

# LE STRESS HYDRIQUE EN AGRICULTURE URBAINE



Le RMT AU est financé par le



William Bisson  
2023



Les partenaires du RMT



**AFAUP**  
Association Française  
d'Agriculture Urbaine  
Professionnelle



Cet écrit est une publication du Réseau Mixte Technologique (RMT) Agricultures Urbaines en place pour 5 ans depuis 2021. Il a été réalisé pour le compte du RMT par la junior entreprise Végéprojet.

Le RMT est constitué de 12 partenaires qui sont des professionnels issus de la recherche, du développement et de la formation.

Il vise à fédérer des partenaires pour mener des recherches théoriques et de terrain, dans l'objectif de mieux connaître les agricultures urbaines et d'anticiper les besoins d'accompagnement territorial, technique, économique, réglementaire et de formation.

Ce réseau est co-animé par la **Chambre d'Agriculture de l'Ain et l'Institut Agro Rennes-Angers** ; le RMT organise un séminaire annuel pour faire le bilan de ses travaux. Les autres partenaires du RMT sont les suivants :

- Astredhor
- AFAUP
- GAEC et Sociétés
- Université Lyon III Lyon
- Plante et Cité
- Chambre d'agriculture France
- Chambre d'agriculture Pays de la Loire
- Terres en Ville
- Lycée Nantes Terre Atlantique
- L'Institut de Recherche en Horticulture et Semences

**Vous pouvez retrouver toute l'actualité du RMT :**



<https://rmt-agricultures-urbaines.fr>



[www.linkedin.com/in/rmtagriurbaines](http://www.linkedin.com/in/rmtagriurbaines)



Cette publication est réalisée par Végéprojet pour le compte du RMT Agricultures Urbaines. Végéprojet est une association située à Angers, agissant comme une junior Entreprise. Cette association constituée d'étudiants paysagistes et horticulteurs et réalisent des projets en horticulture et paysage pour des particuliers ou des professionnels.

# SOMMAIRE

I. Cadre de cette synthèse .....	4
II. Fonctionnement hydrique de la plante .....	4
III. Stratégies opérationnelles .....	6
A. Stratégies sur la plante .....	6
B. Stratégies sur les conditions de culture .....	8
C. Perspectives, stratégies émergentes.....	9
Conclusion.....	11
IV. Sources .....	12

# I. Cadre de cette synthèse

Une finalité du RMT vise à promouvoir et développer les fonctions productives de l'agriculture urbaine. Les premiers travaux d'enquêtes menés auprès d'une quinzaine d'agriculteurs urbains mettent en évidence le besoin de références techniques et scientifiques. Validés par le Comité de Pilotage, les principaux besoins de synthèse scientifique et technique portent sur les thématiques suivantes :

- ◆ Résilience des plantes au changement climatique / multi stress (Température/ lumière / hydrique)
- ◆ Montée en température des substrats (chaud et froid)
- ◆ Installation sur petites surfaces pleine terre : quelles références ?
- ◆ Eau : récupération eau de pluie sur toiture et qualité / polluants (neutralisation / santé humaine)

La présente synthèse répond donc à l'une de ces problématiques.

## II. Fonctionnement hydrique de la plante

Seulement 5% de l'eau absorbée par la plante est utilisée pour sa croissance et son développement (Sterling 2005). En effet, l'eau absorbée par la racine traverse la plante, sous forme d'une colonne d'eau, grâce à la tension générée par la transpiration des feuilles. Ces dernières contiennent des stomates, qui sont des organes permettant des échanges gazeux entre les feuilles et l'atmosphère (figure 2). Il y a un véritable continuum sol-plante-atmosphère comme illustré dans la figure 1. (Postaire *et al.*, 2007 ; Sakr, 2023). Cette particularité physiologique rend le fonctionnement hydrique de la plante sensible à de nombreux facteurs pédologiques (teneur en eau, compaction du sol), internes (carences en éléments nutritifs) et atmosphériques (vent, humidité relative, température) (Sakr, 2023).

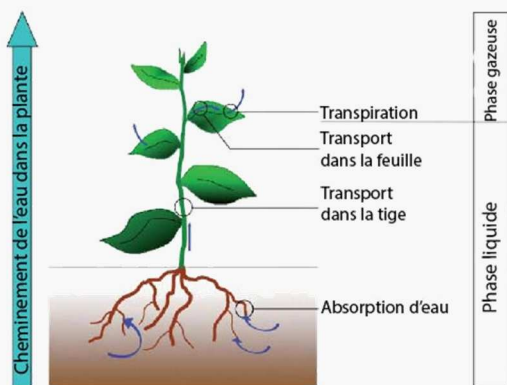


Figure 1. Le flux de l'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère. L'eau absorbée par le système racinaire est attirée vers les feuilles grâce à la tension générée par la transpiration au niveau des feuilles. Les molécules d'eau constituent une colonne d'eau empruntant les vaisseaux conducteurs du xylème (Issue de (Sakr, 2023))

De nos jours, ces paramètres dont dépend la nutrition hydrique de la plante sont impactés par le changement climatique (IPCC, 2001 ; Christensen *et al.*, 2007 ; GIEC SPM, 2007), rendant plus probable l'avènement de conditions favorisant l'installation du stress hydrique pour les cultures. De plus, le milieu urbain accentue cette contrainte environnementale, par l'augmentation des températures au sein des îlots de chaleur urbains décrits par Luke Howard en 1820.

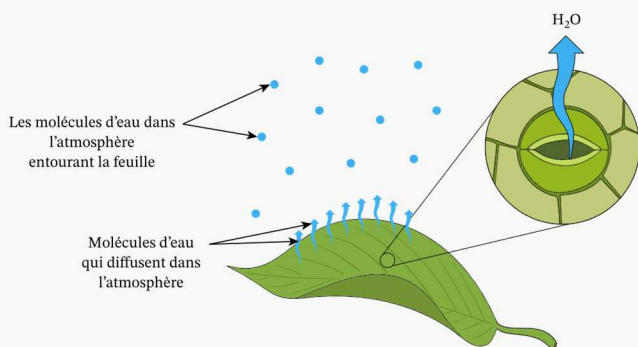


Figure 2 : Transpiration à l'échelle de la feuille impliquant les stomates, cellules modifiées de l'épiderme. Chaque stomate est formé de deux cellules de garde permettant l'ouverture d'ostiole quand elles sont turgescentes (Modifié de Nagwa).

Le stress hydrique est une condition environnementale marquée par l'incapacité de la plante à maintenir un état hydrique favorable à son développement, et donc à son rendement (Tableau 1) (Patané *et al.*, 2011). Le stress hydrique peut être généré par une faible disponibilité en eau dans le sol pour la plante, liée par exemple à un niveau de précipitation faible, et est accentuée par exemple par des températures d'air élevées, conduisant la plante à de forte transpiration pour éviter l'augmentation de la température de ses feuilles et ainsi les effets néfastes de ce type de contrainte.

Néanmoins, la plante déploie un nombre important de mécanismes pour mitiger les effets négatifs du stress hydrique. La carte mentale suivante montre les trois principales réponses (figure 3) : La plante réduit très rapidement sa transpiration, et donc les pertes en eau, en fermant ses stomates, limitant ainsi sa capacité photosynthétique et donc la production de biomasse. La plante augmente la concentration des solutés osmotiquement actifs (sucres, acides aminés, nitrate...) pour maintenir l'eau dans ses cellules et ajuster sa capacité d'absorption d'eau au niveau du système racinaire. Enfin, lors d'un stress, la quantité des espèces réactives de l'oxygène (ROS) augmente, constituant une menace pour la survie de la plante. La plante produit donc des anti-oxydants afin de limiter les effets néfastes des ROS.

A long terme, des changements morphologiques peuvent apparaître chez certaines espèces, notamment l'accroissement du système racinaire pour améliorer la capacité d'absorption de l'eau par la plante et la réduction des surfaces foliaires, lieu de la transpiration (Sakr, 2023).

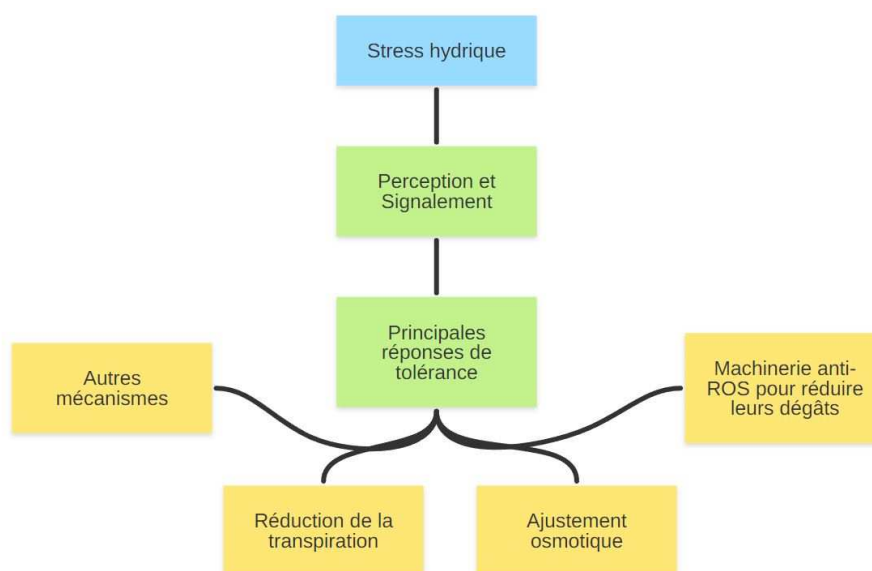


Figure 3 -Carte mentale des processus principaux induit par un stress hydrique

Le stress hydrique peut favoriser l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) qui correspond à la productivité de la culture (masse par surface) par unité d'eau utilisée (mm ou cm). Autrement dit, le rendement baisse, mais pour une même quantité de biomasse produite, la plante utilise moins d'eau (tableau 1) (Patané *et al.*, 2011). Cette augmentation de l'EUE par la diminution de l'irrigation a une limite, car lorsque les conditions hydriques sont trop défavorables, le rendement commercial chute lié à la mauvaise qualité des fruits.

Description de l'irrigation mise en place	Perte de rendement commercial en %	EUE [kg.MS/m <sup>3</sup> ]	EUE pour la production de la biomasse commerciale [kg.MS/m <sup>3</sup> ]
Irrigation adéquate (100% de l'évapotranspiration)	0	1,24	13,18
Irrigation adéquate jusqu'au début du fleurissement puis irrigation insuffisante (50% de l'évapotranspiration)	7,6	1,74	17,63
Irrigation insuffisante	13,25	2,05	20,22
Pas d'irrigation	76,75	2,86	14,39

**Tableau 1** : Résultats de productivité et d'EUE selon différentes modalités d'irrigation sur des cultures de tomates en plein champ. (Modifié de (Patanè *et al.*, 2011))

### III. Stratégies opérationnelles

En s'appuyant sur le fonctionnement de la plante décrit précédemment et en s'inspirant de la diversité des réponses des plantes, il est possible de mettre en place diverses stratégies pour les cultures.

#### A. Stratégies sur la plante

##### 1. Priming des semences

Le priming consiste à traiter les semences avant leur germination dans le but de les préparer aux futurs stress. Il existe différents types de priming, tels que le traitement par alternance d'hydratation et de déshydratation (hydropriming) ou à l'aide de traitement osmotique (osmopriming), chimique (chimiopriming) ou hormonal (hormopriming) (Boucelha et Djebbar, 2019). Pour davantage d'information, vous pouvez vous référer à la source suivante :

[https://www.researchgate.net/publication/332594093\\_Synthese\\_sur\\_le\\_Priming\\_des\\_Graines](https://www.researchgate.net/publication/332594093_Synthese_sur_le_Priming_des_Graines)

##### 2. Variation de sensibilité entre les espèces et les variétés

Toutes les espèces ne présentent pas le même degré de sensibilité à la contrainte hydrique, permettant d'orienter les choix de cultures. De plus, cette sensibilité différentielle existe parmi les variétés sélectionnées d'une espèce (Tableau 2, Kumar *et al.*, 2012).

**Tableau 2** : Espèces et variétés tolérantes à la sécheresse pour quelques espèces cultivées. (Modifié de (Kumar *et al.*, 2012))

Espèces végétales	Espèces et variétés tolérantes à la sécheresse
Tomate	<i>Solanum habrochaites</i> ; <i>S. pennelli</i> ; <i>S. pimpinellifolium</i> ; <i>S. esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i> ; <i>S. hirsutum</i> ; <i>S. cheesmanii</i> ; <i>S. chilense</i> ; <i>S. habrochaites</i> ; <i>S. sitiens</i>
Pomme de terre	<i>Solanum acaule</i> ; <i>S. demissum</i> ; <i>S. stenotomum</i>
Concombre	INGR-98018
Oignon	<i>Allium fistulosum</i> ; <i>A. munzii</i> ; Arka Kalyan

### 3. Les stades sensibles des plantes

Pour une même plante, la sensibilité au stress hydrique n'est pas équivalente entre ses différents stades de développement, car lors de ces stades les besoins en eau diffèrent. Ces stades varient selon les espèces, quelques exemples de stades sensibles pour diverses espèces sont consignés dans le tableau 3 (Kumar *et al.*, 2012).

**Tableau 3** : Stades sensibles à la sécheresse pour quelques espèces cultivées. (Modifié de (Kumar, Solankey, Singh 2012))

Espèce végétale	Stades sensibles à la sécheresse
Tomate	Début de la floraison, nouaison et agrandissement du fruit
Pomme de terre	Tubérisation et agrandissement du tubercule
Concombre	Floraison et tout au long du développement du fruit
Oignon	Formation et agrandissement du bulbe
Laitue	Continuellement tout au long du développement

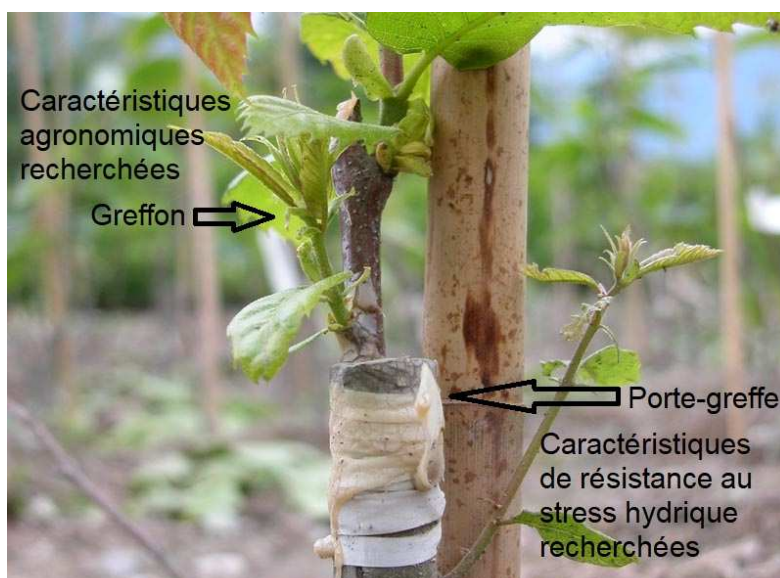
Il serait donc pertinent d'appréhender les besoins de la plante sur l'ensemble de son cycle de culture afin d'optimiser l'irrigation. L'identification des phases critiques du cycle de la culture doit être au cœur de la gestion de l'irrigation en vue de réduire les effets négatifs du stress hydrique sur le rendement. Des études portant sur la technique nommée RDI (regulated deficit irrigation) montrent qu'une irrigation déficitaire à certains moments du cycle de la plante a un effet bénéfique sur la qualité des fruits de nombreuses espèces horticoles (Stefanelli, *et al.* 2010).

### 4. Le greffage

La greffe consiste à implanter une partie d'un végétal, appelé greffon, sur une plante support compatible, le porte-greffe. L'intérêt de cette technique est de pouvoir combiner dans cette nouvelle plante « hybride », les caractéristiques du porte-greffe et du greffon.

Il est possible d'allier la résistance au stress hydrique du porte-greffe à la productivité du greffon (figure 4) (Schwarz *et al.*, 2010) et de réaliser des greffes avec des variétés différentes d'une même espèce et également avec des espèces différentes (Singh *et al.*, 2019).

Par exemple, le greffage de la pastèque (*Citrullus lanatus*) sur de la courge musquée (*Cucurbita moschata*) réduit le stress hydrique des bourgeons de la pastèque.



**Figure 4** : Exemple de greffage pour l'amélioration de la tolérance au stress hydrique

## B. Stratégies sur les conditions de culture

De nombreux facteurs environnementaux peuvent occasionner l'apparition ou l'exacerbation du stress hydrique. Les techniques décrites ci-dessous ont pour but de réduire l'ampleur du stress hydrique, via des actions sur ces facteurs environnementaux. Néanmoins, elles ne doivent pas être uniquement considérées selon ce seul effet levier, car elles peuvent agir sur d'autres mécanismes qui ne sont pas directement liés à l'eau.

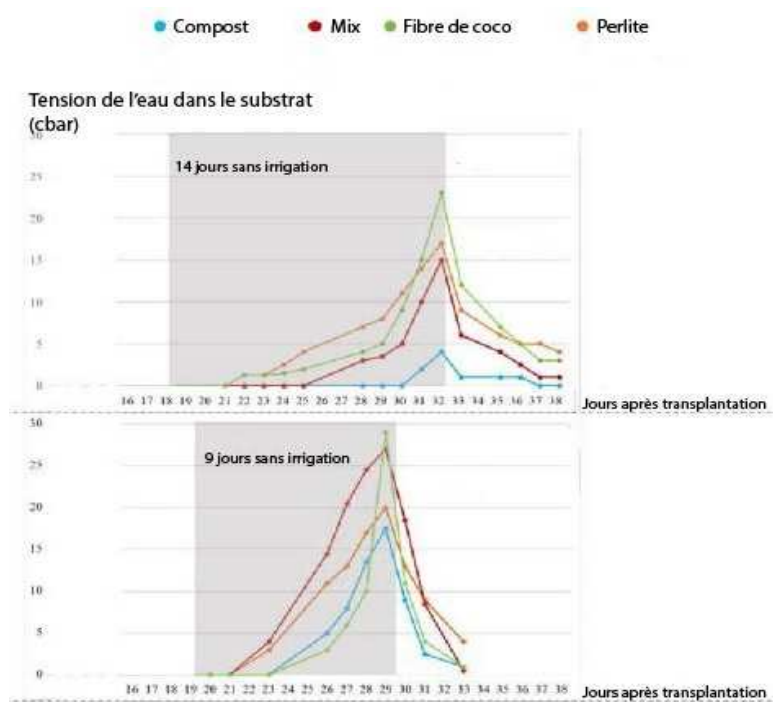
### 1. Support de cultures

Que ce soit en condition hors-sol ou non, de nombreux paramètres du support de cultures sont primordiaux pour la nutrition hydrique de la plante (rétention en eau, disponibilité de l'eau, ...). Une étude sur la laitue cultivée hors-sol en agriculture urbaine a comparé 4 substrats : le compost (issu de la ville) ; un mix de 50% de compost et de 50% de perlite ; la fibre de coco et la perlite (Figure 5) (Ercilla Montserrat 2019).

La figure 5 page suivante montre la tension (force de rétention) de l'eau dans le substrat qui indique la facilité d'absorption de l'eau par la plante : plus la tension est grande, moins l'eau est disponible pour la plante. Dans ces conditions, le compost et le mix ont conduit aux meilleurs résultats pour les conditions hydriques du substrat. La fibre de coco a la particularité de garder longtemps l'eau, mais de la perdre brusquement.

De plus, l'agriculture urbaine est propice à l'utilisation de matières issues de la ville, en créant des substrats « artificialisés ». Il s'agit d'une opportunité pour l'amélioration du support de cultures en s'inscrivant dans une économie circulaire aux nombreux avantages annexes pour l'exploitation et pour la ville voisine (Montserrat, 2019). Dans ce contexte, un travail mené sur des toitures à Paris, a comparé 3 matériaux différents composant des substrats variables, des déchets verts urbains, du bois broyé et du marc de café et un substrat témoin constitué de terre de rempotage (Grard *et al.*, 2015). Les cultures étudiées étaient la tomate, la laitue et un engrais vert. Les résultats pour ces trois cultures durant la période de deux ans montrent que la quantité en masse fraîche récoltée est systématiquement et significativement supérieure avec l'utilisation d'un mix de ces substrats, qu'avec l'utilisation de terre de rempotage.

Figure 5 : Évolution de la tension de l'eau pour des laitues, dans 4 substrats différents, selon 2 irrigations différentes. (Modifiée de (Ercilla Montserrat 2019))



Ces résultats sont en partie expliqués par l'amélioration de la rétention en eau du support de culture par le marc de café. Ce résultat a été confirmé par une autre étude (Turek *et al.*, 2019). Toutefois, outre ses propriétés hydrauliques, le marc de café possède d'autres effets en défaveur de la performance de la culture, en diminuant l'indice de surface foliaire et la production de biomasse. Ces données incitent à considérer tous les paramètres de ce support de culture pour une utilisation plus efficiente (Hardgrove, Livesley 2016).



## 2. Paillage

Le paillage a pour principal effet, de réduire l'évaporation du sol. Ainsi, une étude sur la tomate en plein champ (Ramalan et Nwokeocha 2000), montre que l'utilisation de paillage (paille dans cette étude) conduit à des améliorations significatives de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) (tableau 4). En présence de paillage, la culture utilise moins d'eau et a un meilleur rendement en fruit de 5,2t/ha.

Type de paillage	Utilisation d'eau par la plante (mm)	Fruits vendables (t/ha)	Efficacité d'utilisation de l'eau (kg/ha-cm)
Absence de paillage	486a	20,2b	383b
Paille	456b	25,4a	538a

Tableau 4 : Résultats sur 2 cultures de tomates avec ou sans paillage et dans les mêmes conditions d'irrigation. Dans les colonnes, les résultats ont des différences significatives si les lettres associées sont différentes. (Modifié de (Ramalan, Nwokeocha 2000))

## 3. Agroforesterie

L'association d'arbres (abricotiers et oliviers dans les études) et cultures (pois chiches, féverole, lentille, arachide, millet et patate douce) améliorent la EUE totale du système par une diminution de l'évaporation due à une plus grande couverture du sol (Bai *et al.*, 2016). Néanmoins, cette stratégie provoque, pour les légumes, des diminutions de productivité par rapport à une conduite en monoculture due à une compétition pour les ressources entre les arbres et les légumes. Aussi les rendements sont rendus spatialement très hétérogènes avec cette technique (Amassaghrou *et al.*, 2023).

# C. Perspectives, stratégies émergentes

## 1. Culture intercalaire

Il est possible d'intercaler des cultures ayant différents besoins en eau ou ayant des besoins en eau à des moments différents du cycle de culture afin d'optimiser l'utilisation de l'eau. Des études menées sur des céréales et des légumineuses ont montré qu'une association avec un semis décalé dans le temps de deux espèces augmentent le rendement de la céréale et l'EUE par rapport à sa culture en monoculture ou en association non décalée (Rapholo *et al.*, 2020). Le rendement de la légumineuse s'avère plus faible que celui d'une culture en monoculture. Ces études mettent en exergue le phénomène de « domination » d'une espèce sur l'autre lorsqu'elles sont associées (Franco *et al.*, 2018).

## 2. Nutrition minérale

La nutrition azotée est connue pour son effet positif sur le transport de l'eau au sein de la plante, et cela même en condition hydrique défavorable (Sakr, 2023 ; Qiu *et al.*, 2014). Dans une méta-analyse (analyse de nombreux articles) portant sur l'approvisionnement en azote à des cultures de tomates dans différentes conditions, il a été indiqué que l'EUE est améliorée par la présence d'un haut taux d'azote en condition de déficit hydrique. Un haut taux d'azote n'affecte pas la EUE quand la disponibilité de l'eau n'est pas limitée (Cheng *et al.*, 2021). Le sulfate, lui, permet la réduction de la transpiration en favorisant la fermeture des stomates, une des principales réponses de la plante au stress hydrique (Sakr, 2023 ; Gallardo *et al.*, 2014). Une telle réponse contribue à une meilleure tolérance de la contrainte hydrique par la plante.

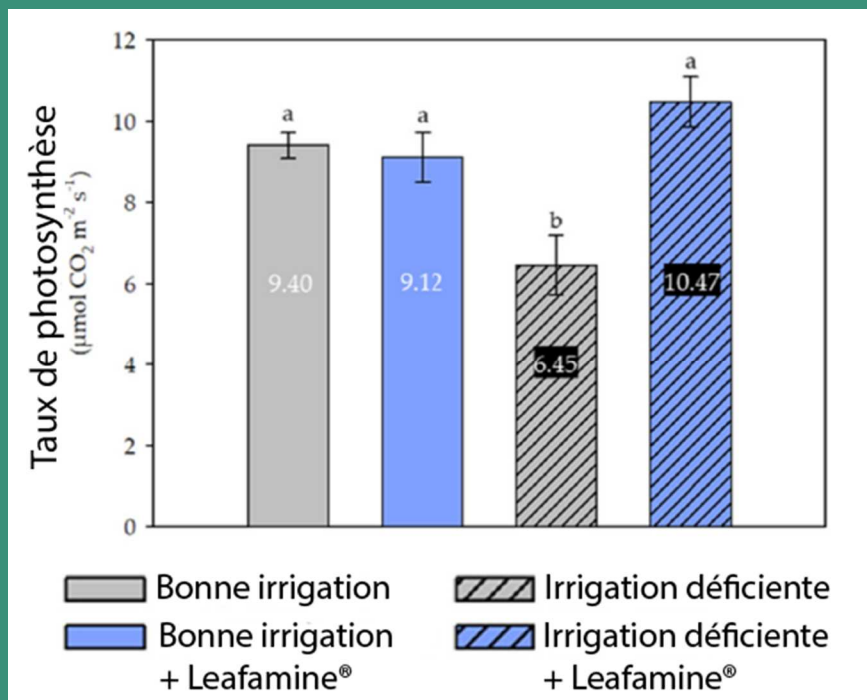
### 3. Micro-organismes et organismes du sol

Des micro-organismes sont capables de s'associer au et/ou d'interagir avec le système racinaire, induisant des changements positifs dans le fonctionnement de la plante et sa réponse aux différentes contraintes. Différents types et d'espèces de micro-organismes existent dont les effets sont très variables et peuvent dépendre de la plante et des conditions environnementales. A titre d'exemple, la mycorhization correspondant à la symbiose entre un champignon et les racines d'une plante, forme un mycorhize. Les mycorhizes améliorent la disponibilité de l'eau pour la plante, directement en améliorant la captation de l'eau dans le sol et indirectement en favorisant l'absorption de nutriments (phosphate, sulfate...) utiles pour les réponses de la plante au stress hydrique. Il est donc pertinent d'acquérir des plants mycorhizés ou de l'engrais mycorhizé pour une meilleure tolérance de la plante à la contrainte hydrique (Gallardo *et al.*, 2014 ; Augé 2001). Des biofertilisants avec des micro-organismes bénéfiques sont également disponibles (Ojuederie *et al.*, 2019). Les macro-organismes tels que les vers de terre font évoluer positivement la rétention de l'eau d'un sol (Grard *et al.*, 2015).

### 4. Biostimulants

Les biostimulants sont des substances ou des micro-organismes qui contribuent positivement à la qualité de la tolérance de la plante aux stress abiotiques comme le stress hydrique. Leurs effets sont indépendants des effets liés à la nutrition (du Jardin, 2015). Des résultats récents portant sur l'effet d'un biostimulant à base d'acides aminés- Leafamine® - sur la laitue montrent des améliorations de la tolérance de la laitue au stress hydrique, notamment en améliorant la biomasse et les mécanismes de tolérance de la plante (Malécange *et al.*, 2022). D'autres données existent sur plusieurs espèces, telle que la tomate (Oancea *et al.*, 2013)

Figure 6 : Taux de photosynthèse selon 4 traitements. Les résultats avec les mêmes lettres n'ont pas de différence significative entre eux. (Modifiée de (Malécange *et al.*, 2022))



On voit sur la figure 6 que lorsque les laitues ont de bonnes conditions d'irrigation, la Leafamine® n'a pas d'effet sur la photosynthèse qui nous indique la production de biomasse. Cependant, lorsque les laitues sont en stress hydrique, la Leafamine® maintient le même taux photosynthétique que celui des laitues en bonnes conditions.

# Conclusion

---

Le stress hydrique est provoqué par de nombreux facteurs et peut entraîner des conséquences importantes sur le fonctionnement de la plante et le rendement des cultures. Durant son évolution, la plante a façonné des stratégies aussi efficaces que complexes pour maintenir sa survie. Par ailleurs, plusieurs leviers existent pour atténuer ces effets, dont l'utilisation requiert une approche multifactorielle, intégrant le cycle de vie de la plante, sa génétique et son environnement. De plus, un regard systémique sur les conséquences des techniques appliquées est nécessaire. L'exemple du marc de café est révélateur, car il permet d'améliorer les conditions hydrauliques du substrat, tout en engendrant, via son action sur d'autres processus de la plante, la réduction de sa biomasse. Enfin, les conditions de stress hydrique sont rendues plus probables et plus intenses par le dérèglement climatique. Alors que le stress hydrique est en phase de devenir une partie intégrante des itinéraires culturaux, il serait nécessaire de considérer la part des innovations et/ou des leviers utilisés dans la trajectoire d'aggravation du changement climatique.

## IV. Sources

- AMASSAGHROU, Asmae, BARKAOU, Karim, BOUAZIZ, Ahmed, ALAOUI, Si Bennesseeur, FATEMI, Zain El Abidine et DAOUI, Khalid, 2023. Yield and related traits of three legume crops grown in olive-based agroforestry under an intense drought in the South Mediterranean. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 1 avril 2023. Vol. 30, n° 4, pp. 103597. DOI 10.1016/j.sjbs.2023.103597.
- AUGÉ, Robert M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 28 mai 2001. Vol. 11, n° 1, pp. 3-42. DOI 10.1007/s005720100097.
- BAI, Wei, SUN, Zhanxiang, ZHENG, Jiaming, DU, Guijuan, FENG, Liangshan, CAI, Qian, YANG, Ning, FENG, Chen, ZHANG, Zhe, EVERS, Jochem B., VAN DER WERF, Wopke et ZHANG, Lizhen, 2016. Mixing trees and crops increases land and water use efficiencies in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*. 1 décembre 2016. Vol. 178, pp. 281-290. DOI 10.1016/j.agwat.2016.10.007.
- BOUCELHA, Lilya et DJEBBAR, Réda, 2019. Synthèse sur le Priming des Graines. In : .
- CHENG, Minghui, WANG, Haidong, FAN, Junliang, XIANG, Youzhen, TANG, Zijun, PEI, Shengzhao, ZENG, Hualiang, ZHANG, Chen, DAI, Yulong, LI, Zhijun, ZOU, Yufeng et ZHANG, Fucang, 2021. Effects of nitrogen supply on tomato yield, water use efficiency and fruit quality: A global meta-analysis. *Scientia Horticulturae*. 15 décembre 2021. Vol. 290, pp. 110553. DOI 10.1016/j.scienta.2021.110553.
- DU JARDIN, Patrick, 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 30 novembre 2015. Vol. 196, pp. 3-14. DOI 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- ERCILLA MONTSERRAT, Mireia, 2019. *Air, food and soilless substrate quality assessment in rooftop agriculture* [en ligne]. [Consulté le 14 novembre 2023]. ISBN 978-84-490-8672-4. Disponible à l'adresse : <https://ddd.uab.cat/record/213603>
- FRANCO, Jose G., KING, Stephen R. et VOLDER, Astrid, 2018. Component crop physiology and water use efficiency in response to intercropping. *European Journal of Agronomy*. 1 février 2018. Vol. 93, pp. 27-39. DOI 10.1016/j.eja.2017.11.005.
- GALLARDO, Karine, COURTY, Pierre-Emmanuel, LE SIGNOR, Christine, WIPF, Daniel et VERNOUD, Vanessa, 2014. Sulfate transporters in the plant's response to drought and salinity: regulation and possible functions. *Frontiers in Plant Science* [en ligne]. 2014. Vol. 5. [Consulté le 14 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00580>
- Grard, B., BEL, N., MARCHAL, N., MADRE, N., CASTELL, J.-F., CAMBIER, Philippe, HOUOT, Sabine, MANOUCHEHRI, Nastaran, BESANÇON, Stéphane, MICHEL, Jean-Charles, CHENU, Claire, FRASCARIA-LACOSTE, Nathalie et AUBRY, Christine, 2015. Recycling urban waste as possible use for rooftop vegetable garden. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture & Society*. 1 janvier 2015. Vol. 3.
- HARDGROVE, Sarah J. et LIVESLEY, Stephen J., 2016. Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. *Urban Forestry & Urban Greening*. 1 août 2016. Vol. 18, pp. 1-8. DOI 10.1016/j.ufug.2016.02.015.
- KUMAR, Rajesh, SOLANKEY, Shashank Shekhar et SINGH, Major, 2012. Breeding for drought tolerance in vegetables. . 2012. Vol. 39.
- MALÉCANGE, Marthe, PÉREZ-GARCIA, Maria-Dolores, CITERNE, Sylvie, SERGHERAERT, Renaud, LALANDE, Julie, TEULAT, Béatrice, MOUNIER, Emmanuelle, SAKR, Soulaïman et LOTHIER, Jérémy, 2022. Leafamine®, a Free Amino Acid-Rich Biostimulant, Promotes Growth Performance of Deficit-Irrigated Lettuce. *International Journal of Molecular Sciences*. janvier 2022. Vol. 23, n° 13, pp. 7338. DOI 10.3390/ijms23137338.

NAGWA, [sans date]. Fiche explicative de la leçon : La transpiration végétale | Nagwa. [en ligne]. [Consulté le 25 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.nagwa.com/fr/explainers/202135215651/>

OANCEA, Florin, VELEA, Sanda, FATU, Viorel, MINCEA, Carmen et ILIE, Lucia, 2013. Micro-algae based plant biostimulant and its effect on water stressed tomato plants. *Romanian Journal of Plant Protection*. 10 avril 2013. Vol. 6, pp. 104-117.

OJUEDERIE, Omena Bernard, OLANREWAJU, Oluwaseyi Samuel et BABALOLA, Olubukola Oluranti, 2019. Plant Growth Promoting Rhizobacterial Mitigation of Drought Stress in Crop Plants: Implications for Sustainable Agriculture. *Agronomy*. novembre 2019. Vol. 9, n° 11, pp. 712. DOI 10.3390/agronomy9110712.

PATANÈ, Cristina, TRINGALI, Simona et SORTINO, Orazio, 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*. 27 juillet 2011. Vol. 129, n° 4, pp. 590-596. DOI 10.1016/j.scienta.2011.04.030.

POSTAIRE, Olivier, VERDOUCQ, Lionel et MAUREL, Christophe, 2007. Aquaporins in Plants: From Molecular Structure to Integrated Functions. In : *Advances in Botanical Research* [en ligne]. Academic Press. pp. 75-136. [Consulté le 14 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065229607460037>

QIU, W., WANG, Z., HUANG, C., CHEN, B. et YANG, R., 2014. Nitrate accumulation in leafy vegetables and its relationship with water. *Journal of soil science and plant nutrition*. décembre 2014. Vol. 14, n° 4, pp. 761-768. DOI 10.4067/S0718-95162014005000061.

RAMALAN, A. A. et NWOKEOCHA, C. U., 2000. Effects of furrow irrigation methods, mulching and soil water suction on the growth, yield and water use efficiency of tomato in the Nigerian Savanna. *Agricultural Water Management*. 1 août 2000. Vol. 45, n° 3, pp. 317-330. DOI 10.1016/S0378-3774(99)00104-3.

RAPHOLO, Edith, ODHIAMBO, Jude J. O., NELSON, William C. D., RÖTTER, Reimund P., AYISI, Kingsley, KOCH, Marian et HOFFMANN, Munir P., 2020. Maize-lablab intercropping is promising in supporting the sustainable intensification of smallholder cropping systems under high climate risk in southern Africa. *Experimental Agriculture*. février 2020. Vol. 56, n° 1, pp. 104-117. DOI 10.1017/S0014479719000206.

SCHWARZ, Dietmar, ROUPHAEL, Youssef, COLLA, Giuseppe et VENEMA, Jan Henk, 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*. 8 décembre 2010. Vol. 127, n° 2, pp. 162-171. DOI 10.1016/j.scienta.2010.09.016.

SINGH, Hira, SETHI, Sorabh, KAUSHIK, Prashant et FULFORD, Anthony, 2019. Grafting vegetables for mitigating environmental stresses under climate change: a review. *Journal of Water and Climate Change*. 8 novembre 2019. Vol. 11, n° 4, pp. 1784-1797. DOI 10.2166/wcc.2019.177.

STEFANELLI, Dario, GOODWIN, Ian et JONES, Rod, 2010. Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Research International*. 1 août 2010. Vol. 43, n° 7, pp. 1833-1843. DOI 10.1016/j.foodres.2010.04.022.

STERLING, Tracy M., 2005. Transpiration: Water Movement through Plants. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*. 2005. Vol. 34, n° 1, pp. 123-123. DOI 10.2134/jnrise.2005.0123.

TUREK, Maria Eliza, FREITAS, Karllas Stival et ARMINDO, Robson André, 2019. Spent coffee grounds as organic amendment modify hydraulic properties in a sandy loam Brazilian soil. *Agricultural Water Management*. 1 août 2019. Vol. 222, pp. 313-321. DOI 10.1016/j.agwat.2019.06.006.

SAKR, S. « Physiologie de la nutrition de la plante » et « Réponses de la plante aux stress abiotiques », [notes fournies dans le cours pour les 2èmes années et 3èmes années], Institut Agro Rennes-Angers, Angers, Mars 2023.

Une publication du RMT  
Agricultures Urbaines

