

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem



Faculté des sciences de la nature et de la vie

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Production végétale

Par :

Djerourou Khaoula

Aissani Sarra

**ETUDE DU COMPORTEMENT MORPHO-PHYSIOLOGIQUE
DE LA PASTEGUE (*Citrullus lanatus*) EN MILIEU DE STRESS
HYDRIQUE**

Soutenu publiquement, le 25/ 06 / 2023 Le jury composé de :

Membres juré	Nom	Grade	Université
Président	Dr. BOUALEM Malika	MCA	Uni.Mostaganem
Encadreur	Dr. ARBAOUI Mohammed	MCA	Uni. Mostaganem
Cou-Encadreur	Dr. GHELAMALLAH Amine	MCA	Uni.Mostaganem
Examineur	Dr. MELIANI Hadj Ahmed	MAA	Uni.Mostaganem

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENTS

Tous d'abord, nos premiers remerciements à ALLAH le tout-puissant qui nous a donné la santé, la force, la volonté et le courage qui nous ont permis de terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Dr. Arbaoui Mohamed qui nous a confié le thème de ce mémoire et nous a orienté par ses précieux conseils, suggestions et la confiance qu'il nous a témoigné tout au long de ce travail.

Aussi, nos vifs remerciements au Dr. Ghelamallah Amine pour l'apport précieux à l'expérimentation.

Nous remercions également Dr. Boualem Malika Qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Nous tenons aussi à remercier Mr Meliani D'avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Egalement nos remerciements vont à tous nos professeurs du département d'Agronomie de l'UAIB Mostaganem.

Enfin, nous remercions les amis et le personnel du département de l'agronomie pour les soutenir, notamment les amis les plus proches de notre classe, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cet humble travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

A mon frère aymen

A ma cousine fatima

A mes amies et mes camarades

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

SARRA

Dédicaces

Je dédie mon travail modestement

*A celle qui est restée éveillée, a élevé et enseignée ma chère mère,
que Dieu la protège*

*A celle qui était fatigué et misérable pour mon éducation et mon
confort, mon père Abdel kader, puisse Dieu le protège*

*À mon oncle Sayad Touati pour ses sacrifices pour sa famille que
Dieu prolonge sa vie*

*À mes sœurs qui se tiennent toujours à mes côtés Roufaida et Fatima
Al-Zahra et mon frère Charef*

*À mon amie d'enfance et L'étude est Denndane Iman, que Dieu la
guérisse*

*À tous ceux qui m'ont aidé, m'a conseillé et m'a encouragé même avec
un mot gentil*

KHAOULA

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Partie 1. Etude bibliographique

Chapitre 1. Etude la culture de la pastèque

1. Généralités sur la culture

1.1. Systématique.....	2
1.2. Importance économique	
1.2.1. Dans le monde.....	2
1.2.2. En Algérie	3
1.2.2. A Mostaganem.....	4
1.3.1. Origine	5
1.3.2. Classification	5
1.3.3. Description de la plante.....	6
1.3.4. Variété pastèque.....	9
1.3.5. Cycle de développement de la plante	10
1.4. Technique culturales.....	11
1.5. Stades végétatif	13
1.6. Exigences culturales	
1.6.1. Travail du sol	13
1.6.2. Fertilisation	13
1.6.3. Irrigation.....	14
1.6.4. Travaux d'entretien	15
1.7. Récolte	

Chapitre 2. Etude du stress hydrique

1. Définition.....	19
2. Différents stress.....	19

3. Effet du stress sur la plante.....	20
4. Mécanismes d'adaptation de la plante.....	21
5. Solutions apportées	23
Partie 2. Etude expérimentale	
1. Objectif de l'essai.....	24
2. Matériel et Méthodes.....	24
2.1.Matériel végétal.....	24
2.2.Méthodes d'étude.....	24
3. Expérimentation	
3.1.Protocole expérimental.....	
3.2.Dispositif expérimental.....	25
3.3.Itinéraire technique.	
3.3.1. Obtention des plants	26
3.3.2. Transplantation.....	27
3.3.3. Irrigation.....	27
3.3.4. Fertilisation	28
3.3.5. Désherbage.....	29
3.4.Application du stress hydrique.....	29
3.5.Paramètres mesurés.	
3.5.1. Paramètres morphologiques	
3.5.1.1. Détermination de nombre de feuille	30
3.5.1.2 Longueur de tige LT.....	30
3.5.1.3.Longueur de racine LR.....	30
3.5.2. Paramètres physiologiques	
3.5.2.1.Teneur en eau totale	30
3.5.2.2.Teneur en eau relative (RWC).....	31
3.5.2.3.Teneur en chlorophylle.....	31
4. Analyse statistique	31
Partie 3. Résultats et discussion	
1. Interprétation des résultats	
1.1. Paramètres morphologiques.	
1.1.1.Longueur des tiges et des racines	32
1.1.2 Nombre de fleurs.....	33
1.1.3. Nombre de fruits	33

1.2.	Paramètres physiologiques	
1.2.1.	Contenu relatif en eau foliaire.....	34
1.2.2.	Teneur en eau totale	35
1.2.3.	Teneur en chlorophylle.....	37

Discussion

Conclusion

Références bibliographiques

Liste des figures

Figure 1. Production de la pastèque à Mostaganem.....	4
Figure 2. Système racinaire de la pastèque.....	6
Figure 3. Tige de la pastèque.....	7.
Figure 4. Feuilles de <i>citrullus lanatus</i>	7
Figure 5. Fleur de <i>citrullus lanatus</i>	8
Figure 6. Fruit de <i>citrullus lanatus</i>	8
Figure 7. Graines de <i>citrullus lanatus</i>	9
Figure 8. Variétés de pastèque et apparence physique.....	10
Figure 9. Production maraichère en pépinière	11
Figure 10. Semis des graines de pastèque.....	13
Figure 11. Système d'Irrigation goutte a goutte	16
Figure 12. Paillage en plastique pour pastèque	17
Figure 13. Traitement phytosanitaire	18
Figure 14. Opération de récolte	19
Figure 15. Vue générale atelier Mazaghran (photo originale)	24
Figure 16. Emballage de variété Nadou F1.....	25
Figure 17. photo d'illustration de la serre (photo originale)	27
Figure 18. Transplantation des plantes dans la serre	27
Figure 19. Engrais liquide concentré	28
Figure 20. Désherbage manuel.....	29
Figure 21. Longueur des tiges et des racines de la variété Nado F1 pastèque sous stress hydrique.....	32
Figure 22. Nombre des Fleurs de pastèque variété Nado F1 sous l'effet de stress hydrique.....	33
Figure 23. Nombre des fruits de pastèque variété Nado sous l'effet de stress hydrique.....	34
Figure 24. Contenu relatif en eau foliaire de la variété de pastèque Nado F1 sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison.....	35
Figure 25. Teneur en eau totale de la variété de la pastèque Nado F1 sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison.....	36
Figure 26. Taux de chlorophylles de la variété de pastèque Nado sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification de la pastèque.....	2
Tableau 2. Pays producteurs de pastèque.....	3
Tableau 3. Production de la pastèque au niveau de wilaya de Tizi Ouzou.....	4
Tableau 4. Classification de la pastèque.....	6
Tableau 5. Exigence pour la culture de la pastèque à partir des principaux éléments en unités (kg/ha).....	14
Tableau 6. Impacts du stress hydrique sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de la plante.....	21
Tableau 7. Différents traitements du dispositif	26
Tableau 8. ANOVA à un facteur de la longueur de tiges de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	32
Tableau 9. ANOVA à un facteur de la longueur des racines de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	32
Tableau 10. ANOVA à un facteur de nombre des fleurs de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	33
Tableau 11. ANOVA à un facteur de nombre des fruits de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	34
Tableau 12. ANOVA à un facteur de contenu relatif en eau foliaire de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	35
Tableau 13. ANOVA à un facteur de teneur en eau total de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	36
Tableau 14. ANOVA à un facteur de taux de chlorophylle de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau.....	37

Liste des abréviations

Mm : millimètre

cm : centimètre

M : mètre

M² : mètre carré

M³ : mètre cube

Ha : hectare

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

T : Tonne

Kg : kilogramme

% : pourcentage

QX : quintaux

DSA : Direction des services agricoles.

g : gramme

ml : millilitre

L: litre

H : heure.

ETP : Evapotranspiration potentielle

Na⁺ : sodium

Cl⁻ : chlore

PSII : photosystème 2

ABA : Acide abscissique

CRE : Capacité de rétention

Ph : Poids humecté

Ps : Poids sec

TES : Teneur en eau d'un sol

RWC : Relative water content

N°: numéro

Résumé

La culture de la pastèque rouge dans la région côtière Algérienne, en particulier la wilaya de Mostaganem, est l'une des cultures les plus demandées, surtout en été, qui sont cultivés à l'intérieur des serres ou plein champs Avec ses différentes variétés greffées et non greffées. D'autre part, ces dernières années, avec l'avènement du changement climatique et des climats semi-arides dans la région, cela place les agriculteurs devant le problème de la rareté des ressources en eau pour le processus d'irrigation, ou ce qu'on appelle le phénomène de stress hydrique ou le manque d'eau qui affecte directement l'agriculture et la production et les confronte à de nombreux problèmes dans la gestion de leurs cultures. Avec des techniques agricoles différentes et avancées. Les ingénieurs agronomes sont donc amenés à sensibiliser les agriculteurs à l'impact de ce phénomène physiologique sur leurs cultures et à les guider pour développer les techniques agricoles utilisées, en plus de l'utilisation de variétés résistantes à la sécheresse et au manque d'eau, en plus d'une bonne gestion de l'eau. Nous avons utilisé la variété Nado F1 avec deux doses différentes d'eau d'irrigation, où les résultats ont montré un effet néfaste sur la croissance et le bilan hydrique de la plante sous le stress hydrique.

Mots clés : Doses d'eau ; Pastèque ; Paramètres Morpho-physiologiques ; Stress hydrique.

Summary

The cultivation of red watermelon in the Algerian coastal region, in particular the wilaya of Mostaganem, is one of the most demanded crops, especially in summer, inside greenhouses or filled fields. On the other hand, that in recent years and with the emergence of the phenomenon of climate change and semi-arid climates in the region, this places farmers in front of the problem of scarcity of water resources for the irrigation process, or what is called the phenomenon of water stress, which directly affects cultivation and production and confronts them with many problems in managing their crops using different and advanced agricultural techniques, and agronomists must raise awareness among farmers about the impact of this physiological phenomenon. The phenomenon on their crops, the agricultural techniques used, in addition to the use of varieties resistant to drought and lack of water, in addition to good water management. Resources consumed in this type of crop that receive large amounts of water. To test this phenomenon, we tested it on the Nado F1 variety with two different doses of irrigation water, since its results showed a great effect on the development of the plant during the different stages of its life cycle. And on the number of fruits, the amount of production obtained, and its resistance to fungal and other diseases. Notice the development of weeds inside the fields under.

Key words : water doses, water melon, morpho-physiological parameters, water stress

الملخص

تعتبر زراعة البطيخ الأحمر في المنطقة الساحلية الجزائرية ، ولا سيما ولاية مستغانم ، من أكثر المحاصيل طلباً ، خاصة في فصل الصيف ، التي تزرع تحت البيوت البلاستيكية أو الحقول الممتلئة بأصنافها المتنوعة الملقمة منها و الغير ملقنة.

من ناحية أخرى ، أنه في السنوات الأخيرة ومع ظهور ظاهرة التغير المناخي بالإضافة الى المناخ شبه الجاف للمنطقة ، فإن هذا يضع المزارعين أمام مشكلة ندرة الموارد المائية لعملية الري ، أو ما يسمى ظاهرة الإجهاد المائي التي تؤثر بشكل مباشر على الزراعة والإنتاج وتواجههم مشاكل كثيرة في إدارة محاصيلهم باستخدام تقنيات زراعية مختلفة ومتطورة ، لذا فأن المهندسين الزراعيين مطالبين بتوعية المزارعين حول تأثير هذه الظاهرة الفيزيولوجية على محاصيلهم و إرشادهم على تطوير التقنيات الزراعية المستخدمة ، بالإضافة إلى استخدام أصناف مقاومة للجفاف وقلة المياه ، بالإضافة إلى التسيير الجيد للموارد المائية المستهلكة في هذا النوع من المحاصيل التي تستقبل كميات كبيرة من المياه

لاختبار هذه الظاهرة قمنا باختبارها على صنف بجرعتين مختلفتين من مياه الري ، حيث أظهرت نتائجها تأثير كبير على نمو النبات خلال مراحل دورة حياته المختلفة وعلى عدد الثمار ، كمية الإنتاج المتحصل عليها ، ومقاومتها للأمراض الفطرية والأمراض الأخرى مع ملاحظة تطور الحشائش داخل الحقول.

الكلمات المفتاحية: جرعات المائية، البطيخ الاحمر، التغيرات المورفوفيزيولوجية، العجز المائي

Introduction

Introduction

Introduction

La pastèque fait partie des fruits largement consommés en été. C'est un pilier parmi les fruits de table arabes avec ces valeurs nutritives. Les premières origines des pastèques étaient les pays d'Afrique tropicale et l'Afrique du Sud. Les Arabes les plus anciens sont venus aux pastèques d'Europe par l'Andalousie, où il y a des traces de culture à Cordoue en 961 après JC et à Séville en 1158 après JC. Le monde produit 95,2 millions de tonnes par an, dont 70 millions de tonnes sont produites par la seule Chine. La Turquie a 4 millions de tonnes, l'Iran (3,8 millions de tonnes) et le Brésil (2 millions de tonnes), et enfin l'Égypte (1,8 millions de tonnes) (FAOSTAT, 2016).

D'autre part, les pastèques ont besoin de beaucoup d'eau, mais l'arrosage des feuilles a été lié à des épidémies. En général, un excès d'humidité favorise la croissance d'agents pathogènes tels que l'oïdium. D'autre part, les plantes stressées par l'eau sont plus sensibles aux maladies, car de nombreux agriculteurs des pays méditerranéens comme la Grèce préfèrent arroser les pastèques pendant 20 minutes par jour pendant leurs premiers stades. Au stade de la fructification, lorsque les températures sont suffisamment élevées (35°C), les agriculteurs augmentent l'irrigation car les plantes ont des besoins plus importants au cours de ces stades.

La plante subit divers stress végétaux tels que le stress salin, le stress thermique et le stress hydrique, où le stress hydrique résultant du manque d'eau nécessaire à chaque plante provoque un changement négatif de la physiologie, de la morphologie et généralement de la croissance et de la productivité des plantes pour adapter la sécheresse alors comment le manque d'eau affecte-t-il la croissance et le développement de la variété (NADO F1) de pastèque ?

Enfin, il y a des solutions pour éviter ce stress en utilisant des plantes résistantes au manque d'eau et en développant des stratégies agricoles pour cela nous posons la problématique suivante : quelles sont les solutions pour réduire ce phénomène physiologique ?

Dans ce contexte ce travail a été réalisé dans l'atelier agricole pour vérifier l'effet du manque sur la culture de pastèque en même temps de voir l'influence du stress hydrique sur le comportement morpho-physiologique de la pastèque.

Partie I

Etude

bibliographique

Chapitre 1 :

Généralités sur la

culture de pastèque

1. Généralités sur la culture de la pastèque

1.1. Systématique

La pastèque (*Citrullus lanatus*), aussi appelée melon d'eau, est une espèce de plantes herbacées de la famille des Cucurbitacées. Elle est largement cultivée pour ses gros fruits lisses, à chair rouge, jaune, verdâtre ou blanche et à graines noires ou rouges. Selon Matsum et Nakai (1916), la pastèque a été classée selon la systématique regroupée dans le Tableau 1

Tableau 1. Classification de la pastèque (Matsum et Nakai, 1916).

Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliopsida</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Cucurbitales</i>
Famille	<i>Cucurbitaceae</i>
Genre	<i>Citrullus</i>
Espèce	<i>Citrullus lanatus</i>

1.2. Importance économique

L'importance économique de la pastèque est considérable dans les régions sèches, cette culture est répandue presque dans tous les pays du monde. Elle est connue pour ses variétés comestibles : Nado, Alana, Kadija, Céline.... etc. La motivation première pour la culture de la pastèque est économique pour la plupart des producteurs. L'objectif est la quête de revenus pour satisfaire leurs besoins socioéconomiques.

1.2.1. Dans le monde

En 2016, la production mondiale de pastèques s'est établie à 117 022 560 T. La superficie mondiale consacrée à la production de pastèques était de 3 507 243 hectares en 2016, avec un rendement moyen par m² de 3,34 kilos (FAOSTAT, 2016). Comme à l'accoutumé, la Chine est le plus gros producteur de ce fruit puisqu'elle cultive 67,54% de la production mondiale soit 79 043 138 T annuellement. Son rendement moyen est relativement haut : 4,20 kg/m² contre une moyenne mondiale de 3,34 kg/m². En seconde place se trouve la Turquie avec 3 928 892 T et un rendement moyen de 4,16 kg/m². En 3^e position se place l'Iran avec 3 813 850 T et un rendement assez faible de 2,88 m²/kg. Viennent ensuite le Brésil avec 2 090 432 et 2,31 kg/m² puis l'Ouzbékistan avec 1 976 373 et 3,64 kg/m². L'Espagne se place plus loin derrière : en 13^e position avec une production de 969 327 T et le très bon

rendement de 5,58 kg/m² ; il s'agit du deuxième meilleur rendement après la Tunisie (6,60 kg/m²). Le Maroc occupe quant à lui le 24^e rang avec 437 061 T soit les 0,37% de la production mondiale totale. Le rendement du Royaume est légèrement au-dessus de la moyenne mondiale : 3,57 m²/kg.

Tableau 2. Pays producteurs de pastèque (Anonyme, 2018).

Pays	Production (tonnes)	Production par personne (kg)	Superficie (en hectare)	Rendement (kg/ha)
Chine	79244271	56,852	1892570	41817,2
Turquie	3928892	48,619	94333	41649,3
Iran	3813850	46,649	132464	28791,7
Brésil	2090432	9,977	90447	23112,2
Ouzbékistan	1976373	60,525	54368	36351,5
Algérie	1877069	44,119	58969	31831,5
USA	1823160	5,562	4597	39659,8
Russie	1757972	11,242	148270	11856,6
Egypte	1680994	17,242	52352	32109,7
Mexique	1199648	9,617	38672	31021,4
Kazakhstan	1172839	64,186	50125	23398,3
Viet Nam	1102657	11,649	50031	2039,3
Espagne	969327	20,775	1736	55835,2
Afghanistan	862341	27,311	74679	11547,3
Corée du sud	65203	12,628	15241	42781,7
Tunisie	541000	47,264	8198	65995,4
Maroc	437061	12,568	12231	35733,9

1.2.2. En Algérie

Ces ressources sont importantes pour l'économie Algérienne et pour le maintien de l'équilibre écologique. Dans le cadre des plans cultureux, les cultures maraichères sont des cultures principales dans le monde. La pastèque est très prisée et estimée et très recherchée sur les marchés locaux et internationaux. Elle possède une pratique culturelle en Algérie surtout en été. Le fruit de la pastèque, avec son contenu en jus est un très bon désaltérant en même temps.

En Algérie, La superficie cultivée est très importante, elle occupe un rang principal avec la pomme de terre. Toutes les régions Algériennes pratiquent la culture de la pastèque. Elle occupe 12 % des superficies utilisées pour les cultures maraîchères avec une production de 8.5 % de la production totale du maraîchage (MADR, 2014). Superficies en ha Evol Production.

Tableau 3. Production de la pastèque au niveau de la wilaya de Tizi Ouzou (DSA, 2020)

Année	Superficie de production (ha)	Production en Quintaux
2017	975,50	344855
2018	1137,58	339880
2019	1095,75	365217

1.2.3. A Mostaganem

La pastèque est une culture très estimée et recherchée dans le marché de Mostaganem surtout dans des arrières années (2010-2017), Nous observons le développement d'une production importante année après année, avec une moyenne de 20 000 à 50 000 QX (DSA, 2018).

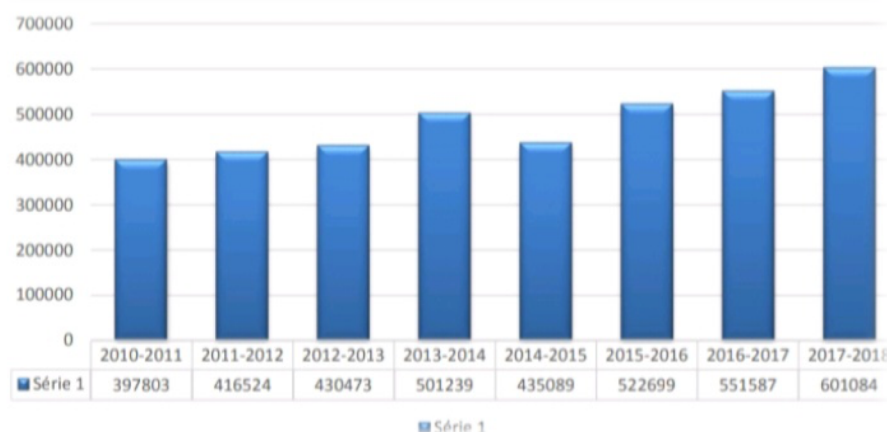


Figure 1. Production de la pastèque à Mostaganem (Qx) (DSA, 2018)

1.3. Origine et classification

1.3.1. Origine

La diversité des formes spontanées et la présence des espèces sauvages de *Citrullus lanatus* sur le continent Africain ont permis de supposer que cette espèce est d'origine Africaine (Janick et al., 2007). Cependant, son origine exacte sur le continent Africain reste encore confuse. Trois zones sont souvent citées comme étant son origine :

- L'Afrique du Nord (l'Égypte et la Lybie) (Cox et Van der veen, 2008).
- L'Afrique du Sud (Dane et Lui, 2007)
- Enfin, l'Afrique centrale (Guner et Wehner, 2004).

Les études de Dane et Lui (2007), basées sur l'ADN chloroplastique de cette espèce ont permis de suggérer que les formes cultivées et sauvages ont divergé, indépendamment, à partir de l'ancêtre *C. ecirrhosus* (Cucurbitaceae) en Namibie. Toutes ces études permettent de dire que la distribution de *C. lanatus* se serait faite à partir de l'Afrique pour gagner le reste du monde. En effet, elle a été introduite au VII^{ème} siècle en Inde et au X^{ème} siècle en Chine. Il a fallu attendre trois siècles de plus pour qu'elle soit introduite en Europe. Concernant l'Amérique, son introduction a eu lieu au XVI^{ème} siècle.

Les Cucurbitaceae font partie des premières cultures domestiquées par l'homme. Les expéditions archéologiques dans la région d'Oaxaca, au Mexique, indiquent que *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae) a été associée à l'homme dès 8500 ans Avant Jésus Christ. Cette domestication visait, surtout, l'alimentation de la population à travers les fruits ou les graines.

Dans le monde en général et en Afrique en particulier, de nombreuses espèces de Cucurbitaceae sont cultivées pour leurs fruits ou pour leurs graines. C'est notamment le cas de *C. lanatus*. Cette espèce existe sous deux types: le type sucré et le type oléagineux (Dane et Lui, 2007).

1.3.2. Classification

La pastèque (*Citrullus lanatus*), aussi appelée melon d'eau, est une espèce de plantes herbacées de la famille des Cucurbitacées. Elle est largement cultivée pour ses gros fruits lisses, à chair rouge, jaune, verdâtre ou blanche et à graines noires ou rouges.

Selon Matsum et Nakai (1916), la pastèque a été classée selon la systématique regroupée dans le Tableau 1

1.3.3. Description de la plante

La pastèque (*Citrullus lanatus*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Cucurbitacées. Le genre *Citrullus* a été étudié sur le plan taxonomique et divisé en quatre espèce: *Citrullus lanatus* (*C. vulgaris*) qui est la pastèque cultivée et ses trois espèces apparentées: *C. ecirrhosus*, *C. colocynthis* et *C. rehmii* (Wehner, 2008).

1.3.3.1. Racine

Selon l'importance de la racine principale par rapport aux ramifications, la pastèque possède des racines pivots (racine principale et racine secondaire) les racines sont étendues, mais peu profonde (Figure 2). La racine principale a une longueur et un diamètre plus importants que les ramifications, il est caractéristique des Angiospermes dicotylédone (Wehner, 2008).

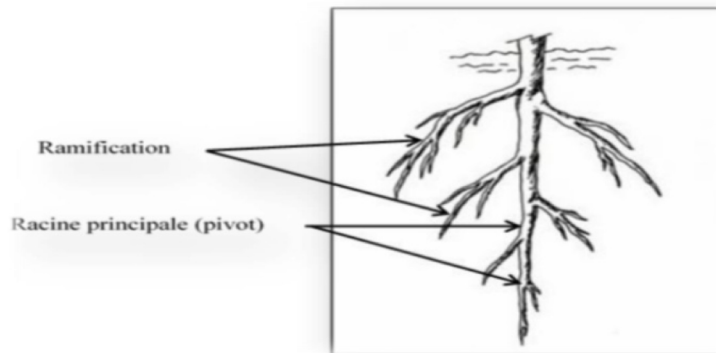


Figure 2. Système racinaire de la pastèque (Wehner, 2008)

1.3.3.2. Tige

La pastèque se présente sous la forme d'une plante à tiges rampantes éminces ou grimpantes, poilues angulaires et peuvent atteindre trois mètres (3 m) de long (Figure 3) et qui s'accroche par des vrilles à l'aisselle des feuilles, elle produit de grosses feuilles nervurées et des fleurs (Louahedj, 2016).



Figure 3. Tige de la pastèque (Erhirhie et Ekene, 2013).

1.3.3.3. Feuilles

Les feuilles sont s'ansières sur la tige principale, de forme généralement triangulaire, sont très découpées, avec des lobes arrondis, profondément incisés, mais aux sinus également arrondis (Figure 4). Certaines sont transformées en vrilles permettant à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés. Elles sont pétiolées alternées lobulaires, les nervures principales de la structure foliaire se distribuent du point d'union entre la lame et le pétiole, les ramifications secondaires s'insèrent sur les ailes de chaque feuille, ces caractéristiques acquièrent à la plante une certaine résistance à la chaleur et à la sécheresse (Fraser et Bramley, 2004).



Figure 4. Feuilles de *Citrullus lanatus* (Erhirhie et Ekene, 2013)

1.3.3.4. Fleurs

Les fleurs apparaissent à l'aisselle des feuilles, à corole jaune pâle sont comme sur la plupart des cucurbitacées soit mâles ou femelles, mais toutes sont présentes sur le même pied (plante monoïque) et la fécondation est entomophile (Figure 5) (Wehner, 2008)



Figure 5. Fleur de *Citrullus lanatus* (Wehner, 2008)

1.3.3.5. Fruits

Le fruit de pastèque est une baie particulière, de forme sphérique, plus ou moins oblongue, son diamètre varie de 30 à 60 Cm et l'écorce de 10 à 40 mm d'épaisseur (Figure 6). Ce fruit est de couleur verte foncée souvent marbrée de blanc, dont la chair est rouge, jaune, verdâtre ou blanche, mais toujours homogène jusqu'au centre où sont dispersées les graines noires ou rouges (Achour et Khaled, 2019)



Figure 6. Fruit de *Citrullus lanatus* (Erhirhie et Ekene, 2013).

1.3.3.6. Graines

Les graines de *Citrullus lanatus* (Figure 7) sont plates et ovales de différentes couleurs suivant les variétés : blanches, noires, brunes, jaunes ou rouges, leur longévité moyenne est de 5 à 6 ans, le nombre de graines varie entre 10 à 30 grammes (Bramley, 2004).

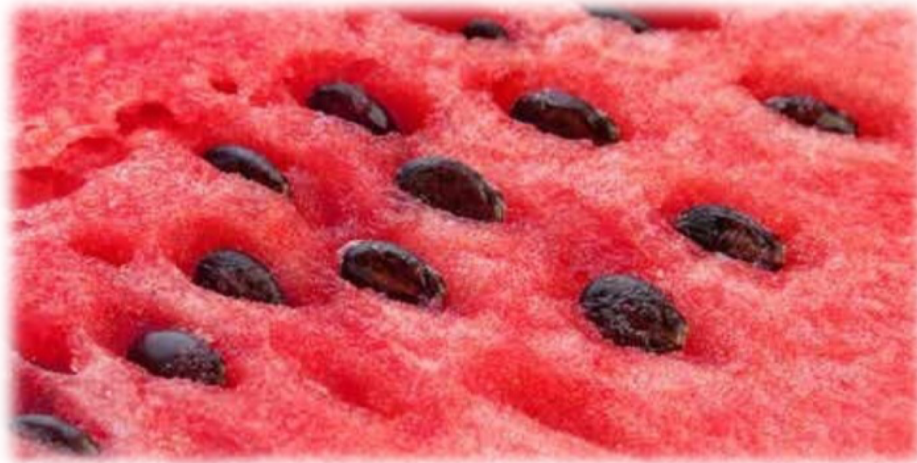


Figure 7. Graines de *Citrullus lanatus* (Erhirhie et Ekene, 2013).

1.3.4. Variétés de pastèque

Il existe près de 1200 variétés de pastèque déclarées dans différentes tailles. La pastèque a également une diversité dans les couleurs de la chair: rouge, jaune, orange ou blanc. Certaines variétés communes et leur apparence sont décrites ci-dessous (Figure 7) (Erhirhie et Ekene 2013).

a-Carolina cross: cette variété produit des melons de poids plus élevé pesant environ 119 kg avec une peau verte et une chair rouge. Il faut environ 90 jours de la plantation à la récolte ;

b-Yellow Crimson: la pastèque de cette variété a la chair de couleur jaune. Ce type particulier de pastèque est plus doux et parfumé au miel que d'autres pastèques à chair rouge

c- Oranpeglo: a une pulpe orange douce pesant environ 9 kg. Il a une croûte vert clair avec des rayures verdâtres foncées. Il faut près de 90 à 100 jours de la plantation à la récolte.

d-Moon and stars: est considérée comme une classe d'oranpeglo et a été trouvée depuis 1926. Elle a beaucoup de petits cercles jaunes avec la croûte pourpre-noire ayant le poids 9-23 kg, une chair de couleur rose ou rouge et les graines brunes

e-Cream of Saskatchewan: se compose de petits fruits ronds d'environ 25 Cm de diamètre. Il a un vert clair assez mince avec une croûte rayée vert foncé, avec une

chair blanche douce et des graines noires. Il peut bien se développer dans les climats froids. Ces pastèques prennent 80 à 85 jours de la plantation à la récolte

f-Melitopolski: a de petits fruits ronds d'environ 28-30 Cm de diamètre. Il s'agit d'une variété de maturation précoce qui provient de la Volga, une région de la Russie. Elle prend environ 95 jours de la plantation à la récolte

g-Densuke: a des fruits ronds pesant jusqu'à 11 kg. Il a une croûte noire qui est spot libre même n'ont pas de rayures sur la surface. Il ne peut pousser que sur l'île d'Hokkaido, au Japon, où jusqu'à 10 000 pastèques sont produites chaque année. En Juin 2008, l'un des premiers melons récoltés est vendu à une vente aux enchères pour 6300 Dollars faisant la pastèque la plus chère jamais vendue. Le prix de vente moyen de cette variété est généralement d'environ 250 Dollars.



Figure 8. Variétés de pastèque et apparence physique (Ramadan, 2019).

1.3.5. Cycle de développement de la plante

La pastèque est très sensible à la température et à la lumière (intensité lumineuse et durée du jour). Si les conditions sont favorables, le calendrier de production peut être le suivant :

- Un mois du semis à l'apparition des premières fleurs mâles ;
- Un mois de plus pour l'apparition des fleurs femelles

- Un à deux mois entre la pollinisation et la maturation du fruit suivant la taille et le type de fruit (Pitrat, 2013).

1.4. Techniques culturales

La pastèque exige une surveillance continue et attentive. Pour avoir de bons rendements, il faut Appliquer les soins et les techniques suivantes

1.4.1. Phase pépinière

Les pépinières sont des lieux où l'on fait pousser des plantules pour les replanter ensuite. Les jeunes plants y sont soignés depuis le semis de façon qu'ils deviennent capables de supporter les conditions difficiles qu'ils rencontreront plus tard sur le terrain. On constate que les plants de pépinières survivent mieux que les graines semées directement en place ou par régénération naturelle. C'est pourquoi ce sont les plants de pépinières qui servent de matériel pour les plantations, qu'il s'agisse de plantations de production, de protection ou d'agrément.

La production des plants en pépinière repose sur trois éléments fondamentaux :

- Choix des semences.
- La qualité de semences
- Création d'un environnement favorable



Figure 9. Production maraîchère en pépinière.

1.4.1.1. Choix des semences

Il est recommandé de se procurer les semences des meilleures variétés indépendamment et leur cout qui ne représente finalement qu'une infime partie du cout de la production. Les semences doivent être achetées en quantités égales aux besoins afin d'éviter

leur stockage prolongé. Elles doivent être saines, traitées et présenter un taux de germination élevé de 90- 100%.

Ce dernier est en fonction :

- De la demande du marché: marché intérieur, marché extérieur, marché urbain ainsi que les exigences du consommateur.
- Des conditions agro écologiques du lieu de culture, dont l'altitude, le climat de la saison (saison sèche ou saison des pluies), les températures maxima et minima, la pluviométrie, l'humidité relative, le vent, les types de sol et leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

1.4.1.1. Qualité de semences

Les semences sont soit récoltées, soit obtenues à partir d'une bonne source nationale ou étrangère de semences. Dans ce dernier cas, la semence doit être de bonne qualité, Et de préférence l'on ne doit utiliser que les variétés hybrides F1.

- Adaptation aux conditions climatiques: nouaison en conditions froides, résistance à la virescence et à la craquelure.
- Elle doit avoir une productivité gustative et une résistance génétique.
- Elle doit être exempte de poussière de débris et de balle.
- Elle doit être exempte de parasites et d'agents pathogènes.
- Elle doit avoir un fort pourcentage de germination.
- Elle doit être accompagnée d'une note indiquant le nom scientifique de l'espèce, le lieu et la date de récolte, le nombre de semences/poids unitaire et si un traitement a été appliqué.

1.4.1.2. Le semis

Le semis consiste à remplir les plaques alvéoles de la tourbe bien humectée, et bien tassée, après la confection d'un petit trou dans chaque alvéole, dont la profondeur dépend de la taille de la graine. On dispose soigneusement la graine au milieu de chaque alvéole, puis on couvre avec une mince couche de tourbe sèche. Finalement on couvre les plateaux avec un film plastique noir à fin d'avoir une germination adéquate des graines. L'arrosage des plaque alvéoles ce débute juste après l'appart.



Figure 10. Semis des graines de pastèque

1.5. Stades végétatifs

- | | |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1: Levée | 6 : Formation des pousses latérales |
| 2 : Cotylédons étalés. | 7: Début floraison. |
| 3: Première vraie feuille. | 8 : Début nouaison |
| 4 : Formation des feuilles. | |
| 5: Elongation de la tige principale. | |

1.6. Exigences culturales

1.5.1. Travail du sol

En raison de la profondeur des racines du motoculteur, la terre est labourée profondément à une profondeur de 40 et 50 mètres. L'engrais organique est déposé, puis le sol est nivelé avec une machine dentelée, un arrosage abondant est fait, et le champ est planifié... Désinfection et stérilisation du terrain : Pour lutter contre les ravageurs du sol tels que les nématodes, les champignons et les bactéries qui peuvent être présents dans le sol, on utilise du gaz baromètre démitable, à des doses comprises entre 60 et 100 g par mètre carré. Cette méthode est plus simple lorsque le terrain dispose d'un système d'irrigation goutte à goutte recouvert de ruban plastique, il est bien enfoui sur les côtés, mais ce pesticide a des effets négatifs sur l'environnement ainsi que sur la santé humaine, il est donc nécessaire d'aller vers d'autres méthodes moins nocives que ça. Toxique.

Couvrir le sol Parmi les techniques modernes utilisées pour cultiver des talles, on recouvre le sol de plastique noir, appelé le nom du paillage, et ce processus nécessite de placer un film plastique noir sur les lignes et d'enterrer ses côtés.

1.6.2. Fertilisation

Pendant la croissance le taux de calcium double, tandis que celui de potassium diminue de moitié dans les feuilles et les tiges. La concentration de tous les éléments dans les

fruits diminue au fur et à mesure de leur grossissement. La fertilisation doit être adaptée à la croissance de la plante, car les besoins varient selon le schéma suivant :

- De la germination à la floraison des premières fleurs femelles (ou hermaphrodites), l'absorption des éléments est faible ; moins de 10% du poids sec final de la plante est synthétisée.
- De la floraison des premières fleurs à la fin de la nouaison au moment de la forte croissance de la plante, 60% des besoins en calcium sont prélevés du sol. Pendant cette période, ainsi que pendant tout le cycle végétatif, l'équilibre d'absorption Azote-potassium est voisin de 1. L'équilibre potassium-calcium-magnésium est voisin de 1 pendant tout le cycle. Il passe à 1-0,85-0,15 en fin de culture.

Une deuxième pointe de consommation du calcium se situe au développement des fruits, en plus des éléments principaux, la culture de la pastèque a besoin d'éléments mineurs tels que le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène en très petites quantités. Cependant, la culture de la pastèque est très sensible à la carence de l'un ou l'autre de ces éléments. Pour éviter cette carence.

Tableau 5. Exigences pour la culture de la pastèque à partir des principaux éléments en unités (kg (ha)).

Stade de croissance	Plantation	Début floraison	Récolte et maturation
Azote	9	14	19
Phosphore	8	9	8
Potassium	9	24	40
Magnésium	7	10	13
Calcium	8	15	22

* Unités par semaine, kg/ha

1.6.3. Irrigation

La pratique de l'irrigation est délicate, car il ne suffit pas seulement de satisfaire régulièrement En tout ou en partie la demande climatique, mais aussi de tenir compte de l'incidence de la technique d'arrosage sur :

- La température du sol, particulièrement en culture intensive.
- L'état sanitaire et les accidents de la végétation.

- L'éclatement des fruits (causé par l'irrégularité d'irrigation)

- La conduite d'irrigation implique la connaissance de la consommation globale de la pastèque. Il faut que le sol soit constamment humide. Les besoins sont élevés et s'étalent de la nouaison au début de la récolte (Babouhoun, 2016).

La pastèque résiste à la sécheresse, mais un manque d'eau ou des arrosages par à-coups diminuent le rendement. L'irrigation commence juste après la plantation. Elle se fait généralement par un système de goutte. Les besoins en eau varient en fonction du stade de développement de la plante. Ils sont exprimés en pourcentage de l'E.T.P (évapotranspiration potentielle).

La consommation globale en eau pour un cycle de 3 à 4 mois (du semis à la récolte) est de 3000 à 4000 m³/ha, soient 300 à 400 mm d'eau. Les besoins en eau de la culture le long de son cycle de développement sont répartis en trois stades phénologiques :

- a. Le stade allant de la plantation à la nouaison durant lequel les besoins en eau croissent Régulièrement jusqu'à atteindre environ 50% de l'ETP.
- b. Le stade de croissance et de grossissement des fruits durant lequel les besoins augmentent fortement pour atteindre 80 à 100% de l'ETP.
- c. Le stade de maturation et de récolte caractérisé par la diminution des besoins en eau qui peuvent descendre jusqu'à 50 et 60% de l'ETP.

1.6.4. Travaux d'entretien

Gérer et entretenir la pépinière Les techniques culturales en pépinière sont : arrosage, paillage, palissage, Filtrage, effeuillage, élagage, désherbage et nettoyage, aération, traitement phytosanitaire. Ce sont des techniques culturales visant une bonne gestion botanique et cela assure un bon équilibre végétatif en tenant compte du stade de la plante et du climat.

1.6.1.1. Arrosage

Déterminer la dose d'eau en fonction de l'analyse physique du sol

Mesurer le besoin en plantes en fonction du climat

Arrosage des plants en pépinière après le semis,

L'arrosage doit être fréquent jusqu'à ce que les graines germent



Figure 11. Système d'irrigation goutte à goutte

1.6.1.2. Paillage

Le paillage est obligatoire avant la levée pour éviter que le sol et les graines ne se dessèchent. Dès que vous remarquez une levée, enlevez le paillis pour éviter de brûler les plantes avec lesquelles il entre en contact avec le film de polyéthylène chauffé par rayonnement solaire.

Période de couverture de la pastèque : à partir de fin mai ou début juin, une fois délicat.



Figure 12. Paillage en plastique pour pastèque

1.6.1.3. Désherbage et nettoyage

Grâce au paillage plastique, l'importance des adventices était minime. Toutefois, les entre banquettes sont maintenues propre à l'aide des sapes.

1.6.1.4. Traitement phytosanitaire

La prévention des maladies doit être une priorité des soins apportés aux plants en pépinière. Les mesures fondamentales de lutte contre les maladies chez les plants en pépinière sont l'hygiène et le maintien des conditions d'ambiance qui s'opposent à leur développement. La lutte culturale consiste au choix d'un emplacement sain, propre, protégé par un filet «insect-Proof ». Il faut également assurer un contrôle rigoureux de l'ouverture de la serre et une ventilation suffisante qui favorise le brassage de l'air autour des plants pour prévenir la plupart des maladies fongiques.



Figure 13. Traitement phytosanitaire par pulvérisation

1.7. Récolte

La récolte peut commencer de juillet à octobre. Pour vérifier qu'une pastèque est arrivée à maturité, il s'agit d'observer sa couleur, qui devient plus Clair, ainsi que l'apparition d'une fissure autour du pédoncule. Vous pouvez aussi vous amuser Corriger la maturité en touchant le fruit : la partie opposée au pédoncule doit être légèrement tendre. Ensuite on procède au couteau ou au sécateur en coupant le pédoncule La pastèque est attaché à la jambe porteuse.



Figure 14. Opération de récolte

Chapitre 2:
Etude du stress
hydrique

Chapitre 2. Etude du stress hydrique

1. Différents stress

1.1. Stress salin

La salinité est définie comme une accumulation excessive de sel dans le sol ou l'eau à un seuil qui peut avoir un impact sur les activités des plantes, des animaux, des écosystèmes aquatiques et de l'agriculture. Il est défini comme une concentration excessive de sel, et ce terme s'applique principalement à un excès d'ions, en particulier Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003).

1.2. Stress thermique

La température est l'un des principaux facteurs affectant la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans les zones cultivées désertiques et semi-arides sont exposées à des températures élevées ainsi qu'à des niveaux élevés de rayonnement, à une faible humidité du sol et à un stress hydrique. En général, une augmentation modérée de la température accélère le développement des plantes, ce qui entraîne une diminution du stade photosynthétique et donc une diminution de l'apport maximal d'organes sources.

Le stress thermique affecte généralement l'activité photosynthétique, et la diminution de la teneur en eau causée par la chaleur affecte négativement la division et la croissance cellulaire (Hasanuzzaman et al., 2013). Cependant, l'effet du stress thermique sur la croissance et la physiologie des plantes dépend de la sévérité, de la durée et de l'amplitude du changement de température (Wahid et al., 2007).

1.3. Stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants affectant la productivité agricole dans le monde (Boyer, 1987). Le stress dû au manque d'eau est plus fréquent. La pénurie d'eau se produit lorsque l'eau dont dispose la plante ne lui permet pas de répondre à la demande climatique (Djebbar, 2012). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il se définit comme un déficit marqué, compte tenu des précipitations qui réduisent significativement la production agricole par rapport à la normale sur une grande surface. En effet, il y a stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité limite son utilisation.

2. Effets du stress hydrique sur la plante

Le stress hydrique est un facteur qui peut impacter négativement la plante voire potager puisqu'il réduit l'activité photosynthétique des plantes, conditionne son développement et, si prolongé dans le temps, peut mener jusqu'à la mort de la plante. Les cellules reproductives souffrent du manque d'eau, la capacité de la plante à se reproduire en est affectée, ce qui menace la survie de l'espèce. Une des premières conséquences est la fermeture des stomates (petites structures situées dans les feuilles des plantes dont la principale fonction est la réalisation des échanges gazeux) (Noocity, 2023).

La qualité est, le rendement des grains peut être grandement affecté par le stress hydrique. Le niveau optimal de disponibilité de l'eau et nécessaires à la croissance et au développement des plantes, par conséquent D'autre part, une disponibilité ou non inférieur à l'optimum, dans la partie racinaire peut entraver la croissance des plantes, inhibant ainsi l'absorption des nutriments par la plante (Elmike, Uzoh et al., 2019). Selon Seleiman, Al suhaibani et al. (2021), les principales modifications morphologiques, physiologiques et biochimique, induite par le stress hydrique sont résumé dans le tableau 6.

2.1. Sur la physiologie

Le déficit hydrique provoque des lésions membranaires et l'apparition de canaux remplis d'eau. Autrement dit les membranes deviennent très poreuses lorsqu'elles sont desséchées, une perte de sélectivité des membranes.

Lorsque les membranes sont réhydratées, ces canaux permettent une fuite très importante de solutés entre les compartiments ou dans l'espace extracellulaire

La photosynthèse est sensible aux stress hydrique elle peut affectée de deux manières :

- D'abord la fermeture des stomates supprime normalement l'accès du chloroplaste à un apport de dioxyde de carbone d'origine atmosphérique.
- L'eau joue un rôle très important ; c'est un donneur primaire d'électrons pour le PSII. Donc la photosynthèse diminue dans des conditions de stress hydrique et peut même s'annuler s'il devient sévère. Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle

Tableau 6 : Impacts du stress hydrique sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de la plante

Changements morphologiques	Changements physiologiques	Changements biochimiques
Réduction de la longévité des feuilles	Arrêt de la photosynthèse	Diminution de l'efficacité photochimique
Réduction de la surface foliaire	Augmentation du stress oxydatif	Diminution de la teneur en chlorophylle
Extension de feuille Limitée	Réduction du potentiel hydrique de feuilles	Production de glucides
Enroulement des feuilles	Réduction interne du CO ₂	Production d'espèces, réactifs de l'oxygène
Diminution du nombre de feuilles et de leur taille	Fermeture des stomates	Stress oxydatif
Réduction de la hauteur, des plantes et de la longueur de la tige	Augmentation de la température interne	Génération de polyamines
Augmentation du ratio, longueur de la racine / longueur de la tige	Diminution de la transpiration	Forte accumulation de proline
Diminution de la biomasse de la racine et de la tige	Diminution du contenu relatif en eau	

3.2. Sur la croissance et le développement.

Avec une réduction de la croissance des organes préexistants. Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux, Donc un cas de stress hydrique prolongé provoque la diminution de la surface foliaire.

3.3. Sur le rendement

La sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement

4. Mécanismes d'adaptation au stress hydrique

Différents mécanismes d'adaptation qui rendent les plantes plus tolérante aux effets négatifs du stress de la sécheresse ont été développées. L'échappement, la tolérance et l'évitement sont les trois principales stratégies de survie utilisée par les plantes lorsqu'elles sont exposés au stress hydrique.

4.1. Échappement

Pour échapper aux effets néfastes du stress de la sécheresse sur la productivité des plantes, certaines plantes utilisent des mécanismes impliquant un développement rapide de la plante, un raccourcissement du cycle de vie, l'autoreproduction est une croissance saisonnière

avant le début de la période la plus sèche de l'année. Parmi ces mécanismes, la floraison précoce et peut-être le meilleur mécanisme adaptatif d'évasion chez les plantes (Álvarez, Rodriguez et al., 2018).

4.2. Tolérance

Les mécanismes de tolérance comprennent la réduction de la surface foliaire et la limitation de l'expansion de nouvelles feuilles. De mêmes, la production de trichomes permet de réduire la température de la feuille en augmentant le taux de réflexion de la lumière dans la feuille. Par conséquent, le taux de perte d'eau par transpiration foliaire est réduit (Tiwari, Srivastava et al., 2021). Cependant, il est largement admis que les changements dans le système racinaire. Comme la taille, la densité, la longueur, la prolifération et le taux de croissance représente la principale stratégie, des plantes tolérantes au stress hydrique (Tzortzakis, Chrysargyris et al., 2020) .

4.3. Evitement

Dans le cadre de la stratégie d'évitement, potentiel hydrique de la plante est maintenue élevé grâce à une réduction des pertes par transpiration stomatiques et l'augmentation de l'absorption d'eau par le système racinaire. Dans d'autres cas, la présence de feuilles et de cuticules poilues peut contribuer à maintenir des potentiels hydriques élevés dans les tissus végétaux (Boulard, Roy et al., 2017).

4.4. Adaptation phréologique

- **L'esquive** certaines plantes accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique
- **L'évitement** permet de maintenir par divers mécanismes un statut hydrique élevé dans la plante. Il est peut-être obtenu par la limitation de la transpiration par la fermeture des stomates ou par le phénomène d'enroulement foliaire.

4.5. Adaptations morphologiques

- Une réduction de la surface foliaire et du nombre de talles.
- Enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire
- La hauteur de la plante,
- Présence des barbes

4.6. Adaptation physiologique

-La régulation stomatique : la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher.

-La teneur relative en eau de la feuille : Le maintien d'un potentiel hydrique élevé, Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée plus tolérants.

-La teneur relative en eau de la feuille : Le maintien d'un potentiel hydrique élevé, Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée plus tolérants.

-La teneur en chlorophylle : les plantes tolérantes sont celles qui ont un rapport en chlorophylle élevé.

-Ajustement osmotique : est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs, les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques. La fonction principale est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule

-Régulation hormonale : synthèses d'ABA et les protéines de stress

5. Les solutions apportées

Pour éviter le manque hydrique des plantes est la suivante :

Allonger autres stratégies agricoles et génétiques comme le but de renforcer la préparation et de contourner la disparition hydrique en liminaire installé.

Utiliser des plantes génétiquement hybrides résistantes au besoin d'eau

Partie II :
Etude expérimentale

Partie 2. Etude expérimentale

1. Objectif de l'essai

Ce travail consiste à une étude morpho-physiologique de la culture de la pastèque (*Citrullus lanatus*) en milieu hostile de manque d'eau.

2. Présentation de lieu de l'expérimentation

Le travail expérimental s'est déroulé à l'atelier agricole de Mazagran (Mostaganem) rattaché à l'université Abdelhamid Ibn Badis.



Figure 15. Vue générale de l'atelier agricole de Mazagran (photo originale)

3. Matériel et Méthodes

3.1. Matériel végétal

La variété de pastèque Nadou F1 est une variété connue pour son goût sucré, sa pulpe rouge juteuse et sa peau rayée vert foncé et vert clair

Marque : Nadou fl

Pays de production : thaïland

Type sexuel : dicotylédone.

Année de fabrication : 2022.

Fruit : presque sphérique ou semi-ovale et de gros calibre.

Couleur : rayé vert



Figure 16. Emballage de variété Nadou F1 (photo original).

3.2. Méthodes d'étude

3.2.1. Expérimentation

L'expérimentation s'est effectuée dans une serre en plastique de 25 mètres et une largeur de 7 mètres et une superficie de 180 mètres carrés. Elle se compose principalement d'une structure composée de colonnes et de supports métalliques. La serre se compose également d'une couverture en plastique (LDPE) dans le toit, qui est en forme de courbes pour éviter la stagnation des eaux de pluie. Et drainé dans les ouvertures, la couverture plastique de base est retirée des côtés lorsque la serre est ventilée lorsque les températures augmentent au centre et à la périphérie.



Figure 17. photo d'illustration de la serre (photo originale)

3.2.2. Dispositif expérimental

3.2.2.1. Choix de dispositif expérimental

Nous avons utilisé une méthode de bloc aléatoire complet, qui présente de nombreux avantages tels que la flexibilité, la simplicité et l'adaptabilité, l'hétérogénéité et la variance des erreurs expérimentales sont mieux contrôlées, le travail est plus facile à effectuer et il est comparateur facile visuellement les traitements car ils sont loin l'un de l'autre, pas très loin.

3.2.2.2. Dispositif expérimental

La fiche descriptive du dispositif

- 1 variété
- Nombre de blocs : 3 blocs (3 répétitions)
- Nombre de traitements : 2 doses d'eau 50 et 100%

Bloc A	Bloc B	Bloc C
• • • •	• • • •	• • • •
• • • •	• • • •	• • • •
• • • •	• • • •	• • • •
• • • •	• • • •	• • • •

- Chaque bloc contient : **16 plants**
- Nombre de lignes : **4 lignes par bloc**
- Nombre de plant par ligne : **4 plants**
- Entre plan : **30 cm**
- Entre rangs : **70 cm**
- Bordure : **50 cm**

Tableau 7. Différents traitements appliqués

Nombre de traitements	Traitement
T1	Dose 50%
T2	Dose 100%

3.3. Itinéraire technique

3.3.1. Obtention des plants

Les plants ont été amenés de la pépinière de Sirat, où les graines ont été mises dans des conditions appropriées pour obtenir des plants sains et vigoureux pour avoir une reprise dans le lieu de plantation.

3.3.2. Transplantation

La transplantation a eu lieu le 16 janvier à l'intérieur de la serre selon le protocole en vigueur, 10 jours après leur passage en pépinière bien sur (en stade 2 feuilles), et ce après avoir préparé le terrain (binage et désherbage), en même temps le système d'irrigation goutte à goutte a été installé.



Figure 18. Transplantation des plantes dans la serre

3.3.3. Irrigation

Nous avons utilisé la technique d'irrigation goutte à goutte car elle est optimale pour la culture de la pastèque afin d'assurer l'obtention de la quantité idéale pour une plante et d'éviter la croissance des mauvaises herbes et la compétition pour l'eau. Le processus d'irrigation a lieu deux à trois jours par semaine pendant environ deux heures.

3.3.4. Fertilisation

Avant l'installation de la culture, la parcelle d'expérimentation a reçu de la matière organique en fumure de fond. Puis au stade de floraison, nous avons apportés du NPK. Le processus de fertilisation était ensemble au début de la phase de floraison. Nous avons utilisé le produit de fertilisation suivant :

NPK (00,45,55) + Mo

N :00

P : 45

K : 55

Mo : matière organique

Utilisation : la fixation des fleurs dans la plante et la maturation et grossissement des fruits

Mettre en considération que :

Pour **3 à 3,5 l -----→ 1ha**

200 l-----→250 ml de produit

X----→50ml

X= 200×50÷250= 40 l d'eau

En prendre **50ml** de produit de fertilisation liquide dans **40 l** d'eau .Pour la superficie de notre culture : **31.5m²**

Pour 3,5 l _____ 10000m²

X _____ 31,5m²

X=3,5×31,5/10000 =0.014 L

Finalement on utilise **15 ml** par parcelle, cette quantité sera pulvérisée sur les feuilles de chaque plante, la pulvérisation est effectuée une seule fois.



Figure 19. Engrais liquide concentré (0, 45, 45, MO)

3.3.5. Désherbage

Nettoyer et enlever manuellement les mauvaises herbes du champ était un processus fatigant du tout. Cela a été fait environ 3 fois par semaine pour maintenir la propreté de la parcelle et assurer une bonne croissance de la plante.



Figure 20. Désherbage manuel

3.4. Application de stress hydrique

Étape 1 : calcule la dose d'irrigation

Prendre 100 g de terre sèche (**Ps**) poids sec . verser de l'eau pour 24h après peser le pot : (**Ph**) le poids humecté. Le calcul : **TES = $\frac{Ps-Ph}{Ps} \times 100$.**

Application numérique : $120 - 100 / 100 \times 100 = 20\%$

Étape 2 : calcul la capacité de rétention de sol

Le volume de terre occupée par la plante est **3kg** c'est-à-dire **3000 g**

CRE : $3000g \times TES$

Application numérique : $3000 \times 20 / 100 = 600ml$.

Au stade de floraison 60% :

La dose 100% : $600 \times 60 / 100 = 360 ml \rightarrow 0,36$ litre

La dose 50% : $360 \times 50 / 100 = 180 ml \rightarrow 0,18$ litre

On fait l'irrigation **2 fois** par semaine

Bloc A	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%

Bloc B	Dose 100%	Dose 50%
	Dose 100%	Dose 50%
	Dose 100%	Dose 50%
	Dose 100%	Dose 50%

Bloc C	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%
	Dose 50%	Dose 100%

3.5. Paramètres mesurés

3.5.1.1. Morphologiques

a-Détermination du nombre des feuilles

Le nombre des feuilles de chaque plante a été déterminé après l'application de traitement stress

b-Longueur de la tige (LT)

La hauteur de la tige a été déterminée après l'application de traitement stress, Exprimé en centimètres (Cm) ces mesures sont effectuées par règle graduée.

c-Longueur de la racine (LR)

La longueur des racines est mesurée après traitement et exprimée en centimètre.

3.5.1.2. Physiologiques

a- Teneur en eau totale

La teneur en eau totale (TET) des plantes de pastèque a été déterminé selon la manière suivante :

Les plantes ont été nettoyé puis pesé pour donner le poids frais (PF), ensuite les elles ont subi un passage à l'étuve à une température de 120°C pendant 24 heures pour déduire le poids sec (PS). Le calcul de la teneur en eau totale.

$$\text{Teneur en eau totale (TET)} = [(PF-PS)/PF] \times 100\%$$

a) **Contenu relatif en eau foliaire (CREf)**

1 à 2 grammes de feuilles fraîches sous forme de disques de même diamètre, c'est le poids frais (PF). Ces disques sont ensuite placés dans des boîtes de pétri contenant de l'eau distillée pendant 24 heures. Ces feuilles sont récupérées et essuyées délicatement avec un papier buvard et pesées à nouveau pour déterminer le poids de turgescence (Pt). Ensuite, ils ont subi un à l'étuve à 100°C pendant 3 heures pour déterminer le poids sec (PS). Le calcul de contenu relatif en eau foliaire (CREf) a suivi la formule suivante (Junaid et al., 2023) :

$$\text{CREf} (\%) = (PF - PS / PT-PS) \times 100$$

b) **Taux de chlorophylles**

* **Extraction** : la chlorophylle brute est extraite selon le protocole suivant :

- Placer dans un mortier un peu de sable fin qui permettra un broyage efficace ;
- Ajouter les feuilles (2) coupées en petits morceaux ;
- Broyer à l'aide du pilon ;
- Ajouter progressivement 30 ml d'alcool à 90° (solvant des pigments) et continuer à broyer jusqu'à obtention d'un liquide résiduel de couleur foncée ;
- Filtrer le contenu du mortier sur papier filtre dans un entonnoir au-dessus d'un bécher entouré de papier d'aluminium.

* **Dosage** : Placer à l'obscurité en enveloppant le bécher de papier aluminium pour éviter une dégradation des pigments.

- Observer le spectre d'absorption de la chlorophylle brute ;
- Verser un peu de solution dans le tube d'analyse ;
- Placer le tube dans l'orifice prévu à cet effet ;
- Utiliser le spectrophotomètre selon le matériel mis à disposition.

4. **Analyses statistiques**

A la fin de l'expérimentation, les échantillons prélevés ont été analysés avec la méthode statistique ANOVA à 1 facteur pour déterminer la signification.

Résultats

Et

Discussion

3^{ème} partie. Résultats et discussion

1. Interprétation des résultats

1.1. Paramètres morphologiques

1.1.1. Longueur de la tige et de la racine

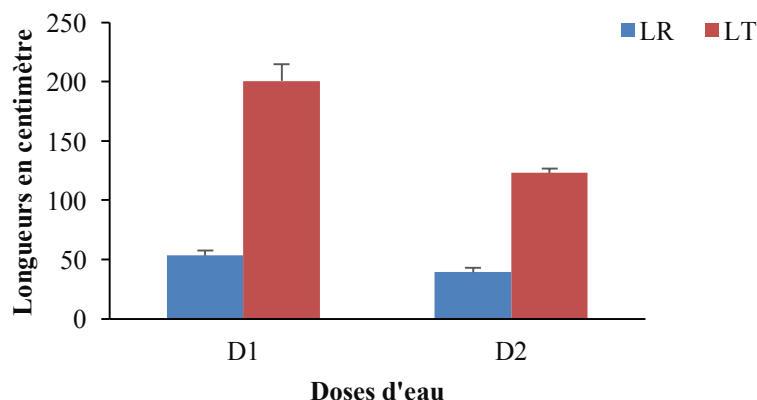


Figure 21. Longueur de la tige et de la racine chez la pastèque variété Nado F1 sous stress hydrique.

La figure 1 exprime l'évolution de la longueur de la tige et de la racine de la variété Nado F1 sous l'effet du stress hydrique. Nous observons que la longueur de la racine baisse en manque d'eau puisque les valeurs exprimées en D2 de 39.33cm par rapport au témoin qui a affiché 53.33cm. En revanche, les tiges montrent une différence nette entre la dose D1 (200.67cm) contre D2 (123cm)

L'étude statistique a désigné que la différence est hautement significative ($p < 0.01$) (Tableau 1).

Tableau 8. ANOVA à un facteur de la longueur de racines et de la tige de la variété de pastèque Nado F1 stressée au manque d'eau

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Longueur racine	384	1	384	23,51	0,0083	7,708
Longueur tige	9048,167	1	9048,166	86,44	0,00074	7,7086

1.1.2. Nombre de fleurs

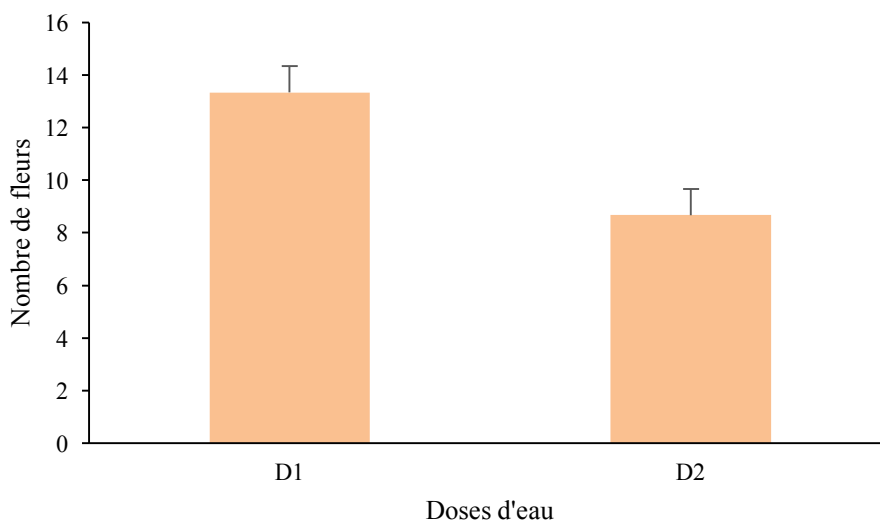


Figure 22. Nombre des Fleurs de pastèque variété Nado F1 sous l'effet de stress hydrique au stade floraison

La figure 22 exprime un nombre de fleurs de la variété Nado F1 qui diminue sous l'effet du stress hydrique. Nous observons que le nombre de fleurs est faible en manque d'eau puisque les valeurs exprimées en D2 de 8.66 par rapport au témoin qui a affiché 13.33.

Les calculs statistiques ont signalé qu'il existe une différence significative entre les doses d'eau à $p < 0.05$

Tableau 10. ANOVA à un facteur de nombre de fleurs de la pastèque stressée au manque d'eau

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	32,66666667	1	32,66666667	14	0,020092107	7,708647422

3.1.1. Nombre de fruits

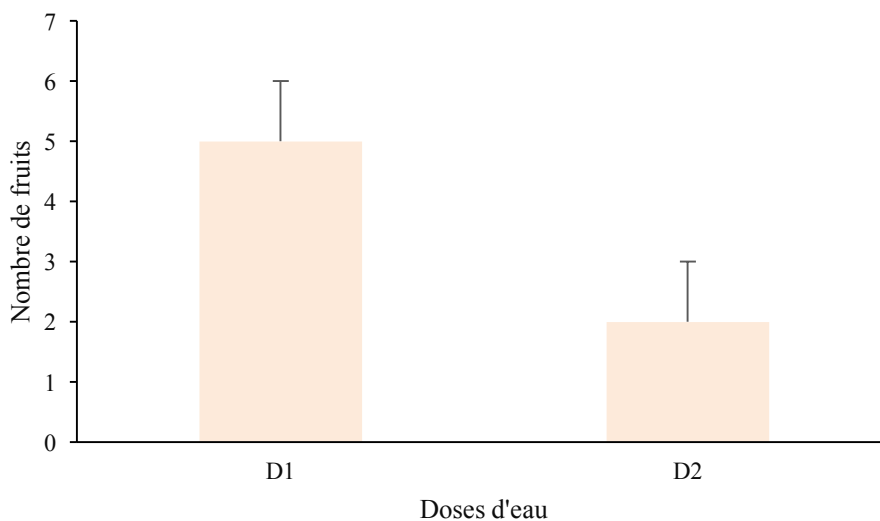


Figure 23. Nombre de fruits par plant de pastèque variété Nado sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison.

Les résultats obtenus dans la figure 23 du nombre des fruits chez la variété Nado stressée diminuent au manque d'eau. Nous observons un nombre de fruits en D1 élevé en affichant 5 fleurs par rapport D2 qui ont exprimé 2 fleurs.

Les calculs statistiques ont signalé qu'il existe une différence significative entre les doses d'eau à $p < 0.05$.

Tableau 11. ANOVA à un facteur de nombre de fruits de la pastèque stressée au manque d'eau

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	13,5	1	13,5	13,5	0,021311641	7,708647422

1.2. Paramètres physiologiques

1.2.1. Contenu relatif en eau foliaire

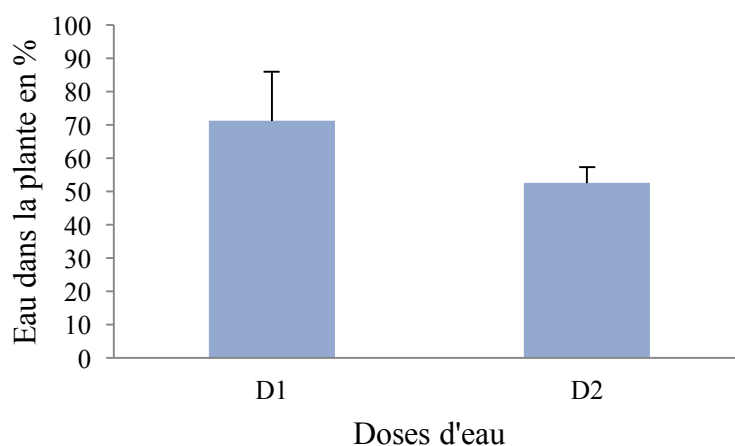


Figure 24. Contenu relatif en eau foliaire de la pastèque variété Nado F1 sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison.

La variété de pastèque Nado F1 a montré un contenu relatif en eau foliaire en manque d'eau des valeurs qui ont diminué (Figure 24). En effet, la dose de 50% a enregistré un CRE de 52.62% contre la dose de 100% qui a affiché un CRE de 71.29%.

L'analyse de la variance à un facteur n'a révélé aucune différence entre les traitements

Tableau 12. ANOVA à un facteur de contenu relatif en eau foliaire de la pastèque stressée au manque d'eau

Source variations	des Somme carrés	des Degré liberté	de Moyenne carrés	des des F	Valeur Probabilité pour F	critique
Entre Groupes	522,6858128	1	522,6858128	45	83	7,708647422
					4,3001886	0,1067829

1.2.2. Teneur en eau totale

Le stress hydrique a affecté la teneur en eau totale de la variété de la pastèque Nado F1 (Figure 23). Les résultats enregistrés ont donné des TET de 87.36% chez les plants irrigués avec 100% de CR contre 77.76% chez les plants irrigués avec 50% de CR.

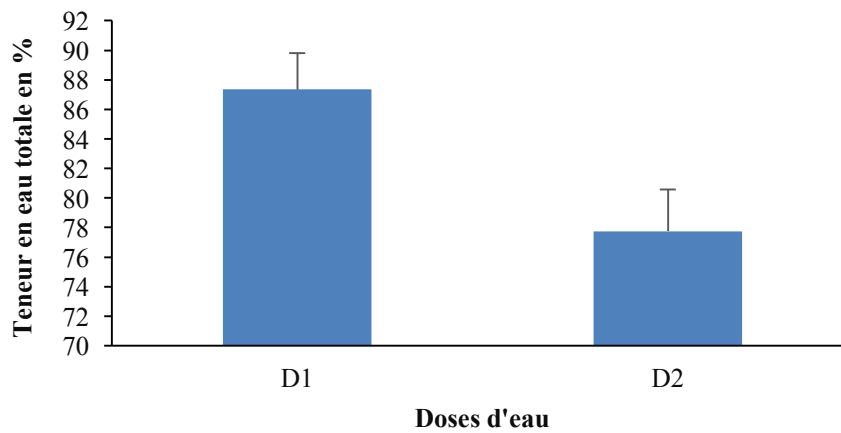


Figure 25. Teneur en eau totale de la pastèque variété Nado F1 sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison.

L'étude statistique révèle qu'il existe une différence significative entre les traitements ($p < 0.05$).

Tableau 13. ANOVA à un facteur de teneur en eau totale de la pastèque stressée au manque d'eau

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	138,042	1	138,042	19,701	0,0113	7,708

1.2.3. Taux de chlorophylles

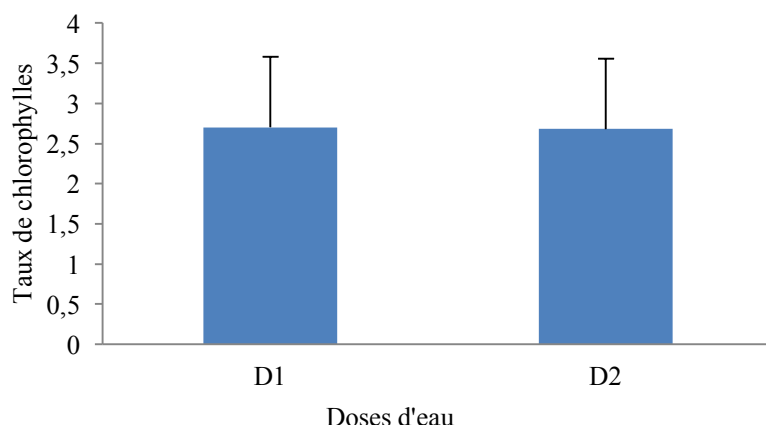


Figure 26. Taux de chlorophylles de la pastèque variété Nado sous l'effet de stress hydrique au stade de floraison

Les résultats enregistrés dans la figure 26 ont montré qu'il n'y a pas d'influence sur du stress hydrique sur le taux de chlorophylles dans les feuilles de la pastèque. En effet, la dose de 100% de CR a exprimé (2.37) et la dose de 50% (2.71).

Les calculs statistiques ont signalé qu'il n'existe pas de différence significative

Tableau 14. ANOVA à un facteur de chlorophylle de la pastèque stressée au manque d'eau

<i>Source</i>	<i>Somme</i>	<i>Degré</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Valeur</i>		
<i>des variations</i>	<i>des carrés</i>	<i>de liberté</i>	<i>des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>critique pour F</i>
Entre Groupes	1,06667E-05	1	1,06667E-05	4,42467E-05	0,995011182	7,708647422

Discussion

Il a été mentionné que le stress hydrique affecte les paramètres morphologiques et physiologiques de la plante. Nos résultats ont confirmé que le manque d'eau à la pastèque variété Nado F1 a influencé le comportement physiologique et morphologique. La longueur de la tige, de la racine, le nombre de fleurs et le nombre de fruits ont été influencés par le manque d'eau. Nos résultats ont été confirmés par Junaid et al. (2021) en travaillant sur une collection de variétés de carotte. Cet effet est expliqué que le stress hydrique est associé à la colonisation des racines en provoquant le rétrécissement des vaisseaux du xylème de la racine pivotante, ce qui a entraîné une diminution du diamètre et de la longueur des racines. De même que l'effet du manque d'eau sur le nombre de fleurs et de fruits a diminué à la 2^{ème} dose (50%) par rapport 1^{er} dose (100%), ceci revient à la sève brute qui n'atteint pas suffisamment la partie végétative.

Le contenu relatif en eau foliaire et la teneur en eau totale sont faibles chez les plants irrigués avec la dose de 50% de la capacité de rétention. Il est connu que le contenu relatif en eau foliaire est un trait efficace pour sélectionner les génotypes tolérants à la sécheresse, une association indirecte du CREf avec les traits de la feuille et l'activité enzymatique a été trouvée chez l'amarante par Junaid et al. (2023).

Dans cette étude, le déficit hydrique n'a pas affecté négativement les teneurs en chlorophylle chez la variété de pastèque étudiée. Ces pigments jouent un rôle clé dans la croissance et le développement des plantes ; de plus, il a été rapporté en cas de pénurie d'eau, ces pigments ont tendance à décliner et la plante devient vulnérable (Astorga et Melendez, 2010). De plus, Ebadollahi-Natanzi et Arab-Rahmatipour (2020) ont décrit que dans des conditions climatiques à faible humidité, des teneurs réduites en chlorophylle. Certaines plantes montrent une tolérance à la sécheresse et maintiennent leur teneur en chlorophylle en cas de stress ; il a également été signalé précédemment dans des cultivars de soja et de pomme de terre (Guzzo et al., 2021). Selon Li et al. (2006), les plantes qui maintiennent des teneurs en chlorophylle relativement plus élevées en période de sécheresse peuvent utiliser de manière productive l'énergie lumineuse, ce qui est également attribué à la tolérance à la sécheresse.

Conclusion

Conclusion

Dans l'ensemble, le niveau de stress hydrique auquel ont été soumises les plantes de pastèque a un effet significatif sur les paramètres morpho-physiologiques étudiés. Compte tenu des résultats obtenus dans notre étude, il a été montré que dans les conditions stressantes, la croissance aérienne a été affectée. Les différentes réponses physiologiques de la variété Nado sous stress hydrique peut être est attribué aux différents caractères génétiques, et leur interaction avec la stimulation externe (Sécheresse).

Les différentes réponses physiologiques en période de sécheresse pourraient être attribuées au patrimoine génétique et à l'interaction avec la sécheresse. L'étude actuelle a fourni de nouvelles informations concernant l'influence de la sécheresse sur diverses caractéristiques de la variété de pastèque, bien qu'il existe un manque de recherche important pour associer les effets de la sécheresse à la morphologie, la physiologie et les caractéristiques de qualité de la plante, donc d'autres mécanismes physiologiques et moléculaires impliqués doivent être étudiés pour améliorer la tolérance à la sécheresse de la pastèque.

Références bibliographiques

- Achour I. Khaled I.** 2019. Etude comparative entre la pastèque greffée et non greffée variété (El Ghali). Mémoire de Master: Sciences agronomiques, Amélioration des productions végétales, UAIB Mostaganem, 66p.
- Bouhalili M. Cherief A.** 2018. Effet de stress salin sur les paramètres morpho physiologique et biochimique chez la fève vicia faba L. Mémoire de master. Sciences biologiques. UAIB Mostaganem. 135 p.
- Boulard, T., Roy, J. C., Pouillard, J. B., Fatnassi, H., & Grisey, A.** 2017. Modelling of micrometeorology, canopy transpiration and photosynthesis in a closed greenhouse using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 158, 110-133.
- Conde-Cid, M., Álvarez-Esmoris, C., Paradelo-Núñez, R., Nóvoa-Muñoz, J. C., Arias-Estevez, M., Alvarez-Rodriguez, E., ... & Núñez-Delgado, A.** 2018. Occurrence of tetracyclines and sulfonamides in manures, agricultural soils and crops from different areas in Galicia (NW Spain). *Journal of Cleaner Production*, 197, 491-500
- Diakalia S.** Effet de stress hydrique sur la croissance et la production du sésam (*Sesamum indicum* L.). Mémoire de master: Science du sol, système de production végétale, Université polytechnique de bobo-bioulasso, 5
- Elaroum W, Ghadir A, Lebba N.** 2021. Dans l'étude et le suivi du parcours agricole pour la culture de la pastèque rouge à l'intérieur des serres de Région de Wadi Souf. Memoire de Master: Sciences agronomie, production végétale, université oued souf, 56p
- JUNAID, M. D., ÖZTÜRK, Z. N., & GÖKÇE, A. F.** 2023. Drought stress effects on morphophysiological and quality characteristics of commercial carrot cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 47(2), 111-126.
- Kaddour Djebbar F, Mekki S.** 2020. Etude de l'effet de deux doses d'engrais démarrage (STARTSOL) et d'un fertilisant (CLINOFINE) sur ma germination des graines et de développement des plantules en pépinière (tige et système racinaire) de melon hybride F1 *Cucumis* Melon. Mémoire de Master: Sciences agronomiques, Amélioration des productions végétales, UAIB Mostaganem, 95p
- Landi L, Simoud Y.** 2020. Les propriétés nutritionnelles anti oxydantes et thérapeutique de la pastèque (*citrullus lanatus*). Mémoire de Master: Sciences alimentaire, agro-alimentaire et contrôle de qualité, Université de Tizi Ouzou, 76p

Skar, S. L. G., Pineda-Martos, R., Timpe, A., Pölling, B., Bohn, K., Külvik, M., ... & Junge, R. 2020. Urban agriculture as a keystone contribution towards securing sustainable and healthy development for cities in the future. *Blue-Green Systems*, 2(1), 1-27.

Centre d'études technique et de vulgarisation agricole. Direction de l'éducation de la recherche et du développement, département de la vulgarisation agricole.

Sites web :

- <https://www.wikipedia.org>
- <https://www.vets-loisirs.fr>
- <https://www.jardicash.net>
- <https://www.agridigitale.net>
- <https://www.fr.123rf.com>
- <https://www.isotockphoto.com/fr>
- <https://sgenmidipy.com/fr>

Annexe

Annexe

Tableau 1. Classification de la pastèque (Matsum et Nakai, 1916).

Règne	Plantae
Division	Magnoliopsida
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Cucurbitales
Famille	Cucurbitaceae
Genre	Citrullus
Espèce	Citrullus lanatus

Tableau2: Pays producteurs de pastèque (Anonyme, 2018).

Pays	Production (tonnes)	Production par personne (kg)	Superficie (en hectare)	Rendement (kg/ha)
Chine	79244271	56,852	1892570	41817,2
Turquie	3928892	48,619	94333	41649,3
Iran	3813850	46,649	132464	28791,7
Brésil	2090432	9,977	90447	23112,2
Ouzbékistan	1976373	60,525	54368	36351,5
Algérie	1877069	44,119	58969	31831,5
USA	1823160	5,562	4597	39659,8
Russie	1757972	11,242	148270	11856,6
Egypte	1680994	17,242	52352	32109,7
Mexique	1199648	9,617	38672	31021,4
Kazakhstan	1172839	64,186	50125	23398,3
Viet Nam	1102657	11,649	50031	2039,3
Espagne	969327	20,775	1736	55835,2
Afghanistan	862341	27,311	74679	11547,3
Corée du sud	65203	12,628	15241	42781,7
Tunisie	541000	47,264	8198	65995,4
Maroc	437061	12,568	12231	35733,9

Tableau 3. Production de la pastèque au niveau de la wilaya de Tizi Ouzou (DSA, 2020)

Année	Superficie de production (ha)	de Production en Quintaux
2017	975,50	344855
2018	1137,58	339880
2019	1095,75	365217

Tableau 5. Exigences pour la culture de la pastèque à partir des principaux éléments en unités (kg (ha)).

Stade de croissance	Plantation	Début floraison	Récolte et maturation
Azote	9	14	19
Phosphore	8	9	8
Potassium	9	24	40
Magnésium	7	10	13
Calcium	8	15	22

Tableau 6 : Impacts du stress hydrique sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de la plante

Changements morphologiques	Changements physiologiques	Changements biochimiques
Réduction de la longévité des feuilles	Arrêt de la photosynthèse	Diminution de l'efficacité photochimique
Réduction de la surface foliaire	Augmentation du stress oxydatif	Diminution de la teneur en chlorophylle
Extension de feuille Limitée	Réduction du potentiel hydrique de feuilles	Production de glucides
Enroulement des feuilles	Réduction interne du CO2	Production d'espèces, réactifs de l'oxygène
Diminution du nombre de feuilles et de leur taille	Fermeture des stomates	Stress oxydatif
Réduction de la hauteur, des plantes et de la longueur de	Augmentation de la température interne	Génération de polyamines

la tige		
Augmentation du ratio, longueur de la racine / longueur de la tige	Diminution de la transpiration	Forte accumulation de proline
Diminution de la biomasse de la racine et de la tige	Diminution du contenu relatif en eau	