

Nom du candidat :

Prénoms :

N° **Candidat** : A BCPST -

Noms des auteurs en cas de travail commun : Debarre Justine, Lenoël Cassandre, Graftieaux Marion, Moyon Léa

<p style="text-align: center;">Dominante BIOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">Dominante GÉOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">MIXTE</p>

**BANQUE
AGRO-
VETO –
Session 2021
T.I.P.E.**

TITRE : Face aux enjeux sociétaux liés à la gestion de la ressource en eau, proposition d’une alternative de culture de la tomate visant à améliorer la résistance à la sécheresse.

RÉSUMÉ (en six lignes):

<p>L’objectif sociétal de cette démarche était de réfléchir à un moyen de production de la tomate moins coûteux en eau. Les plants ont été soumis à un premier stress appelé <i>priming</i> plus ou moins intense. Les plantes ayant reçu ce <i>priming</i>, lorsqu’elles se retrouvent à nouveau en situation de stress, flétrissent plus tard que des plantes non <i>primées</i> et résistent donc mieux à un stress hydrique a posteriori. Elles présentent des adaptations anatomiques et physiologiques favorisant cette résistance.</p>

NOMBRE DE CARACTÈRES : 19131

Maximum 6 à 10 pages (illustrations comprises), 20 000 caractères maximum, Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple espaces compris. **IMPORTANT** : n’inscrire sur cette couverture aucune référence à l’établissement scolaire

INTRODUCTION:

Dans le contexte environnemental actuel, l'accès à l'eau devient un réel problème pour les exploitations agricoles notamment maraîchères. En effet, le réchauffement climatique et les périodes de sécheresse qu'ils impliquent en été amènent aujourd'hui à repenser notre système agricole (notamment la gestion de la ressource en eau et la recherche des plantes qui en consomment moins) pour le rendre plus écologique.

L'induction d'une adaptation physiologique et d'une accommodation (plasticité phénotypique) sur une espèce bien connue, la tomate, en réponse à un stress hydrique fait partie de ces potentielles alternatives. Le but de cette démarche est de pouvoir proposer aux horticulteurs des variétés de tomates permettant de limiter la consommation d'eau. Comme il a été montré que le Pétunia pouvait être cultivé avec un arrosage réduit après une période de stress hydrique [C][B], nous avons voulu tester cela sur des plantes potagères, comme les tomates.

Pour cela nous avons voulu étudier la réponse face au stress hydrique de deux variétés de tomates (*Solanum lycopersicum*), Maja et Ditmarscher. Nous avons donc testé l'effet d'un premier stress hydrique appelé *priming*, chez la tomate sur la résistance à un stress hydrique ultérieur afin d'étudier de potentielles adaptations morphologiques et physiologiques. Nous avons travaillé sous serres, dans des conditions reproductibles par des pépiniéristes.

Dans quelle mesure les variétés de tomate Maja et Ditmarscher présentent-elles des adaptations morfo-anatomiques induites par un premier stress hydrique qui pourraient augmenter leur résistance lorsqu'elles se retrouvent à nouveau en situation de stress ?

I - Mise en place d'un protocole de *priming* consistant en un premier stress hydrique afin d'améliorer la résistance des plants à des stress futurs.

A - Réalisation d'un long *priming* d'intensité aiguë durant 7 semaines sur la tomate, afin d'augmenter sa résistance à un stress hydrique futur.

B - Remise des plantes en condition de stress hydrique une seconde fois dans l'objectif d'étudier leur réponse selon le *priming* reçu.

II - Le *priming* induit une réduction de la croissance des plantes *primées*, une modification de leur quantité de pigments et un retard de leur floraison.

A - Les plants ayant été *primés* sont de taille inférieure aux plantes en situation de confort hydrique et présentent une augmentation du nombre d'entre-nœuds et du volume racinaire selon la variété.

B - Le *priming* ne modifie pas la résistance stomatique (ie le taux de transpiration) des plantes.

C - Les plantes ayant reçu un *priming* fleurissent plus tard que les plantes non *primées*.

III - Les plantes *primées* résistent au flétrissement mais ne réduisent pas leur transpiration en situation de stress hydrique.

A - Les feuilles ayant poussé durant le *priming* possèdent plus de chlorophylle et moins de flavonols.

B - Face à un stress hydrique intense, les plantes *primées* atteignent leur point de flétrissement plus tard.

I - Mise en place d'un protocole de priming consistant en un premier stress hydrique afin d'améliorer la résistance des plants à des stress futurs.

A - Principe d'un long priming d'intensité aiguë durant 7 semaines sur une plante maraîchère, la tomate, afin d'augmenter sa résistance à un stress hydrique futur.

Le principe d'un protocole de *priming* [1] est de soumettre la plante à un premier stress hydrique afin que cette même plante, lorsqu'elle sera soumise à un nouveau stress hydrique, puisse potentiellement développer une réponse plus rapide et/ou efficace.

Après avoir regroupé, pour chacune des deux espèces, nos plants de tomates en trois groupes de 19 individus (figure 2), chacun de ces groupes a été soumis à des conditions de stress différentes lors du priming [10][A]. Afin que nos plantes reçoivent exactement les mêmes conditions de culture, notamment d'arrosage et d'éclairage, nous avons mis en place des plantes de bordure autour de chaque condition [A][3](figure 1). Le *priming* a été débuté après l'apparition de la 5ème feuille développée pour chaque plante [1][3]. La durée choisie de *priming* est de 1 mois et demi et a été déterminée en fonction de la bibliographie [1] et de différentes contraintes. Il s'étend du 17 novembre 2020 au 3 janvier 2021.

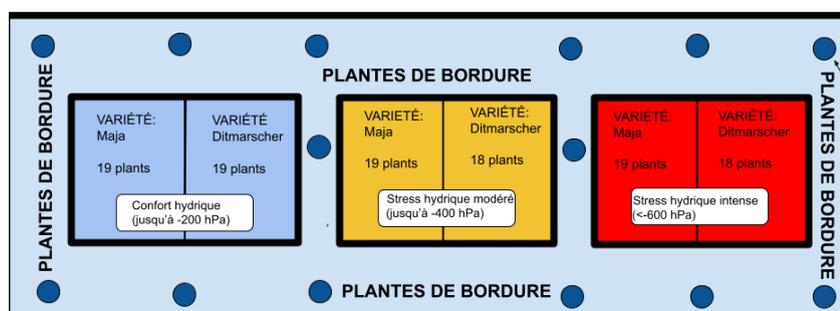


Figure 1 : Répartition des plants dans la serre.
plantes non prises en compte pour les mesures, afin de limiter le biais de l'effet de bordure

La dernière condition "stress hydrique intense" a subi un stress hydrique supérieur à -600 hPa. Un stress de -600 hPa n'étant pas suffisant pour faire flétrir les feuilles et nos tensiomètres ne mesurant pas au delà de cette valeur, 5 jours sans arrosage (nécessaire pour que les feuilles flétrissent) ont été rajouté après avoir atteint cette valeur de potentiel.

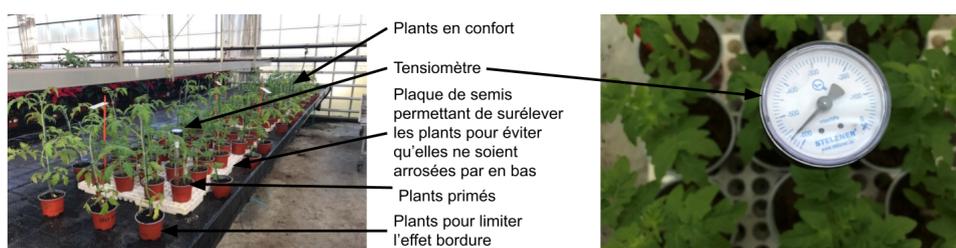


Figure 2 : Photographies de l'agencement des plants dans la serre et d'un tensiomètre.

L'humidité de la terre à été contrôlée à l'aide de tensiomètres (figure 2) en fonction des gammes de valeurs de pression en eau choisies (figure 1).

B - Remise des plantes en condition de stress hydrique une seconde fois dans l'objectif d'étudier leur réponse face à ce dernier selon le priming reçu.

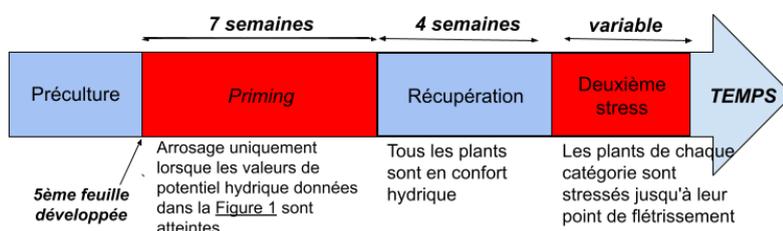


Figure 3: Échelle de temps de nos expériences.

Une fois le *priming* réalisé, les plantes sont placées en confort hydrique pendant quatre semaines (figure 3).

Elles sont ensuite toutes soumises à un stress hydrique jusqu'à leur flétrissement. Cette période de deuxième stress est de durée variable selon les conditions. Durant cette période, nous avons étudié l'évolution des différents caractères phénotypiques de chaque groupe.

II - Le priming induit une réduction de la croissance des plantes primées, une modification de leur quantité de pigments et un retard de leur floraison.

A - Les plants ayant été primé sont de taille inférieure aux plantes en situation de confort hydrique et présentent une augmentation du nombre d'entre-nœuds et du volume racinaire selon la variété.

1) Les plantes primées sont plus petites que les plantes non primées.

L'étude de l'impact du stress hydrique sur le Pétunia [C][B] montre que les plantes stressées ont tendance à se nanifier, nous avons réalisé une étude similaire sur nos plants de tomates afin de tenter de généraliser cette affirmation. Ainsi, afin de quantifier l'impact du stress hydrique sur la croissance des plantes, nous avons mesuré la taille de la tige en partant du sol jusqu'au bourgeon apical.

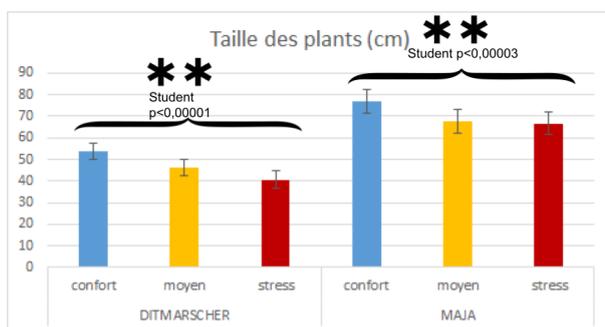


Figure 4: Taille de chaque variétés de tomates en fonction du priming reçu en moyenne \pm écart-type, l'astérisque indique que les deux groupes sont statistiquement différents.

Résultats et discussion: Le *priming* a conduit à une réduction de la croissance de la plante pour les deux variétés. Un mécanisme hormonal expliquant ce phénomène peut être proposé, il impliquerait notamment l'auxine et les gibbérellines.

2) Les plantes primées possèdent plus d'entre-nœuds.

Afin de quantifier la croissance des plantes, nous avons compté les entre-nœuds des plants *primés* et non *primés* afin de comparer leur nombre [4].

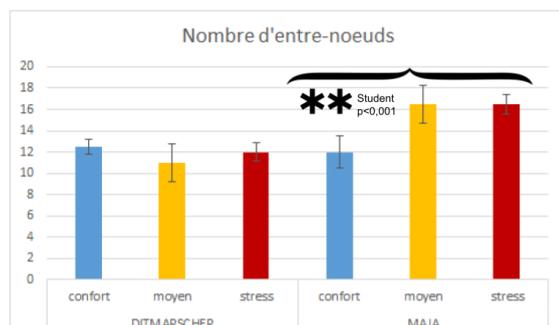


Figure 5: Nombre d'entre-nœuds en fonction du stress hydrique reçu.

Résultats et discussion: Les plantes de la variété Maja *primées* lors de leur développement présentent des entre-noeuds plus nombreux que des plantes ayant été en confort lors de leur croissance. Ce résultat est étonnant, en effet, les plantes *primées* possèdent moins de ressources et poussent moins. Ainsi, elles devraient présenter moins d'entre-noeuds et ces derniers seraient plus courts [4]. Concernant la variété Ditmarscher, sa forme buissonnante et tombante ne permet pas de quantifier le nombre d'entre-noeuds de façon satisfaisante.

3) Un priming ne modifie pas la taille des racines mais modifie leur répartition dans l'espace.

Nous avons cherché à déterminer si la sécheresse avait eu un impact sur la croissance racinaire [5]. La répartition des racines dans le pot est estimée en mesurant le volume de racines [8] présentes dans les 5 premiers centimètres (figure 6), elle correspond environ à la moitié de la longueur des racines les plus courtes. Le volume racinaire total a aussi été estimé. Le protocole est décrit dans la figure 6. La longueur de la plus longue racine de chaque plante a été quantifiée en fonction du stress reçu par la plante [5] (figure 8.A).

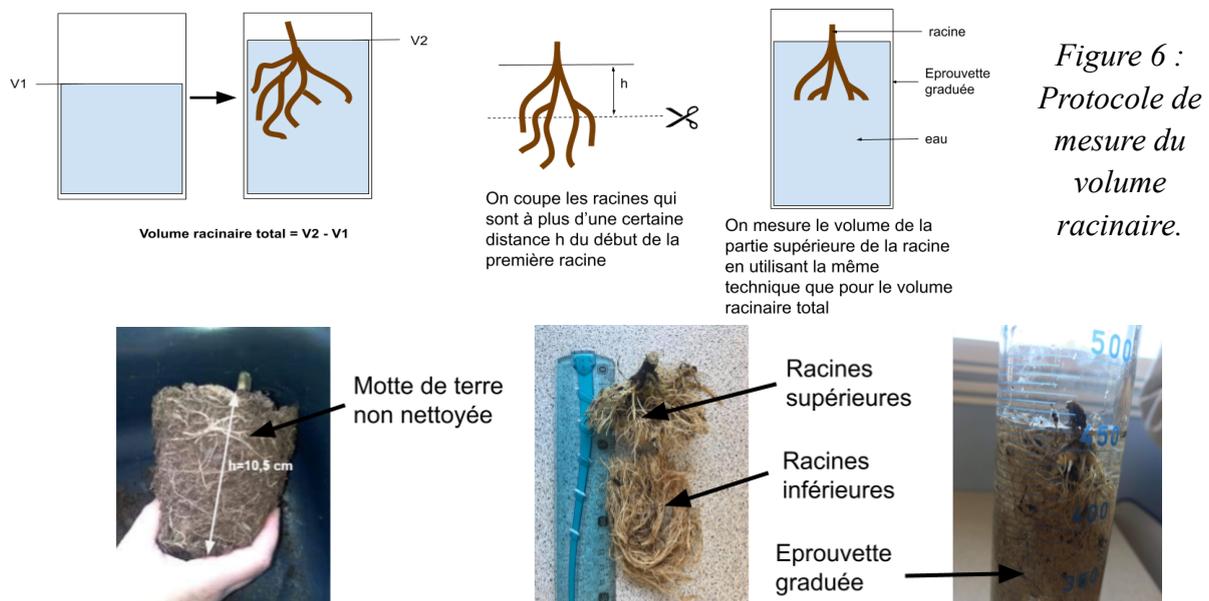


Figure 7: Photographies de la répartition des racines, de mesure de la racine la plus longue et de mesure du volume racinaire.

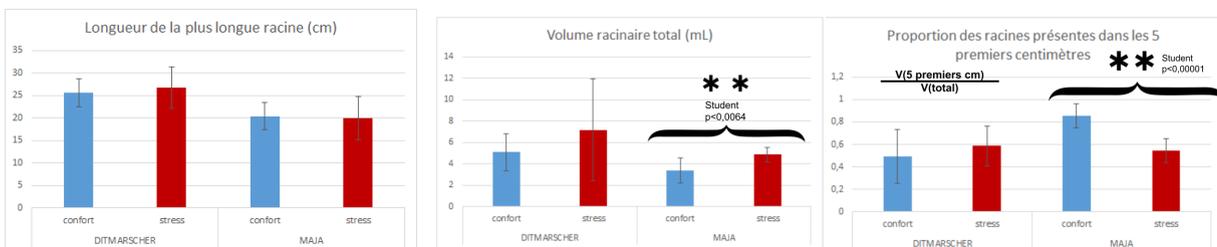


Figure 8.A: Longueur de la racine la plus longue en fonction des différents priming.

Figure 8.B: Volume racinaire totale des plantes en fonction des différentes conditions de priming.

Figure 8.C: Volume racinaire des 5 premiers centimètres des plantes en fonction du priming.

Résultats et discussion: On ne note pas de différence de longueur de la racine la plus longue entre les plants *primés* et non *primés* (Figure 8.A). En effet, la hauteur des pots limite la croissance en profondeur de la racine principale, et donne des racines enroulées et ramifiées, par rapport à une situation en pleine terre. C'est pourquoi sur les 2 premiers graphiques, les effets sont limités. Le choix de petits pots semble un mauvais choix pour une étude racinaire, mais nécessaire pour mettre les plantes en condition de stress hydrique.

Les plantes non *primées* ont une plus grande proportion de leurs racines en surface tandis que les plantes *primées* ont développé des racines majoritairement en profondeur. En effet, la présence d'eau induit une synthèse d'auxine dans les racines dans le sol le plus humide qui oriente la croissance des racines dans cette direction [13] (Figure 8.C).

B - Le priming ne modifie pas la résistance stomatique (ie le taux de transpiration) des plantes.

A l'aide du poromètre SC-1 Decagon [B] des mesures de résistance stomatique [8] ont été réalisées en conditions de stress pour chaque condition de *priming*. Elles ont permis d'évaluer le taux de transpiration des plantes par la mesure du flux de vapeur d'eau à travers les stomates de la feuille [2][6] (Figure 9). L'hypothèse émise était que les feuilles du bas, ayant poussé au moment du *priming* par rapport aux feuilles du haut sont moins soumises à des variations de transpiration car présentent une adaptation.

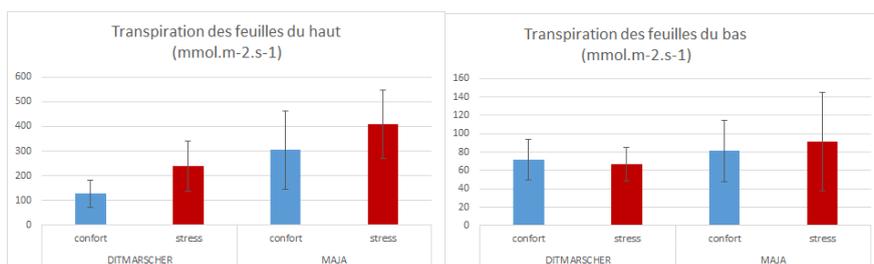


Figure 9:
Transpiration des feuilles du haut et du bas de la plante selon différentes conditions de priming.

Résultat et discussion: Pour les deux variétés de tomates on ne note aucune différence de transpiration que ce soit pour les feuilles du haut comme pour celles du bas de chaque plante. Ce résultat est étonnant car, compte tenu du fait que les plantes étaient stressées au moment de la mesure, une diminution de la conductance stomatique était attendue [8]. Les plantes n'étaient donc peut-être pas assez stressées pour que les différences de transpiration soient significatives.

C - Les plantes ayant reçu un priming fleurissent plus tard que les plantes non-primées.

Nous avons observé des différences de date de floraison en fonction du stress hydrique reçu par les plantes. Les plantes les plus stressées ont été les dernières à fleurir et ce pour les deux variétés. Ces résultats sont concordants avec notre bibliographie [3].

Variété	Confort hydrique	Stress moyen	Stress intense
Maja	1/01/21	13/01/21	15/01/21
Ditmarsher	3/12/20	8/12/20	10/12/20

Figure 10: Tableau récapitulatif de floraison pour chaque conditions et variétés.

Un mécanisme hormonal intervenant lors de l'induction florale peut être proposé, ce dernier impliquerait dans notre cas majoritairement l'auxine [12].

III - Les plantes primées résistent au flétrissement mais ne réduisent pas leur transpiration en situation de stress hydrique.

A - Les feuilles ayant poussé durant le *priming* possèdent plus de chlorophylle et moins de flavonols.

A l'aide du Dualex 4 [B], nous avons mesuré les quantités de chlorophylles [8] et de flavonoïdes de différentes feuilles pour chaque condition. L'objectif est de déterminer l'influence d'un *priming* sur l'activité photosynthétique et sur les mécanismes internes de résistance au stress hydrique [11]. L'hypothèse émise est que le *priming* induit une différence d'activité photosynthétique et une diminution de la quantité de flavonols chez les plantes *primées* recevant un deuxième stress [11].

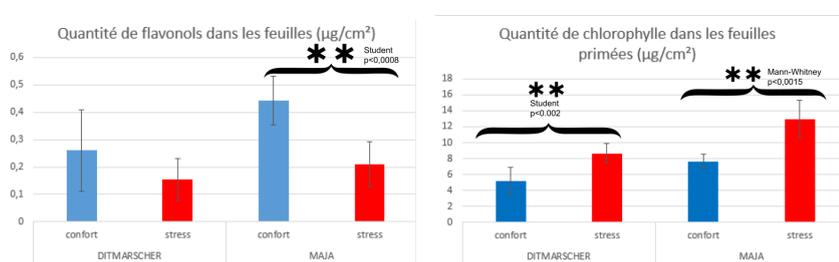


Figure 11: Quantité de flavonoïdes et de chlorophylle dans les feuilles en fonction du *priming*.

Résultats et discussion: Les flavonols sont des molécules impliquées dans la résistance des plantes face à un stress [11]. La plus faible teneur en flavonols chez les Maja *primées* laisse supposer que ceux-ci se sont adaptés face au stress hydrique. Les quantités supérieures de chlorophylle chez les plantes *primées* pourraient traduire une augmentation de la photosynthèse en situation de stress hydrique, et donc rejoindre la supposition d'une adaptation [7]. Cela pourrait également simplement traduire que les cellules sont plus petites et plus nombreuses mais contiennent le même nombre de chloroplastes.

B - Face à un stress hydrique intense, les plantes *primées* atteignent leur point de flétrissement plus tard.

1) Face à un stress hydrique intense, les plantes *primées* flétrissent plus tard que les plantes non *primées*.

A la fin de notre période de culture, nous avons totalement arrêté d'arroser les plantes afin d'étudier si le *priming* retarde l'atteinte du point de flétrissement permanent et présente ainsi une meilleure résistance au stress hydrique. Le point de flétrissement permanent correspond au moment où la force de succion de la plante égale la force de rétention du sol [10]. Nous avons déterminé le point de flétrissement permanent à l'aide des gammes de valeurs du tensiomètre déjà établies dans le I.

Variété	Confort hydrique	Stress moyen	Stress intense
Maja	9 jours	15 jours	17 jours
Ditmarsher	9 jours	13 jours	16 jours

Figure 12: Tableau récapitulatif des dates de flétrissement pour chaque conditions et variétés.

2) Le priming induit chez la variété Ditmarscher une diminution de la résistance à l'étirement des feuilles lors d'un deuxième stress hydrique.

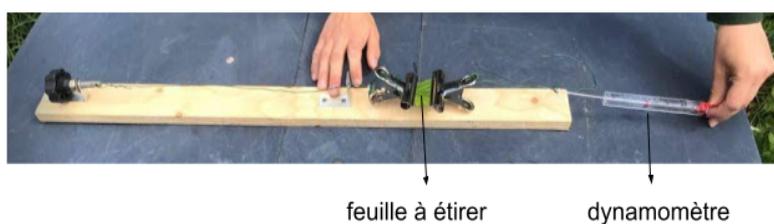


Figure 13: Photographie de l'extensomètre

En considérant que plus la feuille est flétrie, plus elle est fragile, nous avons utilisé la résistance à l'étirement pour quantifier le niveau de flétrissement des plants au bout d'une semaine de stress hydrique aigu.

Nous avons donc confectionné une structure [9] (figure 13). Nous avons coincé des feuilles de même taille entre les deux pinces métalliques, une pince étant maintenue fixe et l'autre étant mobile et reliée au dynamomètre. Pour chaque feuille, la valeur de la force nécessaire à exercer pour provoquer la rupture est relevée.

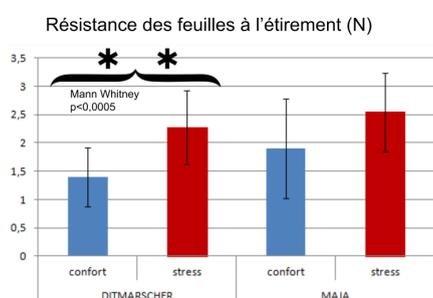


Figure 14: Résistance à l'extension des feuilles en fonction du priming reçu.

Résultats et discussion: Le *priming* a conduit à une augmentation de la résistance à l'extension des feuilles pour la variété Ditmarscher, ce qui laisse supposer qu'une feuille *primée* possède plus de fibres de lignine qu'une feuille non *primée* [9]. Ainsi, les feuilles des plants *primés* sont moins flétries, ce qui est cohérent avec les dates de flétrissement de la partie précédente.

Conclusion:

Le maintien d'une agriculture durable face à l'enjeu du changement climatique représente un enjeu sociétal majeur pour les générations futures. De nouvelles méthodes permettant de limiter la consommation d'eau représenteraient une alternative pour les producteurs maraîchers souffrant de périodes de sécheresse estivale de plus en plus intenses. Ainsi, nous avons étudié une technique permettant de cultiver de façon plus économe en eau : le *priming*. Face à un stress hydrique ultérieur, les plantes *primées* atteignent leur point de flétrissement plus tard que les plantes non *primées*, ce qui permettrait d'espacer les sessions d'arrosage. Mais le *priming* induit une réduction de la taille des plantes et un retard de floraison. Les variétés *primées* seraient plus tardives, mais pas forcément moins productives puisque la réduction de taille s'accompagne d'une augmentation de la quantité de chlorophylle. Cette étude a été réalisée en partenariat avec l'IRHS [B] et l'INRA [C] dans l'objectif de tester l'hypothèse selon laquelle une potentielle modification épigénétique générée par un *priming* serait transmissible aux générations futures.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes nous ayant aidé à réaliser ce TIPE en nous donnant de la documentation, des conseils et en nous prêtant du matériel:

- **Mr Eric Duclaud**, Directeur d'exploitation horticole [A]
- **Mme Anne Hersent**, Coordinatrice du projet Sécheresse et Horticole
- **Mme Lydie Huche-Thelier** chercheuse de l'IRHS [B] (Institut de Recherche en Horticulture et Semences)
- **Mme Nathalie Leduc-Lebreton** chercheuse de l'INRA [C] (Institut National de la Recherche Agronomique)

BIBLIOGRAPHIE

[1] BEN ABDALLAH M. et al (2017). Thèse: [Drought priming improves subsequent more severe drought in a drought-sensitive cultivar of olive cv Chétoui](#). Scientia horticulturae (n°221), pour le protocole de priming.

[2] VIRLOUVET L. et al (2015). Thèse: [Physiological and transcriptional memory in guard cells during repetitive dehydration stress](#). New Phytologist (n°205:3-7) pour la transpiration et l'ouverture des stomates lors du priming.

[3] KOCH G. (2018). Thèse: [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 différentes échelles](#) pour les dates de floraison (49-53) et priming (38).

[4] SON.D (2011). Article: [Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame](#). Journal of Applied Biosciences 37, (10) pour les entre-noeuds.

[5] EL FAKHRI M. et al (2010). Article: [Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur \(Triticum Durum. Desf\)](#). Nature et technologie (n°3:2-5), pour le volume racinaire et la longueur de la racine primaire.

[6] PASK A. et al (2012). Livre: [Chapter 2: Stomatal conductance](#). Physiological Breeding II: A Field Guide To Wheat Phenotyping. (15-27), pour la conductance stomatique.

[7] CEROVIC Z. et al (2012) Article: [A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids](#). Physiologia Plantarum (n°146), pour le Dualex 4 (mesure chlorophylle et flavonols).

[8] AZZOUZ F. (2009). Article: [Les réponses morpho physiologiques et biochimiques chez le haricot soumis à un stress hydrique](#) ,(39-40,45-46,56-58) pour la quantité de pigments chlorophylliens, le volume racinaire et la conductance stomatique.

[9] SEGRESTIN J. (2018). Thèse: [Intégration de la phénologie et de la défense mécanique dans l'espace phénotypique des plantes](#). (150-159) pour l'extensométrie.

[10] MERMOUD.A (2006) . [Cours de physique du sol](#) pour le point de flétrissement permanent (12-15), conversion g H₂O en hPa (16).

[11] ATEEQ SHAH, (2020),Revue: [Flavonoids in Agriculture: Chemistry and Roles in, Biotic and Abiotic Stress Responses, and Microbial Associations](#), pour l'étude des flavonols selon le stress hydrique.

[12] GREPPIN H. (1986), Article: [Le mécanisme de l'induction florale](#) (78), pour l'induction florale par l'auxine.

[13] BAO Y. (2014), Article: [Plant roots use a patterning mechanism to position lateral root branches toward available water](#) pour l'orientation des racines grâce à l'auxine