Murshed et al., 2008 ; Niyazova & Huseynova, 2024 ; Ullah et al., 2016). La disponibilité en eau est en effet le principal facteur qui restreint la croissance des plantes (Climat.be, 2024). Les sécheresses représentent un coût économique important, qui est en constante augmentation en Europe ces 20 dernières années (UNCCD, 2023). Cette hausse dans leur fréquence d'occurrence est donc un des problèmes sociétaux majeurs engendrés par le changement climatique.

La tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*) revêt une importance économique majeure, elle est le premier produit d'horticulture dans le monde en termes de quantité produite (Bigot, 2023). Consécutivement à son succès rapide dès son arrivée en Europe, la tomate a connu une domestication intense (Bai & Lindhout, 2007). Cette domestication s'est surtout faite dans le but d'améliorer des caractéristiques liées au rendement et à la qualité du fruit (Bai & Lindhout, 2007). La tomate cultivée a, en conséquence de cette sélection, subi un goulot d'étranglement génétique qui lui a fait perdre des traits qui lui conféraient une certaine résistance aux stress abiotiques comme la sécheresse peut en engendrer (Bigot, 2023). La tomate cultivée est aujourd'hui une culture très sensible au manque d'eau (Krishna et al., 2022).

La sélection pour la résistance aux stress abiotiques est difficile à réaliser au sein même de l'espèce *lycopersicum* car celle-ci contient très peu de diversité génétique (Bai & Lindhout, 2007 ; Krishna et al., 2022). C'est pourquoi il est intéressant d'aller chercher de la diversité génétique présente dans des tomates sauvages apparentées à *S. lycopersicum* comme *Solanum chilense*. *S. chilense* est une espèce sauvage prometteuse, elle est en effet résistante à la sécheresse, car elle est capable de prospérer dans des environnements extrêmement arides (Chetelat et al., 2009). Cette espèce est aussi très diversifiée génétiquement parlant (Bai & Lindhout, 2007). Pour ces raisons, elle est une candidate intéressante pour l'introgression de gènes de résistance dans la tomate cultivée.

S. chilense n'a pas encore été utilisée pour améliorer la résistance aux stress abiotiques chez la tomate cultivée (Bigot et al., 2023). Elle est assez laborieuse à manipuler pour la recherche, entre autres car elle a un aspect buissonnant et une structure assez fragile (Bigot, 2023). Dans les programmes de sélection, des espèces comme *S. pennellii* ou *S. pimpinellifolium* lui sont souvent préférées (Bigot, 2023).

De même, très peu d'études se sont intéressées aux hybrides issus du croisement entre *S. lycopersicum* et *S. chilense*. Pourtant, la compréhension du comportement des hybrides face à un stress hydrique est cruciale si nous voulons mettre en place des programmes d'amélioration en utilisant *S. chilense*. Pour ces raisons, ce travail s'est penché également sur la question des hybrides, plus précisément sur une F1 et une F2 issue de l'autofécondation de cette F1. Les objectifs de ce mémoire sont dès lors les suivants :

- Étudier si, d'un point de vue morphologique et physiologique, l'impact d'un stress hydrique et d'une phase de réhydratation est différent entre *S. lycopersicum, S. chilense,* la F1 et la F2.
- Étudier si le comportement des hybrides s'approche plus de *S. lycopersicum* ou de *S. chilense*.
- Étudier s'il y a une forte variabilité de réponse dans la F1 et dans la F2, et s'il y a des différences entre les deux génotypes d'hybrides F1 et les deux génotypes d'hybrides F2, de manière à mettre en évidence des génotypes d'intérêt.

2. Revue de la littérature

2.1 Un contexte de changement climatique

Nous vivons actuellement une période de changement climatique à l'échelle planétaire. Depuis 1900, la température moyenne à la surface du globe a augmenté de 1,1 °C (Climat.be, 2024). La concentration mondiale en gaz à effet de serre a elle aussi augmenté, atteignant 410 ppm pour le $C0_2$ en 2019, un niveau plus atteint depuis au moins deux millions d'années (Climat.be, 2024). Ce changement climatique d'origine humaine est une des causes de l'augmentation de la fréquence d'apparition de nombreux phénomènes météorologiques dommageables tels que les vagues de chaleur, les précipitations extrêmes ou encore les sécheresses (GIEC, 2021).

Toujours en 2019, 22 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre étaient imputables à l'agriculture (Climat.be, 2024). L'agriculture est responsable d'une partie non négligeable des changements climatiques observés, mais elle en est aussi une des victimes directes. Bien qu'il existe des disparités au niveau mondial, les rendements sont en effet négativement affectés dans la plupart des cultures (FAO, 2024).

2.1.1 La sécheresse et ses impacts sur l'agriculture

La sécheresse est définie comme étant un déficit anormal, sur une période prolongée, d'au moins une des composantes du cycle hydrologique terrestre (INRAE, 2024). Il existe différentes déclinaisons de la sécheresse. La sécheresse météorologique correspond à un déficit prolongé dans le niveau des précipitations. La sécheresse édaphique ou agricole impacte directement la production végétale, elle est le résultat d'un manque d'eau disponible dans le sol. Enfin, il est question de sécheresse hydrologique en cas de déficit des débits des cours d'eau et de niveaux bas des nappes (INRAE, 2024). Parmi les nombreuses conséquences du changement climatique, la sécheresse est un phénomène climatique qui risque d'avoir lieu de manière de plus en plus fréquente (GIEC, 2021).

La sécheresse est la plus problématique dans les climats arides, semi-arides et tropicaux (Galmés et al., 2013). Elle est considérée comme étant un des facteurs environnementaux impactant le plus la productivité agricole mondiale (Koch, 2018 ; Murshed et al., 2008 ; Niyazova & Huseynova, 2024 ; Ullah et al., 2016). En effet, la disponibilité en eau est le principal facteur limitant dans la croissance des plantes (Climat.be, 2024). Si, en cas de sécheresse, la disponibilité directe de l'eau pour les plantes est problématique, les interdictions voire les impossibilités d'irrigation qui en résultent sont tout aussi dommageables (INRAE, 2024). 70 % des ressources en eau mondiales sont utilisées par l'agriculture, élevage compris (Conti et al., 2021).

La hausse dans la fréquence d'occurrence des sécheresses a pour effet lié à la baisse de productivité une réduction de la sécurité alimentaire (Climat.be, 2024).

Ce sont surtout les personnes vivant dans les régions les plus vulnérables qui sont menacées par les sécheresses. En 2023, il était estimé que 50 millions de personnes étaient directement affectées par la sécheresse dans la corne de l'Afrique, dont 20 millions étaient menacés par la famine (UNCCD, 2023).

Les dommages économiques liés à la sécheresse ont couté plus de 70 milliards de dollars au cours de ces 50 dernières années au seul continent africain. L'Europe n'est pas en reste avec des dommages économiques en constante augmentation dans ces 20 dernières années (UNCCD, 2023). Le changement dans la fréquence d'occurrence des sécheresses est pour toutes ces raisons un des problèmes sociétaux majeurs liés au changement climatique.

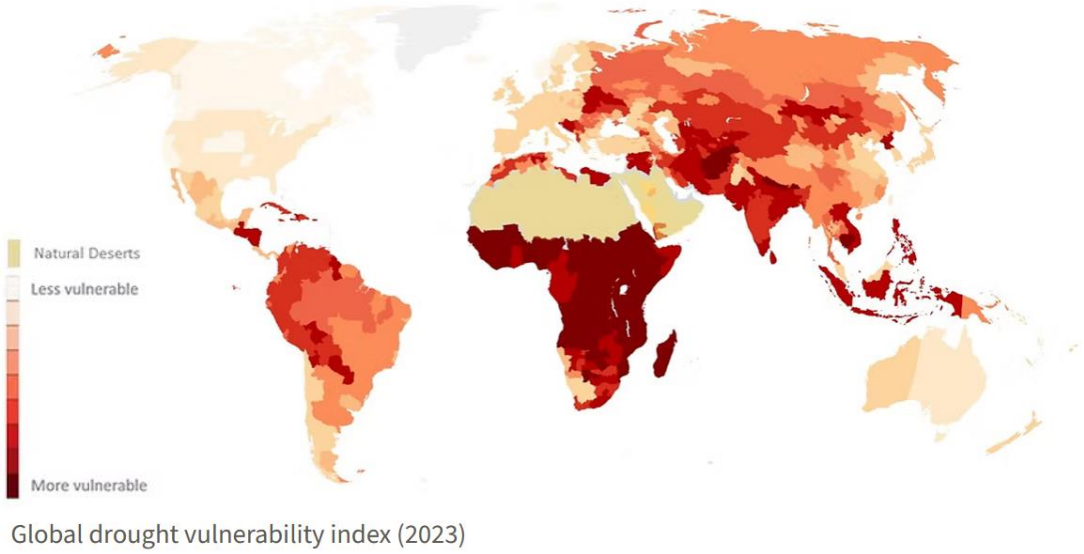


*Figure 1 : Répartition mondiale des niveaux de vulnérabilité à la sécheresse (plus la zone est foncée, plus elle est vulnérable) (*UNCCD, 2023*).*

2.2 Le stress hydrique

2.2.1 Définition du stress hydrique

À la suite d'une période de sécheresse, les plantes peuvent se retrouver dans un état de stress. Le stress, de manière générale, se définit comme étant un état d'homéostasie bousculé par un ou des stimuli externes (Lu et al., 2021). Il est important d'établir la nuance avec le terme de déficit hydrique. Celui-ci peut être défini comme le déséquilibre entre la disponibilité de l'eau et la demande en évaporation (Tardieu et al., 2011). Ainsi, une plante peut être affectée par un déficit hydrique, qui peut ensuite avoir un impact sur la croissance et le développement, c'est alors qu'il est question de stress hydrique (Koch, 2018).

2.2.2 L'impact du stress hydrique sur les plantes

L'Impact du stress hydrique sur la plante dépend de son stade de développement (Krishna et al., 2022). La phase végétative serait moins impactée par le stress que la phase reproductive (Taheri et al., 2022). Les impacts du stress hydrique se font ressentir à plusieurs niveaux chez les plantes.

Sur la photosynthèse

La photosynthèse est fortement impactée par le stress hydrique, car les stomates ont alors tendance à se fermer de manière à économiser de l'eau, influençant alors le captage du CO_2 (Billon, 2024 ; Flores-Saavedra et al., 2023). La fermeture des stomates est parfois quasiment complète aux stades de stress hydrique les plus avancés (Tamburino et al., 2017). De plus, le manque d'eau cause une dégradation des pigments photosynthétiques de par la dégradation oxydative de la membrane des thylakoïdes (Tamburino et al., 2017).

Sur le statut hydrique

L'état de stress hydrique de la plante dépend des taux relatifs d'absorption d'eau et de perte en eau plutôt que de l'approvisionnement en eau uniquement (Koch, 2018). Le contenu relatif en eau a tendance à être réduit sous stress et celui en proline, un important régulateur osmotique, accru (Ullah et al., 2016). À cause de l'absence d'une ressource en eau suffisante et accessible au niveau racinaire, la plante perd une partie de son eau et le potentiel hydrique des cellules diminue (Koch, 2018).
Le potentiel de turgescence est également réduit en cas de stress hydrique. Cette perte de turgescence peut causer une diminution importante de la croissance et de la biomasse produite (Ullah et al., 2016). En effet, l'extensibilité des cellules est alors réduite (Okunlola et al., 2015).

Sur la morphologie

Le stress hydrique réduit significativement la hauteur des plantes, le diamètre des tiges, la biomasse, l'activité photosynthétique et donc aussi le rendement des fruits (Koch, 2018 ; Ullah et al., 2016). Dans la phase initiale de la croissance, le manque d'eau affecte négativement la germination et l'élongation des tiges (Ullah et al., 2016). Le nombre de feuilles est négativement influencé par le stress hydrique et la surface foliaire est réduite (Flores-Saavedra et al., 2023 ; Ullah et al., 2016). La croissance racinaire est par contre souvent favorisée par les plantes de manière à aller chercher l'eau plus profondément (Flores-Saavedra et al., 2023).

Au niveau cellulaire, le déficit d'eau affecte la mitose et donc le développement des cellules (Conti et al., 2021). Selon Koch (2018), une contrainte hydrique du sol peut entraîner une réduction du nombre de cellules si elle intervient de façon précoce dans le développement de la feuille et une réduction de leur taille si elle intervient de façon tardive.

Toujours selon Koch (2018), si la période de contrainte hydrique du sol couvre les deux périodes de développement de la feuille (précoce et tardive), il peut y avoir à la fois une diminution du nombre de cellules et une diminution de la surface des cellules.

Le stress oxydatif

Une des causes les plus importantes du manque d'eau est la fermeture des stomates (Billon, 2024 ; Conti et al., 2021). Cette fermeture engendre plusieurs conséquences au niveau de l'ensemble de la plante dont un ajustement de la photosynthèse ou encore une accumulation d'osmolytes (Flores-Saavedra et al., 2023). Un autre effet important de la diminution de l'activité photosynthétique engendrée par la fermeture des stomates est le stress oxydatif (Murshed et al., 2008). Le phénomène de stress oxydatif est engendré par plusieurs types de stress, dont le stress hydrique. Ce stress oxydatif est la conséquence d'une mauvaise balance entre la quantité de lumière absorbée et celle utilisée pour la photochimie. Les feuilles des plantes en déficit d'eau dissipent l'énergie en trop ce qui peut engendrer la génération de ROS (Reactive oxygen species) (surtout O_2^- et H_2O_2) (Çelik et al., 2017 ; Murshed et al., 2008). Leur tendance à réagir avec d'autres molécules cause des dommages aux composants cellulaires et à la membrane des cellules par peroxydation lipidique, jusqu'à provoquer la mort de celles-ci (Çelik et al., 2017 ; Flores-Saavedra et al., 2023 ; Murshed et al., 2008 ; Niyazova & Huseynova, 2024 ; Tamburino et al., 2017). Ces ROS dégradent aussi des protéines, inactivent des enzymes importantes, etc. (Murshed et al., 2008).

2.2.3 La réponse des plantes face au stress hydrique

Traditionnellement, les stratégies des plantes pour faire face au déficit hydrique sont divisées en trois catégories : éviter la déshydratation en prévenant les pertes d'eau excessives, limiter la déshydratation en ajustant le métabolisme pour maintenir les flux d'eau, échapper à la sécheresse en achevant le cycle de vie avant la période de sécheresse (Koch, 2018). Ces stratégies sont mises en place en exprimant des gènes spécifiques qui vont induire les réponses biochimiques et physiologiques adaptées (Murshed et al., 2008). Ces réponses se déclinent à plusieurs niveaux dans la plante.

Au niveau de la photosynthèse

Un des premiers signes que montrent les plantes en cas de déficit en eau est la diminution de la conductance stomatique et la fermeture des stomates (Conti et al., 2021 ; Galmés et al., 2013 ; Koch, 2018). Ce mécanisme d'adaptation permet d'économiser l'eau, la ressource déficitaire, mais au détriment du captage du CO_2, ingrédient essentiel à la photosynthèse (Galmés et al., 2013). Même si la fermeture des stomates est dommageable pour la plante, une stratégie mise en place par celle-ci consiste à miser sur l'efficience de l'appareil photosynthétique (Koch, 2018). En effet, dans de nombreuses situations de stress hydrique modéré, la surface foliaire est diminuée sans que la photosynthèse par unité de surface soit affectée. Il en résulte une concentration en sucres solubles plus élevée (Koch, 2018).

De plus, les plantes ayant une certaine tolérance envers le stress hydrique garderaient un taux de pigments photosynthétiques plus élevé de manière à pouvoir utiliser la lumière de manière plus efficace (Tamburino et al., 2017).

En conditions de stress modéré, le taux de photosynthèse diminue plus lentement que la conductance stomatique qui diminue, elle, rapidement. De ce constat, on peut déduire une plus grande perméabilité à l'entrée de CO2 qu'à la sortie d'eau. En conséquence, une plus grande WUE (Water use efficiency) est souvent observée dans des plantes stressées (Conti et al., 2021). La WUE exprime la capacité de la plante à produire de la biomasse par unité d'eau consommée, c'est la mesure de l'efficience de l'utilisation de l'eau (Conti et al., 2021). Les plantes tolérantes au stress hydrique mettent en place des mécanismes pour augmenter leur WUE comme une diminution de la densité stomatique. Ce faisant, elles diminuent leur conductance stomatique, mais en gardant la même activité photosynthétique (Conti et al., 2021).

Enfin, la sécheresse cause chez les plantes une augmentation de la production d'ABA (Acide abscissique) endogène (Krishna et al., 2022). L'ABA provoque la fermeture des stomates. En effet, quand la plante est stressée, il va aller modifier le potentiel osmotique autour des stomates, les forçant à se fermer et réduisant ainsi la transpiration (Conti et al., 2021 ; Perveen et al., 2023). L'ABA est une hormone cruciale dans la lutte contre les stress abiotiques (Perveen et al., 2023).

Au niveau du statut hydrique

Deux comportements sont observés chez les plantes en réponse au manque d'eau. Les « water savers » sont des plantes qui réduisent leur utilisation de l'eau et gardent une croissance limitée alors que les « water spenders » sont des plantes qui gardent un plus haut taux de croissance, mais ont besoin d'une plus grande capacité de transport de l'eau (Barrera-Ayala et al., 2023).

Murshed et al. (2008) ont montré que la restriction d'eau était clairement corrélée à une diminution du contenu en eau des feuilles ainsi qu'une diminution du potentiel hydrique des feuilles. Face à un contenu en eau qui diminue, les plantes répondent en produisant des osmolytes pour maintenir la balance osmotique (proline, glycine betaine etc.) (Niyazova & Huseynova, 2024).

La transpiration est un phénomène physiologique qui, par définition, fait perdre de l'eau à la plante. Cette eau est précieuse en cas de stress, c'est pourquoi il a été observé chez des plantes stressées que le taux d'initiation des feuilles était réduit tout comme la surface des feuilles déjà formées. Ce sont des mécanismes mis en place par les plantes de manière à limiter la transpiration quand l'eau vient à manquer (Koch, 2018 ; Okunlola et al., 2015 ; Bigot, 2023). Les plantes ayant une stratégie de « water spender » gardent une grande conductance stomatique et donc un haut taux de transpiration en cas de stress hydrique (Martín-Gómez et al., 2023). Les « water savers » vont directement fermer leur stomate dès les premiers signes de déficit hydrique dans le sol, réduisant ainsi drastiquement leur conductance stomatique et leur transpiration (Martin-Gomez et al., 2023).

Face à un déficit hydrique, une autre stratégie est de favoriser le développement et l'activité du système racinaire pour prospecter des horizons de sol plus profonds et en extraire l'eau (Koch, 2018). C'est encore plus le cas pour les plantes qui adoptent un comportement de « water spender », au contraire des « water savers » qui gardent même en cas de stress un système racinaire plus superficiel (Martin-Gomez et al., 2023).

Au niveau morphologique

Une des principales réponses des plantes face au manque d'eau est la réduction de la pression de turgescence (Koch, 2018). Cette pression de turgescence est le moteur de la croissance cellulaire et de la croissance des organes de la plante (Koch, 2018). Les plantes terrestres sont donc confrontées à une sorte de compromis lors de la réponse au stress hydrique : maintenir un équilibre hydrique dans les cellules tout en assurant une croissance suffisante (Koch, 2018). La taille des vaisseaux xylémiens peut aussi être modifiée par un stress hydrique (Quinet, com. pers.). En effet, il est crucial pour la plante de maintenir un flux d'eau continu des racines aux feuilles, autrement dit qu'aucune bulle d'air n'apparaisse dans les vaisseaux du xylème (Scholasch & Rienth, 2020).

Les feuilles successives des plantes sont initiées au niveau du méristème à des positions précises et à un rythme dépendant fortement de la température. Si le nombre de feuilles est peu ou pas affecté, l'expansion foliaire est, quant à elle, communément réduite par un déficit hydrique, ce qui est associé à une stratégie de conservation de l'eau, la transpiration de la plante étant liée à la surface foliaire (Koch, 2018).

Pour ce qui est des racines, la plasticité de leur développement et de leur croissance en réponse aux conditions d'eau limitées exige un compromis entre conserver les ressources métaboliques et augmenter le secteur du sol exploré pour conserver un accès à l'eau disponible (Koch, 2018).

Au niveau du stress oxydatif

L'activité enzymatique antioxydante est un des mécanismes de survie des plantes face à la sécheresse (Çelik et al., 2017). En réponse au stress oxydatif, les plantes activent des systèmes de défense antioxydants enzymatiques (comme la superoxide dismutase, l'ascorbate peroxydase et la glutathion peroxydase et catalase) et non enzymatiques (l'ascorbate, le gluthation ou encore les composés phénoliques) pour rétablir l'homéostasie (Murshed et al., 2008 ; Niyazova & Huseynova, 2024).

Une étude de Celik et al. (2017) a constaté une augmentation du taux de protéine chez des plants de tomate stressés, ce qui pourrait y suggérer une présence en quantité de protéines enzymatiques. Il a également été mis en évidence que la proline, en plus de son rôle de régulateur osmotique, aide aussi à lutter contre les ROS (Niyazova & Huseynova, 2024). Niyazova & Huseynova (2024) ont mis en évidence une réponse dynamique face au stress oxydatif.

En effet, dans plusieurs variétés de tomates, une augmentation du niveau d'H_2O_2 a été constatée suite à un stress hydrique et une diminution a été constatée suite à la réhydratation qui s'en est suivie. Les enzymes antioxydantes ont suivi la même tendance que l'H_2O_2, ce qui montre bien que le système antioxydant est dynamique en cas de stress et de réhydratation.

2.2.4 Les différentes manières d'évaluer et d'appliquer un stress hydrique

Même si des tendances générales sont observées, face au stress hydrique, les réponses sont très variables en fonction de la durée, de la sévérité du déficit, mais également du stade de développement de la plante lors de l'occurrence du stress (Koch, 2018). Il est important, dans le cadre d'une étude centrée sur le stress hydrique et ses effets sur les plantes, de mettre en évidence la manière dont ce stress a été appliqué et évalué.

Dans la plupart des études, les effets du stress hydrique sont considérés seuls alors que ce stress est souvent combiné avec d'autres stress environnementaux (Koch, 2018). Le stress est aussi souvent appliqué durant la phase végétative du développement des plantes (Flores-Saavedra et al.). En serre, une méthode d'application du stress communément utilisée est un arrêt total de l'arrosage (Flores-Saavedra et al.). Cette méthode est plus facile que, par exemple, l'installation progressive d'un déficit en eau jusqu'à un certain pourcentage de la CC (Capacité au champ). Cette manière de faire demande en effet un monitoring constant du niveau d'eau (Flores-Saavedra et al., 2023). La CC représente la quantité d'eau maximale qu'un sol peut retenir, c'est-à-dire lorsque la force de rétention exercée par les particules de sol est égale à la force de gravité (Lurquin et al., 2023). Pour la tomate, des études ont appliqué des stress sévères correspondants à 15 à 25 % de la CC là où des stress modérés ont été appliqués à des niveaux allant de 50 à 75 % de la CC (Flores-Saavedra et al., 2023).

Enfin, si beaucoup d'études existent concernant l'impact du stress hydrique chez les plantes, il y a assez peu d'information disponible sur les effets d'une phase de réhydratation subséquente (Tamburino et al., 2017). Pourtant, dans la nature, les périodes de sécheresse sont souvent suivies de périodes de pluie, il paraît donc capital de s'intéresser à la réaction des plantes suite à une réhydratation. Des études comme celle de Tamburino et al. (2017) ont montré que des tomates qui avaient subi un stress ont retrouvé après récupération des paramètres physiologiques proches de la normale. En effet, la réhydratation engendre une série de processus de réarrangements métaboliques qui permettent de réparer les dégâts du stress hydrique (Tamburino et al., 2017).

La comparaison de la tolérance au stress entre les études est complexe, car les méthodes utilisées sont variées. Il n'existe actuellement pas une méthode optimale pour mesurer ce paramètre (Flores-Saavedra et al., 2023).

2.3 La tomate

2.3.1 Le genre *Solanum*

Le genre *Solanum* dont fait partie la tomate cultivée est un genre de grande importance économique. Le genre *Solanum* contient près de la moitié des espèces de la famille des Solanacées (Flores-Saavedra et al., 2023). Il contient à lui seul trois espèces végétales consommées en grande quantité : la pomme de terre (*Solanum tuberosum*, 375 millions de tonnes produites en 2022), la tomate (*Solanum lycopersicum*, 186 millions de tonnes produites en 2022) et l'aubergine (*Solanum melongena*, 59 millions de tonnes produites en 2022) (FAOSTAT, 2022 ; Flores-Saavedra et al., 2023). Les rendements de ces trois cultures ont drastiquement augmenté au cours des 50 dernières années, mais dernièrement cette tendance tend à se réduire. En cause, le changement climatique, avec ses aléas météorologiques engendrés, est pointé comme le responsable principal (Flores-Saavedra et al., 2023). La réduction dans la disponibilité de l'eau est particulièrement néfaste aux cultures de pommes de terre et de tomates, deux plantes très sensibles au manque d'eau (Flores-Saavedra et al., 2023).

2.3.2 La tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*)

La tomate cultivée (*S. lycopersicum*) fait partie de la famille des Solanacées, du genre *Solanum* et plus spécifiquement du clade *Lycopersicon*. Ce clade reprend la tomate cultivée ainsi que 12 autres espèces de tomates sauvages apparentées (Moreels et al., 2023).
La tomate a été introduite par des conquistadors espagnols depuis le continent sud-américain en Europe dans le courant du 16^{e} siècle. C'est donc en Espagne, puis en Italie que la tomate fait son apparition sur le continent européen (Bigot, 2023 ; Michaud, 2018). *S. lycopersicum* serait vraisemblablement arrivée en Europe déjà domestiquée (Bai & Lindhout, 2007 ; Bigot, 2023 ; Michaud, 2018). Des variétés locales se sont rapidement développées dès le début de la culture de la plante au 16^{e} siècle (Bigot, 2023). Une domestication intense s'est produite en Europe au cours des 18^{e} et 19^{e} siècles (Bai & Lindhout, 2007). Jusqu'à aujourd'hui, le catalogue variétal de la tomate n'a cessé de s'étoffer de manière à offrir une grande diversité de formes, de tailles et de couleurs (Bai & Lindhout, 2007).

La tomate cultivée (*S. lycopersicum*) est le premier produit d'horticulture dans le monde en termes de quantité produite (Bigot, 2023). La valeur économique annuelle de cette culture est évaluée à quatre milliards de dollars (Kumari et al., 2021). En 2022, 186 millions de tonnes de tomates ont été produites à l'échelle mondiale, sur une surface de 4,92 millions d'hectares (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). Le plus grand producteur mondial est la Chine (68 millions de tonnes en 2022), suivie de l'Inde, la Turquie, les États-Unis et l'Égypte (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). Les tomates cultivées sont soit consommées fraîches, soit sous forme d'une grande diversité de produits transformés (sauce, jus, concentré, ketchup, etc.) (Michaud, 2018). La tomate peut avoir une croissance déterminée ou indéterminée (Bigot, 2023).

Les tomates cultivées pour la transformation sont essentiellement cultivées en plein champ et ce sont des variétés à croissance déterminée, tandis que les tomates cultivées pour la consommation fraîche sont essentiellement cultivées sous abris et souvent à croissance indéterminée (Koch, 2018 ; Quinet & Kinet, 2007).

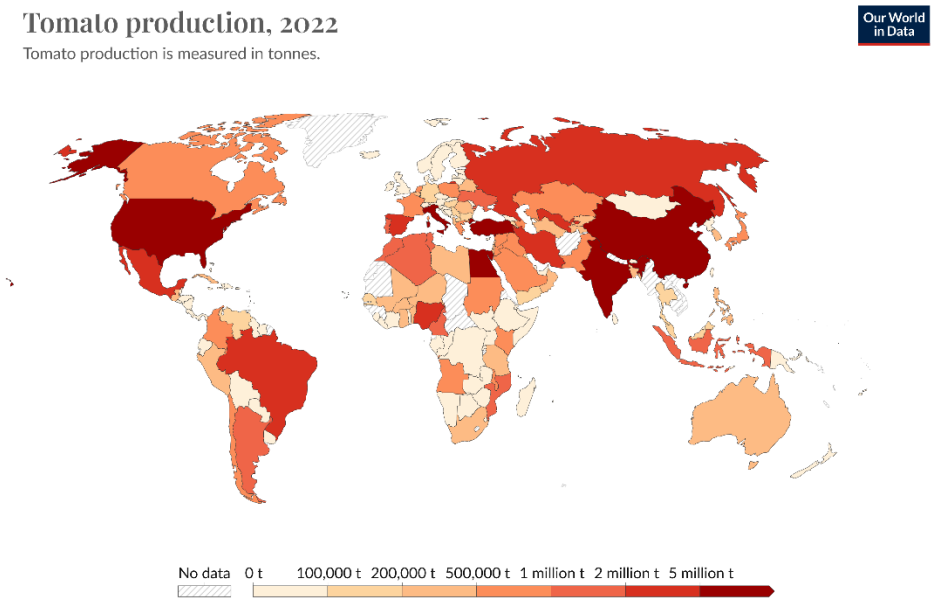


Figure 2 : Répartition de la production mondiale de tomates en 2022 (en tonnes) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

La tomate est une importante source de minéraux, d'antioxydants comme les caroténoïdes, de vitamine C, de vitamine E ainsi que de composés phénoliques qui jouent un rôle dans la prévention contre le cancer et les maladies cardiovasculaires (Ullah et al., 2016). La tomate est une bonne plante modèle, car elle peut être cultivée dans différentes conditions, elle a un petit génome et donc une génétique assez simple (Tamburino et al., 2017).

S. lycopersicum est une plante herbacée annuelle à courte vie (Michaud, 2018). Elle présente une croissance sympodiale. La première tige qui émerge après la germination produit un nombre limité de feuilles avant l'initiation de la première inflorescence (Quinet & Kinet, 2007). Ensuite, la croissance continue pour un nombre déterminé de feuilles avant une nouvelle inflorescence. Les inflorescences sont au fur et à mesure poussées latéralement par la croissance continue des bourgeons axillaires situés à l'aisselle de la dernière feuille précédent l'inflorescence (Quinet & Kinet, 2007 ; Michaud, 2018). En plus du segment initial composé des premières feuilles et de la première inflorescence, chaque nouveau segment, appelé segment sympodial, est composé de deux ou trois feuilles et d'une inflorescence (Quinet & Kinet, 2007). Les feuilles de la tomate sont composées, elles comportent généralement cinq à sept folioles (Michaud, 2018). Quant aux inflorescences, elles sont composées de 5 à 15 fleurs comportant chacune de cinq à six pétales jaunes, les chiffres pouvant fortement varier selon la variété (Michaud, 2018 ; Bigot, 2023).

Le fruit du plant de tomate est une baie charnue issue de la transformation de l'ovaire (Michaud, 2018 ; Bigot, 2023). Botaniquement, la tomate est un fruit, mais culinairement et commercialement parlant, il y est fait référence en tant que légume (Kumari et al., 2021). Le fruit de la tomate est souvent rouge et de forme ronde, mais présente une grande diversité de formes et de couleurs (Michaud, 2018 ; Bigot, 2023). Les tomates ont un système racinaire moins développé que beaucoup d'autres plantes (Perveen et al., 2023). Les racines sont très ramifiées, mais surtout présentes dans les premiers 30 centimètres du sol (Michaud, 2018).

Figure 3 : Différents organes de S. lycopersicum. Plants entiers (A), système racinaire (B) (photographies personnelles) et inflorescence (avec ordre d'initiation des fleurs) (Quinet & Kinet, 2007).

2.3.3 L'amélioration de la tomate cultivée

En 2022, l'Union européenne recensait 4300 variétés de tomates en activité (Bigot, 2023). Les sélectionneurs ont créé beaucoup de variétés différentes de manière à obtenir des tomates ayant des formes et des couleurs multiples. Cependant, la domestication et la sélection qu'a connues la tomate ont engendré un goulot d'étranglement génétique qui a eu tendance à éliminer des traits qui concernaient notamment la résistance aux stress biotiques et abiotiques (Bigot, 2023). Chez la tomate cultivée, plus ou moins 70 % de pertes de rendement sont imputables à la sécheresse. Il y a un manque de gènes de résistance à la sécheresse chez cette espèce, elle y est donc très sensible (Krishna et al., 2022).

Des gènes intéressants ont bel et bien été découverts concernant la résistance aux stress abiotiques, mais la sélection ne s'est pendant très longtemps pas faite en ce sens (Bigot, 2023). Pour réparer la perte de diversité génétique causée par la sélection, deux méthodes sont possibles : l'utilisation de ressources génétiques extérieures telles que des espèces sauvages apparentées et le recours aux biotechnologies (Bigot, 2023).

L'amélioration de la résistance aux stress abiotiques de la tomate a moins été étudiée que la résistance aux stress biotiques (Bigot, 2023). Les efforts de sélection pour améliorer *S. lycopersicum* face à la sécheresse sont difficiles à mener, car il existe assez peu de diversité génétique au sein même de cette espèce (environ 5 % de toute la diversité au sein de la famille des tomates) (Bai & Lindhout, 2007 ; Krishna et al., 2022). Des espèces sauvages de tomates comme *S. pennelii* et *S. pimpinellifolium* ont prouvé être de bonnes sources de diversité génétique pour l'amélioration de la tomate cultivée. Néanmoins, la sélection pour des traits de résistance aux stress abiotiques est compliquée à réaliser à cause du caractère polygénique de cette résistance (Krishna et al., 2022). De plus, ce n'est pas dit qu'un gène qui confère une résistance dans une espèce sauvage le fasse aussi une fois introgressé chez une espèce cultivée (Krishna et al., 2022). Effectivement, l'effet de chaque gène est souvent dépendant de l'environnement ainsi que de l'interaction avec d'autres gènes, phénomène connu sous le nom d'épistasie (Bai & Lindhout, 2007). Enfin, utiliser des parents sauvages peut potentiellement amener des traits indésirables dans l'espèce cultivée (Bai & Lindhout, 2007 ; Flores-Saavedra et al., 2023).

Une autre technique d'amélioration consiste en l'édition génomique grâce à des biotechnologies permettant d'aller directement modifier le génome à des endroits d'intérêt. CRISPR-CAS9 est d'ailleurs utilisé dans la sélection de la tomate depuis 2014 (Taheri et al., 2022). Avec le développement de ces techniques a émergé le concept de domestication *de novo*. L'objectif de ce genre de domestication est d'amener dans des espèces sauvages des traits relatifs au rendement, à la forme des fruits, etc. L'intérêt réside dans le fait que les QTL (Quantitative trait loci) de ces traits-là ont souvent été bien identifiés (Bai & Lindhout, 2007 ; Bigot, 2023). Les modifications génétiques sont cependant encore largement source de préoccupations chez les consommateurs, en plus de ne pas être bien définies législativement parlant. C'est pourquoi il y a encore du chemin à faire avant un développement plus large de ces technologies (Bai & Lindhout, 2007).

2.3.4 Une tomate sauvage prometteuse pour l'amélioration : *Solanum chilense*

Il y a 12 espèces sauvages de tomates qui constituent le clade *Lycopersicon*. Elles viennent toutes d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud et elles présentent une diversité morphologique et écologique importante due à leur grande aire de répartition (Bigot, 2023). Les tomates sont dans leurs pays d'origine adaptées à une grande diversité de milieux, du bassin amazonien aux déserts côtiers en passant par les froides et arides Andes (Easlon et al., 2013).
S. chilense est l'une des espèces sauvages les plus prometteuses du clade *Lycopersicon*. Elle est originaire d'une grande diversité d'environnements (une des plus riches de tout le clade), s'étalant des côtes jusqu'aux Andes (Bigot, 2023).

Cette espèce de tomate a un port érigé jusqu'à 80-100 centimètres de hauteur puis devient plutôt étalé. Une inflorescence de cette plante peut compter de 12 à 50 fleurs. La tige est grisâtre et pubescente et les fruits sont petits et verts avec une ligne noire à maturité. *S. chilense* est une plante de jours courts contrairement à *S. lycopersicum* qui est neutre à ce niveau-là (Bigot, 2023).

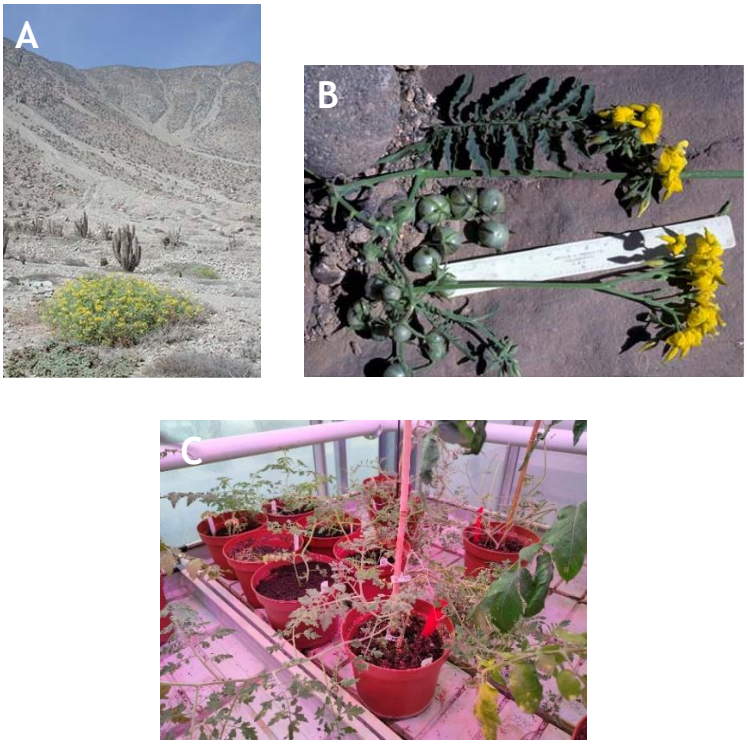


Figure 4 : S. chilense et ses organes aériens. S. chilense dans un de ses habitats naturels (A), feuilles, fleurs et fruits de l'espèce (B) (Chetelat et al., 2009), S. chilense en serre (photographie personnelle) (C).

Il est communément admis que *S. chilense* possède une forme de résistance à la sécheresse, car elle s'épanouit dans des milieux extrêmement arides (Chetelat et al., 2009). Cependant, les mécanismes de résistance sont encore mal connus dans cette espèce. Par rapport au manque d'eau, *S. chilense* aurait plutôt un comportement de « water spender » (Barrera-Ayala et al., 2023). Le milieu dans lequel se développe *S. chilense* montre qu'elle se base sur un captage de l'eau très efficace, en allant chercher en profondeur dans le sol des poches d'eau interstitielles. Dans son milieu naturel, l'évaporation est importante donc *S. chilense* a besoin d'avoir une bonne capacité à transporter l'eau dans la plante (Barrera-Ayala et al., 2023).

La résistance de *S. chilense* au stress hydrique dépend de traits morphologiques, physiologiques et génétiques (Blanchard-Gros et al., 2021). Nous savons que les tomates sauvages contiennent une grande diversité de gènes, et c'est particulièrement le cas chez *S. chilense* (Blanchard-Gros et al., 2021). En effet, son caractère auto-incompatible a participé à lui procurer une génétique très diversifiée (Bai & Lindhout, 2007).

Cela en fait une candidate intéressante pour l'introgression de gènes dans la tomate cultivée (Böndel et al., 2018).
Malgré cela, *S. chilense* n'a pas encore été utilisée pour améliorer la tomate face aux stress abiotiques (Bigot et al., 2023). En plus de son caractère auto-incompatible, certaines raisons qui expliquent cela sont qu'elle est d'abord difficile à faire pousser dans des conditions contrôlées à cause de son port buissonnant. Elle est aussi fragile donc la manipulation de la plante est laborieuse sans toucher à son intégrité (Bigot, 2023). *S. chilense* reste assez peu exploitée dans les programmes de sélection de la tomate, moins que *S. pennellii* ou *S. pimpinellifolium* par exemple. Elle a cependant déjà été utilisée pour augmenter les quantités d'anthocyanines chez la tomate cultivée (Bigot, 2023).

2.3.5 *S. lycopersicum* et *S. chilense* face au stress hydrique

Des différences importantes existent entre *S. lycopersicum* et *S. chilense* quant à leurs mécanismes de défense face au stress hydrique.

De manière générale, chez la tomate, l'ajustement osmotique est souvent réalisé en produisant de la proline ou des sucres solubles totaux (Flores-Saavedra et al., 2023 ; Niyazova & Huseynova, 2024). Ces sucres solubles contribuent aussi au bon état des tissus foliaires en cas de stress (Flores-Saavedra et al., 2023). Il a été montré que *S. chilense* accumule plus de proline que *S. lycopersicum* en cas de stress (Blanchard-Gros et al., 2021). Bigot a aussi montré que le potentiel osmotique était par nature plus élevé chez *S. chilense* que chez *S. lycopersicum*, surement de par ses propriétés halophytes acquises dans son milieu naturel. Ensuite, la taille et la densité des vaisseaux conducteurs sont différentes entre ces deux espèces (Barrera-Ayala et al., 2023). Barrera-Ayala et al. (2023) ont aussi observé que la WUE chez *S. lycopersicum* était plus grande. Chez *S. chilense*, la WUE était plus faible, mais la conductance stomatique était plus importante (Barrera-Ayala et al., 2023). Enfin, *S. chilense* est capable de s'adapter avec le mécanisme de succulence, ce qui n'est pas le cas de *S. lycopersicum* (Blanchard-Gros et al., 2021).

2.3.6 L'hybridation entre *S. lycopersicum* et *S. chilense*

Dans l'espoir de pouvoir utiliser des gènes d'intérêt présents chez *S. chilense* pour les introgresser chez *S. lycopersicum*, il faut pouvoir croiser les deux espèces. *S. chilense* est une plante auto-incompatible et présente une incompatibilité unilatérale avec *S. lycopersicum* qui est, elle, auto-compatible (Bigot, 2023). L'auto-incompatibilité génétique est contrôlée dans les plantes par un seul locus : le S-locus. Les solanacées dont font partie les plantes du genre *Solanum* et donc les espèces de tomates présentent une auto-incompatibilité gamétophytique. Cela signifie qu'elles inhibent la croissance du tube pollinique. Il y a un rejet du pollen par le pistil si les 2 parents possèdent le même haplotype. Dans l'auto-incompatibilité gamétophytique, le génome du parent mâle est reconnu par le parent femelle et la fécondation peut se faire du moment qu'un S-allèle du parent mâle est différent des deux S-allèles du pistil du parent femelle (Bigot, 2023).

Le croisement entre *S. chilense* et *S. lycopersicum* est unilatéralement incompatible. L'espèce auto-incompatible (*S. chilense* comme parent femelle) ne peut pas être pollinisée par une espèce auto-compatible (*S. lycopersicum* comme parent mâle) alors que l'inverse est possible, c'est-à-dire quand *S. lycopersicum* est utilisée comme parent femelle (Bigot, 2023).

Les plantes hybrides F1 obtenues par le croisement entre *S. lycopersicum* et *S. chilense* peuvent être autofécondées de manière à obtenir des hybrides de deuxième génération (F2). Le phénotype des hybrides F1 peut être supérieur aux parents pour un ou plusieurs traits grâce à l'effet de vigueur hybride ou d'hétérosis (Bigot, 2023). L'hétérosis est définie comme étant l'amélioration d'un trait de caractère par rapport aux deux parents (Bai & Lindhout, 2007 ; Quinet, 2024). Les variétés hybrides F1 sont les plus répandues chez les sélectionneurs du fait de cet effet de vigueur hybride, mais aussi pour l'uniformité qu'elles offrent, empêchant par la même occasion toute reproduction illégale (Bai & Lindhout, 2007).
Il est possible d'effectuer des croisements (backcross) entre les hybrides et les plantes parentes. Le backcross est possible avec *S. lycopersicum* comme parent femelle, et avec *S. chilense* comme parent mâle (Quinet, com. pers.). Ces possibilités de croisements sont évidemment intéressantes dans un objectif d'introgression (Bigot, 2023).

L'introgression des traits désirés d'une espèce sauvage vers l'espèce cultivée est réalisée par les sélectionneurs de quatre manières différentes (figure 5). Dans tous les cas, le principe est de réaliser des backcross successifs entre les deux parents (Bigot, 2023). Cela permet d'obtenir des plantes ayant majoritairement le génome d'un des deux parents (le parent cultivé dans les schémas classiques de sélection), mais avec certains segments de génome seulement provenant de l'espèce sauvage (Bigot, 2023). Selon le nombre de backcross réalisés et selon la finalité recherchée, la quantité de génome provenant de l'espèce sauvage peut varier (Bigot, 2023). Ainsi, les RILs (Recombinant inbred lines) sont des lignées issues d'auto-pollinisations de la F1 dans lesquelles plusieurs segments de génome de l'espèce sauvage ont été introgressés. Les NILs (Near isogenic lines) sont, elles, des lignées issues d'un très grand nombre de backcross (n), suivi d'auto-pollinisations successives (Quinet, 2024).
Dans les NILs, le but est de ne retrouver qu'un segment du génome du parent sauvage contenant le trait d'intérêt (Quinet, 2024). Ces différentes méthodes de sélection sont présentées sur la figure 5.

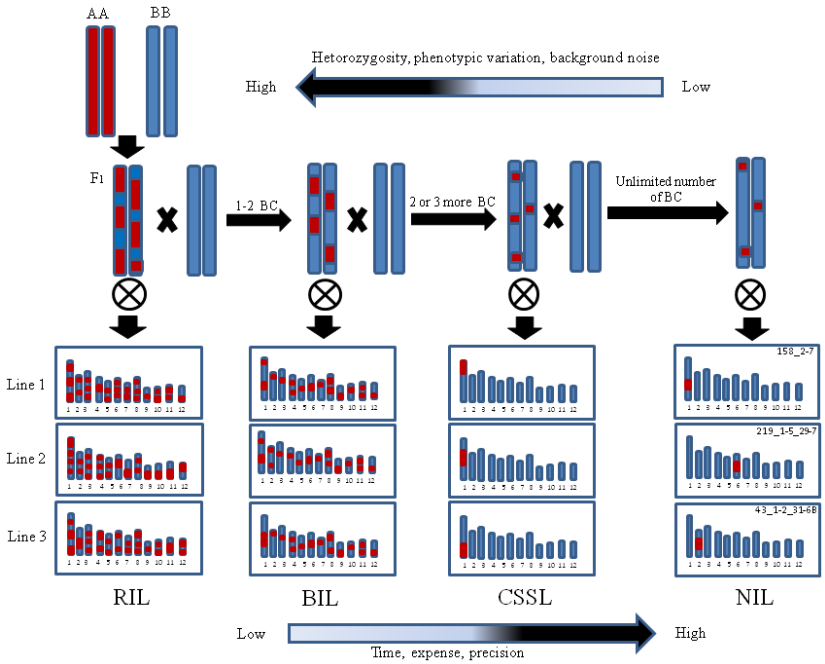


Figure 5 : Méthodes de sélection avec un parent sauvage (en rouge) et un parent cultivé (en bleu). RIL (Recombinant Inbred Line), BIL (Backcross Inbred Line), CSSL (Chromosome Segment Substitution Line et NIL (Near Isogenic Line). AA = chromosomes d'intérêt de l'espèce sauvage, BB = chromosomes de l'espèce cultivée, BC = Backcross (Yan & Bao, 2014).

3. Matériel et méthodes

3.1 Matériel végétal et conditions de culture

Deux espèces de tomates et leurs hybrides ont été utilisés pour cette expérience. Il s'agit d'une part de la tomate cultivée *Solanum lycopersicum* (variété *Ailsa craig*) et d'autre part de *Solanum chilense*, une espèce sauvage apparentée originaire du Chili.

Pour l'obtention des hybrides, un croisement entre une plante de *S. lycopersicum* (parent femelle) et une plante de *S. chilense* (parent mâle) a été réalisé afin d'obtenir une première génération d'hybrides, cette génération correspondait à la F1. Les plantes de la F1 ont été multipliées par bouturage pour obtenir des lignées clonales. Malheureusement, nous n'avons pu obtenir des clones que de deux génotypes F1 différents, S10 et S16. Cette dénomination correspond aux allèles d'auto-incompatibilité présents dans chaque plante. Les plantes S10 présentes dans l'expérience étaient toutes des clones, de même que les plantes S16. En plus de cette F1, une deuxième génération d'hybrides, appelée F2, a été obtenue en croisant des plantes de F1 entre elles en utilisant une plante S16 comme parent femelle et une plante S10 comme parent mâle. Deux plantes de la F2 ont été multipliées par bouturage et ont donné des clones de deux génotypes, appelés génotype 1 et génotype 2.

Des boutures des différentes plantes (*S. lycopersicum*, *S. chilense*, F1 et F2) ont été réalisées en amont de ce mémoire afin de pouvoir travailler sur des lignées clonales partageant chacune le même génotype. Malheureusement, à la suite de problèmes d'enracinement, nous n'avons pu multiplier que deux lignées de F1 et de F2 et un nombre limité de plantes de *S. chilense*. Le 28 septembre 2023, les boutures ont été repiquées en pot (pots de 2 litres, substrat d'argile n° 9 ELEVE DCM). Toutes les plantes de *S. lycopersicum* utilisées pour cette étude sont parties de boutures également. Pour *S. chilense*, des plants déjà avancés dans leur croissance ont été utilisés. À cause du faible nombre de boutures obtenues pour certains génotypes de F1 et de F2, certaines plantes précédemment repiquées (dans les mêmes pots et le même terreau) et qui étaient déjà à un stade de développement plus avancé ont été rajoutées à l'expérience, en conséquence de quoi toutes les plantes utilisées pour cette étude ne démarraient pas exactement du même stade de développement. Toutes les plantes ont reçu une dose égale d'engrais minéral en début d'expérience.

Finalement, lors de cette expérience, le matériel végétal se composait de 33 plantes parmi lesquelles se trouvaient quatre « générations » correspondant à *S. lycopersicum*, *S. chilense*, la F1 et la F2. Il y avait 10 plantes de chaque génération hormis *S. chilense* pour laquelle il n'a été possible d'avoir que 3 plantes, les boutures ayant échoué. Dans les 10 plantes de F1, quatre étaient du génotype S10 et six étaient du génotype S16. Dans les 10 plantes de F2, huit étaient du génotype 1 et deux étaient du génotype 2. S10, S16, 1 et 2 formaient donc les « génotypes ».

Après une semaine d'acclimatation, la phase de stress a débuté le 9 octobre 2023, date à partir de laquelle deux « régimes hydriques » différents ont été appliqués. Cinq plantes de *S. lycopersicum*, cinq plantes de la F1, cinq plantes de la F2 et une plante de *S. chilense* n'ont plus du tout été arrosées pendant trois semaines. Les autres plantes étaient arrosées trois fois par semaine et jouaient donc le rôle de témoins. Des quatre plantes du génotype S10, la moitié a subi un stress. La moitié des six tomates S16 a également subi le stress. Des huit plantes du génotype 1 de F2, quatre ont été stressées. Quant à celles du génotype 2, une des deux a été stressée, l'autre était un témoin.

À partir du 30 octobre 2023, la phase de récupération de l'expérience a débuté. Les plantes ayant été stressées ont à partir de cette date été arrosées selon le même régime que les témoins. Les 33 individus ont donc été arrosés trois fois par semaine jusqu'à la fin de l'expérience le 17 novembre. La répartition spatiale des plantes et de leur traitement est schématisée sur la figure 6. La temporalité de l'expérience est représentée sur la figure 7.

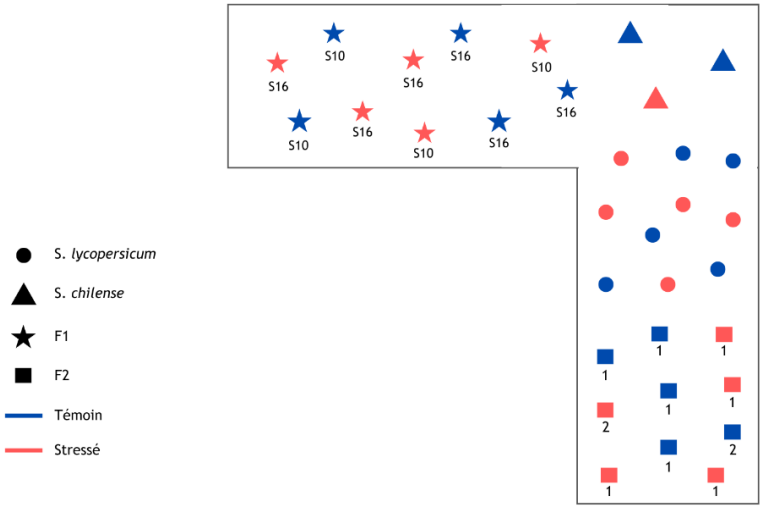


Figure 6 : Répartition des plantes sur la paillasse de la serre tout au long de l'expérience.

S. lycopersicum (x5)						
S. lycopersicum (x5)						
S. chilense (x2)						
S. chilense (x1)						
F1 (x5)						
F1 (x5)						
F2 (x5)						
F2 (x5)						
Semaines	9/10 -> 15/10	16/10 -> 22/10	23/10 -> 29/10	30/10 -> 5/11	6/11 -> 12/11	13/11 -> 17/11
	Phase de stress			Phase de récupération		

Figure 7 : Schéma temporel de l'expérience (en orange les périodes où un stress hydrique a été appliqué, en bleu les périodes où un arrosage normal a été appliqué).

3.2 Conditions environnementales de la culture

L'expérience a eu lieu dans les serres de Louvain-la-Neuve et le réglage des conditions environnementales était de 23 °C le jour et la nuit, avec une photopériode de 16 heures maintenue grâce à un éclairage supplémentaire (lampes R/B LED de la marque LUMIGROW, modèle PRO650) afin d'avoir une intensité minimale de 100 µmol/m²s. Les conditions environnementales (température et humidité relative) dans la serre étaient mesurées toutes les 10 minutes.

3.2.1 Évolution de la température dans la serre

Figure 8 : Évolution de la température journalière moyenne dans la serre (°C) entre le 1er octobre 2023 et le 30 novembre 2023.

La température moyenne dans la serre où s'est déroulée l'expérience était de 24,35 ± 1,24 °C entre le 1er octobre 2023 et le 30 novembre 2023 (figure 8). Durant cette période, la température moyenne maximale atteinte était de 26,73 °C le 1er octobre. La température moyenne la plus faible a été enregistrée le 28 novembre, elle était alors de 23,31 °C.

3.2.2 Évolution de l'humidité relative dans la serre

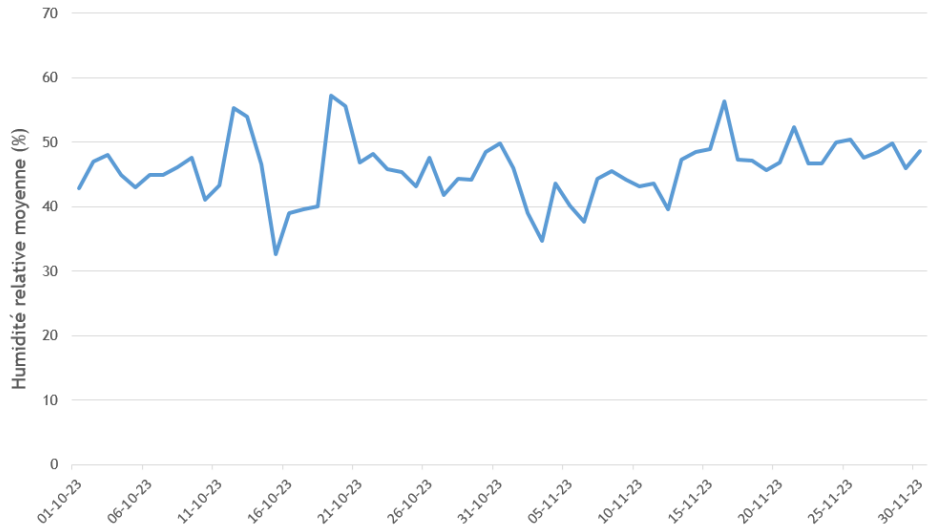


Figure 9 : Évolution de l'humidité relative journalière moyenne dans la serre (%) entre le 1er octobre et le 30 novembre 2023.

L'humidité relative moyenne dans la serre où s'est déroulée l'expérience était de 45,81 ± 10,9 % entre le 1er octobre 2023 et le 30 novembre 2023 (figure 9). Pendant cette période, l'humidité relative moyenne la plus élevée a été mesurée le 19 octobre, elle était alors de 57,15 %. Au contraire, l'humidité relative moyenne la plus faible a été de 32,67 % le 15 octobre.

3.2.3 Teneur en eau du terreau

La teneur en eau du terreau a été mesurée à l'aide d'une sonde (ProCheck sensor handheld reader) qui mesure la VWC (Volumetric water content), qui correspond au volume d'eau par rapport au volume de sol sec. Cette valeur est donc un pourcentage volumique. Cette teneur en eau a été mesurée chez toutes les plantes le premier jour de l'expérience le 9 octobre, elle était en moyenne de 42,29 ± 5,51 % avant arrosage. Pendant les trois semaines de stress, elle a été mesurée chez les tomates stressées trois fois par semaine, à l'exception de la troisième semaine où la mesure n'a été prise qu'une fois. Juste avant d'arroser à nouveau toutes les plantes le 30 octobre, la VWC était tombée à 10,91 ± 4,01 % en moyenne chez les tomates ayant été stressées. La VWC n'a pas été mesurée pendant la période de stress chez les témoins, mais celle-ci a été mesurée chez les 33 plantes pendant toute la période de récupération. En fin d'expérience, le 17 novembre, la teneur en eau a été mesurée une dernière fois chez tous les individus, toujours avant l'arrosage. La VWC était remontée à ce moment à 35,93 ± 14,91 % chez les plantes ayant subi un stress hydrique et était de 40,98 ± 10,7 % chez les plantes ayant été arrosées normalement. Les détails des teneurs en eau du terreau pour chaque groupe sont visibles en annexes (annexe 1).

3.3 Mesures morphologiques

3.3.1 Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé tout au long des six semaines d'expérience. Ce comptage a été réalisé deux fois par semaine chez tous les individus à l'exception des trois plantes de *S. chilense* chez qui le comptage a été réalisé trois fois pendant la phase de stress et trois fois pendant la phase de récupération. En effet, le comptage des feuilles chez ces tomates s'est avéré laborieux à cause du nombre important de ramifications et de petites feuilles. Un laps de temps plus important a donc été laissé entre les comptages de manière à mieux percevoir l'augmentation du nombre de feuilles vu les erreurs possibles.

3.3.2 Poids secs, poids frais et contenu en eau

Les parties aériennes des plantes ont été récoltées le 30 novembre et le 1er décembre 2023. Ainsi, toutes les plantes ont encore été arrosées trois fois par semaine entre le 17 novembre et le moment de la récolte. Pour *S. lycopersicum*, pour la F1 ainsi que pour la F2, trois plantes stressées et trois plantes témoins ont été récoltées afin de les peser. L'ensemble des plantes de *S. chilense* a été récolté à cette fin. 21 plantes ont donc été pesées. Les feuilles des 12 autres plantes ont été plongées dans l'azote liquide immédiatement puis conservées à -80 °C pour les différents dosages. Pour les 21 autres plantes, une feuille a chaque fois été mise dans un Eppendorf et plongée dans l'azote liquide pour une mesure ultérieure du potentiel osmotique. Une autre feuille de ces 21 plantes a été coupée pour la mesure du potentiel hydrique puis collée sur une feuille de papier pour en mesurer la surface foliaire.

Lors de la récolte, les feuilles, les tiges, les inflorescences et les racines ont été pesées séparément. Le poids frais a été évalué juste après la récolte et les différents organes ont ensuite été placés à l'étuve à 70 °C pendant une semaine. Après ce séjour à l'étuve, une nouvelle pesée avec la même balance a été réalisée afin de connaître le poids sec. Avec le poids frais (PF) et le poids sec (PS), le contenu en eau de chaque organe (WC) a été déduit grâce à la formule :

$$WC = [(PF - PS)/PF]*100$$

3.3.3 Surface foliaire

La surface foliaire a été mesurée sur 21 feuilles provenant des 21 plantes qui ont été récoltées afin d'évaluer leur biomasse. Chaque feuille, après avoir été pesée, a été précautionneusement collée sur une feuille de papier qui a ensuite été scannée avec une règle placée en bord de feuille. L'image ainsi obtenue a été traitée avec le logiciel ImageJ après avoir été convertie en 8-bits. Grâce à la règle, une ligne d'un centimètre a été tracée dans le logiciel. Après, les commandes « Analyze », « Set scale » et « Known distance » ont été sélectionnées afin d'insérer la valeur de cette ligne et son unité de mesure. La surface de la feuille de la plante a ensuite été sélectionnée sur l'image et une valeur de superficie en centimètre carré a pu être obtenue.

3.4 Mesures physiologiques : photosynthèse et statut hydrique

3.4.1 PNA (Plant nutritional analyzer)

Le PNA (TYS-3N/4N) a été utilisé à deux reprises (à la fin de la phase de stress et à la fin de la phase de récupération) pour mesurer la teneur en chlorophylle et la température foliaire des feuilles. À chaque fois, l'appareil a été utilisé sur l'ensemble des plantes, et ce, sur la dernière feuille bien développée. La mesure a été effectuée trois fois par plante, sur trois folioles différentes de la même feuille. Pour procéder à la mesure, l'appareil a d'abord été calibré en refermant la pince dans le vide deux à trois secondes. Ensuite, la pince est refermée pour la même durée sur la feuille en faisant attention à bien la placer sur le limbe. Pour chaque plante, le résultat retenu est alors la moyenne des trois mesures. La teneur en chlorophylle est exprimée en unités SPAD (Soil and plant analyze developments) et la température en degré Celsius.

3.4.2 Conductance stomatique

La conductance stomatique a été mesurée également à deux reprises au moyen d'un poromètre (Delta-TDevices Ltd., Cambridge, UK) sur l'ensemble des plantes. La conductance stomatique donne une information sur l'ouverture des stomates de la plante, elle est exprimée en $mmol.m^{-2}.s^{-1}$. En pratique, une seule répétition était réalisée sur chaque plante, à chaque fois sur la dernière feuille entièrement développée. L'appareil a d'abord été calibré pour prendre en compte l'intensité lumineuse du moment. Ensuite, la feuille mesurée était placée dans la pince du poromètre de façon à ce que celle-ci prenne entièrement du limbe, et non du vide. Après un temps d'attente, la conductance donnée par la machine se stabilisait sur une valeur. Les journées où le poromètre a été utilisé, la lumière naturelle était assez faible à cause d'un ciel gris. L'appareil a alors mis parfois beaucoup de temps à se stabiliser sur une valeur à cause de la très faible ouverture des stomates.

3.4.3 Paramètres liés à la photosynthèse : IRGA (Infrared gas analyzer)

Le 21 novembre, l'IRGA (LCA4 8.7 ADC, Bioscience, Hertfordshire, UK) a été utilisé sur la totalité des plantes de l'expérience afin de récolter une série de données liées à l'activité photosynthétique des tomates. L'IRGA est un appareil qui s'intéresse aux échanges gazeux qui ont lieu entre la feuille de la plante et un air de référence, ici, l'air ambiant. Cet appareil est constitué d'une unité qui analyse les échanges gazeux et d'un fluorimètre, le tout relié à une pince dans laquelle nous venons placer une foliole pour chaque plante.

L'IRGA a été utilisé pour prendre des mesures instantanées de l'activité photosynthétique. Son intensité lumineuse a été fixée à 1000 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$. Les valeurs données par la machine sont nombreuses, mais certaines seulement ont été étudiées en détail : le taux de photosynthèse nette ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), le taux de transpiration ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$), la concentration en CO2 dans la chambre sous-stomatique (ppm), la conductance stomatique ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$), le rendement quantique du PSII (Photosystème 2) (µmol d'électrons/µmol de photons) et la vitesse de transport des électrons (μmol d'électrons$.m^{-2}.s^{-1}$).

Le taux de photosynthèse nette correspond à la quantité de CO_2 échangée par unité de surface de feuille par unité de temps. Le taux de transpiration représente la quantité de vapeur d'eau perdue par les stomates par unité de surface et de temps. La conductance stomatique donne une indication sur les échanges gazeux qui ont lieu dans les feuilles. Elle est d'autant plus grande que les entrées de carbone et les sorties de vapeur d'eau sont importantes. Le rendement quantique du PSII correspond à la proportion de lumière qui sert à la photochimie. Il peut indiquer une mauvaise conversion de l'énergie lumineuse. Enfin, la vitesse de transport des électrons représente la quantité d'électrons transportée par unité de surface et de temps.

3.4.4 Potentiel hydrique

Le 30 novembre et le 1er décembre, le potentiel hydrique a été mesuré sur six plantes de *S. lycopersicum*, six plantes de F1, six plantes de F2 et les trois plantes de *S. chilense*. Pour *S. lycopersicum*, la F1 et la F2, la mesure a été prise sur trois plantes témoins et trois plantes stressées. Le potentiel hydrique a été mesuré à l'aide d'une chambre à pression de Schölander (PMS Instruments 1505d).

Sur chaque plante, une des dernières feuilles développées a été coupée et a été placée dans la chambre à pression de manière à ce que juste le pétiole de la feuille dépasse du trou. Ensuite, l'enceinte a été hermétiquement fermée et soumise à une pression de plus en plus importante afin de provoquer le mouvement de l'eau dans le pétiole. L'apparition du liquide à la fin du pétiole a été scrutée à l'aide d'une loupe et, dès que celui-ci était visible, la valeur de pression régnant dans la chambre à ce moment-là était notée. Ainsi, la chambre à pression de Schölander nous donne l'information de la pression nécessaire pour évacuer l'eau à travers le xylème en dehors du pétiole. Autrement dit, plus la pression nécessaire est grande, plus la plante est dans une situation de stress hydrique. La valeur de pression étant donnée en bar, il faut la diviser par 10 et en prendre le négatif pour avoir la valeur du potentiel hydrique en mégapascals.

3.4.5 Potentiel osmotique

Le potentiel osmotique a été mesuré sur le même matériel végétal que le potentiel hydrique. Au moment de la récolte, une feuille par plante a été coupée de la tige principale et puis compactée de manière à rentrer dans un Eppendorf. Celui-ci a été à chaque fois préalablement percé d'un trou au-dessus et de trois trous en dessous à l'aide d'une fine aiguille chauffée au bec Bunsen. L'Eppendorf était alors fermé, placé directement dans de l'azote liquide et enfin stocké à -80 °C. Par la suite, le 15 février 2024, tous les Eppendorf ont subi trois cycles de gel/dégel en alternant une congélation dans l'azote liquide et un dégel à l'air ambiant de cinq minutes. Ces Eppendorf ont ensuite été placés dans d'autres plus grands et non troués pour être centrifugés pendant 15 minutes à 4 °C et 8000 tours/minute. Les échantillons ainsi obtenus dans les Eppendorf non troués ont été conservés à -20 °C pour une mesure ultérieure.

La mesure du potentiel osmotique a été réalisée avec un osmomètre (VAPRO® Vapor Pressure Osmometer Model 5600, EliTechGroup, Logan Utah, United States). À cause de problèmes rencontrés avec l'appareil, les mesures se sont étalées sur trois dates : deux fois en février 2024 et une fois en avril 2024.

Pour réaliser la mesure avec l'appareil, celui-ci a d'abord à chaque fois été calibré et les Eppendorf ont été transférés dans de la glace. 10 µL de surnageant étaient alors prélevés pour chaque échantillon, et ce, à trois reprises. Les 10 µL prélevés étaient alors déposés délicatement sur un papier filtre qui était alors lu par l'appareil. Pour chaque échantillon, la valeur retenue était la moyenne des trois répétitions. La valeur donnée par l'osmomètre est une valeur de potentiel osmotique en mmol/kg. Cette valeur a dû être convertie en pression osmotique (en MPa) par la formule :

$$PO\ (MPa) = [PO(mmol/kg)*2{,}577433]/1000$$

Le potentiel osmotique en mégapascals est alors cette pression osmotique en négatif.

3.5 Dosages biochimiques

3.5.1 Teneur en proline

Le dosage de la proline a été réalisé le 19 février 2024 sur 12 des 33 plantes. Au total, il y avait 18 échantillons de manière à avoir trois répliqua par condition de traitement. Les dosages n'ont pas été effectués chez *S. chilense*.

Après avoir sorti les feuilles de chaque plante du congélateur à -80 °C, celles-ci ont été broyées au mortier dans de l'azote liquide de manière à obtenir une fine poudre. 100 mg de cette matière fraîche a été pesée chez chaque échantillon et mise dans des Falcon de 15 ml. Ensuite, 10 ml d'acide sulfosalicylique ont été ajoutés et les Falcon ont été placés au bain-marie à 70 °C pendant 30 minutes puis ont été filtrés. Chaque échantillon a ensuite été vortexé et 2 ml de surnageant ont été prélevés puis placés dans des tubes en verre. 2 ml de solution de ninhydrine ainsi que 2 ml d'acide acétique concentré ont été ajoutés dans chaque tube. Finalement, ces tubes ont été placés au bain-marie à 90 °C pendant une heure. Après cette durée, la réaction a été stoppée en mettant les tubes dans la glace. Sous hotte, 2 ml de toluène ont ensuite été ajoutés et les tubes ont été de nouveau vortexés pendant 10 secondes. Deux phases étaient alors visibles dans chaque tube, la phase colorée a été prélevée. Cette phase a été placée dans des cuvettes en quartz pour ensuite être lue au spectrophotomètre à 520 nm (UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan).

Simultanément, une gamme de 10 standards servant d'étalon a été préparée en mélangeant de l'H_3PO_4, de la ninhydrine acide, de l'acide sulfosalicylique 3 %, une solution stock de proline, du toluène et de l'acide acétique glacial. De la même manière que pour les échantillons, 2 ml de ninhydrine et 2 ml d'acide acétique concentré ont été ajoutés à 2 ml de chaque standard, avant le bain-marie d'une heure à 90 °C. Différentes concentrations de solution stock de proline ainsi que différentes quantités d'acide sulfosalicylique ont été utilisées. Cela pour que ces échantillons standards correspondent à des valeurs de concentration en proline s'étalant de 0 à 80 µmol/L lorsqu'ils ont été lus par le spectrophotomètre.

Grâce à ces étalons, un graphique avec une droite représentant l'absorbance en fonction de la concentration en proline a pu être dressé. L'équation de cette droite a ensuite servi à déterminer la concentration en proline dans les échantillons en mesurant leur absorbance au spectrophotomètre. Il a ensuite fallu diviser cette valeur par la quantité de matière fraîche de feuille utilisée pour le dosage.

3.5.2 Teneur en sucres solubles

Le dosage des sucres solubles a été réalisé le 21 février 2024 sur les mêmes 12 plantes chez lesquelles la proline a été dosée. De la même manière, 18 échantillons ont été analysés, à raison de trois répliqua par condition de traitement.

La matière fraîche broyée au mortier dans l'azote liquide a été pesée de manière à avoir 250 mg pour chaque échantillon. Ces 250 mg ont été ajoutés à des Falcon contenant 4 ml d'éthanol 70 % et mis dans la glace pendant cinq minutes. Les échantillons ont ensuite été centrifugés à 8000 tours/minute, à 4 °C pendant 10 minutes. Après la centrifugation, les surnageants ont été récupérés en filtrant le contenu de chaque Falcon dans un nouveau Falcon à l'aide d'un entonnoir et d'un papier filtre. Les culots ont été récupérés et 2 ml d'éthanol 70 % y ont été rajoutés. Les Falcons ont été laissés au repos dans la glace pendant cinq minutes, après avoir été vortexés. Toutes ces étapes ont été réalisées deux fois de plus de manière à avoir trois cycles de centrifugation/filtration. Les surnageants filtrés ont été à chaque fois récupérés et ajoutés au surnageant précédent. Une fois les trois répétitions effectuées, le volume des 18 Falcons contenant les surnageants filtrés a été porté à 7 ml avec de l'éthanol 70 %.

Une gamme d'étalons a également été réalisée en mélangeant du glucose et de l'éthanol 70 % en différentes concentrations. De cette manière, une gamme de concentration de glucose de 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 et 500 mg/L a été établie. 1 ml d'anthrone a été ajouté à la dispensette à ces 11 standards. Concernant les 18 échantillons, 200 µl en ont été prélevés et placés dans des tubes en verre. Dans chaque tube, 1 ml d'anthrone a été ajouté. Les échantillons et les standards ont ensuite été placés au bain-marie à 100 °C pendant 10 minutes puis dans la glace pour stopper la réaction. Après un vortexage, les échantillons ainsi que les standards ont été passés au spectrophotomètre (UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) et l'absorbance a été lue à une longueur d'onde de 625 nm.

La concentration en sucres solubles totaux dans l'échantillon de départ est calculée grâce à la formule suivante :

*Concentration (mg/g de MF) = [(Concentration brute (mg/L) * Volume (L)) /Poids (g)]*

3.6 Analyses statistiques

Les données récoltées tout au long de ce travail ont été stockées et manipulées dans le logiciel Microsoft® Excel® 2016 MSO (16.0.4456.1003, 64 bits). Certains graphes provenaient d'Excel, mais la majorité des graphes ont été réalisés sur le logiciel RStudio (version 4.2.1). Tous les tests statistiques ont aussi été réalisés sur RStudio.

Toutes les données mesurées ont été comparées entre les différentes conditions de traitements possibles (les quatre générations et les quatre génotypes avec à chaque fois les deux régimes hydriques). Pour chaque jeu de données, les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées. Pour la normalité, le test de Shapiro a été utilisé, et si le test ne montrait pas la normalité, les données ont été transformées par une fonction racine carré ou logarithme. Concernant l'homogénéité de la variance, elle a été vérifiée avec les tests de Levene, Bartlett et Fligner-Killeen. Après ces vérifications et transformations, il s'est avéré que tous les jeux de données respectaient ces deux hypothèses. Dans le cadre de cette étude, des ANOVA 2 (Analysis of variance) ont été réalisées pour prendre en compte l'effet du stress et celui de la génération/du génotype. Des ANOVA 3 ont été utilisées dans le cas de mesures qui ont été prises à deux moments différents, de manière à prendre le facteur « temps » en compte. Le test post-hoc de Tukey a été utilisé pour évaluer les différences entre régimes hydriques au sein de chaque génération. L'α utilisé pour les tests était de 0,05. Enfin, une ACP (Analyse en composantes principales) a été réalisée pour essayer de déterminer quelles variables ont le plus créé des différences entre groupements.

4. Résultats

Cette section aborde tout d'abord les paramètres environnementaux en serres avant de présenter en trois parties les différents résultats obtenus au long de l'expérience. La première partie des résultats sur les plantes s'intéressera à leur croissance d'un point de vue morphologique, la deuxième aux paramètres liés à la photosynthèse et à leur statut hydrique et enfin la dernière partie sera consacrée à l'étude de paramètres biochimiques.

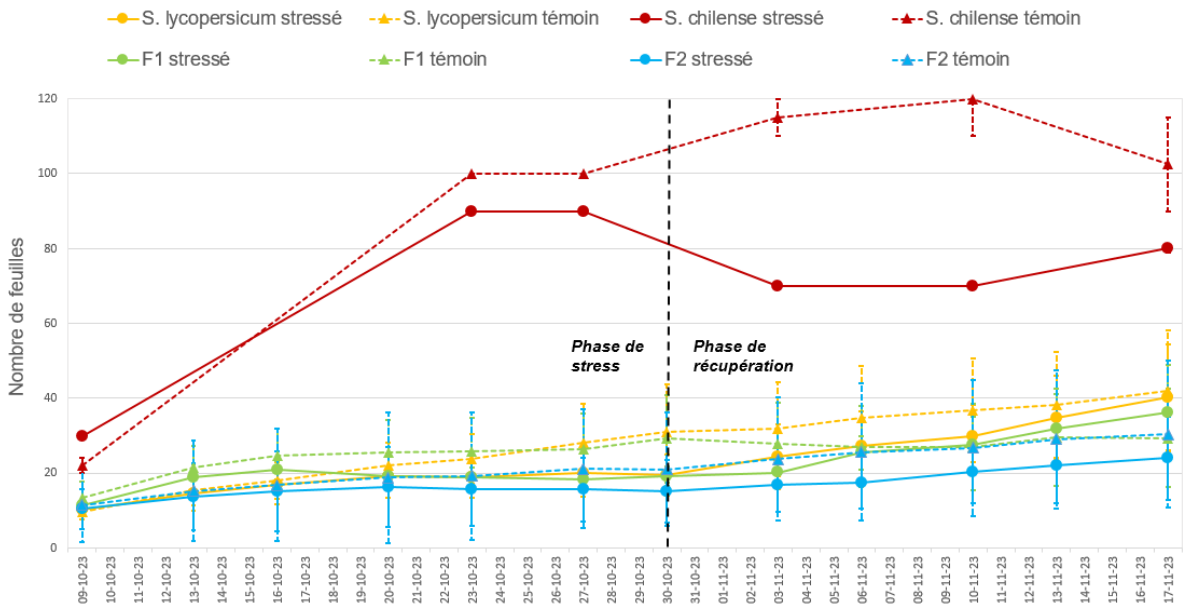
Dans cette partie, les résultats concernant la comparaison entre les générations sont chaque fois présentés. Les résultats s'intéressent d'autre part aux différences entre génotypes au sein de la F1 et au sein de la F2 (F1-plante S10, F1-plante S16, F2-plante 1 et F2-plante 2). Ceux-ci ne sont présentés que quand les différences se sont montrées significatives.

Certains paramètres ont été mesurés à deux périodes : à la fin de la période de stress ainsi qu'à la fin de la période de récupération, autrement dit à la fin de l'expérience. Dans ce cas, les résultats se pencheront également sur la comparaison entre les deux mesures dans le but de voir l'effet d'une période de récupération sur les groupes étudiés.

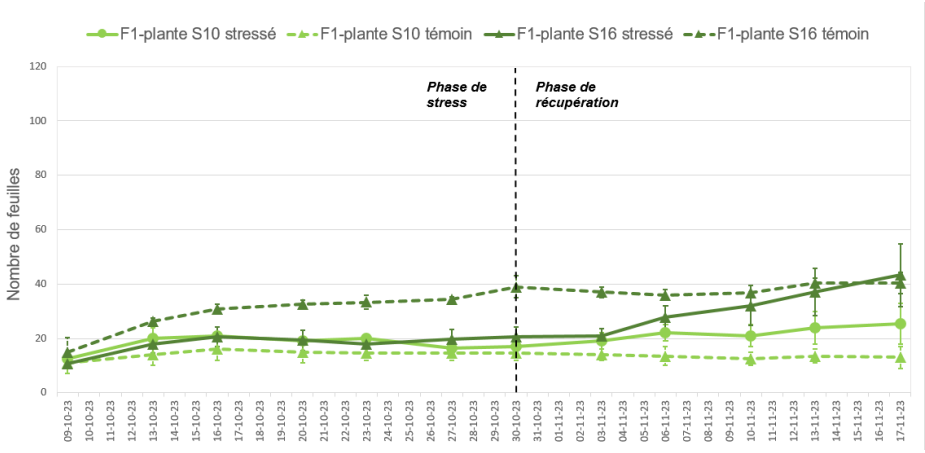
4.1 Paramètres liés à la croissance

4.1.1 Production de feuilles

A)



B)



C)

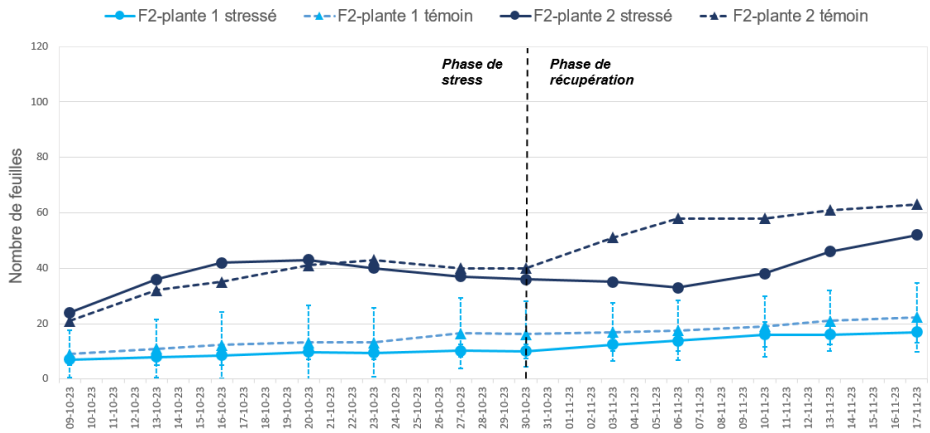


Figure 10 : Impact d'un stress hydrique et d'une phase de récupération sur l'évolution du nombre de feuilles au cours du temps chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2. (A) Comparaison des différentes générations (S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2), (B) comparaison des différents génotypes de la F1, (C) comparaison des différents génotypes de la F2.

La figure 10A montre une augmentation du nombre de feuilles pour les huit conditions. Cependant, des différences de tendance ont été observées entre *S. chilense* et les autres plantes. En effet, le nombre de feuilles chez *S. chilense* était nettement supérieur au nombre de feuilles pour les autres générations, notamment en fin d'expérience (F = 10,9183 ; p-val = 9,05e-05 ***). De manière générale, pendant la phase de stress, le nombre de feuilles était légèrement moins important chez les plantes stressées, avec même une stagnation pour toutes les générations. En fin de phase de stress, les différences entre générations étaient très importantes (F = 38,0177 ; p-val = 1,814e-09 ***), avec un nombre de feuilles chez *S. chilense* plus grand que pour les trois autres groupes. Il n'y avait pas de différence significative entre les plantes stressées et témoins (F = 3,3654 ; p-val = 0,07851) et le stress a eu le même effet chez les quatre générations (F = 0,0368 ; p-val = 0,99031).

Pendant la phase de récupération, le nombre de feuilles a continué à suivre la même tendance chez les témoins. Par contre, en ce qui concerne les individus stressés, hormis chez *S. chilense* où le nombre de feuilles a chuté dû au mauvais état de la plante, les trois autres générations ont vu leur nombre de feuilles augmenter jusqu'à parfois rattraper leurs homologues témoins. Cependant, en fin d'expérience, aucune différence significative n'a été observée entre régimes hydriques (F = 0,1223 ; p-val = 0,7295), ni pour l'interaction entre le régime hydrique et la génération (F = 0,5074 ; p-val = 0,6808).

Les deux génotypes de la F1 n'ont pas évolué de la même manière quant à leur nombre de feuilles (figure 10B). À la fin de l'expérience, la différence était statistiquement significative entre les deux génotypes de la F1 (F = 10,899 ; p-val = 0,01638 *). À la fin du stress, les deux génotypes ne comptaient pas le même nombre de feuilles (F = 32,647 ; p-val = 0,001245 **), de même que les témoins et les stressés (F = 16,457 ; p-val = 0,00675 **). L'effet du stress sur le nombre de feuilles n'a pas été le même en fonction du génotype (F = 17,143 ; p-val = 0,006076 **).

Enfin, concernant la F2, la figure 10C montre un nombre de feuilles nettement plus important chez les plantes du génotype 2 tout au long de l'expérience, avec une différence significative en fin d'expérience (F = 14,0703 ; p-val = 0,009498 **). À la fin de la phase de stress, cette observation était vraie aussi (F = 6,6322 ; p-val = 0,04203 *).

4.1.2 Biomasse produite et contenu en eau

Tableau 1 : Poids secs et contenu en eau des feuilles, tiges et racines des plantes pour les deux régimes hydriques chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2, à la fin de l'expérience (les données sont présentées comme suit : moyenne ± écart-type). Les conditions de traitement qui partagent une lettre différente sont significativement différentes à un seuil de 5 % (test de Tukey).

		Feuilles		Tiges		Racines	
		Poids sec (g)	Contenu en eau (%)	Poids sec (g)	Contenu en eau (%)	Poids sec (g)	Contenu en eau (%)
S. lycopersicum	Témoin	8,79 ± 0,72 **a**	85,09 ± 0,37	6,57 ± 0,8 **a**	81,37 ± 0,89	1,05 ± 0,1	84,09 ± 1,86 **a**
	Stressé	6,43 ± 0,31 **b**	86,3 ± 0,34	3,44 ± 0,27 **b**	83,89 ± 2,65	1,25 ± 0,32	70,8 ± 1,25 **b**
S. chilense	Témoin	1,38 ± 0,33	84,18 ± 4,57	1,95 ± 0,11	86,67 ± 1,63	0,28 ± 0,01	83,58 ± 0,05
	Stressé	0,98	90,54	1,25	89,69	0,24	79,49
F1	Témoin	0,73 ± 0,75	85,18 ± 1,68	2,12 ± 1,82	83,83 ± 4,6	0,47 ± 0,28	86,74 ± 1,38
	Stressé	2,88 ± 1,83	83,01 ± 2,26	2,57 ± 1,22	79,98 ± 4,47	0,95 ± 0,43	82,12 ± 5,59
F2	Témoin	1,87 ± 1,01	87,83 ± 1,14	4,71 ± 1,27 **a**	88,87 ± 1,09	0,59 ± 0,08	85,18 ± 1,68
	Stressé	3,29 ± 0,88	90,47 ± 0,45	1,35 ± 0,62 **b**	91,63 ± 1,36	0,17 ± 0,04	86,35 ± 2,44

Le poids sec des feuilles a grandement varié selon la génération (F = 25,8706 ; p-val = 9,394e-06 ***, tableau 1). La biomasse foliaire produite par *S. lycopersicum* était nettement plus importante que pour les autres générations. En ce qui concerne le poids sec des tiges, la tendance était similaire (F = 4,8763 ; p-val = 0,01739 *) bien que les individus témoins de la F2 ont montré à ce niveau une biomasse importante.

La différence notable au niveau de la biomasse racinaire a été observée au niveau des plantes de *S. lycopersicum* qui ont montré un poids racinaire plus élevé (F = 7,4767 ; p-val = 0,003708 **). Le régime hydrique n'a eu d'effet significatif que sur le poids sec des tiges (F = 8,32 ; p-val = 0,01278 *), mais pas sur le poids sec des feuilles (F = 0,791 ; p-val = 0,38995) ni sur celui des racines (F = 0,2343 ; p-val = 0,63637). Enfin, l'interaction entre ces deux facteurs ne s'est pas montrée statistiquement significative, si ce n'est légèrement pour la biomasse foliaire (F = 3,1752 ; p-val = 0,06018) où, pour la F1 et la F2, celle-ci s'est montrée plus élevée chez les individus stressés.

La génération a été un facteur statistiquement significatif pour expliquer les différences observées en termes de contenu en eau, aussi bien au niveau des feuilles (F = 4,4422 ; p-val = 0,02339 *) qu'au niveau des tiges (F = 6,4495 ; p-val = 0,006548 **) ainsi qu'au niveau des racines (F = 6,3943 ; p-val = 0,006761 **). Les feuilles ont montré un contenu en eau similaire chez les tomates témoins et chez les tomates stressées (F = 1,472 ; p-val = 0,24662). La même observation a été faite concernant le contenu en eau des tiges (F = 0,2352 ; p-val = 0,635795). Celui-ci a par ailleurs varié de 79,98 ± 4,47 % pour les plantes stressées de F1 à 91,63 ± 1,36 % pour les plantes stressées de F2.

Les racines contenaient moins d'eau dans le cas d'un régime hydrique stressé (F = 11,9771 ; p-val = 0,00422 **), à l'exception des individus de F2. Cette observation a été la plus forte chez *S. lycopersicum* où le contenu en eau des racines s'étendait de 70,8 ± 1,25 % en cas de stress à 84,09 ± 1,86 % sans stress appliqué. L'interaction entre le facteur « régime hydrique » et le facteur « génération » a affecté de manière statistiquement significative le contenu en eau des racines (F = 4,2728 ; p-val = 0,026351 *), contrairement aux feuilles (F = 2,0969 ; p-val = 0,15009) et aux tiges (F = 1,0718 ; p-val = 0,394987), où l'interaction n'a eu aucun effet notable.

Tableau 2 : Poids secs et contenu en eau des feuilles, tiges et racines des plantes pour les deux régimes hydriques chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2), à la fin de l'expérience (les données sont présentées comme suit : moyenne ± écart-type).

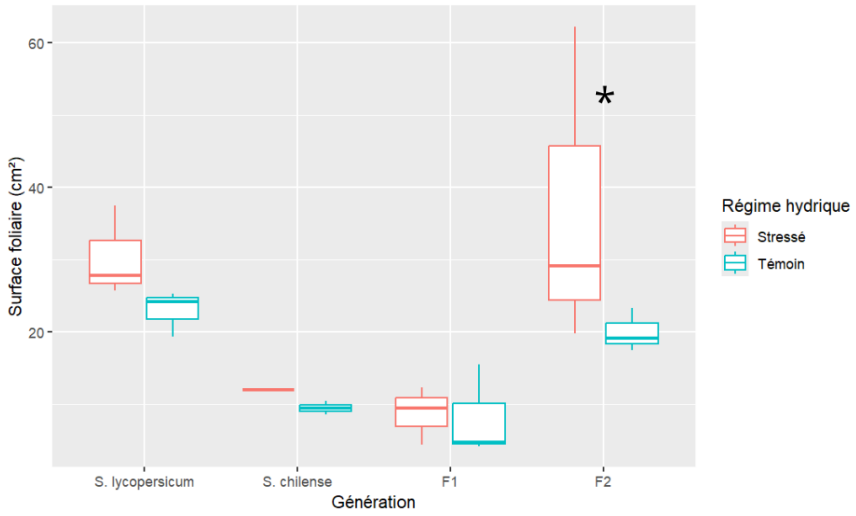
		Feuilles		Tiges		Racines	
		Poids sec (g)	Contenu en eau (%)	Poids sec (g)	Contenu en eau (%)	Poids sec (g)	Contenu en eau (%)
F1-plante S10	Témoin	0,17 ± 0,07	86,44 ± 0,9	0,76 ± 0,03	87,28 ± 0,07	0,26 ± 0,02	87,77 ± 0,21
	Stressé	0,14	86,41	0,74	86,69	0,31	87,35
F1-plante S16	Témoin	1,86	86,44	4,84	76,93	0,9	87,77
	Stressé	4,26 ± 0,85	81,32 ± 0,89	3,48 ± 0,53	76,63 ± 0,75	1,27 ± 0,19	79,51 ± 5,77
F2-plante 1	Témoin	2,83 ± 0,87	88,69 ± 0,16	4,66 ± 1,85	89,69 ± 0,06	0,56 ± 0,09	85,72 ± 1,97
	Stressé	1,87 ± 1,01	90,47 ± 0,45	1,35 ± 0,62	91,63 ± 1,36	0,17 ± 0,04	86,35 ± 2,44
F2-plante 2	Témoin	4,21	86,12	4,81	87,24	0,64	84,08
	Stressé						

Les deux génotypes de F1 ont donné des valeurs différentes de poids secs (tableau 2), avec le génotype S16 à chaque fois plus élevé en ce qui concerne la biomasse, que ce soit pour les feuilles (F = 22,7428 ; p-val = 0,04127 *), pour les tiges (F = 53,9931 ; p-val = 0,01802 *) ou pour les racines (F = 31,1055 ; p-val = 0,03068 *). Concernant les valeurs de contenu en eau, elles étaient plus faibles pour le génotype S16 que pour le génotype S10 quel qu'ait été le régime hydrique, tant pour les feuilles (F = 20,1837 ; p-val = 0,04614 *) que pour les tiges (F = 287,46 ; p-val = 0,003464 **), mais aucune différence n'a été observée pour les racines (F = 1,8413 ; p-val = 0,3077).

La comparaison entre les deux génotypes de F2 n'a pas été possible à cause de la faible quantité de matériel végétal disponible. Les poids secs et contenus en eau n'ont en effet été mesurés que sur un individu du génotype 2 contre quatre individus du génotype 1.

4.1.3 Surface foliaire

A)



B)

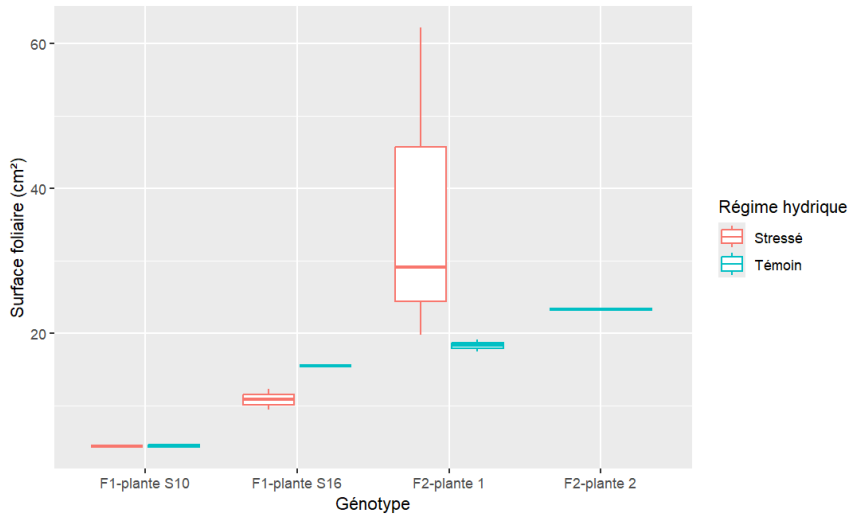


Figure 11 : Impact d'un stress hydrique sur la surface foliaire (cm²) mesurée à la fin de l'expérience, chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2 (A) ainsi que chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B).

Des différences significatives ont été observées entre les générations (F = 6,2917 ; p-val = 0,007177 **, figure 11A). La moyenne des individus de la F1 (8,39 ± 3,97 cm²) s'est le plus écartée de la moyenne générale qui était de 19,61 ± 9,36 cm². En prenant en compte l'ensemble des plantes, il n'y a pas de différence claire qui a été observée entre celles qui étaient stressées et celles qui ont connu un arrosage normal (F = 3,1501 ; p-val = 0,099327).

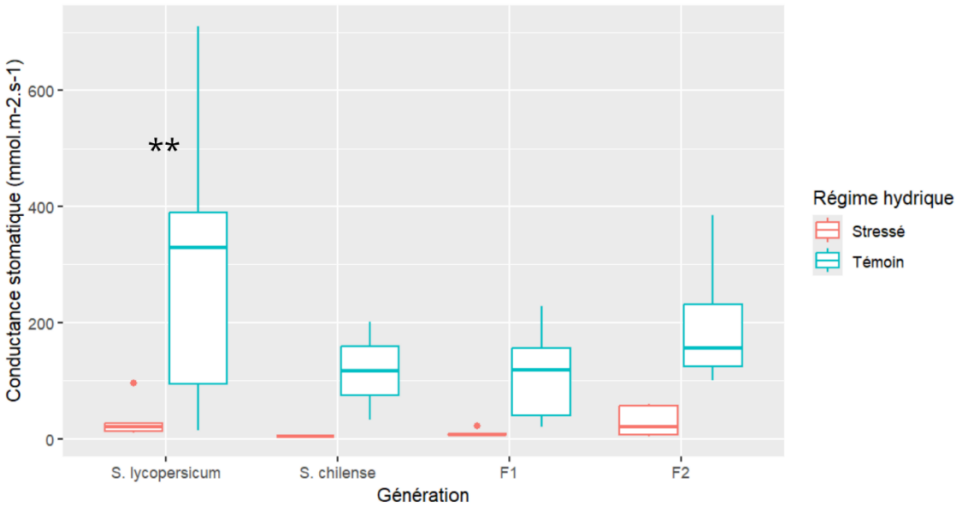
Cependant, concernant les plantes de F2, celles ayant subi un stress hydrique ont montré une surface foliaire significativement plus importante. La surface foliaire des plantes stressées de F2 s'est étalée sur une large gamme de valeurs, avec un écart-type de 16,82 cm^2 autour d'une moyenne de 37,04 cm^2. Une plante stressée de F2 a montré une valeur élevée de 62,26 cm^2 et une autre a montré une valeur de 19,71 cm^2. L'effet de l'interaction ne s'est pas révélé statistiquement significatif (F = 0,7996 ; p-val = 0,515921).

Dans la F1, la surface foliaire du génotype S16 était plus grande que celle du génotype S10 (F = 45,4283 ; p-val = 0,02131 *, figure 11B). Il n'y a pas eu de différence claire de surface foliaire entre les deux génotypes de la F2 (F = 0,0986 ; p-val = 0,7741).

4.2 Photosynthèse et statut hydrique

4.2.1 Conductance stomatique

A)



B)

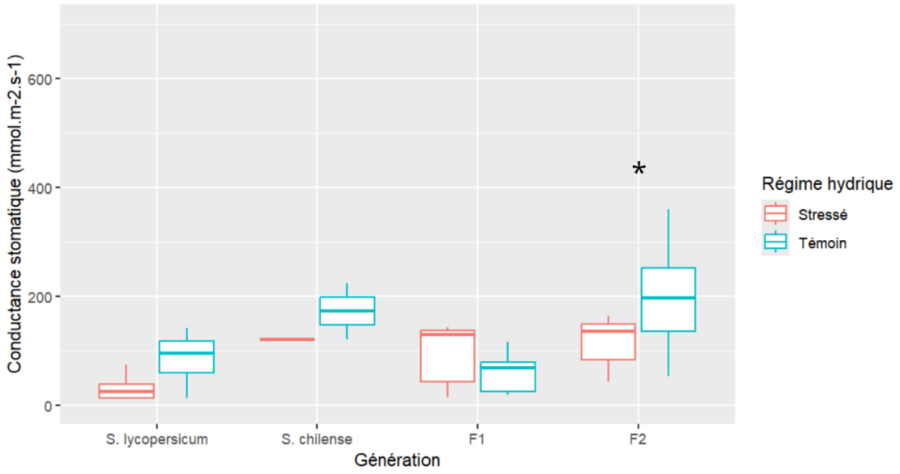


Figure 12 : Effet d'un stress hydrique sur la conductance stomatique (mmol.m^{-2}.s^{-1}) chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2, mesurée à la fin de la période de stress (A) et à la fin de la période de récupération (B). Les astérisques indiquent une différence significative entre régimes hydriques.

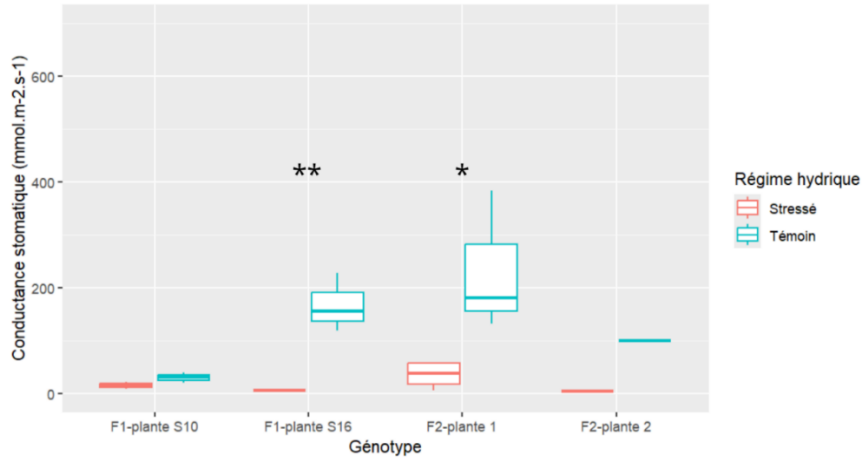
Une ANOVA 3 a été réalisée afin d'évaluer statistiquement l'effet du moment où la conductance stomatique a été mesurée, ainsi que son interaction avec les autres facteurs (régime hydrique, génération et l'interaction entre les trois). De ce test est ressorti le fait que la conductance stomatique n'a pas suivi la même tendance au niveau des générations entre les deux moments de la mesure (F = 2,8119 ; p-val = 0,048968 *) et que, de même, elle n'a pas suivi la même tendance en ce qui concerne le régime hydrique appliqué (F = 11,7776 ; p-val = 0,001227 **).

Juste à la fin des trois semaines de stress (figure 12A), la conductance stomatique a suivi la même tendance pour toutes les générations (F = 1,2329 ; p-val = 0,3195). Elle était significativement plus faible chez les plantes ayant été stressées (F = 25,5111 ; p-val = 3,654e-05 ***), en particulier concernant *S. lycopersicum*. L'interaction n'a pas eu d'effet statistiquement significatif (F = 0,2286 ; p-val = 0,8755). Pour les individus témoins de chaque génération, la variabilité des valeurs a été importante. L'écart-type chez *S. lycopersicum* était de 202,59 mmol.m^{-2}.s^{-1}, avec des valeurs extrêmes de 14,2 mmol.m^{-2}.s^{-1} et 710 mmol.m^{-2}.s^{-1}.

À la fin de l'expérience, des différences entre générations ont été observées, la conductance stomatique était en effet statistiquement différente entre elles (F = 5,1369 ; p-val = 0,006629 **, figure 12B). Les plantes ayant subi un stress hydrique ne montraient plus une conductance stomatique significativement différente de celles n'en ayant pas subi (F = 2,649 ; p-val = 0,116155). Dans la F2, la conductance était tout de même significativement plus élevée chez les témoins. Pour trois générations, les plantes ayant été stressées ont vu leur conductance stomatique augmenter entre les deux moments, sauf pour *S. lycopersicum* chez qui elle est restée similaire.

La variabilité chez les témoins a aussi diminué, sauf pour la F2 où elle était toujours importante. Le facteur interaction est resté non significatif (F = 1,4695 ; p-val = 0,246837).

A)



B)

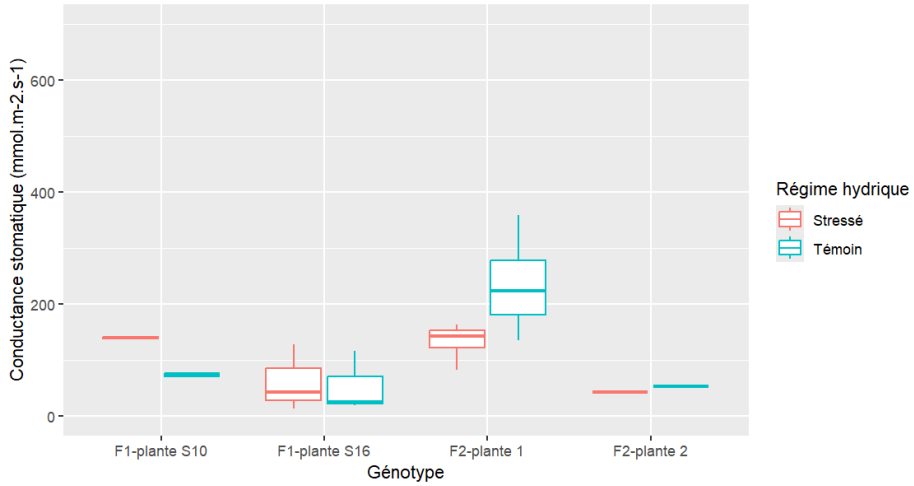


Figure 13 : Effet d'un stress hydrique sur la conductance stomatique (mmol.m^{-2}.s^{-1}) chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2), mesurée à la fin de la période de stress (A) et à la fin de la période de récupération (B). Les astérisques indiquent une différence significative entre régimes hydriques.

L'ANOVA 3 qui prend en compte le facteur « moment » a mis en évidence que l'effet du régime hydrique sur la conductance n'avait pas été le même pour les deux génotypes présents dans la F2 (F = 4,8874 ; p-val = 0,0491541 *).
Concernant la F1, l'effet du génotype n'a pas été le même entre les deux mesures de conductance (F = 8,3359 ; p-val = 0,013647 *, figure 13A-13B).

Les deux génotypes S10 et S16 ont montré une différence significative dans les valeurs de conductance juste à la fin du stress (F = 10,384 ; p-val = 0,0180833 *), contrairement à la fin de l'expérience où plus aucune différence notable n'était visible (F = 2,6666 ; p-val = 0,1536). Toujours au niveau de la F1, l'interaction entre le facteur régime hydrique et le facteur génotype était significative en fin de stress (F = 22,065 ; p-val = 0,0033355 **, figure 13A).

4.2.2 Taux de transpiration

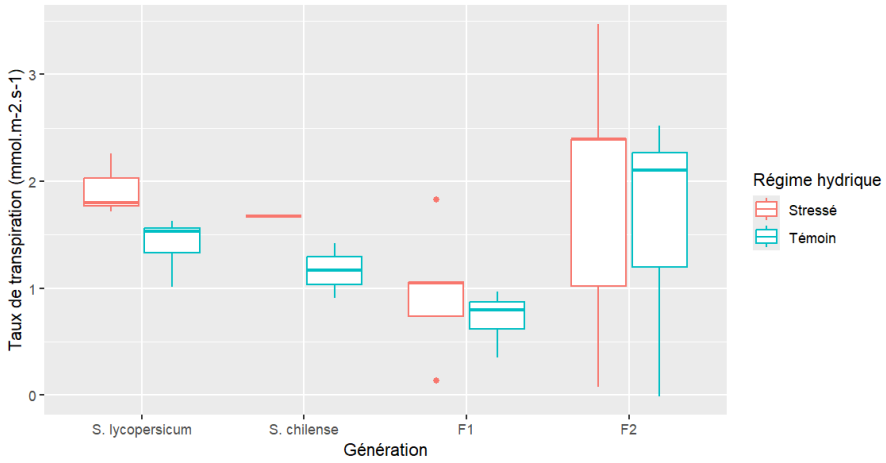
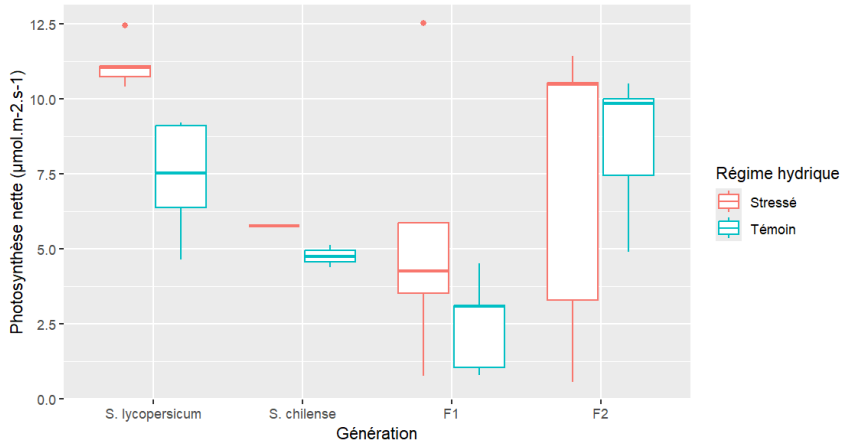


Figure 14 : Influence d'un stress hydrique sur le taux de transpiration (mmol.m^{-2}.s^{-1}) mesuré à la fin de l'expérience chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2.

Le taux de transpiration n'a montré des différences statistiquement significatives qu'entre les générations (F = 4,8068 ; p-val = 0,008884 **, figure 14). L'effet du stress n'a pas créé de différence significative (F = 1,2798 ; p-val = 0,268665). Cependant, pour *S. lycopersicum*, pour *S. chilense* ainsi que pour les tomates de F1, le taux de transpiration a été légèrement plus élevé chez les individus ayant subi un stress hydrique. Aucun effet imputable à l'interaction génération/régime hydrique n'a pu être montré (F = 0,3245 ; p-val = 0,807617). Dans le cas de la F2, la tendance a été similaire, peu importe le régime hydrique subi. La variabilité au sein de cette génération s'est montrée très importante. Le taux de transpiration était en moyenne de 1,87 ± 1,06 mmol.m^{-2}.s^{-1} chez les stressées et de 1,91 ± 0,47 mmol.m^{-2}.s^{-1} chez les témoins.

4.2.3 Photosynthèse nette

A)



B)

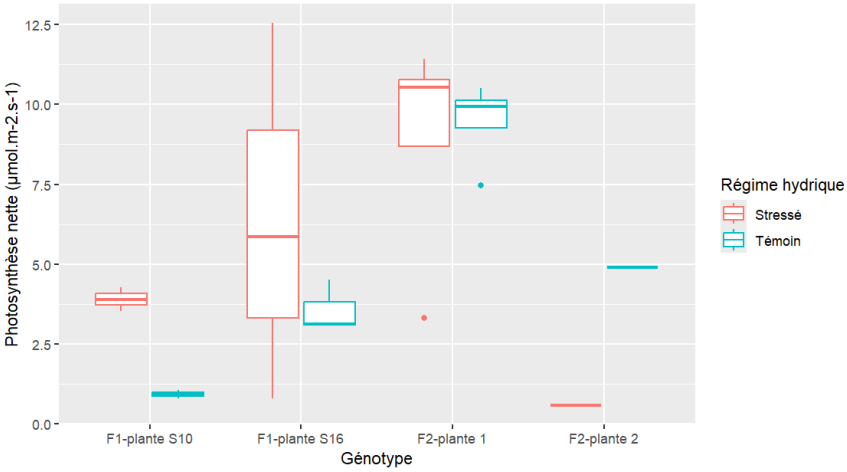


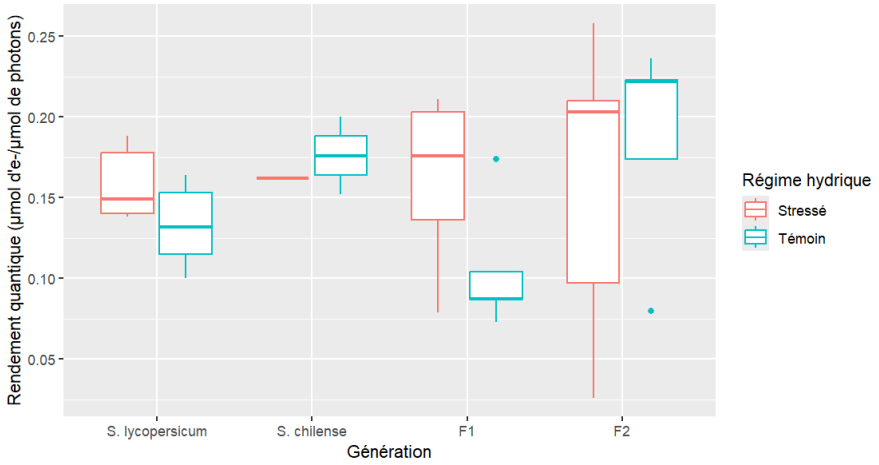
Figure 15 : Influence d'un stress hydrique sur la photosynthèse nette (µmol.m^{-2}.s^{-1}) mesurée à la fin de l'expérience chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2 (A) et chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B).

Sur la figure 15A, une différence dans le taux de photosynthèse nette est visible entre générations (F = 6,0003 ; p-val = 0,003171 **). Les 10 plantes de *S. lycopersicum* ont en moyenne montré un taux de photosynthèse nette de 9,27 ± 1,89 µmol.m^{-2}.s^{-1} et les 10 plantes de F1 ont en moyenne montré un taux de photosynthèse nette de 3,96 ± 2,27 µmol.m^{-2}.s^{-1}. Hormis pour la F2, la photosynthèse nette était légèrement plus importante si un stress avait été appliqué, même si cette tendance n'était pas assez marquée pour qu'elle soit statistiquement significative (F = 2,6964 ; p-val = 0,113098). Dans la F2, la variabilité dans la photosynthèse nette mesurée chez les plantes stressées était très importante, l'écart-type était de 4,26 µmol.m^{-2}.s^{-1}. Vis-à-vis des générations, les tendances visibles au niveau de la photosynthèse nette étaient les mêmes qu'au niveau du taux de transpiration.

Une grande variabilité dans le taux de photosynthèse chez les plantes S16 stressées est visible sur la figure 15B. Enfin, le taux de photosynthèse nette était significativement plus important chez le génotype 1 que chez le génotype 2 (F = 8,2732 ; p-val = 0,02819 *).

4.2.4 Rendement quantique du photosystème II

A)



B)

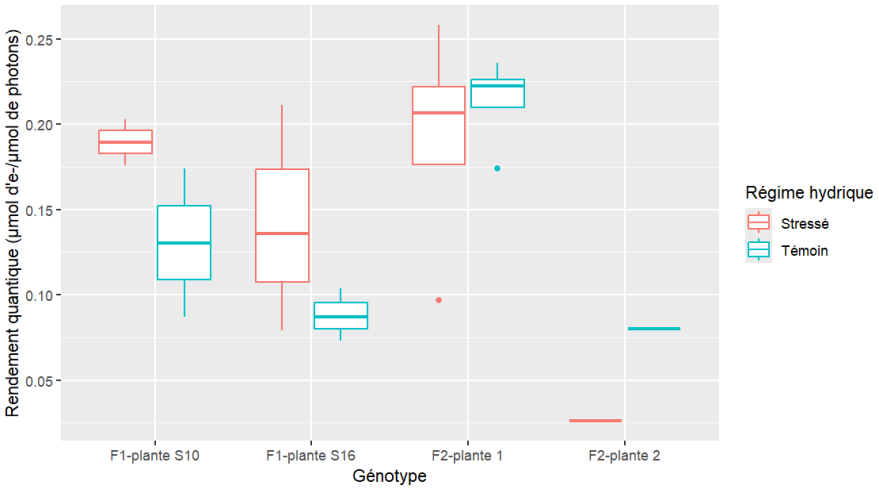


Figure 16 : Effet d'un stress hydrique sur le rendement quantique du PSII (µmol d'électrons/µmol de photons) mesuré à la fin de l'expérience chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2 (A) et chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (B).

Le rendement quantique du PSII ne s'est pas révélé significativement différent entre les générations (F = 1,0309 ; p-val = 0,3958, figure 16A). L'effet du régime hydrique s'est montré trop faible pour créer des différences importantes (F = 0,6202 ; p-val = 0,4384). Aucun phénomène d'interaction entre les générations et le régime hydrique appliqué n'a été mis en évidence (F = 1,0559 ; p-val = 0,3854).

La variabilité chez les plantes stressées de F1 et de F2 s'est montrée importante. En condition stressée, la moyenne de rendement quantique des plantes était de 0,16 ± 0,043 µmol d'é-/µmol de photons pour la F1 et de 0,16 ± 0,078 µmol d'é-/µmol de photons pour la F2.

Une différence était visible entre le rendement quantique du PSII des plantes du génotype 1 et celui des plantes du génotype 2 (figure 16B). Cette différence a été confirmée statistiquement (F = 13,4315 ; p-val = 0,01052 *). Le facteur régime hydrique n'a créé de différence notable pour aucun des quatre génotypes, ni dans la F1 (F = 3,5112 ; p-val = 0,1101), ni dans la F2 (F = 0,743 ; p-val = 0,42181).

4.2.5 Température foliaire et teneur en chlorophylle

Tableau 3 : Température foliaire (°C) et teneur en chlorophylle (unités SPAD) mesurées à la fin de la période de stress ainsi qu'à la fin de la période de récupération pour les deux régimes hydriques, chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2 (les données sont présentées comme suit : moyenne ± écart-type). Les conditions de traitement qui partagent une lettre différente sont significativement différentes à un seuil de 5 % (test de Tukey).

		Température foliaire (°C)		**Teneur en chlorophylle (unités SPAD)**	
		Fin du stress	Fin de la période de récupération	Fin du stress	Fin de la période de récupération
S. *lycopersicum*	Témoin	26,21 ± 0,49	26,68 ± 0,48 **a**	46,77 ± 2,29	49,7 ± 4,35
	Stressé	26,3 ± 0,34	24,02 ± 1,04 **b**	48,41 ± 6,63	53,42 ± 2,66
S. *chilense*	Témoin	25,3 ± 0,05	26,82 ± 0,61	36,98 ± 2,42	30,07 ± 2,2
	Stressé	25,16	27,48	45,77	26,83
F1	Témoin	24 ± 0,36	25,93 ± 0,04	42,14 ± 6,95	33,66 ± 9,75 **a**
	Stressé	24,01 ± 0,48	26,08 ± 0,17	39,66 ± 7,41	44,77 ± 8,52 **b**
F2	Témoin	26,25 ± 0,47 **a**	22,47 ± 1,25 **a**	45,6 ± 3,57	42,33 ± 3,32
	Stressé	25,55 ± 0,18 **b**	25,69 ± 0,03 **b**	47,23 ± 4,99	42,49 ± 2,22

Comme pour la mesure de conductance, l'effet du moment de la mesure, ainsi que son effet d'interaction avec les autres facteurs (génération, régime hydrique et l'interaction entre les trois) a été étudié par une ANOVA 3. Ce test statistique a révélé que les différentes générations n'ont pas montré les mêmes tendances au niveau de leur température foliaire entre les deux moments. L'interaction entre ces deux facteurs était significative (F = 23,9674 ; p-val = 1,088e-09 ***).

Il a également été observé que l'effet d'interaction entre la génération et le régime hydrique n'était pas le même entre la fin du stress et la fin de l'expérience (F = 15,2317 ; p-val = 3,926e-07 ***). Le moment de la mesure n'a en revanche eu aucun effet significatif sur la teneur en chlorophylle (F = 0,5813 ; p-val = 0,449476).

La température foliaire en fin de période de stress a fortement été influencée par la génération (tableau 3). Ce facteur s'est en effet révélé statistiquement significatif pour expliquer les différences observées (F = 38,5126 ; p-val = 2,477e-09 ***). La température en fin de stress n'a pas été sensiblement différente entre les régimes hydriques stressés et témoins (F = 0,9967 ; p-val = 0,3281). De même, il n'y pas eu d'effet différent du régime hydrique selon la génération (F = 1,1643 ; p-val = 0,3439).

En fin d'expérience, des différences de température foliaire ont de nouveau été observées entre les générations (F = 10,4686 ; p-val = 0,0001206 ***, tableau 3). Le fait d'avoir été stressé ou non n'a pas créé de différence statistiquement significative entre les individus (F = 0,6491 ; p-val = 0,428028) même si la température foliaire mesurée chez *S. lycopersicum* et chez la F2 s'est montrée sensiblement différente entre les deux régimes hydriques appliqués. Chez *S. lycopersicum*, la température des feuilles était plus faible si un stress avait été appliqué alors que l'inverse était vrai pour les plantes de la F2. Cette observation explique en grande partie pourquoi le facteur d'interaction entre la génération et le régime hydrique était statistiquement significatif (F = 15,6252 ; p-val = 6,253e-06 ***).

Concernant la teneur en chlorophylle mesurée à la fin de la phase de stress, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les générations (F = 1,968 ; p-val = 0,1457) ainsi qu'entre les régimes hydriques (F = 0,1264 ; p-val = 0,7253) (tableau 3). Il n'y a pas non plus eu de phénomène d'interaction entre les deux (F = 0,4401 ; p-val = 0,7264).
À la fin de la phase de récupération, des différences significatives entre générations ont été observées (F = 7,7079 ; p-val = 0,0008236 ***). Les feuilles des plantes de *S. lycopersicum* contenaient en moyenne 51,56 ± 3,73 unités SPAD de chlorophylle, celles de *S. chilense* 28,99 ± 2,19 unités SPAD alors que la moyenne générale des 33 plantes était de 42,99 ± 7,79 unités SPAD. L'impact du régime hydrique sur la teneur en chlorophylle ne s'est pas montré significatif en fin d'expérience (F = 4,1585 ; p-val = 0,08754). Enfin, aucun phénomène d'interaction n'a été observé (F = 0,0535 ; p-val = 0,82472).

Tableau 4 : Température foliaire (°C) et teneur en chlorophylle (unités SPAD) mesurées à la fin de la période de stress ainsi qu'à la fin de la période de récupération pour les deux régimes hydriques, chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2) (les données sont présentées comme suit : moyenne ± écart-type). Les conditions de traitement qui partagent une lettre différente sont significativement différentes à un seuil de 5 % (test de Tukey).

		Température foliaire (°C)		**Teneur en chlorophylle (unités SPAD)**	
		Fin du stress	Fin de la période de récupération	Fin du stress	Fin de la période de récupération
F1-plante S10	Témoin	23,61 ± 0,16	25,98 ± 0,02	33,78 ± 3,65	21,47 ± 7,8
	Stressé	23,4 ± 0,18	25,99 ± 0,32	30,4 ± 8,68	34,12 ± 8,68
F1-plante S16	Témoin	24,27 ± 0,25	25,9 ± 0,03	47,71 ± 4,16	41,79 ± 4,7
	Stressé	24,41 ± 0,36	26,14 ± 0,07	45,83 ± 0,49	51,87 ± 4,49
F2-plante 1	Témoin	26,45 ± 0,35 **a**	22,47 ± 1,57 **a**	47,98 ± 1,39	43,63 ± 2,26
	Stressé	25,53 ± 0,21 **b**	25,69 ± 0,04 **b**	46,23 ± 6,23	42,76 ± 2,51
F2-plante 2	Témoin	25,62	22,45	38,47	37,17
	Stressé	25,62	25,68	47,27	41,4

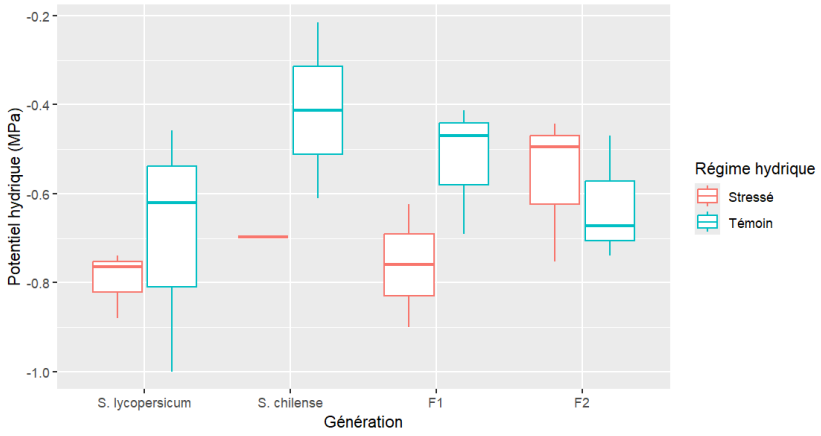
L'ANOVA 3 en fonction des génotypes de F1 a révélé que la température foliaire observée n'a pas suivi la même tendance entre S10 et S16 entre la fin du stress et la fin de l'expérience (F = 8,783 ; p-val = 0,011841 *). Cette température s'est montrée légèrement plus élevée pour le génotype S16 à la fin du stress alors qu'à la fin de la récupération la température était semblable entre les deux génotypes.

Entre les deux génotypes de F1, à la fin du stress, la différence de température foliaire était statistiquement significative (F = 12,6151 ; p-val = 0,01205 *, tableau 4). Au niveau de la teneur en chlorophylle mesurée en fin de stress, celle-ci s'est montrée significativement plus haute chez les plantes S16 que chez les plantes S10 (F = 25,3798 ; p-val = 0,002362 **, tableau 4). Concernant la teneur en chlorophylle de fin d'expérience, celle-ci s'est montrée de nouveau plus élevée chez les individus S16 (F = 11,7271 ; p-val = 0,01407 *).

Pour la F2, une différence de température foliaire significative a été observée entre les individus témoins et stressés en fin de stress (F = 8,0486 ; p-val = 0,03637 *). Pour les plantes du génotype 1, la température s'est montrée en moyenne presque 1 °C plus élevé chez les témoins (tableau 4). En fin de phase de récupération, les feuilles des plantes 1 et 2 ayant subi un stress ont montré en moyenne une température plus importante que les témoins.

4.2.6 Potentiels hydriques et osmotiques

A)



B)

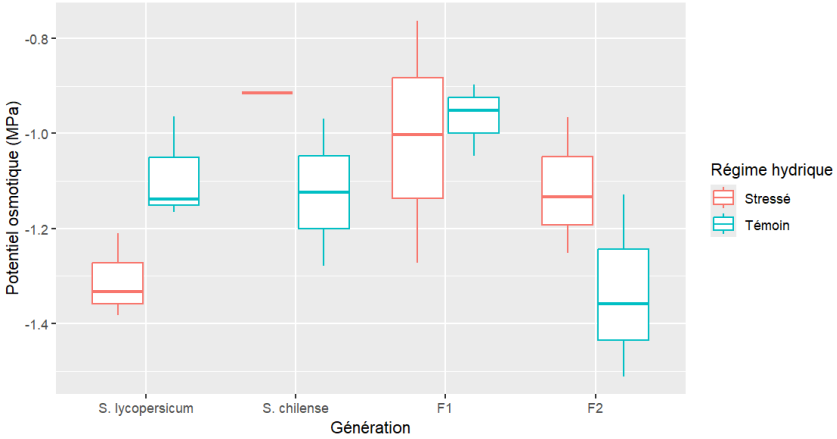


Figure 17 : Impact d'un stress hydrique sur le potentiel hydrique (MPa) (A) ainsi que sur le potentiel osmotique (B) mesurés en fin d'expérience chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2.

Le potentiel hydrique s'est montré semblable entre les quatre générations (F = 1,3305 ; p-val = 0,3071, figure 17A). Les plages de valeur de potentiel hydrique se sont révélées grandes, surtout pour les individus n'ayant pas subi de stress. Même si pour *S. chilense* et pour la F1, les témoins avaient en moyenne un potentiel hydrique plus élevé, globalement le fait d'avoir été stressé ou non n'a pas engendré de différence statistiquement significative de potentiel hydrique (F = 2,1634 ; p-val = 0,1651). Il n'y a pas non plus eu d'effet significativement différent du régime hydrique selon la génération de tomates (F = 0,9291 ; p-val = 0,4557).

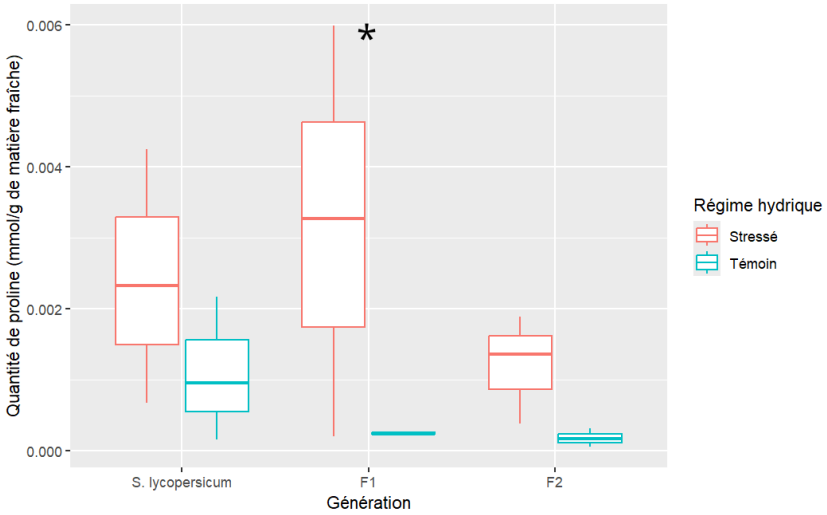
Le potentiel osmotique a été en moyenne de -1,20 ± 0,11 MPa chez *S. lycopersicum* et de -1,22 ± 0,15 MPa chez les plantes de F2 contre -1,05 ± 0,15 MPa chez *S. chilense* et -0,99 ± 0,12 MPa chez les plantes de F1 (figure 17B). Des différences de potentiel osmotique ont donc été observées entre les générations, bien que pas assez marquées pour être statistiquement significatives (F = 2,7491 ; p-val = 0,08524).

Le régime hydrique n'a pas créé de différence (F = 0,0295 ; p-val = 0,86624), de même que l'effet d'interaction qui ne s'est pas montré statistiquement significatif (F = 2,1863 ; p-val = 0,13856).

4.3 Paramètres biochimiques

4.3.1 Quantité de proline et de sucres solubles totaux

A)



B)

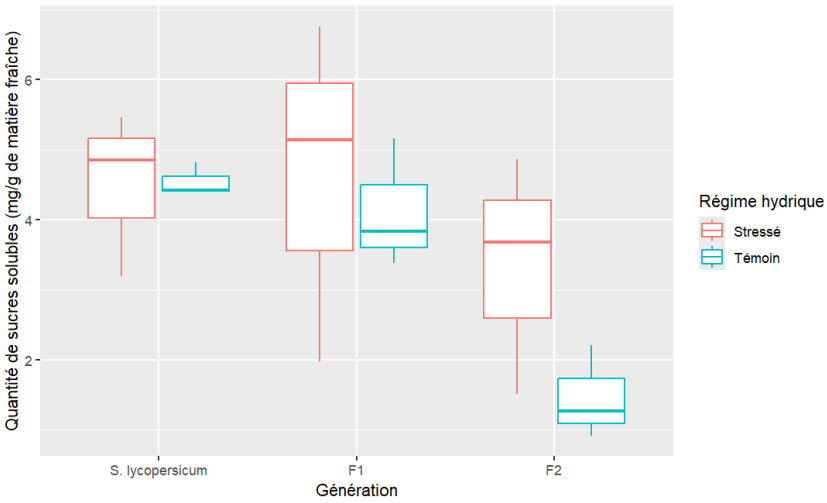


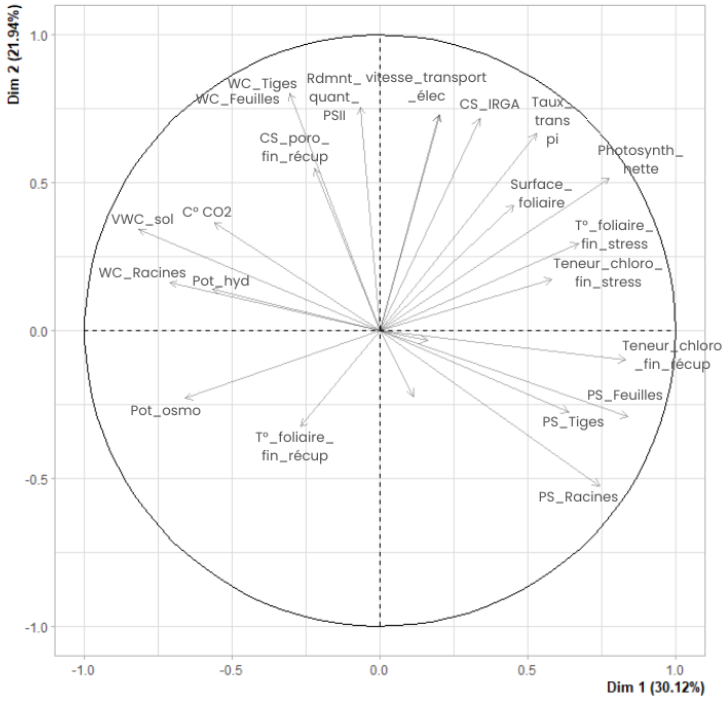
Figure 18 : Effet d'un stress hydrique sur la quantité de proline (mmol/g de matière fraîche) (A) et sur la quantité de sucres solubles (mg/g de matière fraîche) (B) chez S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2. Les astérisques indiquent une différence significative entre régimes hydriques.

Les trois générations ont montré des valeurs de quantité de proline qui n'étaient pas statistiquement différentes les unes des autres (F = 0,972 ; p-val = 0,4062, figure 18A). Les plantes ayant été stressées contenaient en moyenne plus de proline que les témoins (F = 6,2812 ; p-val = 0,0276 *). Cependant, si en moyenne les plantes stressées contenaient plus de proline, les valeurs de concentration en proline s'étalaient sur une plage plus importante chez les stressées que chez les témoins. Ainsi, pour la F1 par exemple, si un individu stressé contenait $5{,}996.10^{-3}$ mmol de proline/g de matière fraîche, un autre contenait $2{,}038.10^{-4}$ mmol de proline/g de matière fraîche. Cette dernière valeur était semblable à celles de toutes les plantes témoins de F1. Enfin, chaque génération a montré des concentrations plus faibles chez les témoins que chez les stressées, il n'y a donc pas eu de phénomène d'interaction (F = 0,6966 ; p-val = 0,5173).

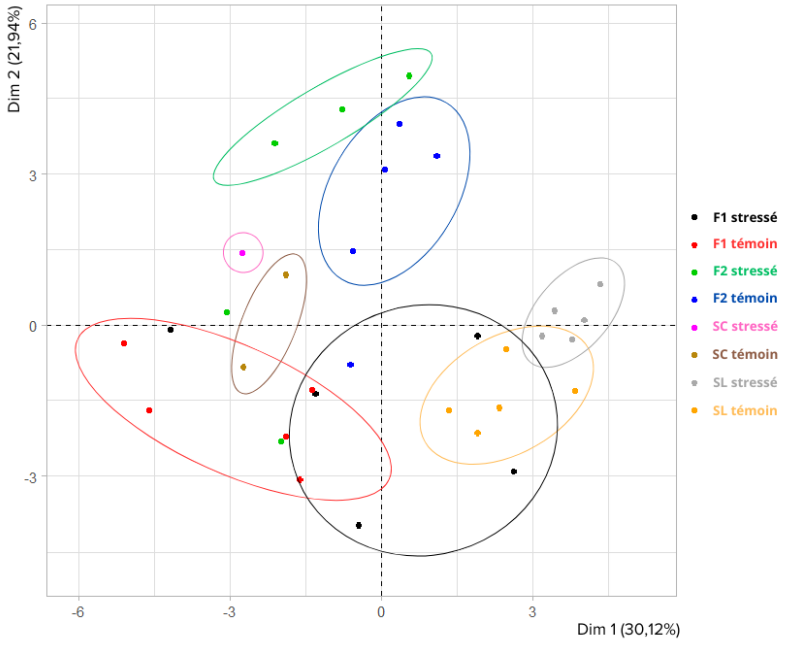
La quantité de sucres solubles totaux s'est montrée moins élevée pour la F2 que pour les deux autres générations, le facteur génération était en effet statistiquement significatif (F = 4,3504 ; p-val = 0,03795 *, figure 18B). La quantité de sucres moyenne pour la F2 était de 2,41 ± 1,25 mg/g de matière fraîche et la quantité moyenne en considérant juste les plantes de *S. lycopersicum* et de F1 était de 4,45 ± 0,92 mg/g de matière fraîche. Dans la F2, les plantes ayant subi un stress hydrique contenaient en moyenne plus de sucres solubles, mais cette différence était moins marquée pour les plantes de *S. lycopersicum* ainsi que de F1. Le régime hydrique n'a pas eu d'impact significatif sur la concentration en sucres solubles (F = 1,4318 ; p-val = 0,25457). Aucun signe clair d'interaction entre les deux facteurs n'a été observé (F = 0,7737 ; p-val = 0,48301).

4.4 ACP des différentes générations pour les deux régimes hydriques en fonction des données morphologiques et physiologiques

A)



B)



C)

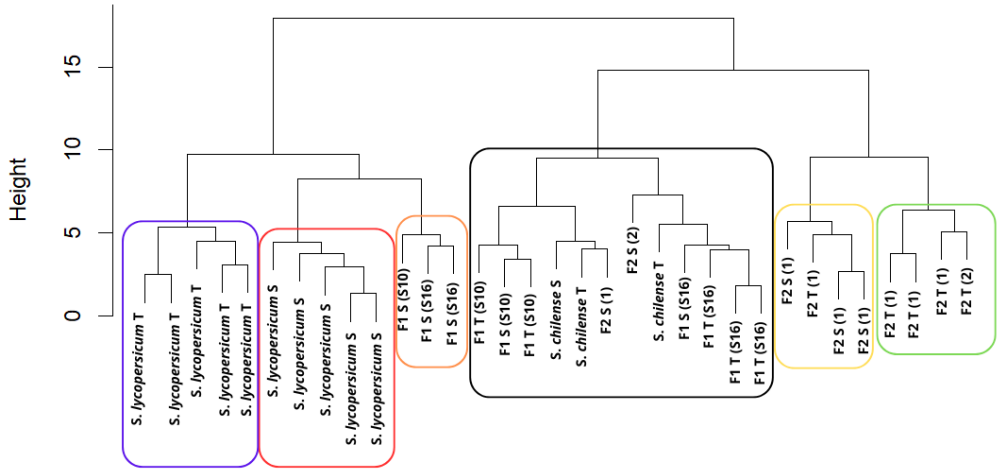


Figure 19 : ACP des paramètres morphologiques et physiologiques en fonction de la génération et du régime hydrique. Cercle de corrélation entre variables (A), graphe des individus (B), clustering des individus (C).

De manière à percevoir les différences entre les plantes au niveau de toutes les mesures qui ont été prises, une ACP et un arbre basé sur les résultats de l'ACP ont été réalisés (figure 19). Les deux dimensions principales de l'ACP expliquaient respectivement 30,12 et 21,94 % de la variabilité. La figure 19A montre que les variables les plus explicatives dans la première dimension étaient d'un côté la photosynthèse nette, la teneur en chlorophylle en fin de récupération ainsi que les poids secs des feuilles et des racines. De l'autre côté, la teneur en eau du sol en fin d'expérience, le contenu en eau des racines et le potentiel osmotique expliquaient aussi beaucoup de variabilité. Dans la deuxième dimension, les variables qui expliquaient le plus les différences observées étaient le taux de transpiration, la conductance stomatique mesurée avec l'IRGA, la vitesse de transport des électrons, le rendement quantique du photosystème II ainsi que le contenu en eau des tiges et des feuilles.

La figure 19B montre comment les individus se sont positionnés dans ces deux dimensions. Des groupes assez distincts ont pu être mis en évidence. Les plantes de *S. lycopersicum* étaient bien groupées ensemble, avec même des sous-groupes distincts en fonction du régime hydrique subi. Le même constat était valable pour *S. chilense*. Les individus F2 témoins, F2 stressés et F1 témoins étaient aussi plutôt bien rassemblés entre eux malgré des individus plus écartés. Seules les plantes stressées de la F1 se sont révélées plus aléatoirement dispersées.

La figure 19C est un arbre qui est basé sur les résultats de l'ACP. Celui-ci montre, de manière analogue à ce qui est montré sur la figure 19B, les groupements qui ont pu être faits sur base des variables mesurées pour les 33 plantes de l'expérience. Les plantes de *S. lycopersicum* étaient toutes regroupées entre elles, avec en plus une distinction nette entre celles ayant subi un stress hydrique et les autres. Les plantes de la F2 étaient plutôt bien regroupées aussi, avec de nouveau une bonne distinction entre les stressées et les témoins. Pour le reste, le dernier groupe (en noir sur la figure) s'est lui montré plus hétérogène, avec des individus de *S. chilense*, de la F1 et de la F2. Il est à noter également un petit groupe bien distinct de trois plantes stressées de la F1. Au sein de la F1, une partie des individus S10 et une partie des individus S16 étaient bien rassemblés entre eux. Néanmoins, une autre partie (entourée en orange) s'est révélée plus mélangée. Dans la F2, les deux plantes ayant le génotype 2 étaient assez éloignées sur l'arbre.

5. Discussion

5.1 L'impact du stress hydrique et de la réhydratation sur *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides F1 et F2

5.1.1 Au niveau morphologique

Les plantes de *S. chilense* comportaient plus de feuilles que les trois autres générations. En effet, cette espèce, avec son port buissonnant, produit un nombre important de feuilles et de ramifications (Bigot, 2023). À l'inverse, *S. lycopersicum* possède plutôt un port érigé et produit moins de ramifications (Bigot, 2023). Les plantes hybrides ont montré visuellement une morphologie intermédiaire, comme Bigot (2023) l'a observé dans son étude.

Pendant la phase de stress, les plantes de *S. lycopersicum*, de la F1 ainsi que de la F2 avaient produit légèrement moins de feuilles que les mêmes plantes qui étaient arrosées normalement. Okunlola et al. (2015) ont également observé pour des plants de tomate stressés un nombre de feuilles moins important que chez les témoins. Concernant *S. chilense*, moins de feuilles étaient présentes sur la plante stressée par rapport aux plantes témoins à la fin de la période de stress, ce qui correspond à ce qu'ont observé Tapia et al. (2016). Bigot et al. (2023) ont observé plus de feuilles produites chez *S. lycopersicum* comparées aux hybrides et à *S. chilense*. Cette dernière comportait dans notre étude le plus de feuilles alors que chez *S. lycopersicum* c'est surtout la surface foliaire qui était importante.

Durant une phase de récupération après un stress, toute une série de réarrangements métaboliques ont lieu pour réparer les dégâts dus au manque d'eau et redémarrer la croissance (Tamburino et al., 2017). Au début de la phase de récupération, le plant de *S. chilense* qui avait subi le stress a commencé à décliner visuellement. La plante a vraisemblablement été abimée par le stress et les manipulations, ce qui a causé une perte de feuilles à partir du début de la phase de récupération. *S. chilense* est en effet une plante assez fragile qui est difficile à manipuler sans lui faire de dégâts (Bigot, 2023). Suite à la réhydratation, les tomates de *S. lycopersicum*, de la F1 et de la F2 qui avaient été stressées ont retrouvé en moyenne un taux d'initiation de feuilles plus élevé. Chez *S. lycopersicum*, les plantes qui avaient été stressées sont revenues à la fin de l'expérience à un nombre de feuilles similaire aux témoins, ce qui montrerait une bonne capacité de récupération chez cette espèce. Ces résultats corroborent avec ceux qu'ont obtenus Tamburino et al. (2017), qui montraient que *S. lycopersicum* semblait être retournée, après une phase de récupération, à des niveaux métaboliques et physiologiques proches des témoins. Cette capacité était présente également chez la F1, où les plantes stressées ont même dépassé les témoins en matière de nombre de feuilles. Chez la F2 cependant, l'écart s'est maintenu jusqu'à la fin de l'expérience tandis que chez *S. chilense*, contrairement au témoin, l'individu stressé n'a presque plus produit de feuilles pendant les trois semaines de récupération.

La surface foliaire est un indicateur morphologique important, car il peut donner des indications sur l'état physiologique de la plante. En effet, diminuer sa surface foliaire est une des stratégies mises en place par les plantes de manière à réduire les pertes d'eau par transpiration, c'est pourquoi il est souvent observé que l'expansion foliaire est réduite par un déficit hydrique (Koch, 2018). Cependant, la surface foliaire peut être réduite sans que la photosynthèse par unité de surface soit affectée (Koch, 2018).

La surface foliaire n'a ici été mesurée qu'une fois, à la fin de la période de récupération. Elle était la plus petite dans notre étude chez *S. chilense*, ce qui semble logique compte tenu de sa capacité à vivre dans des milieux arides. Les plantes de F1 ont montré une surface foliaire similaire à celle des plantes de *S. chilense*, adoptant donc pour ce caractère un comportement plus semblable à celui du parent sauvage. La surface foliaire chez *S. lycopersicum* était plus élevée que chez *S. chilense* et la F1, ce que Bigot et al. (2023) ainsi que Tapia et al. (2016) ont aussi constaté. Cela pourrait être expliqué par le fait que cette espèce n'a pas développé de mécanismes de résistance à la sécheresse, comme l'est la diminution de la surface foliaire (Krishna et al., 2022). Chez *S. lycopersicum* et surtout dans la F2, la surface foliaire s'est montrée dans l'ensemble plus importante que chez les deux autres générations, mais aussi plus importante chez les tomates qui avaient été stressées. Ces comportements pourraient traduire que pour ces générations, les plantes sous stress ont choisi de garder une surface foliaire importante de manière à garder un haut taux de photosynthèse. La tendance inverse a plutôt été observée chez Bigot et al. (2023) en cas de stress salin, en effet, ils ont remarqué une surface foliaire fortement réduite chez *S. lycopersicum* en cas de stress. Tapia et al. (2016) ont également observé dans leur étude une surface foliaire réduite en cas de stress hydrique pour *S. chilense* et *S. lycopersicum*.
Ces tendances contraires avec notre étude pourraient s'expliquer par le fait que la surface foliaire a été mesurée après réhydratation et non pas juste après le stress. Il aurait été aussi intéressant de connaître la surface spécifique des feuilles, ce paramètre étant corrélé positivement à la capacité photosynthétique (Wright et al., 2004).

Le poids sec des organes aériens était en moyenne le plus faible chez *S. chilense*, les plantes de cette espèce étaient en effet plus chétives et fragiles. Tapia et al. (2016) ont aussi constaté en comparant *S. lycopersicum* et *S. chilense* un poids sec des feuilles moins élevé chez *S. chilense*, même s'il n'y avait pas de phase de récupération dans leur étude. La faible biomasse générale produite par *S. chilense* pourrait être due au fait que, chez cette espèce, l'expression des gènes liés au cycle cellulaire est supprimée par le stress hydrique de manière à restreindre la division cellulaire (Wei et al., 2024). Les plantes hybrides F1 et F2 ont, au niveau de la biomasse produite, montré des valeurs intermédiaires à celles des deux parents, avec toutefois une plus grande variabilité. Comme Bigot (2023) l'a observé dans son étude, les hybrides n'avaient pas l'apparence buissonnante de *S. chilense*. Néanmoins, ils n'ont pas non plus montré la même densité de végétation que *S. lycopersicum*.

Une différence significative entre régimes hydriques a été observée au niveau du poids sec des tiges, avec des tiges en moyenne plus développées en cas d'arrosage normal, surtout chez *S. lycopersicum* et les hybrides F2.

Concernant *S. chilense* et la F1, le poids sec des tiges était similaire entre les deux régimes hydriques. Le diamètre des tiges a en effet tendance à être réduit dans des conditions de stress sévère (Laxman et al., 2022). À la lumière de ces résultats, nous pouvons supposer que la phase de récupération n'a eu qu'un impact limité sur le développement des tiges.

Face à un stress hydrique, une stratégie qui peut être mise en place par les plantes est de favoriser le développement et l'activité du système racinaire pour prospecter des horizons de sol plus profonds (Koch, 2018). Cependant, en l'absence d'une telle stratégie, la longueur des racines est généralement réduite par un stress hydrique (Flores-Saavedra et al., 2023). Dans notre étude, la biomasse sèche racinaire s'est montrée plus importante chez les tomates qui avaient été stressées pour *S. lycopersicum* et pour la F1. La biomasse était la même dans les deux conditions chez *S. chilense* alors que pour la F2, les racines étaient plus développées chez les témoins. Ces résultats pourraient être interprétés par l'hypothèse que chez *S. chilense* le stress n'a pas impacté les racines, car cette espèce n'a pas besoin d'adapter son système racinaire grâce à son caractère résistant à la sécheresse. *S. lycopersicum*, quant à elle, n'est pas adaptée à la sécheresse et donc elle a besoin de favoriser le développement racinaire. Les hybrides F1 ont adopté ce comportement également. Il serait intéressant à l'avenir de se pencher plus en détail sur les questions de stress hydrique relatives aux racines, questions qui sont relativement peu explorées dans la littérature.

5.1.2 Au niveau physiologique

En cas de manque d'eau, les plantes stressées voient leur contenu en eau diminuer (Laxman et al., 2022 ; Ullah et al., 2016). La transpiration continue alors que les ressources en eau dans le sol sont de moins en moins présentes. À la fin de notre expérience, il n'y a que chez les hybrides F1 que le contenu en eau des feuilles et des tiges était clairement plus faible en cas de stress. La tendance inverse était souvent observée dans les trois autres générations. Ces observations sont en accord avec ce que Cauchie (2022) a observé dans son étude sur *S. lycopersicum* et *S. chilense*, c'est-à-dire un contenu en eau similaire entre les tomates stressées et les témoins.

Blanchard-Gros et al. (2021) ont aussi constaté un contenu en eau des feuilles chez *S. lycopersicum* qui n'a pas été affecté par le stress hydrique. Cette tendance contre-intuitive peut s'expliquer par le fait que la plante met en place des mécanismes pour maintenir l'eau en son sein en cas de déficit d'eau comme l'ajustement osmotique (Quinet, com. pers.). Par contre, le contenu en eau des racines était en moyenne plus grand chez les témoins de toutes les générations excepté la F2 où il était similaire pour les deux régimes hydriques. Cette observation était particulièrement forte chez *S. lycopersicum*. Effectivement, le terreau des pots des individus stressés de cette espèce était visuellement très sec comparé à celui des pots des individus témoins tout au long de l'expérience. Vu que cette espèce est gourmande en eau (Michaud, 2018), le terreau s'asséchait vite et donc les racines des individus stressés contenaient nettement moins d'eau que les témoins.

Un des premiers mécanismes d'adaptation que mettent en place les plantes quand elles font face à un manque d'eau est la fermeture des stomates, ce qui leur permet de minimiser les pertes d'eau. Cependant, par ce mécanisme, le captage du CO_2 est affecté, ce qui diminue l'activité photosynthétique de la plante (Conti et al., 2021 ; Galmés et al., 2013 ; Koch, 2018). La première observation flagrante que nous avons faite à la fin de la période de stress est que la conductance stomatique était plus faible chez les plantes stressées de toutes les générations par rapport aux plantes témoins. Tapia et al. (2016) ou encore Blanchard-Gros et al. (2021) ont aussi montré une diminution drastique de la conductance stomatique en cas de stress chez *S. chilense*, *S. lycopersicum* et même *S. peruvianum*. Effectivement, la fermeture des stomates est parfois quasiment complète à des stades de stress hydrique avancés (Tamburino et al., 2017). Bigot et al. (2023) et Barrera-Ayala et al. (2023) ont observé dans leurs travaux une conductance stomatique plus élevée chez *S. chilense* que chez *S. lycopersicum*. Dans notre étude, après les trois premières semaines, la conductance était en moyenne plus faible chez les témoins de *S. chilense* par rapport aux témoins de *S. lycopersicum*, bien que pas assez pour que la différence soit significative.

Quant aux hybrides F1 et F2, les individus ayant subi un stress ont montré une augmentation de leur conductance stomatique pendant la phase de récupération. Dans la F1, les tomates stressées ont même dépassé en moyenne les témoins à la fin de l'expérience. Les hybrides ont donc montré un comportement similaire à celui de *S. chilense*, contrairement à ce qui a été constaté dans l'étude de Bigot et al. (2023). Ils ont en effet observé en condition témoin une conductance stomatique chez les hybrides plus proche de celle de *S. lycopersicum*. Les individus stressés de *S. lycopersicum* ont par contre gardé une faible conductance stomatique tout au long de l'expérience, contrairement à ce qu'ont observé Tamburino et al. (2017) en étudiant l'effet d'une phase de récupération. Cette différence entre les deux espèces parentes suggère à ce niveau-là une certaine faculté de récupération chez *S. chilense*. Dans son milieu naturel, l'évaporation étant importante, il lui est nécessaire d'avoir une bonne capacité à faire circuler l'eau comme l'ont suggéré Barrera-Ayala et al. (2023).

Un paramètre à mettre en relation avec la conductance stomatique est le taux de transpiration. Dans notre étude, le taux de transpiration, qui a été mesuré au terme de la période de récupération, a suivi une tendance assez claire. Il allait en moyenne en décroissant, suivant l'ordre *S. lycopersicum* > *S. chilense* > F1, avec ensuite une très grande variabilité dans la F2. Pour les quatre générations, il n'y a pas eu d'effet du stress. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les trois semaines de récupération ont été suffisantes pour retrouver des niveaux normaux de transpiration. Bigot et al. (2023) ont bel et bien observé des différences de taux de transpiration entre des tomates stressées et d'autres en condition contrôle à l'issue d'une période de stress.

La conductance stomatique et le taux de transpiration sont positivement corrélés (Bigot et al., 2023). Pourtant, dans nos résultats, les tendances concernant la conductance stomatique (mesurée à la fin de l'expérience) n'ont pas suivi celles concernant la transpiration. *S. chilense*, qui a montré une conductance stomatique plus élevée que *S. lycopersicum*, a montré par contre un taux de transpiration plus faible. Le taux de photosynthèse nette chez cette espèce était également en moyenne plus faible que celui de *S. lycopersicum*.

Les plantes de F1 avaient, comme pour le taux de transpiration, le taux de photosynthèse nette le plus faible et les individus de F2 ont montré une grande variabilité de valeurs de ce paramètre. La photosynthèse nette la plus importante a été observée pour les plantes de *S. lycopersicum* qui avaient subi le stress, suggérant que ces plantes ont très bien récupéré au niveau physiologique. C'est aussi quelque chose que Grosjean (2022) a observé à la fin d'une période de stress donc il est possible que dans notre cas le même constat aurait été fait avant la réhydratation. De plus, elle a aussi observé que le stress hydrique n'avait pas eu d'impact sur la capacité photosynthétique de *S. chilense*, ce que nous avons également constaté. Il faut toutefois noter que dans notre étude les résultats observés pour le taux de transpiration ainsi que le taux de photosynthèse nette sont difficilement imputables au seul effet du stress ou au seul effet de la réhydratation. Il serait intéressant à l'avenir de mesurer ces paramètres à la fin de chaque phase et non pas une unique fois en fin d'expérience.

Généralement, une plus grande WUE est observée chez des plantes en état de stress (Conti et al., 2021). Les plantes qui subissent un stress hydrique misent sur une photosynthèse efficiente, c'est-à-dire la minimisation des pertes d'eau par transpiration, mais en gardant un haut taux de photosynthèse (Koch, 2018).
Nos résultats à la fin de l'expérience ont montré un taux de transpiration légèrement plus élevé chez les plantes qui avaient été stressées, à l'exception des hybrides où celui-ci était similaire entre les deux régimes hydriques. La photosynthèse nette était en moyenne plus importante chez les plantes stressées, à l'exception de la F2. La photosynthèse nette la plus élevée a été observée pour les plantes de *S. lycopersicum* stressées. Conformément à ce qu'ont observé Barrera Ayala et al. (2023) ainsi que Bigot et al. (2023), dans nos résultats, *S. lycopersicum* semble avoir une plus grande WUE que *S. chilense*. En effet, les plantes de *S. lycopersicum* ont montré en moyenne des taux de transpiration à peine plus grands que *S. chilense* mais une photosynthèse nette bien plus importante. Toujours en accord avec ce qu'ont montré Barrera Ayala et al. (2023), *S. chilense* aurait une faible WUE, mais une grande conductance stomatique qui lui donne une bonne capacité à transporter l'eau. Au niveau du taux de transpiration ainsi que du taux de photosynthèse nette, les tomates hybrides F1 ont montré un comportement plus proche du parent sauvage, avec tout de même une plante qui s'est comportée plus semblablement aux individus de *S. lycopersicum*. Dans la F2, la variabilité était très importante concernant ces deux paramètres.

Un autre paramètre qui peut attester du bon fonctionnement de l'ensemble de l'appareil photosynthétique est le rendement quantique du PSII. Un faible rendement de celui-ci peut indiquer une mauvaise conversion par la plante de l'énergie lumineuse reçue (Luyckx, com. pers.). À l'issue de notre expérience, ce rendement quantique ne s'est pas révélé significativement différent entre les quatre générations, ainsi qu'entre les plantes ayant été stressées ou non. Si, sous stress sévère, Laxman et al. (2022) soulèvent que des dommages sont faits aux photosystèmes, selon Conti et al. (2021), le stress hydrique et la fermeture des stomates qui s'en suit n'influencent pas la capacité du PSII à réduire le premier transporteur d'électrons. Les résultats de notre étude suggèrent donc que, si dommages il y a eu, ceux-ci se sont résorbés à la suite de la réhydratation et le PSII des plantes en état de stress était aussi fonctionnel que celui des témoins à la fin de l'expérience.

Nos résultats montrent la même tendance que ceux de Cauchie (2022), à savoir que le stress hydrique n'a pas eu d'influence sur le rendement quantique du PSII. Par contre, Grosjean (2022) a bel et bien observé une différence, avec un rendement plus faible en cas de stress hydrique chez *S. chilense*. Ces deux études, contrairement à la nôtre, ne prenaient pas en compte de phase de récupération post-stress.

Dans leur étude qui s'intéressait à la réponse de *S. lycopersicum* à un stress hydrique suivi d'une phase de récupération, Tamburino et al. (2017) n'ont pas observé de différence significative dans la teneur en chlorophylle entre des tomates stressées et d'autres n'ayant pas subi de stress. Pourtant, en cas de déficit hydrique, le stress oxydatif engendré participe à dégrader les pigments photosynthétiques comme la chlorophylle à cause de la dégradation de la membrane des thylakoïdes (Tamburino et al., 2017). Comme dans l'étude de Tamburino et al. (2017), nos résultats ne montrent pas de manière significative une teneur en chlorophylle plus faible chez les plantes ayant subi un stress. Dans la F1, les individus ayant été stressés contenaient significativement plus de chlorophylle que les autres après la phase de récupération. Cette observation semble en phase avec le fait que les plantes de F1 stressées ont montré une photosynthèse et un rendement quantique en moyenne plus importants que les témoins à la fin de la phase de récupération. Cela suggèrerait, comme l'ont suggéré Tamburino et al. (2017) dans leur étude sur *S. lycopersicum*, que les individus stressés de F1 ont su retrouver après la réhydratation un bon fonctionnement général de l'ensemble de l'appareil photosynthétique et une bonne efficience d'utilisation de la lumière.

Le potentiel hydrique des feuilles diminue généralement en cas de stress hydrique (Murshed et al., 2008). Dans notre étude, les potentiels hydriques et osmotiques ont été mesurés à la fin de l'expérience seulement. C'est une raison qui pourrait expliquer que les potentiels hydriques et osmotiques n'ont pas systématiquement été plus faibles chez les plantes ayant été stressées par rapport aux plantes témoins. Les seules générations où le potentiel hydrique était en moyenne nettement plus faible chez les stressées étaient *S. chilense* et les hybrides F1. Cela pourrait indiquer une concentration en substances dissoutes plus importante chez ces plantes (Niyazova & Huseynova, 2024). Pourtant, les potentiels osmotiques de ces mêmes plantes se sont avérés les plus élevés de toutes celles ayant subi le stress hydrique. Cela pourrait signifier que d'autres composantes du potentiel hydrique rentrent fortement en compte chez ces deux types de tomates.

Au niveau des potentiels, les tomates de F1 ont montré un comportement très similaire à *S. chilense*. Bigot et al. (2023) ont observé un comportement global plutôt intermédiaire aux deux parents, dans leur étude qui ne prenait pas en compte de phase de récupération. Dans leur étude sur le stress salin, Bigot et al. (2023) ont constaté que le potentiel osmotique n'avait pas été diminué par ce stress dans la F1. Nous avons observé cela également chez nos plantes F1 pour le stress hydrique. Cela tend à montrer, comme Bigot et al. (2023) l'ont montré, une bonne capacité d'ajustement osmotique chez les hybrides F1. Pour les plantes de *S. lycopersicum*, aucune différence flagrante de potentiel hydrique n'était visible entre stressées et témoins. Cette observation est en accord avec ce que Murshed et al. (2008) ont observé dans leur étude sur cette espèce, c'est-à-dire que le potentiel hydrique aurait augmenté tout au long de la phase de récupération jusqu'à atteindre le niveau des témoins.

Quant au potentiel osmotique, Bigot (2023) a montré que celui-ci était par nature plus élevé chez *S. chilense* que chez *S. lycopersicum*. Cela n'a été vérifié dans nos résultats qu'en condition de stress. En effet, le potentiel osmotique de la plante de *S. chilense* ayant été stressée était nettement plus haut que celui de l'espèce *lycopersicum*. Cela suggère qu'en cas de déficit d'eau, *S. lycopersicum* accumule plus d'osmolytes que *S. chilense*, baissant alors son potentiel osmotique.

Nos résultats concernant la teneur en proline suggèrent que *S. lycopersicum* en accumule plus en cas de stress, c'est ce que Bigot et al. (2023) ont également observé. Il aurait été intéressant de connaître la quantité de proline présente chez *S. chilense* mais nous ne disposions pas d'assez de plantes pour cette espèce pour réaliser ce type de mesure. Pour les trois autres générations, les plantes qui avaient subi un stress hydrique contenaient plus d'osmolytes que les témoins. C'était, dans nos résultats, particulièrement observable au niveau des teneurs en proline. En effet, la proline est un important régulateur osmotique qui a tendance à être présent en plus grande quantité dans des plantes en situation de stress (Ullah et al., 2016). Étant donné que le potentiel osmotique diminue avec la présence d'osmolytes, il est logique de constater que *S. lycopersicum* accumulait beaucoup de proline avec le stress. Toutefois, alors que les hybrides contenaient plus de proline en cas de stress, le potentiel osmotique dans la F1 et dans la F2 n'était pas plus faible par rapport aux témoins, il était même plus élevé dans la F2. Il est possible que les mesures de potentiel osmotique n'aient pas été réalisées dans des conditions optimales, toujours est-il que la question de l'ajustement osmotique en cas de stress hydrique chez les hybrides mériterait une attention particulière dans de futures études.

Les hybrides F2 contenaient en moyenne moins de proline et moins de sucres solubles, un autre régulateur osmotique important chez la tomate (Niyazova & Huseynova, 2024 ; Flores-Saavedra et al., 2023). Si, pour la proline, la différence était grande entre les deux régimes hydriques, concernant la quantité de sucres solubles, les hybrides F2 étaient les seules tomates où celle-ci était plus importante chez les témoins. Il y avait plus de sucres solubles chez *S. lycopersicum* et dans la F1 par rapport à la F2, et les quantités étaient en moyenne les mêmes, peu importe le régime hydrique. Une suggestion d'explication serait que, comme mentionné par Koch (2018), une concentration en sucres solubles plus élevée pourrait aussi résulter d'une surface foliaire plus petite, mais qui n'affecte pas la photosynthèse. Nos résultats montrent une surface foliaire plus importante pour les plantes stressées de la F2 par rapport à toutes les autres plantes, ce qui pourrait être corrélé à une plus faible teneur en sucres solubles.

5.2 Variabilité au sein de la F1 et de la F2

Nos résultats ont révélé presque systématiquement une variabilité plus importante chez les hybrides que chez les parents. Cette variabilité était souvent plus importante pour les plantes de F2. Les grandes différences observées entre les plantes de F1 et entre les plantes de F2 s'expliquent par le fait qu'au sein de ces générations, les tomates n'étaient pas génétiquement homogènes, contrairement aux générations parentales.

En effet, deux génotypes différents étaient présents dans notre expérience, aussi bien en F1 qu'en F2. Les différents paramètres mesurés ont souvent différé de manière significative entre ces génotypes.

En ce qui concerne la F1, pour plusieurs paramètres mesurés, la variabilité dans les valeurs s'est montrée importante, surtout chez les plantes ayant subi le stress hydrique. C'était vrai pour le contenu en eau, le taux de transpiration, la photosynthèse nette, le rendement quantique du PSII, le potentiel osmotique et la teneur en proline et en sucres solubles. Ces observations suggèrent que chez les hybrides F1, certaines plantes ont mieux résisté au stress que d'autres. Si nous nous intéressons aux deux génotypes présents dans la F1, à savoir S10 et S16, nos résultats n'ont pas permis de dégager clairement un génotype qui a mieux supporté le stress que l'autre. En effet, selon les paramètres mesurés, les deux génotypes ont montré des réponses suggérant une certaine aptitude à résister au stress. Il a cependant souvent été observé que les plantes stressées du génotype S16 montraient une plus grande variabilité que celles du génotype S10. Les individus les plus intéressants en F1 seraient dès lors plutôt à aller chercher du côté du génotype S16.

Concernant la F2, l'étude des deux génotypes présents dans notre expérience s'est avérée difficile, car seules deux plantes du génotype 2 ont pu être utilisées. La comparaison entre les deux génotypes est donc à mettre en perspective avec la faible quantité de matériel végétal disponible. Néanmoins, une chose qui a été observée de manière presque systématique est la présence d'une importante variabilité dans les valeurs obtenues pour les différents paramètres dans la F2. Cette variabilité au sein des tomates hybrides F2 était particulièrement grande pour des paramètres directement liés à la photosynthèse comme le taux de transpiration, la photosynthèse nette ou encore le rendement quantique du PSII. De plus, cette variabilité était surtout présente chez les plantes ayant été stressées. Nous pouvons donc en conclure que, dans les individus stressés de F2, certains ont très bien récupéré après la phase de stress hydrique.

L'ACP a montré une réponse plus variable des plantes hybrides F1 et F2 que les plantes parentes. Elle a aussi révélé que la majorité des hybrides F1 et F2 se sont comportés plus similairement à *S. chilense* qu'à *S. lycopersicum*. Seules quelques plantes de F1 ont montré un comportement plus semblable à *S. lycopersicum*. L'ACP a donc confirmé les bonnes aptitudes des plantes F2 (et dans une moindre mesure celles de F1) à l'encontre d'un stress hydrique suivi d'une réhydratation. Dans l'étude de Bigot et al. (2023) sur le stress salin qui ne prenait pas en compte de phase de récupération, les hybrides F1 ont adopté un comportement global intermédiaire aux deux parents.

5.3 Perspectives dans l'hybridation de la tomate cultivée avec *S. chilense* dans un objectif de résistance à la sécheresse

Très peu d'études ont évalué la résistance à des stress abiotiques chez les hybrides issus du croisement entre *S. chilense* et *S. lycopersicum* (Bigot, 2023). Dans notre travail, des hybrides F1 et des hybrides F2 ont été étudiés de manière à voir comment ils se comportaient par rapport aux parents. Les hybrides F1 ressemblaient morphologiquement plus à *S. lycopersicum* qu'à *S. chilense*. Cette observation est cohérente avec ce que Bigot (2023) et Bigot et al. (2023) ont observé dans leurs études sur les hybrides. Nous avons observé dans la F1 un comportement physiologique en moyenne plus proche de celui de *S. chilense*. Bigot (2023) a observé dans son étude sur les effets du stress salin un comportement de la F1 plutôt intermédiaire aux deux parents, ce qui suggère que cette génération ne réagit pas de la même manière au stress salin qu'au stress hydrique.

Dans la F2, des plantes se sont comportées plutôt comme *S. chilense*, là où d'autres se sont plutôt comportées comme *S. lycopersicum*. Chez les hybrides F2, le stress hydrique n'a globalement pas été délétère. La généralement grande variabilité présente dans cette génération suggère d'un gradient de résistance au stress hydrique, avec des individus moins adaptés que d'autres. Malheureusement, des conclusions quant aux génotypes de F2 sont difficiles à dresser à la suite de cette étude.

Une chose est cependant certaine, les recombinaisons génétiques qui ont lieu en autofécondant une F1 issue du croisement *lycopersicum* x *chilense* créent des plantes en F2 qui montrent des traits génétiques intéressants quant à la résistance au stress hydrique. C'est effectivement en F2 que la probabilité d'avoir de nouvelles combinaisons génétiques est la plus élevée (Bertin, 2024). Ces plantes ont dès lors un potentiel de résistance qui pourrait être exploité par la voie de l'introgression de gènes de résistance par des backcross successifs avec la tomate cultivée, comme communément réalisé en amélioration végétale (Bertin, 2024). Il faut aussi noter que l'amélioration est possible dans l'autre sens, en introgressant des traits génétiques du parent cultivé dans le parent sauvage, ce qu'on appelle la domestication *de novo*. L'intérêt d'utiliser cette technique repose sur le fait que les QTL qui contrôlent les traits liés au rendement sont bien connus et que la génétique liée aux traits de résistance aux stress abiotiques est plus complexe (Bigot, 2023). Ce serait certainement une autre piste intéressante à explorer dans le domaine de l'amélioration de la tomate.

S. chilense a déjà été utilisée pour améliorer la tomate cultivée, mais, à notre connaissance, seulement pour augmenter la teneur en anthocyanines des fruits de *S. lycopersicum* (Bigot et al., 2023). Cependant, la sélection pour la résistance aux stress abiotiques en hybridant ces deux espèces n'a jamais été tentée (Bigot et al., 2023). D'autres espèces sauvages comme *S. pennellii* ou *S. pimpinellifolium* ont plus souvent été utilisées dans l'amélioration de la tomate cultivée (Krishna et al., 2022).

L'utilisation d'espèces sauvages de tomates est certainement une méthode intéressante. En effet, la sélection au sein même de l'espèce *lycopersicum* est très limitée, car celle-ci contient peu de variations génétiques en comparaison de ses espèces apparentées (Bai & Lindhout, 2007). L'amélioration par le biais d'espèces sauvages soulève pourtant aussi certaines limites. La sélection pour des traits de résistance aux stress abiotiques est difficile à effectuer, car ces caractères sont souvent polygéniques. Néanmoins, elle reste une option privilégiée aujourd'hui, car les méthodes d'édition génomique rencontrent le même problème, en plus de ne pas être encore bien acceptées par le grand public (Krishna et al., 2022 ; Bai & Lindhout, 2007).

Les caractéristiques de résistance observées en F2 sont, dans notre étude, à mettre en perspective avec le fait que les plantes se sont généralement toutes bien comportées face au stress. En effet, malgré un stress sévère de trois semaines, il n'y a pas de mortalité qui a été observée dans nos plantes. Nos résultats suggèrent que, à la suite d'une phase de réhydratation, les tomates peuvent retrouver des niveaux morphologiques et physiologiques semblables à de mêmes tomates qui auraient subi un arrosage normal. Il est possible que notre expérience ait été trop courte pour mettre en évidence de réelles différences entre plantes stressées et témoins. Contrairement à nos attentes, la tomate cultivée s'est montrée résiliente face au stress, parfois plus que *S. chilense*.

5.4 Limites méthodologiques

Notre étude n'a pas toujours montré les mêmes résultats que les autres études qui se sont intéressées à la résistance au stress hydrique chez la tomate. Plusieurs limites sont à prendre en compte dans notre expérience.

Tout d'abord, les plantes utilisées dans notre étude ne se trouvaient pas toutes à un même niveau de développement. Beaucoup ont été bouturées, mais certaines ont été récupérées à un stade de développement plus avancé. Selon Laxman et al. (2022), le stress hydrique à un stade de développement plus précoce (de l'ordre de 20 jours) serait plus délétère qu'un stress appliqué à un stade plus tardif (de l'ordre de 30 jours). De plus, nous ne nous sommes focalisés que sur la phase de développement végétatif. Vu que l'intérêt commercial de la tomate réside dans sa production de fruits, il serait évidemment intéressant de prendre en compte également la phase de développement reproducteur. La phase reproductive est souvent admise comme étant la phase la plus sensible des plantes face au stress hydrique (Cohen et al., 2021). Nous pouvons donc supposer que si nous nous étions intéressés à la phase de développement reproducteur, nos résultats n'auraient probablement pas été les mêmes vu que cette phase est souvent la plus vulnérable (Cohen et al., 2021). Grosjean (2022), dans son étude qui a pris en compte les deux phases de développement de la plante, a observé que, dans l'ensemble, la phase végétative avait été la plus affectée en situation de stress, démontrant ainsi que les conséquences du stress ne sont pas les mêmes sur chaque phase de développement.

Ensuite, nous avons clairement manqué de matériel végétal pour notre expérience. Cinq plantes par condition étaient un minimum de manière à obtenir des résultats pertinents, seulement, concernant *S. chilense*, nous n'avons su avoir que trois plantes au total. Étant donné que l'objectif dans lequel s'inscrit ce travail est d'étudier la possibilité d'introgression de gènes de résistance à la sécheresse provenant de cette espèce, il n'était pas idéal de disposer de si peu de plantes de *S. chilense*.

De plus, un autre objectif était de pouvoir dresser un gradient de résistance des génotypes dans la F1 et dans la F2, afin d'en dégager les individus les plus intéressants. Là aussi, il n'a été possible d'étudier que deux génotypes dans chaque génération. En F2, le nombre d'individus de chaque génotype était de huit pour deux, ce qui n'a simplement pas permis de comparaison pour certains paramètres mesurés. Enfin, disposer d'échantillons de plantes plus grands nous aurait permis de réaliser des mesures destructrices également à la fin de la période de stress. Ainsi, nous aurions pu examiner plus clairement l'effet de la phase de récupération.

Très peu d'études se sont intéressées à la résistance au stress hydrique chez des hybrides issus du croisement entre *S. lycopersicum* et *S. chilense*. Les difficultés que nous avons rencontrées concernant *S. chilense* confirment que l'utilisation de cette plante dans un but d'amélioration est assez fastidieuse (Bigot, 2023). Néanmoins, l'étude que nous avons réalisée a révélé des perspectives intéressantes, mais qui devraient être approfondies à l'avenir. Des travaux plus ambitieux sur les hybrides, réalisés sur des échantillons plus importants et qui prendraient aussi en compte la phase de développement reproducteur, révèleraient des choses certainement très intéressantes.

6. Conclusion

Selon les paramètres que nous avons mesurés, nos résultats ont montré des niveaux de résistance globalement différents entre *S. lycopersicum*, *S. chilense*, les hybrides de F1 et ceux de F2. Concernant leur morphologie, les plantes des quatre générations ont montré un comportement similaire au niveau du nombre de feuilles, à l'exception de *S. chilense*, qui possède une architecture différente des autres plantes. Les plantes de *S. lycopersicum* et de la F2 possédaient une surface foliaire plus importante que *S. chilense* et la F1, ce qui montre que les stratégies mises en place par les plantes ont différé concernant ce paramètre. De même, la biomasse foliaire produite était plus importante chez *S. lycopersicum* que chez *S. chilense*. Les racines des plantes étaient plus développées chez *S. lycopersicum* et la F2 en cas de stress, ce qui n'était pas le cas chez *S. chilense*, qui est résistante à la sécheresse.

Des stratégies différentes concernant l'adaptation de la photosynthèse en cas de stress ont été observées. La photosynthèse nette était en moyenne la plus élevée chez *S. lycopersicum* en comparaison de *S. chilense* et de la F1. Elle était aussi plus élevée chez les plantes ayant été stressées chez *S. lycopersicum*. Logiquement, le taux de transpiration était aussi le plus élevé chez cette espèce, suggérant une ouverture des stomates importante malgré le stress. La conductance stomatique chez les plantes stressées de cette espèce était par contre parmi les plus faibles après la phase de récupération. *S. chilense* a montré dans notre expérience un taux de transpiration légèrement plus faible que *S. lycopersicum* et un taux de photosynthèse nette bien plus faible. Cependant, sa conductance stomatique était plus élevée. Ces observations nous mènent à conclure que *S. chilense* aurait une plus faible WUE que *S. lycopersicum* mais une bonne capacité à transporter l'eau. Le stress n'a eu qu'un faible impact sur la teneur en chlorophylle dans notre expérience, cependant les plantes de F1 en contenaient plus en cas de stress. La photosynthèse nette ainsi que le rendement quantique du PSII étaient en moyenne plus importants aussi chez les plantes de F1 ayant été stressées. L'appareil photosynthétique de ces plantes a donc fait preuve d'un bon fonctionnement. De même, ces plantes ont montré une bonne efficience d'utilisation de la lumière après réhydratation.

Les potentiels hydriques et osmotiques n'ont pas systématiquement été plus faibles en cas de stress par rapport aux plantes témoins. Pour les plantes qui ont été stressées, le potentiel hydrique était le plus faible chez *S. chilense* et dans la F1, à l'inverse du potentiel osmotique qui était, en cas de stress, le plus élevé chez ces deux générations. D'autres composantes du potentiel hydrique semblent donc rentrer fortement en compte chez ces deux types de tomates. Nous avons constaté dans notre étude un ajustement osmotique important chez *S. lycopersicum*. En effet, le potentiel osmotique chez les plantes de cette espèce ayant subi le stress était en moyenne le plus faible de toutes les plantes stressées. Celui de l'individu stressé de *S. chilense* était nettement plus élevé, ce qui montre que *S. lycopersicum* a accumulé beaucoup d'osmolytes en réponse au stress hydrique.

Une autre observation qui a été dans ce sens est la quantité de proline importante présente dans les plantes stressées de cette espèce. Il aurait été intéressant de connaître la quantité de proline présente chez *S. chilense*, malheureusement par manque de matériel végétal cela n'a pas été possible.

Ce qui est clairement ressorti de notre étude est la parfois très grande variabilité présente dans la F2, et dans une moindre mesure dans la F1. En effet, les plantes de ces générations n'étant pas homogènes génétiquement, des réponses très variables ont parfois été observées. Certains individus ont fait preuve de caractéristiques intéressantes face au stress hydrique, là où d'autres l'ont moins bien supporté. Nos résultats n'ont pas permis de dégager nettement un génotype plus résistant dans la F1. Néanmoins, les individus du génotype S16 ont souvent montré une plus grande variabilité chez les plantes stressées par rapport au génotype S10, avec des individus qui ont plutôt bien résisté au stress hydrique. Des conclusions quant aux différences observées entre les deux génotypes de F2 sont très difficiles à dresser, car il y avait trop peu de plants de tomate du génotype 2 dans notre étude.

Les hybrides F1 et F2 ressemblaient morphologiquement plus à *S. lycopersicum* qu'à *S. chilense*. Physiologiquement, les paramètres que nous avons mesurés ont révélé que les hybrides F1 se sont souvent comportés plus conformément à *S. chilense*. L'ACP a mis en évidence que les hybrides F2 se sont aussi comportés de manière légèrement plus semblable à *S. chilense*, mais avec des individus plus proches de *S. lycopersicum*. Il aurait été intéressant de se pencher également sur les caractéristiques liées à la phase reproductive de manière à voir comment les hybrides se seraient conduits.

Notre étude rencontre certaines limites, telles qu'un nombre d'échantillons insuffisant, des stades de développement inégaux ou encore une durée d'expérience assez courte. En outre, nous ne nous sommes focalisés que sur la phase de développement végétatif, sans nous intéresser à la phase reproductive, qui revêt un intérêt économique plus important. Nous n'avons pas su non plus pointer un génotype plus résistant que l'autre en F2, ce qui était à la base un des objectifs principaux de cette étude. De même, l'effet de la phase de récupération n'était pas clairement visible, il aurait fallu pour cela disposer de plus de matériel végétal afin de pouvoir réaliser toutes les mesures également à la fin de la période de stress.

Malgré ces limites, à l'issue de notre étude, nous pouvons conclure que des caractéristiques intéressantes ont été observées en F2 en ce qui concerne la résistance au stress hydrique. Les recombinaisons génétiques qui ont lieu dans une F2 issue à la base du croisement entre *S. lycopersicum* et *S. chilense* pourraient être intéressantes à exploiter dans l'amélioration de la tomate cultivée, par l'usage de backcross successifs. L'utilisation d'espèces sauvages, notamment de *S. chilense*, afin d'améliorer la tomate cultivée, semble être une piste intéressante à explorer à travers d'autres études sur les hybrides. Il serait intéressant dans ces futures études de se pencher sur l'ensemble du développement de la tomate, et ce à l'aide d'échantillons plus importants.

7. Références bibliographiques

Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and Breeding of Tomatoes : What have We Gained and What Can We Gain in the Future? *Annals of Botany*, *100*(5), 1085-1094. https://doi.org/10.1093/aob/mcm150

Barrera-Ayala, D., Tapia, G., & Ferrio, J. P. (2023). Leaf Carbon and Water Isotopes Correlate with Leaf Hydraulic Traits in Three Solanum Species (S. peruvianum, S. lycopersicum and S. chilense). *Agriculture*, *13*(3), 525. https://doi.org/10.3390/agriculture13030525

Bertin, P. (2024). *Amélioration des plantes autogames* [Diapositives]. https://moodle.uclouvain.be/mod/folder/view.php?id=179607

Bigot, S. (2023). *Salinity impact on flowering and reproduction of Solanum lycopersicum and its wild halophyte relative Solanum chilense*. Thèse. UCLouvain. Earth and Life Institute-Agronomy (ELI-A). Groupe de Recherche en Physiologie Végétale (GRPV). pp 383.

Bigot, S., Leclef, C., Rosales, C., Martínez, J.-P., Lutts, S., & Quinet, M. (2023). Comparison of the salt resistance of Solanum lycopersicum x Solanum chilense hybrids and their parents. *Frontiers in Horticulture*, *2*. https://doi.org/10.3389/fhort.2023.1130702

Billon, S. (s. d.). *Autres indicateurs de l'état hydrique des plantes*. Consulté le 25 novembre 2024, à l'adresse https://www.plantes-et-eau.fr/documentation/etats-et-transferts-hydriques-dans-et-a-travers-la-plante/20-l-eau-dans-les-tissus-et-les-organes-de-la-plante-et-ses-methodes-de-caracterisation/22-autres-indicateurs-de-l-etat-hydrique-des-plantes

Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J.-P., Lutts, S., Guerriero, G., & Quinet, M. (2021). Comparison of Drought and Heat Resistance Strategies among Six Populations of Solanum chilense and Two Cultivars of Solanum lycopersicum. *Plants*, *10*(8), 1720. https://doi.org/10.3390/plants10081720

Böndel, K. B., Nosenko, T., & Stephan, W. (2018). Signatures of natural selection in abiotic stress-responsive genes of Solanum chilense. *Royal Society Open Science*, *5*(1), 171198. https://doi.org/10.1098/rsos.171198

Cauchie, A. *Impacts of heat and water stresses on the cultivated tomato Solanum lycopersicum and its wild relative Solanum chilense*. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 2022. Prom. : Quinet, Muriel. http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:38029

Çelik, Ö., Ayan, A., & Atak, Ç. (2017). Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (Solanum lycopersicum) varieties against drought stress. *Botanical Studies*, *58*(1), 32. https://doi.org/10.1186/s40529-017-0186-6

Chetelat, R. T., Pertuzé, R. A., Faúndez, L., Graham, E. B., & Jones, C. M. (2009). Distribution, ecology and reproductive biology of wild tomatoes and related nightshades from the Atacama Desert region of northern Chile. *Euphytica*, *167*(1), 77-93. https://doi.org/10.1007/s10681-008-9863-6

Climat.be. (s. d.). *Conséquences sur l'agriculture*. Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://climat.be/changements-climatiques/consequences/agriculture

Climat.be. (s. d.). *Rapport de synthèse du GIEC : les risques sont beaucoup plus élevés que dans les prévisions antérieures*. Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://climat.be/changements-climatiques/changements-observes/rapports-du-giec/2023-rapport-de-synthese

Cohen, I., Zandalinas, S. I., Huck, C., Fritschi, F. B., & Mittler, R. (2021). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*, *171*(1), 66-76. https://doi.org/10.1111/ppl.13203

Conti, V., Romi, M., Parri, S., Aloisi, I., Marino, G., Cai, G., & Cantini, C. (2021). Morpho-Physiological Classification of Italian Tomato Cultivars (Solanum lycopersicum L.)

According to Drought Tolerance during Vegetative and Reproductive Growth. *Plants*, *10*(9), 1826. https://doi.org/10.3390/plants10091826

Easlon, H. M., Asensio, J. S. R., St. Clair, D. A., & Bloom, A. J. (2013). Chilling-induced water stress: Variation in shoot turgor maintenance among wild tomato species from diverse habitats. *American Journal of Botany*, *100*(10), 1991-1999.

FAO. (s. d.). *Effets des changements climatiques sur l'agriculture, la sylviculture et les écosystèmes*. Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://doi.org/10.4060/cb4769fr

FAOSTAT. (2024). Consulté le 12 décembre 2024, à l'adresse https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL/visualize

Flores-Saavedra, M., Plazas, M., Vilanova, S., Prohens, J., & Gramazio, P. (2023). Induction of water stress in major Solanum crops : A review on methodologies and their application for identifying drought tolerant materials. *Scientia Horticulturae*, *318*, 112105. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112105

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023) – with major processing by Our World in Data. "Tomato production – FAO" [dataset]. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Production: Crops and livestock products" [original data]*. Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://ourworldindata.org/grapher/tomato-production

Galmés, J., Ochogavía, J. M., Gago, J., Roldán, E. J., Cifre, J., & Conesa, M. À. (2013). Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum* : Anatomical adaptations in relation to gas exchange parameters. *Plant, Cell & Environment*, *36*(5), 920-935. https://doi.org/10.1111/pce.12022

GIEC. (2021). *Résumé à l'intention des décideurs. Changement climatique 2021 : les bases scientifiques physiques*. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport

d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [publié sous la direction de Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou]. Cambridge University Press.

Grosjean, A. *Effect of water stress, salt stress and their combination on the cultivated tomato Solanum lycopersicum and its halophyte wild relative Solanum chilense*. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 2022. Prom. : Quinet, Muriel. http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:35809

INRAE. (s. d.). *Qu'est-ce que la sécheresse ?* Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://www.inrae.fr/actualites/quest-ce-que-secheresse

Koch, G. *Effet du stress hydrique sur la croissance de la tomate : une étude multi-échelle de la cellule à la plante entière pour une meilleure compréhension des interactions entre les échelles*. Thèse. Biologie végétale. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2018. Français. pp. 185.

Krishna, R., Ansari, W. A., Soumia, P. S., Yadav, A., Jaiswal, D. K., Kumar, S., Singh, A. K., Singh, M., & Verma, J. P. (2022). Biotechnological Interventions in Tomato (Solanum lycopersicum) for Drought Stress Tolerance : Achievements and Future Prospects. *BioTech*, *11*(4), 48. https://doi.org/10.3390/biotech11040048

Kumari, P. H., Kumar, S. A., Rajasheker, G., Madhavi, D., Jalaja, N., Shridhar, K. K., Scinthia, K. P., Divya, D., Sri, M. S., Akhila, Ch., Sujatha, E., Rathnagiri, P., & Kavi Kishor, P. B. (2021). Transgenic Tomatoes for Abiotic Stress Tolerance and Fruit Traits : A Review of Progress and a Preview of Potential. In P. B. Kavi Kishor, M. V. Rajam, & T. Pullaiah (Éds.), *Genetically Modified Crops : Current Status, Prospects and Challenges Volume 2* (p. 1-30). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5932-7_1

Laxman, R. H., Ravishankar, K. V., Prasanna, H. C., Ramesh, K. V., Rashmi, K., Kannan, S., Hara Gopal, K., & Darshan, S. S. (2022). Physiological, Molecular and Genetic Analysis of Abiotic Stress Tolerance in Tomato. In C. Kole (Éd.), *Genomic Designing for Abiotic Stress Resistant Vegetable Crops* (p. 1-47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03964-5_1

Lu, S., Wei, F., & Li, G. (2021). The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system. *Cell Stress*, *5*(6), 76-85. https://doi.org/10.15698/cst2021.06.250

Lurquin, E., Desmet, F., Nihoul, P., & Cousin, A. (2023). *Notions clés en irrigation—Portail de l'agriculture wallonne*. Consulté le 13 décembre 2024, à l'adresse https://agriculture.wallonie.be/home/recherche-developpement/adaptations-a-la-secheresse/resilience-en-grandes-cultures/efficience-en-eau/lirrigation/notions-cles-en-irrigation.html

Luyckx, A. Assistant. UCLouvain. Faculté des sciences. Earth and Life Institute. ELIA, Croix du sud 4-5/L7.07.13, 1348 Louvain-la-Neuve. Entretien du 12 février 2024.

Martín-Gómez, P., Rodríguez-Robles, U., Ogée, J., Wingate, L., Sancho-Knapik, D., Peguero-Pina, J., Dos Santos Silva, J. V., Gil-Pelegrín, E., Pemán, J., & Ferrio, J. P. (2023). Contrasting stem water uptake and storage dynamics of water-saver and water-spender species during drought and recovery. *Tree Physiology*, *43*(8), 1290-1306. https://doi.org/10.1093/treephys/tpad032

Michaud, L. (2018). *La tomate de la terre à la table*. Editions MultiMondes. Canada. pp. 295.

Moreels, P., Bigot, S., Defalque, C., Correa, F., Martinez, J.-P., Lutts, S., & Quinet, M. (2023). Intra- and inter-specific reproductive barriers in the tomato clade. *Frontiers in Plant Science*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1326689

Murshed, R., Lopez-Lauri, F., Keller, C., Monnet, F., & Sallanon, H. (2008). Acclimation to drought stress enhances oxidative stress tolerance in Solanum lycopersicum L. fruits. *Plant Stress*, *2*(2), 145-151.

Niyazova, N. N., & Huseynova, I. M. (2024). The Antioxidant Defense System of Tomato (Solanum lycopersicum L.) Varieties under Drought Stress and upon Post-Drought Rewatering. *Biochemistry (Moscow)*, *89*(6), 1146-1157. https://doi.org/10.1134/S0006297924060130

Okunlola, G. O., Adelusi, A. A., Olowolaju, E. D., Oseni, O. M., & Akingboye, G. L. (2015). Effect of water stress on the growth and some yield parameters of *Solanum lycopersicum* L. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *9*(4), 1755. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.2

Perveen, K., Alfagham, A. T., Debnath, S., Bukhari, N. A., Wei, D.-Q., Alshaikh, N. A., & Alwadai, A. S. (2023). Enriching drought resistance in Solanum lycopersicum using Abscisic acid as drought enhancer derived from Lygodium japonicum : A new-fangled computational approach. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1106857. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1106857

Quinet, M., & Kinet, J. M. (2007). Transition to flowering and morphogenesis of reproductive structures in tomato. *Int. J. Plant Dev. Biol, 1*, 64-74.

Quinet, M. (s. d.). *Natural variation and mutagenesis* [Diapositives].

Quinet, M. Professeure. UCLouvain. Faculté des sciences. Earth and Life Institute. ELIA, Croix du sud 4-5/L7.07.13, 1348 Louvain-la-Neuve.

Scholasch, T., & Rienth, M. (2020). *Analyse des méthodes d'évaluation de l'état hydrique de la vigne*. INRAE. https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.5.15

Taheri, S., Gantait, S., Azizi, P., & Mazumdar, P. (2022). Drought tolerance improvement in Solanum lycopersicum : An insight into "OMICS" approaches and genome editing. *3 Biotech*, *12*(3), 63. https://doi.org/10.1007/s13205-022-03132-3

Tamburino, R., Vitale, M., Ruggiero, A., Sassi, M., Sannino, L., Arena, S., Costa, A., Batelli, G., Zambrano, N., Scaloni, A., Grillo, S., & Scotti, N. (2017). Chloroplast proteome response to drought stress and recovery in tomato (Solanum lycopersicum L.). *BMC Plant Biology*, *17*(1), 40. https://doi.org/10.1186/s12870-017-0971-0

Tapia, G., Méndez, J., & Inostroza, L. (2016). Different combinations of morpho-physiological traits are responsible for tolerance to drought in wild tomatoes *Solanum chilense* and *Solanum peruvianum*. *Plant Biology*, *18*(3), 406-416. https://doi.org/10.1111/plb.12409

Tardieu, F., Granier, C., & Muller, B. (2011). Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? *Current Opinion in Plant Biology*, *14*(3), 283-289. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.002

Ullah, U., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Siddiqui, A. R., Piracha, M. A., & Suleman, M. (2016). *Growth behavior of tomato (Solanum lycopersicum L.) under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting rhizobacteria*.

UNCCD. (2023). *Global Drought Snapshot 2023*. Consulté le 29 novembre 2024, à l'adresse https://www.droughtglobal.org/table-of-content

Wei, K., Sharifova, S., Zhao, X., Sinha, N., Nakayama, H., Tellier, A., & Silva-Arias, G. A. (2024). Evolution of gene networks underlying adaptation to drought stress in the wild tomato Solanum chilense. *Molecular Ecology*, *33*(21), e17536. https://doi.org/10.1111/mec.17536

Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., … Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, *428*(6985), 821-827. https://doi.org/10.1038/nature02403

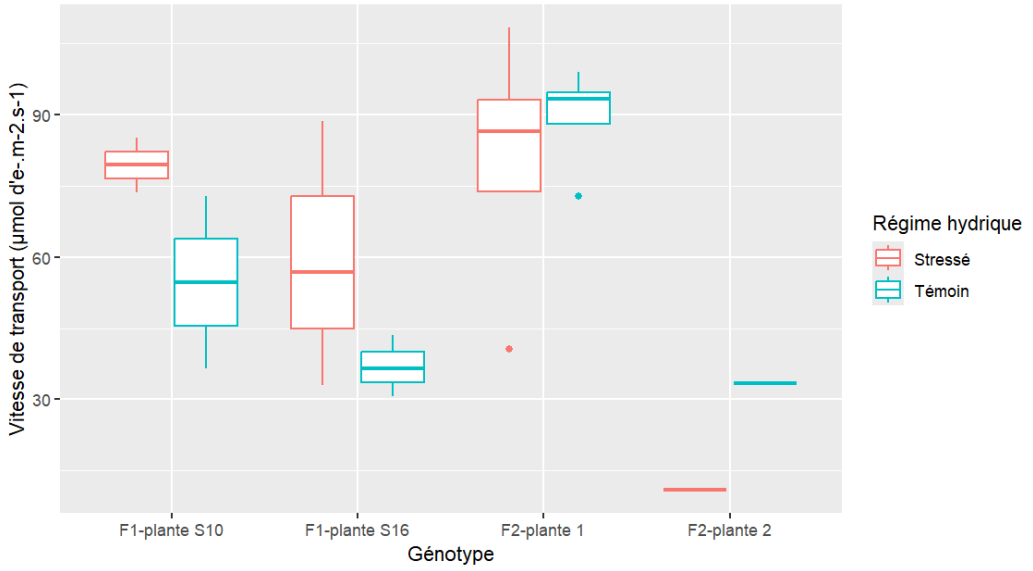
Yan, W., & Bao, J. (2014). *Rice : Germplasm, Genetics and Improvement*. BoD – Books on Demand.

8. Annexes

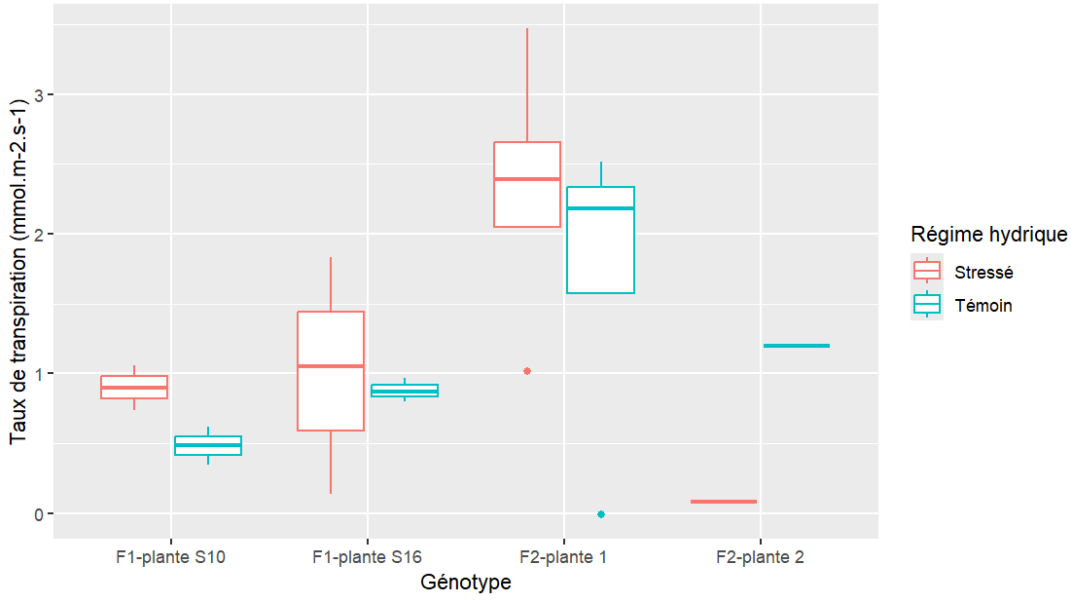
Annexe 1 : Teneur en eau du terreau (%) au début de l'expérience, au début de la phase de récupération ainsi qu'à la fin de la phase de récupération chez les plantes stressées et témoins de S. lycopersicum, S. chilense et leurs hybrides F1 et F2 (les données sont présentées comme suit : moyenne ± écart-type). Les conditions de traitement qui partagent une lettre différente sont significativement différentes à un seuil de 5 % (test de Tukey).

		VWC (%)		
		Début de la phase de stress	Début de la phase de récupération	Fin de la phase de récupération
S. lycopersicum	Témoin	40,34 ± 4,09	11,56 ± 1,29	25,28 ± 5,62
	Stressé	36,1 ± 3,2	9,32 ± 1,06	18,72 ± 3,3
S. chilense	Témoin	52,65 ± 0,65	34,85 ± 7,65	41,65 ± 2,75
	Stressé		9,9	48
F1	Témoin	40,84 ± 5,09	31,2 ± 18,08	48,98 ± 8,82
	Stressé	42,58 ± 2,94	15,8 ± 8,88	37,16 ± 14,29
F2	Témoin	45,64 ± 4,75	37,82 ± 10,3 **a**	48,42 ± 4,69
	Stressé	44,08 ± 6,26	19,76 ± 9,35 **b**	49,48 ± 3,5

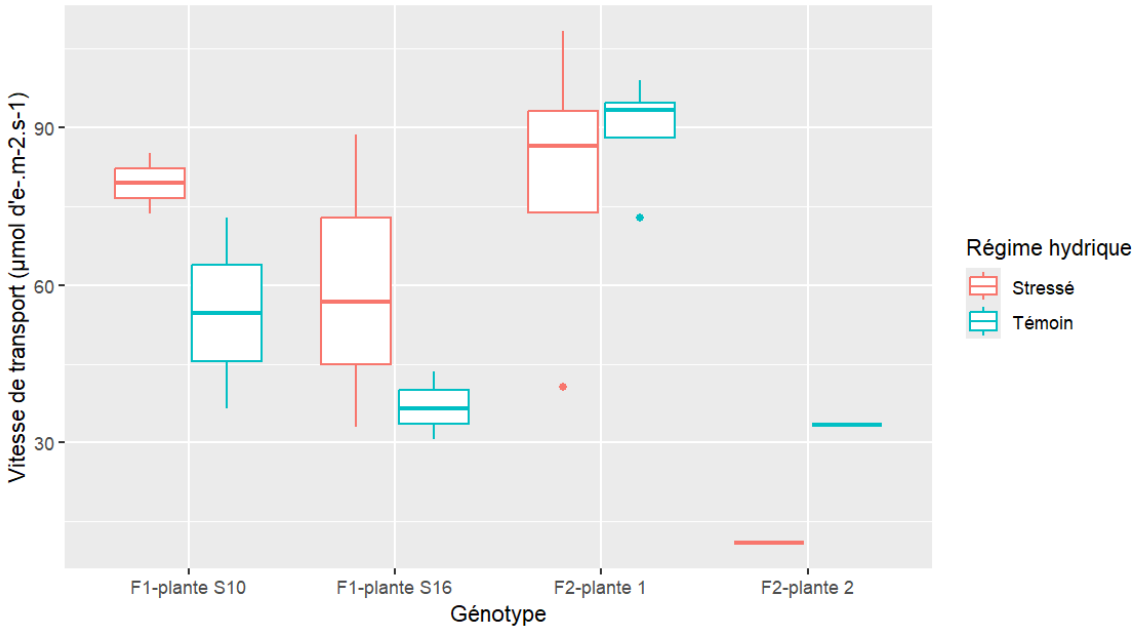
Annexe 2 : Effet d'un stress hydrique sur la vitesse de transport des électrons (µmol d'électrons.m^{-2}.s^{-1}) mesurée à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2).



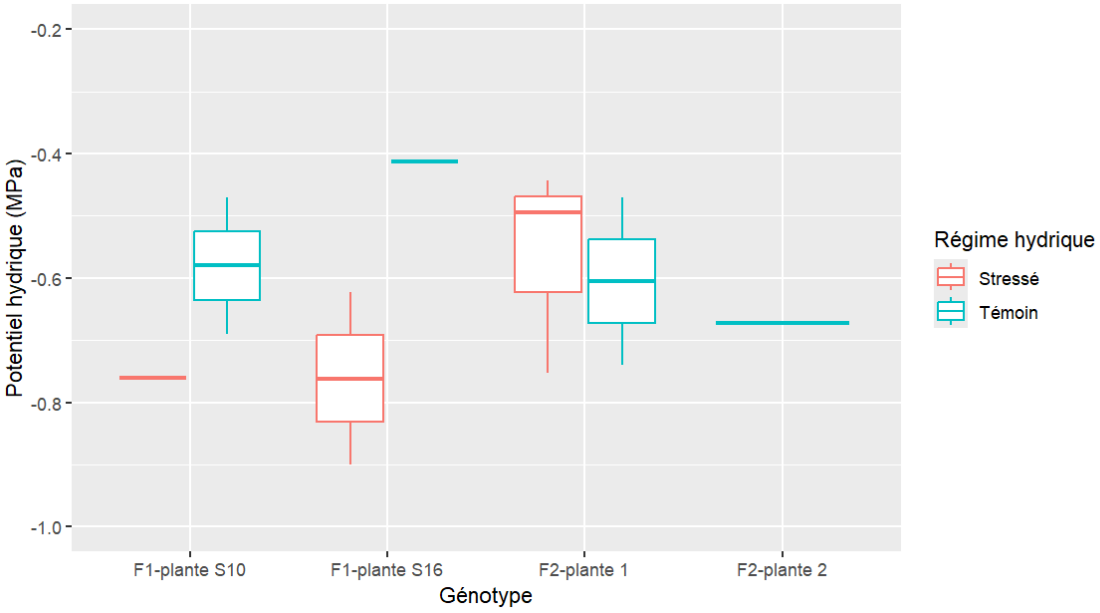
Annexe 3 : Effet d'un stress hydrique sur le taux de transpiration (mmol.m^{-2}.s^{-1}) mesuré à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2).

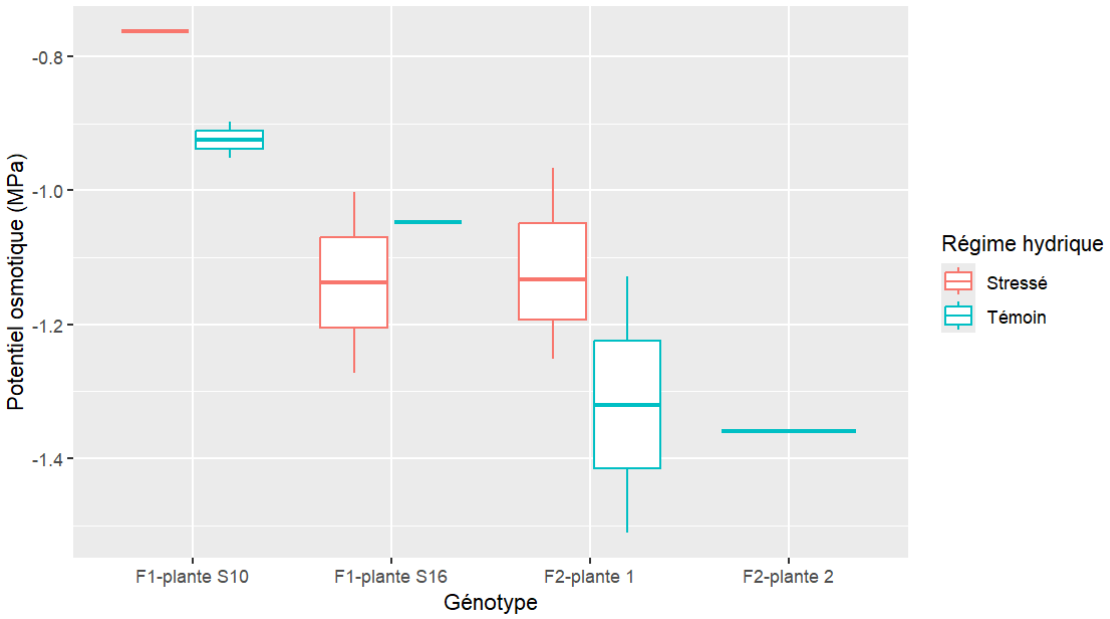


Annexe 4 : Effet d'un stress hydrique sur la vitesse de transport des électrons (µmol d'$e^-.m^{-2}.s^{-1}$) mesurée à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2).



Annexe 5 : Effet d'un stress hydrique sur le potentiel hydrique (MPa) et le potentiel osmotique (MPa) mesurés à la fin de l'expérience chez les deux génotypes de F1 (S10 et S16) et de F2 (1 et 2).




-0.8
-1.0
-1.2
-1.4
Potentiel osmotique (MPa)
F1-plante S10
F1-plante S16
F2-plante 1
F2-plante 2
Génotype
Régime hydrique
Stressé
Témoin

Impact d'un stress hydrique suivi d'une phase de récupération sur la tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*), une espèce sauvage apparentée (*Solanum chilense*) et leurs hybrides F1 et F2.

Simon Ronval

Le changement climatique entraîne une fréquence accrue de phénomènes météorologiques extrêmes, comme les sécheresses, qui impactent négativement l'agriculture mondiale. La tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*), une espèce économiquement majeure, est particulièrement sensible au stress hydrique. Sa domestication a, au cours du temps, engendré un goulot d'étranglement génétique qui a eu pour effet d'éliminer des traits relatifs à sa résistance aux stress abiotiques. Pour ces raisons, il est pertinent de s'intéresser aux espèces sauvages apparentées à la tomate cultivée dans l'optique de son amélioration. L'espèce sauvage de tomate étudiée dans le cadre de ce mémoire est *Solanum chilense*, une plante qui est originaire d'environnements particulièrement arides d'Amérique du Sud. Son épanouissement dans ce genre de milieu en fait une candidate intéressante pour introgresser des gènes de résistance dans la tomate cultivée. Cette étude vise à analyser l'impact d'un stress hydrique suivi d'une réhydratation sur quatre générations : *Solanum lycopersicum*, *Solanum chilense*, et leurs hybrides F1 et F2. Le premier objectif de ce travail est d'évaluer si l'impact du stress hydrique est différent entre les quatre générations. Un deuxième objectif est de situer le comportement des hybrides par rapport à celui des deux plantes parentes. Enfin, nous avons cherché à voir si les deux génotypes de F1 et de F2 présentaient des comportements différents, dans le but de pouvoir établir un gradient de résistance. Pour ce faire, des plants de *S. lycopersicum*, *S. chilense* et leurs hybrides ont été soumis à deux régimes hydriques (stressé et témoin). Des mesures morphologiques et physiologiques ont été réalisées afin d'évaluer les effets du stress et de la réhydratation.

Des stratégies différentes entre les générations ont globalement été observées. Selon les paramètres, ce ne sont pas toujours les mêmes plantes qui se sont montrées les plus résistantes. *S. lycopersicum* a montré des résultats suggérant qu'elle a bien supporté le stress. *S. chilense* a également bien résisté au stress même si l'échantillon étudié était limité. Une grande variabilité de réponse était visible chez les hybrides, en particulier chez les plantes stressées de F2, ce qui montre que des hybrides de deuxième génération peuvent faire preuve de caractéristiques intéressantes. Malheureusement, le manque d'individus ne nous a pas permis de tirer des conclusions quant à la résistance des deux génotypes de F2. Dans le futur, des études menées sur les hybrides à l'aide de plus grands échantillons révèleraient certainement des tendances plus claires.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Faculté des bioingénieurs

Croix du Sud, 2 bte L7.05.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/agro