



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences naturelles et de la vie, des sciences de la Terre et de l'univers
Département des Sciences nature de la vie.
Filière : Sciences biologiques

Référence / 2025

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté et soutenu par :
Ouachma remaissa et Boussaggama Kaoutar
Le: mercredi 18 juin 2025

L'effet du stress salin sur les caractéristiques morphologiques des feuilles de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Jury :

Dr.	Nadji Hamida	MAA	Université de Biskra	Président
Dr.	Laiadi Ziane	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Mihi Ali	Pr	Université de Biskra	Examineur

Remerciement

بسم الله الرحمن الرحيم

Nous tenons, par ces quelques lignes, à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrant, Monsieur Dr. Pr [Laiadi Ziane], pour son accompagnement, sa disponibilité, ses conseils précieux et ses remarques pertinentes qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche.

Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail. Leurs remarques et suggestions seront, à n'en pas douter, d'une grande utilité pour la suite de notre parcours.

Nos remerciements les plus chaleureux vont aussi à Monsieur Omar, propriétaire de l'exploitation agricole et des serres où nous avons réalisé notre expérience. Son accueil, sa générosité et sa coopération ont été essentiels à la réalisation de la partie pratique de notre projet.

Nous adressons également nos remerciements à tous les enseignants qui nous ont accompagnées tout au long de notre parcours universitaire. Leurs efforts, leurs enseignements et leur engagement ont été pour nous une véritable source de motivation et d'inspiration.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce travail, par leur soutien moral, leurs encouragements ou leur aide ponctuelle

Dédicaces

﴿ الحمد لله الذي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَات ﴾

À celui dont l'ombre est sécurité, dont la parole est sagesse et dont la patience est une école...

À **mon père bien-aimé**, de qui j'ai appris que la vraie force réside parfois dans le silence, et que les plus grands gestes sont ceux qui ne se disent pas. Tu as porté le poids de mes jours sans jamais me le faire sentir. Ce rêve que je réalise aujourd'hui a commencé par toi et s'est accompli grâce à tes prières.

À la source de toute tendresse, à **ma chère mère**, toi qui éclaires mes nuits sombres de ton amour pur, aucune parole ne suffira jamais à exprimer ma reconnaissance. Tu es mon refuge, ma paix intérieure et la douceur de ma vie.

À **mes frères et sœurs**, présence constante et épaules solides, merci pour vos cœurs sincères qui m'ont soutenue dans mes moments de doute, et qui ont partagé avec moi chaque victoire, petite ou grande.

À **l'âme de ma sœur défunte « Ikram »**, que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'inonde de lumière. Les mots ne suffisent pas, les larmes ne racontent pas tout. Ton absence a laissé un vide immense, mais ta mémoire vit en moi, dans chaque prière, chaque réussite, chaque silence.

À **mes amis véritables**, qui ont été pour moi une famille choisie, merci pour votre fidélité, vos gestes sincères et votre soutien dans les instants les plus durs. Vous avez été le baume dans mes jours de fatigue et la joie dans mes instants d'incertitude.

J'offre ce travail modeste à tous ceux qui ont cru en moi, à ceux qui m'ont soutenue d'un mot, d'une étreinte, d'un regard ou d'un silence plein de sens. Merci d'avoir été là, simplement.

Remaissa, Oua

Dédicaces

À mon cher père,

Merci pour ta tendresse silencieuse et ton soutien constant. Pour tout ce que tu as accompli afin que je sois ici aujourd'hui, Tu restes toujours pour moi une source de fierté et un appui indéfectible.

À ma chère mère,

Toi qui as été ce refuge chaleureux et cette prière sincère, Merci pour ta patience, ton amour, et tes innombrables sacrifices. C'est à toi seule que mes mots s'inclinent avec respect et gratitude.

À mes chers frères et sœurs,

Compagnons de route et source de joie dans ma vie, Merci d'avoir été à mes côtés et pour votre soutien constant. Votre présence a été un bienfait inestimable.

À mon frère Fayçal,

Toi que les épreuves ont tant accablé, sans jamais briser ta volonté, Merci du fond du cœur pour tous les efforts que tu as faits pour moi, Pour ton soutien, ton attention et ton dévouement, Je prie Dieu de t'envelopper de santé et de bien-être, Et de te récompenser pour tout ce que tu as accompli pour moi. Je n'oublierai jamais ce que tu as fait.

À vous tous...

Je dédie le fruit de mes efforts et la réussite de ce parcours.

Kaouter, Bou

Tableau de matières

Remerciement	I
Dédicaces	II
Tableau de matières.....	I
Liste de tableaux.....	V
Liste de figures.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction	1

Partie01 :Partie théorique

Chapitre 1

Généralités sur La tomate

1. Présentation de l'espèce étudiée	3
1.1. La tomate	3
1.2. Classification	3
1.2.1. Classification botanique.....	3
1.2.2. Classification variétale.....	4
1.2.2.1. Variétés à croissance déterminé.....	4
1.2.2.2. Les variétés à croissance indéterminé	4
1.2.3. Classification génétique	4
1.2.3.1. Variétés fixées	4
1.2.3.2. Variétés hybrides.....	5
1.4. Caractéristiques morphologiques.....	5
1.4.1. Appareil végétatif	5
1.4.1.1. Racines	5
1.4.1.2. Tige.....	5
1.4.1.3. Feuilles	6
1.4.2. Appareil reproducteur	7
1.4.2.1. Fleur.....	7
1.4.2.2. Fruit	7
1.4.2.3. Graines.....	8
1.5. Contraintes de culture de la tomate.....	8
1.5. 1. Exigences climatiques.....	8
1.5.1.1. Température	9

1.5.1.2. Lumière.....	9
1.5.1.3. Humidité de l'air.....	9
1.5.2. Exigences édaphiques.....	9
1.5.2.1. Sol.....	9
1.5.2.2. PH.....	9
1.5.2.3. Salinité	10
1.5.2.4. Eau	10
1.5.2.5. Fertilisants.....	10

Chapitre 2

Salinité

2.1. Définition de la salinité.....	12
2.1.2. Facteurs et sources de la salinisation des sols.....	12
2.1.2.1. Salinité primaire	12
2.1.2.2. Salinité secondaire.....	12
2.2. Définition du stress	12
2.2.1. Types de stress.....	13
2.2.1.1. Stress biotique.....	13
2.2.2.2. Stress abiotique.....	13
2.3. Stress salin	13
2.3.1. Effets de stress salin sur la morphologie de la feuille de tomate	13

Partie02 :Partie expérimentale

Chapitre 3

Matériel et Méthode

3.1. Objectif.....	15
3.2. Lieu d'expérience	15
3.3. Matériel Végétal.....	15
3.4. Matériel Informatique.....	15
3.5. Méthode de travail.....	16
3.5.1. Acclimatation des plants de tomates	16
3.5.1.1.Étapes d'action	16
3.5.2. Application du stress salin.....	17
3.5.3. Phases de mesures	18
3.5.3.1. Les paramètres mesurés	19

Chapitre 4

Résultats et Discussion

4.1. Analyse des paramètres quantitatifs	21
4.2. Étude de la variabilité morphologique foliaire chez la variété de tomate (Hayat F1) sous stress salin à l'aide de l'ACP et de l'ANOVA	21
4.2.1. Résultats de l'analyse en composantes principales pour les variables analysées	21
4.2.2. Cercle de corrélation.....	21
4.2.3. Études des cultivars (observation).....	24
4.2.3.1. Variables mal représentées ou secondaires sur F1 et bien représentées sur F2	25
4.2.3.2. Variables faiblement représentées	26
4.2.4. Étude de corrélation entre les caractères.....	26
4.2.4.1 La matrice de corrélation	26
4.3. L'analyse de la variance ANOVA.....	29
4.3.1. Moyennes de la longueur de la feuille /largeur de la feuille (L/G).....	29
4.3.2. Moyenne Long Nervures secondaires droite1/ Long Nervures secondaires gauche 1"LOND1 /G1 "	30
4.3.3. Long Nervures secondaires droite2/ Long Nervures secondaires gauche 2"LOND2/G2 "	32
4.3.4. Long Nervures secondaires droite3/ Long Nervures secondaires gauche 3"LOND3/G3 "	34
4.3.5. Angle droite1/angle gauche1 (AnD1/AnG1)	36
4.3.6. Angle droite2/angle gauche2 (AnD2/AnG2)	37
4.3.7. Angle droite3/angle gauche3 (AnD3/AnG3)	39
4.4.Étude comparative de la variabilité morphologique foliaire chez la tomate (Tsarine F1) sous stress salin à l'aide de l'ACP et de l'ANOVA	40
4.4.1. Résultats d'ACP pour les caractères étudiés	40
4.4.2. ACP des caractères morphologiques des feuilles selon les niveaux de stress salin.....	41
4.4.2. Études des cultivars (observation).....	43
4.4.3. Étude de corrélation entre les caractères.....	44
4.5. L'analyse de la variance ANOVA.....	46
4.5.1. Moyennes de la longueur de la feuille /largeur de la feuille (L/G).....	47
4.5.2. Long Nervures secondaires droite1/ Long Nervures secondaires gauche 1"LOND1 /G1 "	48
4.5.3. Long Nervures secondaires droite2/ Long Nervures secondaires gauche 2"LOND2/G2 "	50
4.5.4. Long Nervures secondaires droite3/ Long Nervures secondaires gauche 3"LOND3/G3 "	51

4.5.5. Angle droite1/angle gauche1 (AnD1/AnG1)	52
4.5.6. Angle droite2/angle gauche2 (AnD2/AnG2)	53
4.5.7. Angle droite3/angle gauche3 (AnD3/AnG3)	55
4.6. Impact possible de la déférence enter les concentration	55
Conclusion.....	57
Référencebibliographiques	58
Annex	

Liste de tableaux

Tableau 1. Valeurs propres	21
Tableau 2. Cosinus carrés des caractères sur les axes principaux.	24
Tableau 3. Matrice de corrélation.....	27
Tableau 4. Analyse de la variance "L/G"	29
Tableau 5. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	30
Tableau 6. Analyse de la variance "lonD1/G1"	31
Tableau 7. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	31
Tableau 8 . Analyse de la variance "lonD2/G2"	32
Tableau 9. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	33
Tableau 10. Analyse de la variance "lonD3/G3"	34
Tableau 11. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)	35
Tableau 12. Analyse de la variance " AnD1/AnG1 "	36
Tableau 13. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)	37
Tableau 14. Analyse de la variance "AnD2/G2"	37
Tableau 15. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)	38
Tableau 16. Analyse de la variance "AnD3/G3"	39
Tableau 17. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)	39
Tableau 18. Valeurs propres	41
Tableau 19. Cosinus carrés des caractères sur les axes principaux	43
Tableau 20. Matrice de corrélation.....	45
Tableau 21. Analyse de la variance "L/G"	47
Tableau 22. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	48
Tableau 23. Analyse de la variance "LOND1/G1"	48
Tableau 24. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	49
Tableau 25. Analyse de la variance "LOND2/G2"	50
Tableau 26. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	50
Tableau 27. Analyse de la variance "LOND3/G3"	51
Tableau 28. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	52
Tableau 29. Analyse de la variance "AnD1/G1"	52
Tableau 30. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	53
Tableau 31. Analyse de la variance "AnD2/G2"	53
Tableau 32. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni).....	54
Tableau 33. Analyse de la variance "AnD3/G3"	55
Tableau 34. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni) "AnD3/G3"	55

Liste de figures

Figure 01. Deux des premières illustrations européennes de tomates (Daunay et al., 2007).	3
Figure 02. Système racinaire de la tomate (Chaux et Foury, 1994).	5
Figure 03. Tige de tomate en phase de développement (Originale 2025).	6
Figure 04. Feuille de tomate (originale 2025).	6
Figure 05. Fleure de tomate (originale 2025).	7
Figure 06. Le fruit de tomate (originale 2025).	8
Figure 07. Section transversale illustrant les graines d'une tomate (originale 2025).	8
Figure 08. Emplacement de l'étude (originale 2025).	15
Figure 09. les plantes de tomates dans plateau alvéolé (Original 2025).	16
Figure 10. Arrosage des plantes avec l'eau contenant du Na Cl dissous (Original 2025).	18
Figure 11. le scanner des feuilles (Original 2025).	19
Figure 12. Illustration de la reconstruction graphique de la feuille de tomate.	20
Figure 13. Cercle de la corrélation des variables quantitatifs (F1 et F2).	22
Figure 14 . Représentation des individus dans le plan factoriel $F1 \times F2$ (35,59 % de variance totale).....	23
Figure 15. Représentation des individus dans le plan factoriel $F1 \times F2$ (40,856 % de variance totale).....	41

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composantes principales.

Ang /G : Angel gauche.

Ang/D : Angel droit.

C : Concentration moyenne de Na Cl.

CC : Concentration forte d'Na Cl.

EC : Conductivité Electrique.

ECe : Conductivité Electrique de L'extrait de sol saturé.

FAO: Food and Agriculture Organisation.

Itcmi : Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles (Algérie).

Lng N/D : longueur nervure droite.

Lng N/G : longueur nervure gauche.

Lng/F : longueur de la feuille.

Lrg/ F : largeur de la feuille.

Nb/lob : Nombre de lobes de feuille.

Nbnerv/sec/D : Nombre de nervure secondaire droite.

Nbnerv/sec/G : Nombre de nervure secondaire gauche.

r : coefficients de corrélation.

Sin /G : Sinus gauche.

Sin/D : Sinus droite.

T : Témoin.

Introduction

Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), qui est l'une des cultures légumières les plus importantes, est cultivée à travers le globe. Ses fruits sont largement utilisés comme aliment (Guo *et al.*, 2022). Appartenant à la famille des Solanacées Elle est largement reconnue pour ses qualités nutritionnelles, notamment sa faible teneur en calories, sa richesse en minéraux, ainsi que sa forte concentration en antioxydants tels que la vitamine C, les polyphénols et les caroténoïdes. Elle est le deuxième légume le plus consommé à travers le monde, après la pomme de terre, que ce soit sous forme fraîche ou transformée (Yeo *et al.*, 2022).

Originaire d'Amérique du Sud probablement du Pérou et de l'Équateur la tomate aurait été domestiquée pour la première fois au Mexique (Nicola *et al.*, 2009). Grâce à ses propriétés antioxydants, elle contribue à la prévention de certains cancers et troubles oculaires, participe à la régulation de la pression artérielle, diminue le risque de formation de calculs rénaux, favorise la perte de poids, et soutient la santé cutanée (Tanveer *et al.*, 2020).

Cependant, malgré son importance nutritionnelle et économique, la productivité de la tomate est souvent limitée par divers stress abiotiques, notamment la salinisation des sols, qui constitue l'un des principaux obstacles à la production agricole mondiale. Selon la FAO (2008), plus de 800 millions d'hectares, soit plus de 6 % de la surface terrestre, sont affectés par la salinité. La présence excessive de sels dans le sol ou dans les eaux d'irrigation perturbe la germination des graines, freine le développement des jeunes plants et entraîne une baisse significative des rendements (Mohamdi *et al.*, 2011).

Ce stress est principalement causé par l'accumulation de sels solubles notamment le sodium (Na^+) et le chlorure (Cl^-) dans la rhizosphère, ce qui déséquilibre l'absorption hydrique et nutritionnelle des plantes, avec des conséquences délétères sur leur croissance, morphologie et productivité (Munns et Tester, 2008). Chez la tomate, espèce considérée comme modérément tolérante au sel, le stress salin induit des altérations morphologiques marquées au niveau foliaire (Roşca *et al.*, 2023).

La présente étude vise à explorer l'impact de la salinité sur la morphologie foliaire de la tomate, réalisée en conditions naturelles sous serre plastique, de deux variétés de tomate : Hayat F1 et TsarineF1. En mettant en évidence les différences entre les feuilles issues de plants soumis à une irrigation saline et celles arrosées avec de l'eau non salée. L'hypothèse principale est que la salinité induit une réduction de la taille des feuilles et provoque des modifications morphologiques notables.

L'objectif de cette recherche est donc de caractériser les effets morphologiques induits par la salinité sur les feuilles de tomate. Une expérimentation sera réalisée en conditions semi-contrôlées, avec deux variétés de plants (Hayat F1, TsarineF1) traité par : l'un arrosé à l'eau d'irrigation normale, l'autre à l'eau salée (concentration moyenne et élevée). L'analyse portera sur plusieurs paramètres foliaires : longueur, largeur, nombre de lobes, nervures secondaires et angles et mes sinus. Les données collectées seront analysées à l'aide de l'ANOVA pour évaluer les différences significatives, et de l'analyse en composantes principales (ACP) pour identifier les variables les plus affectées.

Ce travail sera structuré en deux grandes parties : une première partie théorique abordera les généralités sur la tomate et la salinité, tandis que la seconde partie sera consacrée à l'étude expérimentale, incluant les matériels, les méthodes, les résultats et leur discussion à la lumière de la littérature scientifique existante.

Enfin, cette étude permettra de tirer des conclusions claires sur les effets de la salinité sur la morphologie des feuilles de tomate et proposera des pistes pour limiter ces effets, dans une perspective de développement agricole durable.

Partie01 : Partie Théorique

Chapitre 1

Généralités sur

La tomate

1. Présentation de l'espèce étudiée

1.1. La tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), une plante herbacée de la famille des Solanacées et native du nord-ouest de l'Amérique du Sud (Figure 01), est essentiellement composée d'eau, présente un faible taux de lipides et de protéines, et est peu calorique. Elle contient une abondance de vitamines (A, C, K, B1 et B2), de fibres, d'acides aminés indispensables, de minéraux et de caroténoïdes. Le lycopène, pigment dominant dans le fruit et responsable de sa teinte rougeâtre, fait partie de cette abondance. L'importance accordée à la tomate est due à son poids majeur dans le commerce, ainsi qu'à son rôle crucial pour la sécurité alimentaire, l'équilibre nutritionnel et son aspect inclusif (Goka *et al.*, 2021).

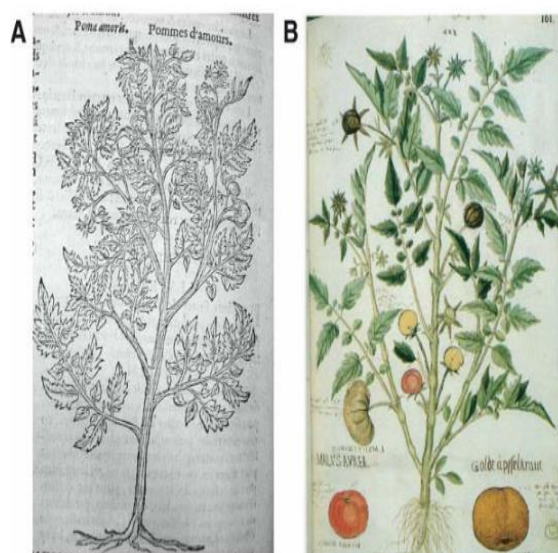


Figure 01. Deux des premières illustrations européennes de tomates (Daunay *et al.*, 2007).

1.2. Classification

1.2.1. Classification botanique

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se classe dans l'ordre Solanales et appartient à la famille des Solanacées. C'est une plante herbacée qui est intrinsèquement pérenne, mais qui apparaît comme annuelle lorsqu'elle est cultivée. La tomate est rangée dans la catégorie suivante (Bouzaata, 2015)

Règne.....Plantae.

Sous règne.....Trachenobionta.

Division.....Magnoliophyta.

Classe.....Magnoliopsida

Sous classe.....Asteridae.

Ordre.....Solonales.

Famille.....Solanaceae.

Genre.....Solanum(Jiménez Bolaño *et al.*, 2024)

Espèce..... Solanum lycopersicum(Jiménez Bolaño *et al.*, 2024)

1.2.2. Classification variétale

Selon Valimenzigha (2006), les variétés de tomates se classent en deux types.

1.2.2.1. Variétés à croissance déterminé

Ces plantes possèdent une durée limitée de floraison et de fructification, et ont une forme buissonnante résultant de l'arrêt de leur croissance en hauteur une fois que trois à quatre inflorescences distinctes apparaissent, habituellement espacées par une feuille. Sous certaines conditions, on peut constater deux inflorescences consécutives sans qu'il y ait une continuité dans l'évolution des feuilles (Valimenzigha, 2006).

1.2.2.2. Les variétés à croissance indéterminé

Tout au long de sa vie, la plante alterne entre croissance végétative et développement reproductif. Elle a la capacité d'atteindre six mètres en hauteur en une seule saison de culture et présente des inflorescences espacées d'environ trois feuilles le long de son tronc (Valimenzigha, 2006).

1.2.3. Classification génétique

D'après Delarue *et al.* (2025), la tomate est une espèce diploïde qui présente un nombre de chromosomes de $2n = 2x = 24$. On distingue deux variétés de tomates en fonction du mode de fécondation :

1.2.3.1. Variétés fixées

Il existe plus de cinq variétés établies. Leurs fruits montrent une régularité fluctuant, sont vulnérables aux maladies, mais tendent à donner des fruits de qualité gustative exceptionnelle (Polese, 2007).

1.2.3.2. Variétés hybrides

Ces dernières se caractérisent par un effet d'hétérosis qui favorise l'accumulation de gènes avantageux, de résistance aux pathologies, et d'une amélioration de la nouaison, particulièrement en conditions difficiles (Chaux et Foury, 1994). Il y a une plus grande diversité de variétés hybrides. Elles sont relativement modernes, puisqu'elles ont été établies seulement en 1960 (Polese, 2007).

1.4. Caractéristiques morphologiques

La tomate est une plante herbacée annuelle qui possède une pilosité et dont les feuilles émettent un arôme. Selon les variétés, elle peut se développer de manière arbustive, buissonnante ou retombante et sa hauteur peut varier de 40 cm à plus de 2 mètres (Polese, 2007).

1.4.1. Appareil végétatif

1.4.1.1. Racines

Racine pivotante robuste qui s'étend jusqu'à une profondeur dépassant 50 cm (Figure02). La racine principale génère une densité importante de racines latérales et adventices. (Dersouni, 2019).



Figure 02. Système racinaire de la tomate (Chaux et Foury, 1994).

1.4.1.2. Tige

La croissance de la plante peut être érigée ou prostrée. La tige peut atteindre une longueur de 2 à 4 mètres. La tige est compacte, fortement velue et glanduleuse (Naika *et al.*, 2005). La

tige présente deux variétés de poils, l'un simple et l'autre glanduleux. Ces derniers renferment une huile essentielle qui confère à la plante son parfum distinctif (Figure 03) (Kolev, 1976).

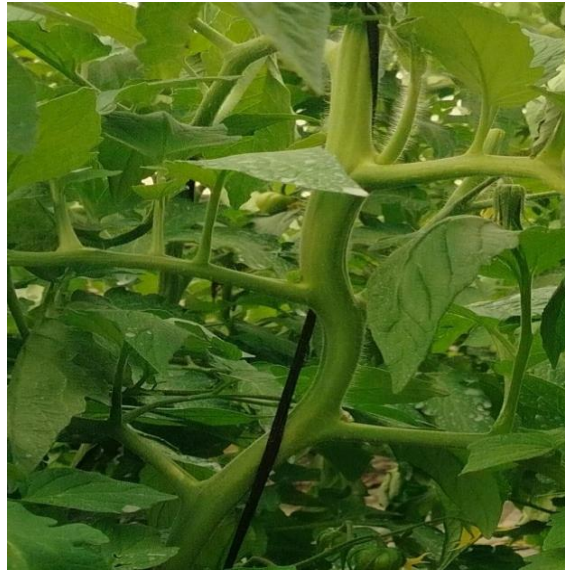


Figure 03. Tige de tomate en phase de développement (Originale 2025).

1.4.1.3. Feuilles

Selon Polese (2007), les feuilles possèdent une structure composée avec des folioles ovales légèrement dentées. Des feuilles en disposition hélicoïdale, dont la longueur fluctue entre 15 et 50 cm et la largeur s'étend de 10 à 30 cm. Les folioles, couvertes de poils glandulaires, ont une forme qui oscille entre l'ovale et l'oblongue. On constate parfois que les grandes folioles ont une structure pennatipartie près de leur base (Naika *et al.*, 2005) (Figure 04).



Figure 04. Feuille de tomate (originale2025).

1.4.2. Appareil reproducteur

1.4.2.1. Fleur

Bisexuées, régulières et mesurant entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles se développent en opposition aux - ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et recouvert de poils, tandis que les sépales demeurent présents. Habituellement, il y a six pétales pouvant atteindre une longueur d'un centimètre, de couleur jaune et courbés lorsqu'ils sont à maturité. Le pistil, qui est allongé et stérile à une extrémité, est entouré de six étamines aux anthères d'un jaune éclatant. L'ovaire est positionné au-dessus, contenant entre 2 et 9 carpelles. Habituellement, la plante est autogame, cependant, la pollinisation croisée peut se produire. Les abeilles et les bourdons jouent un rôle central dans la pollinisation (Naika *et al.*, 2005) (Figure05).

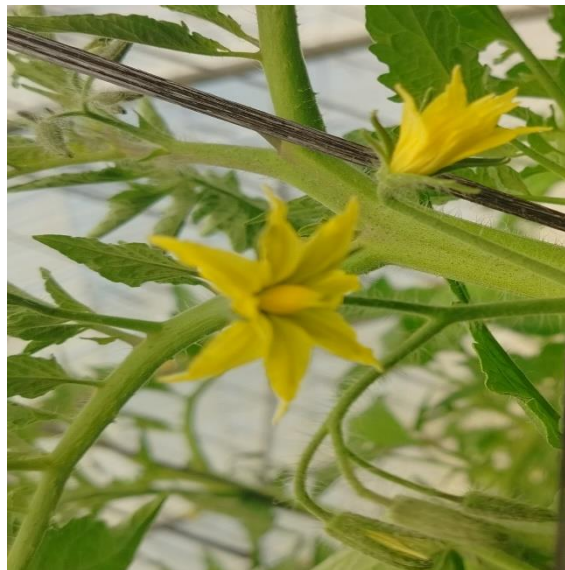


Figure 05.Fleure de tomate (originale2025).

1.4.2.2. Fruit

Le fruit, qui peut varier en taille (Figure06), est une baie au revêtement brillant et lisse qui se décline en diverses formes (sphérique, oblongue, allongée) et affiche une gamme de couleurs distinctes (blanche, rose, rouge, jaune, orange, verte, noire) selon les variétés. Le mur de l'ovaire se transforme en péricarpe charnu qui crée des cavités. Le placenta, élément central du fruit, assure la création des tissus parenchymateux. Les variétés ont un impact sur le nombre de loges, l'épaisseur du péricarpe et la gravité du gel (Bouzaata, 2015).



Figure 06.Le fruit de tomate (originale 2025).

1.4.2.3. Graines

Abondantes, affichant une forme rappelant celle d'un rein ou d'une poire (Figure07). Elles sont pelucheuses, de teinte beige, avec une longueur variant de 3 à 5 mm et une largeur oscillant entre 2 et 4 mm. L'albumen entoure l'embryon. Près de 1000 graines pèsent entre 2,5 et 3,5g (Naika *et al.*, 2005).



Figure 07. Section transversale illustrant les graines d'une tomate (originale 2025).

1.5. Contraintes de culture de la tomate

1.5. 1. Exigences climatiques

1.5.1.1. Température

La température de l'air est un élément déterminant qui affecte la croissance saine standard, la fourchette optimale pour la majorité des types de tomates étant entre 20 et 27 °C. Les plantes sont capables de résister à une gamme variée de températures, cependant leurs tissus subissent des dommages lorsque la température descend en dessous de 10 °C ou dépasse 38 °C (Nicola *et al.*, 2009).

1.5.1.2. Lumière

La croissance et la fructification de la tomate sont influencées par la lumière en termes de durée, d'intensité et de qualité. Il faut 1200 heures d'ensoleillement réparties sur les 6 mois de croissance. Pour une nouaison réussie, un éclairage de 14 heures par jour est indispensable. Cependant, il ne faut pas que la photopériode excède 18 heures par jour (Itcni, 2017).

1.5.1.3. Humidité de l'air

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, et il paraît qu'un niveau d'humidité ambiant de 60% à 65% est optimal. En effet, l'humidité de l'air a une grande importance dans le processus de fécondation. Si le taux d'humidité est trop haut, la libération du pollen devient ardue. De plus, l'apparition des maladies cryptogamiques est associée à de fortes humidités en présence de chaleur (Laumonier, 1979).

1.5.2. Exigences édaphiques

1.5.2.1. Sol

La tomate se développe favorablement dans la majorité des sols minéraux qui retiennent bien l'eau, qui sont bien aérés et exempts de sels. Elle a une préférence pour les sols limoneux profonds et bien drainés. La couche de surface du sol devrait être perméable. Une profondeur de sol variant entre 15 et 20 cm contribue à une croissance optimale d'une culture en bonne santé. Dans les sols argileux compacts, un labour à grande profondeur facilitera l'infiltration des racines (Naika *et al.*, 2005).

1.5.2.2. PH

D'après Chaux et Foury, (1994), le pH toléré se situe entre 4,5 et 8,5, alors qu'un équilibre nutritionnel optimal est garanti pour un pH se situant entre 6 et 7. Cependant, sur des sols

basiques, certains oligo-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) demeurent faiblement accessibles à la plante.

1.5.2.3. Salinité

On définit généralement un sol salin comme étant un sol dont la conductivité électrique (EC) de l'extrait de saturation (ECe) dans la zone racinaire excède 4 dSm^{-1} (approximativement 40 mM Na Cl) à une température de 25°C (Shrivastava et Kumar, 2015). Selon Bentvelsen (1980), la phase de sensibilité accrue de la tomate à la salinité coïncide avec sa germination et les premiers stades de développement.

1.5.2.4. Eau

La culture de la tomate a besoin d'environ 4000 à $5000 \text{ m}^3/\text{ha}$ d'eau. Cependant, on doit identifier trois étapes physiologiques qui nécessitent des besoins divers en eau : De la plantation à la première floraison : une phase de croissance progressive où les besoins en eau demeurent minimes.

De la floraison à la maturation : période de croissance rapide demandant un volume important d'eau. Au cours de la phase de récolte : au cours du processus de maturation, les besoins en eau se réduisent (Itcni, 2017). Toutefois, lors de pluies intenses et d'une humidité élevée, on observe une hausse de l'expansion des moisissures et de la dégradation des fruits (Naika *et al.*, 2005).

1.5.2.5. Fertilisants

Les fertilisants occupent une place cruciale dans la culture de la tomate, influençant à la fois le développement végétatif et le rendement final. D'après Kochakinezhad *et al.* (2012), les engrais organiques tels que le compost, le fumier animal et les résidus fongiques contribuent à améliorer la structure physique et chimique du sol, stimulent l'activité microbienne, et assurent une libération progressive et durable des nutriments essentiels.

En revanche, les engrais chimiques fournissent rapidement des éléments nutritifs clés comme l'azote, le phosphore et le potassium, favorisant une croissance rapide et une production élevée. Toutefois, leur utilisation excessive peut dégrader la qualité du sol et porter atteinte à l'environnement. L'étude souligne que les engrais organiques peuvent atteindre jusqu'à $99,5\%$ de l'efficacité des engrais chimiques en termes de rendement, tout en offrant une meilleure durabilité environnementale.

Par conséquent, une fertilisation équilibrée, combinant engrais organiques et minéraux, apparaît comme la stratégie la plus efficace pour optimiser la production de tomates.

Chapitre 2

Salinité

2.1. Définition de la salinité

La salinité des sols constitue un obstacle majeur à la productivité des plantes dans les régions agricoles du monde entier (Zribi *et al.*, 2007). La salinisation des sols fait référence à l'accumulation d'ions de sels solubles, comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}) et le calcium (Ca^{2+}), ainsi que d'anions tels que le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}), le bicarbonate (HCO_3^-), le nitrate (NO_3^-) et le carbonate (CO_3^{2-}) dans les sols (Marion en 2016 et Naamala et Smith en 2021).

2.1.2. Facteurs et sources de la salinisation des sols

Même si les sels proviennent principalement des roches en décomposition et des minéraux primaires, la création de sols salins est rarement due à une accumulation directe de sels dans le sol. Ce phénomène s'explique par divers facteurs (Maillard, 2001).

2.1.2.1. Salinité primaire

On désigne par salinisation primaire la situation où le sel présent dans le sol provient de l'altération de la roche mère saline. On observe également la salinisation primaire dans les sols situés au-dessus d'une nappe phréatique saumâtre. Sous des conditions sèches, les eaux salines remontent à la surface par le biais de la capillarité. Grâce à l'évapotranspiration et au vent, l'eau s'évapore, entraînant une concentration des sels à la surface (Derouiche, 2018).

2.1.2.2. Salinité secondaire

Une gestion inadéquate de l'irrigation peut entraîner une salinisation secondaire. En effet, les eaux peuvent contenir des sels qui s'accumulent dans le sol. De plus, une fertilisation chimique excessive contribue également à l'accumulation de sels dans la rhizosphère et, selon la durée, peut provoquer une accumulation de sels dans les sols agricoles et non agricoles. La présence de fortes concentrations de sels dans le sol, en particulier avec un drainage insuffisant, représente un grand risque pour l'agriculture car cela entraîne généralement une dégradation des sols, une diminution de leur fertilité et provoque une toxicité pour les plantes qui restreint le nombre d'espèces cultivables sur ces terres (Dersouni, 2019).

2.2. Définition du stress

Stress est la perturbation (bris d'un équilibre fonctionnel) engendrée dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple en raison d'une insuffisance. Le stress est donc une série de circonstances qui entraînent des modifications des processus physiologiques pouvant

mener à des dommages, des lésions, une inhibition de la croissance ou du développement (Dutuit *et al.*, 1994).

2.2.1. Types de stress

La plante et la majorité de ses cellules sont directement affectées par les variations des conditions environnementales, qui peuvent se manifester de deux manières distinctes :

2.2.1.1. Stress biotique

Selon Ramade (2003), ce terme se réfère à l'ensemble des éléments physico-chimiques ou biologiques qui résultent de l'interaction avec d'autres organismes vivants. D'après Marion (2016), le stress biotique est induit par l'intervention d'organismes vivants comme les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes et les insectes, entre autres.

2.2.2.2. Stress abiotique

Cela est principalement attribuable à des éléments environnementaux tels que la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité, le déficit en lumière et l'excès d'eau (asphyxie des racines). Contrairement aux animaux qui ont la capacité de se déplacer lorsque leur environnement devient hostile, les plantes sont affectées par les conditions qui influencent leur croissance et productivité. Les plantes ont élaboré des mécanismes d'adaptation pour faire face aux perturbations chimiques ou physiques causées par l'environnement en maîtrisant et ajustant leur système métabolique (Abbad, 2018).

2.3. Stress salin

C'est caractérisé par une augmentation soudaine de la concentration en sels qui entraîne d'un côté un afflux plus important d'ions, en particulier Na^+ et Cl^- , dans la cellule suite à la diminution de la concentration de l'environnement externe, et de l'autre côté, une déperdition d'eau par voie osmotique (Hopkins, 2003).

2.3.1. Effets de stress salin sur la morphologie de la feuille de tomate

Le stress salin influence considérablement la morphologie des feuilles de tomate. Il entraîne une réduction de la surface foliaire due à une diminution de la division et de l'expansion cellulaires. En outre, cela conduit à une baisse du niveau de chlorophylle, ce qui a un impact négatif sur la photosynthèse. Des modifications morphologiques visibles telles que le jaunissement, le curling des feuilles et la sénescence hâtive ont aussi été notées. Ces réactions physiologiques et morphologiques représentent des mécanismes d'ajustement permettant à la

plante de minimiser les pertes d'eau et de préserver son équilibre osmotique face à des conditions salines défavorables (Roşca *et al.*, 2023).

Partie02 : Partie Expérimentale

Chapitre 3

Matériel et Méthode

3.1. Objectif

L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet du stress salin provoqué par le Na Cl sur la morphologie des feuilles de tomate, grâce à des outils permettant de mesurer, par exemple, le nombre de nervures principales, les angles et les longueurs de la feuille pour étudier cet effet.

3.2. Lieu d'expérience

L'expérimentation a été menée dans les serres d'une zone agricole bien connue, la zone de Nafizat Ar-Raqma, commune de Zribet El Oued, province de Biskra (Figure 08). Il est important de noter que cette zone est naturellement salée, comme en témoignent les résultats des analyses de l'eau, qui ont révélé une concentration élevée en sels.



Figure 08. Emplacement de l'étude (originale 2025).

3.3. Matériel Végétal

L'expérience a été réalisée sur la tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Deux variétés indéterminées sont identifiées : Hayat F1 et Tsarine F1. Pour chaque variété, 30 échantillons ont été identifiés, puis divisés de manière égale à 10 groupes pour chacun.

Pour les deux variétés Hayat F1 Tsarine F1

- Traitement 1 : témoin : Non traité avec Na Cl.
- Traitement 2 : Concentration moyen de Na Cl 300g (**50mM**).
- Traitement 3 : à une concentration élevée de Na C 1600g (**100 mM**).

3.4. Matériel Informatique

Au cours de notre étude, nous avons utilisé du matériel informatique, notamment :

_ Un scanner, pour numériser les échantillons de feuilles de tomates en vue d'une analyse d'image.

_ L'analyse morpho métrique des feuilles de tomate a été réalisée en utilisant le logiciel Image J (Schneider *et al.*, 2012).

_ Le logiciel XISTAT a été utilisé pour analyser et interpréter les données collectées.

3.5. Méthode de travail

La méthode de travail est divisée en trois étapes : la phase d'acclimatation, la phase d'application du stress salin et l'étape finale, la phase de mesures.

3 .5.1. Acclimatation des plants de tomates

Après leur transfert de la pépinière (plateau alvéolé) au milieu de culture définitif (lignes dans le sol à l'intérieur de la serre), dans le but d'assurer une croissance uniforme avant d'appliquer un stress salin.

3 .5.1.1.Étapes d'action

Des plants de tomates (*Solanum lycopersicum* L.), âgés d'environ 3 semaines, avec 2 à 3 vraies feuilles, ont été utilisés (Figure09).



Figure 09.les plantes de tomates dans plateau alvéolé (Original 2025).

Les plants sélectionnés étaient homogènes en termes de croissance (hauteur, couleur, nombre de feuilles). Les semis ont été soigneusement retirés des plateaux en plastique sans endommager les racines.

Elles sont semées directement dans le sol à l'intérieur de la serre en rangées. Les semis ont été arrosés immédiatement après la plantation avec de l'eau pour faciliter l'établissement des racines.

Les plantes ont été laissées dans les mêmes conditions naturelles à l'intérieur de la serre.

3.5.2. Application du stress salin

À l'occasion de cette recherche, on a exposé les plants de tomate à divers paliers de stress salin pour mesurer leur résistance. Les échantillons ont été classés en trois catégories : le groupe témoin (sans ajout de sel), le groupe qui a reçu 300 g de Na Cl, et celui auquel on a ajouté 600 g de Na Cl. Les doses de sel ont été précisément mesurées et ensuite dissoutes dans 100 litres d'eau, ce qui correspond à des concentrations approximatives de 50 mM et 100 mM, couramment employées pour provoquer un stress salin modéré à intense chez les espèces vulnérables.

L'eau d'irrigation utilisée était tirée de deux nappes souterraines dont la conductivité électrique (CE) était respectivement de 2,73 mS/cm à une profondeur de 280 m et de 3,27 mS/cm à 200 m, le tout sous une température approximative de 25 °C. Ces niveaux suggèrent déjà une salinité de départ significative, qui pourrait provoquer un stress osmotique primaire chez les végétaux. Dans la littérature scientifique, on utilise fréquemment ces doses pour reproduire un stress salin de modéré à sévère chez des espèces sensibles comme la tomate. Cette option offre la possibilité d'analyser les réponses morphologiques et physiologiques des variétés évaluées face à diverses intensités de stress (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

Nous avons alors arrosé les plantes (Figure10) avec ces différentes concentrations de manière régulière.



Figure 10. Arrosage des plantes avec l'eau contenant du Na Cl dissous (Original 2025).

3.5.3. Phases de mesures

Après une période de 4 mois et demi de traitement des plants de tomates avec du Na Cl, qui s'est poursuivie du 15 décembre au mois d'avril, des échantillons ont été prélevés sur chaque variété, qui étaient :

- Hayat F1 : 270 feuilles ont été collectées (100 témoins, 90 feuilles de Concentration moyenne, 80 feuilles de concentration élevée) (Annexe 01).
- Pour Tsarine F1 : 290 feuilles ont été collectées (100 témoins, 100 moyennes et 90 feuilles de forte concentration) (Annex02).
- Les feuilles matures sont scannées tout en conservant la taxonomie de chacune d'elles.
- Nous plaçons les feuilles de tomates sur le scanner et par-dessus du papier millimétré pour ajuster les mesures (Figure 11).
- Les feuilles de tomates ont été scannées pour garantir une homogénéité maximale de l'échantillon. Chaque feuille a ensuite été soumise à des mesures morphologiques spécifiques à l'aide d'un logiciel d'analyse.
- Après le processus de numérisation des feuilles, les images des feuilles sont importées dans Image J, un programme spécial pour mesurer les longueurs, les angles et d'autres paramètres.



Figure 11.le scanner des feuilles (Original 2025).

3.5.3.1. Les paramètres mesurés

Les paramètres suivants ont été utilisés pour mesurer l'effet du stress salin sur la morphologie des feuilles de tomate, en se basant sur des études appliquées à d'autres types de plantes comme les figuiers et les vignes (Figure12) :

- **Nb/lob** : Le nombre de lobes de feuille est égal au nombre de parties circulaires ou incurvées de la feuille d'une plante, créées par des incisions ou des indentations le long du bord de la feuille.
- **Lng/F** : La distance entre le début du papier et sa fin jusqu'au bord.
- **Lrg/ F** : La mesure se fait de manière horizontale entre deux points extrémités à travers la partie la plus large de la feuille.
- **Nbnerv/sec/G** : Le nombre de nervures secondaires situées sur le côté gauche de la feuille.
- **Nbnerv/sec/D** : Le nombre de nervures secondaires situées sur le côté droite de la feuille.
- **Sinus/D** : C'est la zone ou la cavité située entre deux lobes sur le côté droit d'une feuille.
- **Sinus/G** : C'est la zone ou la cavité entre deux lobes sur le côté gauche d'une feuille.
- **Ang 1D** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire droite N°1 et la nervure principale.
- **Ang 2D** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire droite N°2 et la nervure principale.

- **Ang 3D** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire droite N°3 et la nervure principale.
- **Ang 1G** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire gauche N°1 et la nervure principale.
- **Ang 2G** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire gauche N°2 et la nervure principale.
- **Ang 3G** : l'angle évalue la distance entre la nervure secondaire gauche N°3 et la nervure principale

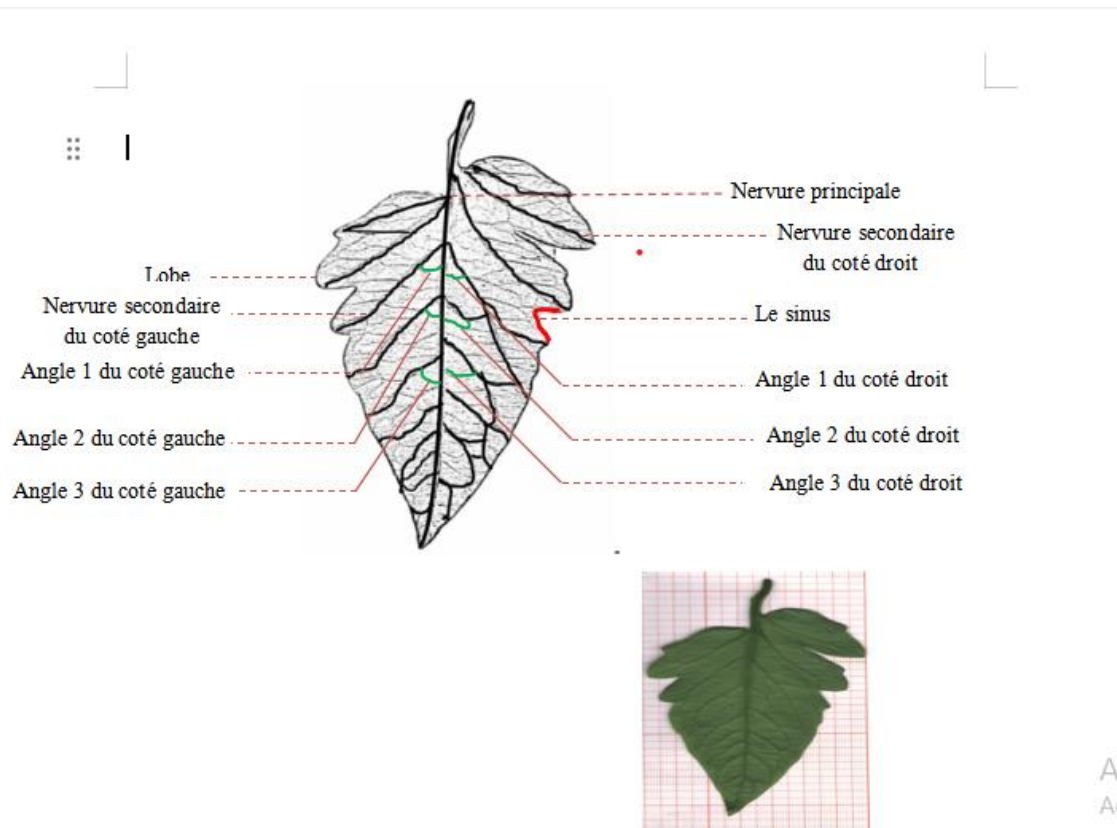


Figure 12. Illustration de la reconstruction graphique de la feuille de tomate.

Chapitre 4

Résultats ET Discussion

4.1. Analyse des paramètres quantitatifs

Notre étude comporte une analyse des paramètres quantitatifs grâce à l'analyse en composantes principales (ACP) et l'ANOVA, réalisée avec le logiciel XLSTAT pour deux types de tomates : la variété 1 (Hayat F1) et la variété 2 (Tsarine F1).

4.2. Étude de la variabilité morphologique foliaire chez la variété de tomate (*Hayat F1*) sous stress salin à l'aide de l'ACP et de l'ANOVA

4.2.1. Résultats de l'analyse en composantes principales pour les variables analysées

L'utilisation du cercle de corrélation (Figure 13) ainsi que de l'analyse en composantes principales (ACP) concernant les caractéristiques morphologiques des feuilles de la variété de tomate soumise à divers niveaux de stress salin (Figure 14) a mis en évidence les composantes F1 et F2, qui ont respectivement représenté 23,283 % et 12,307 % de la variance (Tableau 1). Ces résultats confirment de nombreuses recherches précédentes ayant employé l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour étudier l'influence du stress salin sur la structure des feuilles de tomate (Zribi *et al.*, 2009 ; Sourì et Hatamian, 2019).

Tableau 1. Valeurs propres

	F1	F2
Valeur propre	5,122	2,707
Variabilité (%)	23,283	12,307
% cumulé	23,283	35,590

L'analyse du tableau des résultats révèle un taux de variabilité global de 35,590 %, réparti entre les axes 1 et 2. Cette distribution met en évidence une inégalité notable entre les différentes variétés cultivées observées. La composante F1 compte pour 23,590% de cette variation, tandis que la composante F2 en couvre 12,307%, ce qui va dans le sens des observations précédentes (Zribi *et al.*, 2009). Ainsi, ces axes serviront à illustrer la répartition des variables (attributs morphologiques) et des entités (cultivars) dans notre étude.

4.2.2. Cercle de corrélation

Pour l'interprétation des variables sur le cercle de corrélation, une variable est adéquatement illustrée si elle se situe près du périmètre du cercle de corrélation (Figure 13).

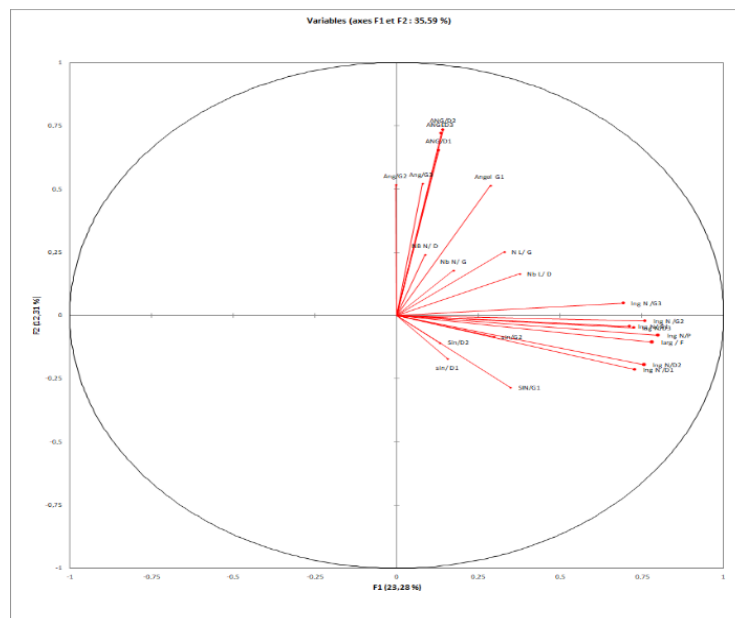


Figure 13. Cercle de la corrélation des variables quantitatives (F1 et F2)

L'étude du graphique de corrélation (Figure 13) qui explique 35,59% de la variance globale ($F1 = 23,28\%$, $F2 = 12,31\%$), souligne deux aspects essentiels associés à la morphologie des feuilles. L'axe F1 illustre une dimension dominée par des variables linéaires ($\ln g\ N/G1$, $\ln g\ N/G2$, $\ln g\ N/G3$, $\ln g\ N/P$, $\text{larg } /F$) qui présentent une forte corrélation et suivent la même direction. Cela signifie un élargissement concomitant des structures examinées. Cependant, l'orientation F2 met l'accent sur une dimension angulaire, avec des variables comme $ANG/D1$, $ANG/D2$, $ANG/G3$ et $ANG/G2$ qui montrent également une corrélation entre elles tout en étant en opposition avec les variables de taille. Cela suggère une éventuelle compensation morphologique entre l'étirement et le plissement des structures.

Ces conclusions concordent avec celles mentionnées dans les études concernant l'impact du stress salin sur la morphologie des feuilles. Des études successives, notamment celles dirigées par Munns et Tester (2008) ainsi que Acosta-Motos *et al.* (2017), ont prouvé que la salinité cause un ralentissement de l'expansion des feuilles, notamment en termes de dimensions linéaires (longueur, largeur). Ceci se rapporte à la variation constatée sur l'axe F1. Par ailleurs, des changements dans l'angle foliaire ont été notés chez différentes espèces comme *Phaseolus vulgaris* lorsqu'elles sont soumises à un stress hydrique ou salin. Ce changement sert de moyen d'adaptation pour diminuer la superficie exposée à l'évapotranspiration (Hasanuzzaman *et al.*, 2013 ; Flexas *et al.*, 2014), ce qui met en évidence les variations le long de l'axe F2.

Une troisième classe de variables (Sin/G1, lng N/D1, lng N/D2), localisée dans le quadrant inférieur droit, pourrait symboliser une variation régionale relative à la morphologie, Distincte des éléments angulaires et linéaires. On a également qualifié ce type de variation comme une réponse localisée au stress observée dans certaines feuilles plus avancées ou positionnées différemment sur la plante (Parida et Das, 2005). Toutefois, des variables telles que (Nb L/D, N L/G), qui se trouvent à proximité de l'origine, ne contribuent pas fortement à la compréhension de ce sujet et affichent une aptitude discriminatoire restreinte.

Fournit une analyse en composantes principales (ACP) mise en œuvre sur les propriétés. Morphologiques des feuilles de tomate exposées à divers degrés de stress salin (Figure14).

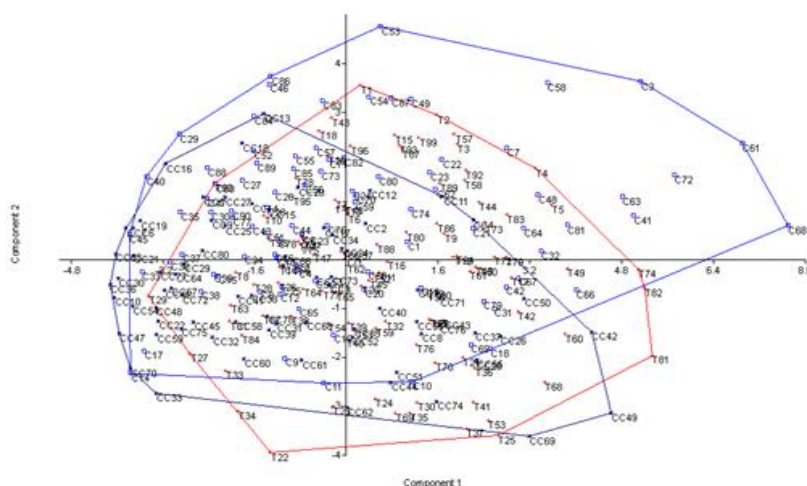


Figure 14 . Représentation des individus dans le plan factoriel F1 × F2 (35,59 % de variance totale)

Les témoins (T, en rouge) constituent un ensemble homogène, indiquant une stabilité morphologique en conditions sans sel. En revanche, les feuilles exposées à une salinité modérée (C, en violet) se situent à un niveau intermédiaire, alors que celles soumises à une salinité élevée (CC, en bleu) s'en détachent nettement, indiquant des altérations morphologiques significatives. Les vecteurs des variables morphologiques révèlent les dimensions les plus sensibles face au stress : plus un vecteur n'est étendu, plus la variable affiche une corrélation forte avec l'axe principal qui distingue les groupes. L'axe F1 est surtout déterminé par les paramètres liés à la superficie foliaire (longueur, largeur), alors que l'axe F2 met en évidence des traits morphologiques secondaires tels que les angles. Cette illustration souligne une réaction morphologique différenciée et dépendante de la dose au stress salin, possiblement

associée à un freinage de l'extension cellulaire ou à une modification structurale des feuilles (Zhu, 2001 ; Parida et Das, 2005 ; Munns et Tester, 2008 ; Flowers *et al.*, 2010).

4.2.3. Études des cultivars (observation)

Afin de choisir les meilleurs cultivars, nous avons pris en compte les valeurs les plus hautes dans le (Tableau 2) illustre les valeurs de cosinus au carré ($\cos^2$) des diverses variables sur les deux premiers axes majeurs découlant de l'analyse factorielle.

Tableau 2. Cosinus carrés des caractères sur les axes principaux.

	F1	F2	F1+F2
Ing N/P	0,639	0,006	0,645
larg / F	0,609	0,012	0,621
Ing N /D1	0,531	0,047	0,578
Ing N/D2	0,572	0,038	0,610
Ing N/D3	0,527	0,002	0,529
Ing N/ G1	0,507	0,002	0,509
Ing N /G2	0,578	0,000	0,578
Ing N /G3	0,480	0,002	0,482
ANG/D1	0,016	0,426	0,442
ANG/D2	0,020	0,540	0,560
ANGED3	0,018	0,517	0,535
Angel G1	0,082	0,265	0,347
Ang/G2	0,000	0,268	0,268
Ang/G3	0,006	0,273	0,279

Les valeurs de $\cos^2$, situées entre 0 et 1, illustrent la pertinence de la représentation des variables selon l'espace factoriel établi par les axes F1 et F2. Un $\cos^2$ près de 1 indique que la variable est correctement projetée sur l'axe, alors qu'une valeur proche de 0 témoigne d'une représentation faible. L'évaluation de la qualité globale de représentation d'une variable sur le plan factoriel, qui synthétise la majorité de la variance observée, peut être effectuée en considérant l'addition des $\cos^2$ sur F1 et F2. Dans la recherche de Sivakumar *et al.* (2020) concernant la tomate en situation de stress salin, les variables présentant un $\cos^2$ élevé sur PC1 et PC2 ont été jugées comme les plus discriminantes.

Dans ce contexte, diverses variables morphologiques affichent des valeurs de $\cos^2$ excédant 0,5 sur l'axe F1, à l'instar de $\ln g$ N/P, $\ln g$ F, $\ln g$ N/D2, $\ln g$ N/D1 et $\ln g$ N/G2. Cela démontre une correspondance notable entre ces variables et l'axe F1, garantissant par conséquent une illustration efficace dans le plan. Ces paramètres, liés à des dimensions de longueur et de largeur, sont directement influencés par la croissance cellulaire. Cette constatation est cohérente avec plusieurs études qui ont prouvé que l'élargissement cellulaire est un des premiers mécanismes touchés lors de conditions de stress salin, entraînant une réduction notable des dimensions des feuilles et des tiges (Zhu, 2001 ; Munns et Tester, 2008).

La prépondérance de F1 par ces caractéristiques morphométriques indique que la source majeure de variation entre les groupes expérimentaux est l'entrave à la croissance linéaire des tissus. Cette sorte de réaction est caractéristique des conséquences combinées du stress osmotique et de la toxicité ionique associés à l'accumulation de sel (Parida et Das, 2005).

Ces constats sont en accord avec les conclusions d'études précédentes, comme celles de Flowers *et al.* (2010) portant sur diverses espèces de plantes, ou celle de Kalhoro *et al.* (2016) concernant le blé (*Triticum aestivum*), qui ont toutes deux démontré une réduction significative des indicateurs morphologiques (tels que la hauteur des plantes, la longueur des épis et la surface foliaire) due au stress salin, mettant en évidence son effet considérable sur la croissance des végétaux.

4.2.3.1. Variables mal représentées ou secondaires sur F1 et bien représentées sur F2

Certaines variables affichent une présence minimale sur F1, néanmoins elles ont un effet notable sur F2 :

ANG/D1 : $\cos^2 = 0,016$ (concernant F1), 0,426 (pour F2), totalisé à 0,442

ANG/D2 : $\cos^2 = 0,020$ (pour F1), 0,540 (en ce qui concerne F2), somme totale égale à 0,560.

ANG/D3 : $\cos^2$ donne 0,018 pour F1 et 0,517 pour F2, ce qui fait un total de 0,535.

Ceci indique que l'axe F2 est largement déterminé par des variables liées aux angles. Ces données ainsi définies introduisent donc une dimension distincte, possiblement géométrique ou structurelle.

4.2.3.2. Variables faiblement représentées

Des variables comme Angle G1 ($\cos^2$ total = 0,347), Ang/G2 (0,268) et Ang/G3 (0,279) montrent une piètre qualité de représentation dans le plan factoriel F1-F2 de l'analyse en composantes principales. Cela signifie qu'elles n'ont qu'une contribution marginale à la variabilité expliquée par ces deux premiers axes et qu'elles pourraient se manifester plus distinctement dans des dimensions secondaires.

Ce genre de conduite est abondamment consigné dans les recherches morphométriques réalisées sous contrainte saline. Pour illustration, chez la vigne (*Vitis vinifera*), certaines propriétés angulaires ou secondaires ne répondent qu'à des niveaux de salinité élevés ou prolongés, et se montrent généralement moins réactives que les variables linéaires ou fonctionnelles (Downton, 1977). Par conséquent, l'apport limité de ces variables ne devrait pas être compris comme un manque d'importance, mais plutôt comme le reflet d'une réaction morphologique secondaire, plus discrète et éventuellement différée dans le temps.

4.2.4. Étude de corrélation entre les caractères

La matrice de corrélation met en évidence les relations entre les paramètres (variables), dérivant de l'étude des résultats provenant de l'analyse en composantes principales. On peut qualifier ces relations de positives (croissantes) ou de négatives (décroissantes) (Tableau 3).

4.2.4.1 La matrice de corrélation

NB/lobD : Nombre du lobe droit , **NB/lobG** : Nombre du lobe gauche, **LgNP** : Longueur de la nervure principale., **Lrg/F** : Largeur de la feuille, **Nbnerv/sec/D** : Nombre des nervures secondaires du côté droit, **Nbnerv/sec/G** : Nombre des nervures secondaires du côté gauche, **Sinus/D1** : Sinus du côté droit., **Sinus//G1** : Sinus du côté gauche, **Sinus /D2** : Sinus du côté droit, **Sinus/G2** : Sinus du côté gauche , **Ang 1D** : Angle 1 du côté droit, **Ang 1G** : Angle 1 du côté gauche, **Ang 2D** : Angle 2 du côté droit, **Ang 2G** : Angle 2 du côté gauche, **Ang 3D** : Angle 3 du côté droit, **Ang 3G** : Angle 3 du côté gauche.

L'étude de la matrice de corrélation (Tableau 5) révèle des liens significatifs entre divers aspects morphologiques des feuilles de tomate, avec des indices de corrélation (r) variant entre 0,5 et plus de 0,6. Ces chiffres montrent un lien modéré à fort entre des variables telles que la longueur de la nervure principale (LgNP), la largeur foliaire (Lrg/F) et le nombre de nervures secondaires.

Ces résultats corroborent de nombreuses recherches qui ont démontré que, face à un stress salin, les plantes ont tendance à maintenir une synchronicité morpho-fonctionnelle entre divers caractères essentiels. Cette coordination optimise la photosynthèse et la distribution interne de l'eau, malgré les restrictions imposées par la salinité. Par exemple, concernant le poivre, Chartzoulakis et Klapaki (2000) ont noté une forte corrélation entre la dimension des feuilles et le nombre de nervures. Cela pourrait suggérer une stratégie compensatoire pour conserver une efficacité vasculaire malgré une diminution de la surface foliaire.

Tableau 3. Matrice de corrélation.

Variables	Nb N/D	Nb L/D	N L/G	Nb N/G	Ing N/P	lrg/F	Ing N/D1	Ing N/D2	Ing N/D3	Ing N/G1	Ing N/G2	Ing N/G3	sin/D1	sin/D2	sin/G1	sin/G2	ANG/D1	ANG/D2	ANG/D3	Ang/G1	Ang/G2
Nb N/D	1	0,310	0,238	0,630	0,211	-0,021	-0,012	-0,143	-0,021	0,007	0,045	0,060	-0,070	-0,107	-0,047	-0,054	0,153	0,046	0,055	-0,065	-0,04
Nb L/D	0,310	1	0,514	0,193	0,410	0,161	0,127	0,175	0,126	0,124	0,172	0,152	0,093	-0,028	0,049	-0,007	0,127	-0,008	0,047	0,141	-0,03
N L/G	0,233	0,514	1	0,324	0,338	0,161	0,082	0,091	0,065	0,150	0,205	0,184	0,049	0,019	0,045	-0,024	0,101	0,131	0,073	0,169	0,02
Nb N/G	0,630	0,193	0,324	1	0,164	0,076	0,073	0,002	-0,042	0,061	0,095	0,111	-0,039	-0,019	0,034	-0,063	0,080	0,084	0,051	-0,060	-0,05
Ing N/P	0,211	0,410	0,338	0,164	1	0,616	0,606	0,566	0,534	0,540	0,501	0,466	0,567	0,031	0,187	0,101	0,069	-0,013	0,012	0,083	-0,06
lrg/F	-0,021	0,161	0,161	0,076	0,616	1	0,574	0,597	0,604	0,491	0,550	0,509	0,082	0,002	0,201	0,137	0,044	0,086	0,019	0,082	-0,02
Ing N/D1	-0,012	0,127	0,092	0,073	0,606	0,574	1	0,632	0,444	0,538	0,480	0,382	0,081	0,060	0,251	0,161	-0,049	-0,044	0,019	0,092	-0,06
Ing N/D2	-0,143	0,175	0,091	0,002	0,566	0,597	0,632	1	0,618	0,460	0,491	0,389	0,117	0,170	0,268	0,172	0,027	0,002	0,023	0,157	-0,07
Ing N/D3	-0,021	0,226	0,065	-0,042	0,534	0,604	0,444	0,618	1	0,371	0,442	0,508	0,112	0,080	0,183	0,239	0,058	0,111	0,071	0,183	-0,01
Ing N/G1	0,007	0,224	0,150	0,061	0,540	0,491	0,538	0,460	0,371	1	0,577	0,371	0,026	0,015	0,264	0,265	0,029	0,094	0,080	0,239	-0,02
Ing N/G2	0,045	0,172	0,205	0,095	0,501	0,550	0,480	0,491	0,442	0,577	1	0,664	0,078	0,097	0,205	0,217	0,085	0,080	0,069	0,153	-0,00
Ing N/G3	0,060	0,152	0,184	0,111	0,466	0,509	0,382	0,389	0,508	0,371	0,664	1	0,058	0,045	0,160	0,201	0,109	0,105	0,058	0,206	0,02
sin/D1	-0,070	0,093	0,049	-0,039	0,067	0,082	0,081	0,117	0,112	0,026	0,078	0,058	1	0,303	0,249	0,142	-0,081	-0,042	-0,005	0,036	-0,05
sin/D2	-0,107	-0,028	0,019	-0,019	0,031	0,022	0,060	0,170	0,080	0,015	0,097	0,045	0,303	1	0,241	0,095	0,002	-0,040	-0,068	0,070	0,09
sin/G1	-0,047	0,049	0,045	0,034	0,187	0,201	0,251	0,268	0,183	0,264	0,205	0,160	0,249	0,241	1	0,238	-0,148	-0,078	-0,025	0,074	-0,05
sin/G2	-0,054	-0,007	-0,024	-0,063	0,101	0,137	0,161	0,172	0,239	0,265	0,217	0,201	0,142	0,095	0,238	1	-0,010	0,022	0,007	0,069	0,04
ANG/D1	0,153	0,127	0,101	0,080	0,069	0,044	-0,049	0,027	0,058	0,029	0,085	0,109	-0,081	0,002	-0,148	-0,010	1	0,479	0,297	0,263	0,19
ANG/D2	0,046	-0,008	0,131	0,084	-0,013	0,086	-0,044	0,002	0,111	0,094	0,080	0,105	-0,042	-0,040	-0,078	0,022	0,479	1	0,587	0,394	0,26
ANG/D3	0,055	0,047	0,073	0,051	0,012	0,019	0,019	0,013	0,071	0,080	0,069	0,058	-0,005	-0,068	-0,025	0,007	0,397	0,587	1	0,365	0,27
Ang/G1	-0,065	0,141	0,169	-0,060	0,083	0,082	0,092	0,157	0,183	0,233	0,153	0,206	0,036	0,070	0,074	0,069	0,263	0,334	0,365	1	0,28
Ang/G2	-0,040	-0,039	0,020	-0,056	-0,061	-0,021	-0,064	-0,071	-0,013	-0,024	-0,009	0,020	-0,056	0,099	-0,100	0,046	0,191	0,263	0,275	0,389	0,28
Ang/G3	0,027	0,048	0,054	-0,018	-0,031	0,033	-0,018	-0,025	0,079	0,003	0,060	0,099	-0,029	0,037	-0,128	0,052	0,183	0,245	0,308	0,251	0,34

Dans la matrice de corrélation, une corrélation positive croissante (forte corrélation) est observée.

Les caractéristiques qui présentent des corrélations positives fortes sont les suivantes :

- Nombre de lobes droites (NbL /D) avec le nombre du lobe gauches (NbL/G) à (+0,514)
- Longueur de nervure principale (Ing N/P) avec Largeur de la feuille (lrg/F) à (+0,616)

- Longueur de nervure principale (lng N/P) avec Longueur de nervure droite 1(lng N /D1) à (+0,606)
- Longueur de nervure principale (lng N/P) avec Longueur de nervure droite 2(lng N /D2) à (+0,566)
- Longueur de nervure principale (lng N/P) avec Longueur de nervure droite 3(lng N /D3) à (+0,534)
- Longueur de nervure principale (lng N/P) avec Longueur de nervure gauches 1(lng N /G1) à (+0,540)
- Longueur de nervure principale (lng N/P) avec Longueur de nervure gauches 2(lng N /G2) à (+0,501)
- Largeur de la feuille (larg/F) avec Longueur de nervure droite1 (lng N /D1) à (+0,574)
- Largeur de la feuille (larg/F) avec Longueur de nervure droite2 (lng N /D2) à (+0,597)
- Largeur de la feuille (larg/F) avec Longueur de nervure droite 3(lng N /D3) à (+0,604)
- Largeur de la feuille (larg/F) avec Longueur de nervure gauches 2(lng N /G2) à (+0,550)
- Largeur de la feuille (larg/F) avec Longueur de nervure gauches 3(lng N /G3) à (+0,509)
- Longueur de nervure droite1 (lng N /D1) avec Longueur de nervure droite2 (lng N /D2) à (+0,632)
- Longueur de nervure droite1 (lng N /D1) avec Longueur de nervure gauches 1(lng N /G1) à (+0,538)
- Longueur de nervure droite 2(lng N /D2) avec Longueur de nervure droite 3(lng N /D3) à (+0,618)
- Longueur de nervure droite 3(lng N /D3) avec Longueur de nervure gauches 3(lng N /G3) à (+0,508)
- Longueur de nervure gauches 1(lng N /G1) avec Longueur de nervure gauches 2(lng N /G2) à (+0,577)
- Longueur de nervure gauches 2(lng N /G2) avec Longueur de nervure gauches 3(lng N /G3) à (+0,664)

- Angel droite 2(Ang/D2) avec Angel droite3 (Ang/D3) à (0,587).

4.3. L'analyse de la variance ANOVA

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur plusieurs variables, notamment :

- le rapport longueur/largeur (L/G), la longueur des nervures (long ND1/G1 /, ND2 /G2 /, ND3/G3).
- les études longitudinales (LonD1/G1, LonD2/G2, LonD3/G3), ainsi que quelques angles foliaires (AnD1/G1, AnD2/G2, AnD3).

On débute avec le paramètre moyen de la longueur/largeur de la feuille (L/G) qui inclut :

4.3.1. Moyennes de la longueur de la feuille /largeur de la feuille (L/G)

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée à la variable morphologique longueur/largeur (L/G) (Tableau04)

Tableau 4. Analyse de la variance "L/G"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	No Significatif
Modèle	2	9,953	4,977	1,880	0,155	
Erreur	267	706,854	2,647			
Total corrigé	269	716,807				

Cette recherche démontre que, dans les conditions de test mises en place, le stress salin n'a pas d'impact notable sur le ratio longueur/largeur (L/G) des feuilles de tomate. L'absence d'effet pourrait être due à une réaction physiologique variable des plantes ou à un niveau de salinité trop bas pour provoquer des différences significatives. Ces conclusions sont en partie divergentes de celles de Munns et Tester (2008) qui ont prouvé que le stress salin cause souvent un ralentissement significatif de la croissance chez le blé, mettant en évidence une sensibilité accrue de cette plante par rapport à la tomate. Ces variations mettent en évidence l'importance du type de plante, du génotype et des conditions expérimentales dans la réaction au stress salin.

L'analyse post-hoc de Bonferroni appliquée aux comparaisons multiples entre les modalités du facteur (Témoin, CC, C) pour la variable L/G confirme l'absence de différence significative entre les groupes (Tableau05).

Tableau 5. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	8,227	0,163	7,906	8,547	A
CC	8,159	0,182	7,801	8,517	A
C	7,794	0,172	7,456	8,131	A

L'évaluation des différences possibles entre les trois modalités de traitement a été réalisée grâce à une analyse de comparaisons multiples en utilisant le test de Bonferroni. Les valeurs de p calculées pour les comparaisons « T contre C », « T contre CC » et « CC contre C » ont toutes dépassé le seuil de signification ajusté ($p > 0,05$), ce qui indique qu'il n'y a pas de différences significatives d'un point de vue statistique entre les groupes. En outre, les intervalles de confiance à 95 % des moyennes montraient un important recoupement, indiquant une variabilité intra-groupe suffisante pour dissimuler tout impact différentiel. Ainsi, tous les traitements ont été regroupés en un unique ensemble statistique (groupe A), ce qui indique que la variable morphologique examinée (rapport L/G) n'est pas un critère discriminant dans les conditions expérimentales mises en œuvre. Cuartero *et al.* (2006) ont relevé des résultats comparables, mettant en évidence que les réactions morphologiques au stress salin diffèrent grandement d'une variété à l'autre, et que certains critères tels que le rapport L/G peuvent ne pas subir d'effets significatifs, sauf en présence de salinité élevée ou d'exposition prolongée. Ces analyses indiquent que la sélection des variables d'examen est essentielle, et que des paramètres biochimiques ou physiologiques additionnels pourraient offrir une sensibilité accrue pour identifier les impacts du stress salin.

4.3.2. Moyenne Long Nervures secondaires droite1/ Long Nervures secondaires gauche 1 "LOND1 /G1 "

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée à la variable morphologique longueur/largeur (lonD1/G1) (Tableau06)

Tableau 6. Analyse de la variance "lonD1/G1"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	14,622	7,311	10,268	< 0,0001	
Erreur	267	190,105	0,712			
Total corrigé	269	204,727				

L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) à la variable morphologique lonD1/G1 révèle un impact hautement significatif du stress salin. Le p-value associé ($p < 0,0001$), qui est bien inférieur au seuil significatif de 0,05, montre que les disparités notées entre les moyennes des groupes sont statistiquement solides et imputables aux différentes doses de sel appliquées, plutôt qu'au hasard. Il est probable que cette réponse morphologique soit un mécanisme d'adaptation de la plante à un environnement salin, influant spécifiquement sur l'extension longitudinale du segment concerné. Ces constatations corroborent les recherches d'Altuntaş *et al.* (2024), qui ont prouvé que le stress salin entraîne une diminution importante de la croissance en hauteur du poivron, ainsi que d'autres facteurs associés à l'élongation cellulaire.

De même, Senousy *et al.* (2023) ont observé une diminution significative de la croissance et un changement notable de la morphologie chez le haricot commun lorsqu'exposé au Na Cl, mettant en évidence la réaction spécifique de la longueur des pousses à la salinité. Ces constatations valident l'hypothèse selon laquelle la réduction de la croissance longitudinale est une réaction courante, voire générale, des plantes exposées à un stress osmotique, renforçant ainsi l'interprétation des données recueillies dans le contexte de cette recherche.

L'analyse post-hoc de Bonferroni appliquée aux comparaisons multiples entre les modalités du facteur X1 (Témoin, CC, C) pour la variable (lonD1/G1) confirme l'absence de différence significative entre les groupes (Tableau07).

Tableau 7. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	3,735	0,084	3,568	3,901	A

C	3,333	0,089	3,158	3,508	B
CC	3 ,192	0,094	3 ,006	3,378	B

L'analyse de Bonferroni, qui compare les multiples groupes, a révélé des distinctions statistiquement significatives entre les échantillons expérimentaux. Le traitement témoin se différencie de façon notable des deux traitements exposés au stress salin, reflétant ainsi l'effet indéniable de la salinité sur la variable morphologique examinée. Cependant, on n'a noté aucune différence marquée entre les deux grades de stress (modéré et élevé), indiquant une réaction comparable peu importe l'intensité du stress imposé. Cette distribution est corroborée par le classement des modalités : le groupe témoin est regroupé dans une classe statistique séparée (groupe A), tandis que les deux traitements à base de sel se trouvent dans la même classe (groupe B). Ces résultats montrent que la variable examinée est capable de distinguer les plantes exposées à un environnement salin de celles qui ne le sont pas, cependant, elle n'est pas suffisamment réceptive pour identifier les impacts de diverses intensités de stress. Cette observation est en accord avec les conclusions de Romero-Aranda *et al.* (2001), qui ont noté une réduction notable de la croissance des feuilles de tomate dès qu'elles sont exposées à une salinité moyenne. Cependant, ils n'ont pas constaté d'augmentation proportionnelle de l'effet entre les niveaux de stress modéré et fort, ce qui indique l'existence d'un seuil physiologique de tolérance. Selon Ashraf et Harris (2004), une importante diminution de biomasse a été observée chez le blé entre les témoins et les plantes exposées à un stress salin, avec seulement une légère différence entre les niveaux de stress modéré et élevé, ce qui soutient l'hypothèse que la réaction au sel n'est pas systématiquement linéaire.

4.3.3. Long Nervures secondaires droite2/ Long Nervures secondaires gauche 2"LOND2/G2 "

Analyse de la variance (ANOVA) – Variable LOND2/G2 (Tableau08)

Tableau 8 . Analyse de la variance "lonD2/G2"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	22,501	11,251	16,969	< 0,0001	
Erreur	267	177,017	0,663			
Total corrigé	269	199,518				

L'analyse de la variance effectuée sur la variable LOND2/G2 a montré une différence hautement significative entre les trois groupes expérimentaux (Témoin – T, Concentration moyenne – C, Concentration forte – CC), où F a une valeur de 16,969 et la probabilité associée est $p < 0,0001$. Ce constat indique que le stress salin a une influence notable sur le rapport LOND2/G2, et qu'au moins un des groupes présente une différence statistique par rapport aux autres. Il est donc indispensable de réaliser une analyse post-hoc pour déterminer exactement quelles modalités sont à l'origine de cette variation. On trouve de nombreux rapports sur ces modifications dans la littérature scientifique. Roşca *et al.* (2023) ont donc démontré que le stress salin provoque une diminution significative de la croissance végétative des tomates, en influençant les aspects morphologiques étroitement associés aux processus d'élongation cellulaire, en raison de perturbations osmotiques et ioniques. En concordance, Chahbar *et al.* (2023) ont noté qu'une hausse des niveaux de Na Cl entraîne une réduction graduelle de la superficie foliaire, de la taille de la plante et du développement des parties aériennes, ce qui témoigne d'une sensibilité notable de ces éléments au sel. Ces conclusions soutiennent les observations de la recherche actuelle, attestant que le stress salin représente un obstacle significatif à la croissance morphologique de la tomate, en particulier par son influence sur l'élargissement foliaire et l'évolution des structures aériennes.

L'analyse de Bonferroni a permis de comparer les moyennes de la variable (lonD2/G2) entre les trois modalités de traitement (T : témoin, C : concentration moyenne, CC : concentration forte) (Tableau09).

Tableau 9. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	4,192	0,081	4,032	4,353	A
C	3,902	0,086	3,733	4,071	B
CC	3,481	0,091	3,302	3,661	C

L'analyse Bonferroni a démontré des écarts statistiquement notables entre les trois options de traitement. Le groupe A, qui suit le traitement témoin, montre une valeur morphologique significativement plus haute que celle constatée en condition de stress salin élevé, appartenant

au groupe C. On observe aussi une distinction notable entre le témoin et la concentration moyenne, classée dans le groupe B, indiquant que même un degré de salinité modeste est suffisant pour modifier la réponse morphologique. Finalement, l'analyse comparative des deux groupes de stress (B et C) indique également une différence marquée, démontrant une diminution constante et graduelle de la variable (LongD2/G2) en corrélation avec la montée de la salinité. La division en trois catégories distinctes atteste que chaque niveau de traitement a un impact spécifique et important sur la variable étudiée. Pour faire court, l'accroissement de la salinité provoque une réduction graduelle et notable de la variable morphologique en question, mettant en évidence sa réactivité au stress lié à la salinité. Ces constatations corroborent les études de Maggio *et al.* (2007) et Cuartero *et al.* (2006), qui ont toutes deux démontré que l'accroissement des tissus foliaires se réduit considérablement avec la montée du stress salin chez la plante de tomate.

4.3.4. Long Nervures secondaires droite3/ Long Nervures secondaires gauche 3 "LOND3/G3 "

Analyse de la variance (ANOVA) – Variable morphologique lonD3/G3 (Tableau10).

Tableau 10. Analyse de la variance "lonD3/G3"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	31,783	15,892	19,764	< 0,0001	
Erreur	267	214,692	0,804			
Total corrigé	269	246,475				

Les résultats de l'analyse ANOVA démontrent un impact très significatif du traitement salin sur la variable lonD3/G3, comme le prouve une valeur $F = 19,764$ accompagnée d'une probabilité associée $p < 0,0001$. Cette valeur nettement inférieure au seuil habituel de 0,05 atteste d'écarts statistiquement notables entre les moyennes des trois groupes examinés (groupe témoin, concentration moyenne, concentration élevée). Autrement dit, la concentration de sel a un impact tangible et significatif sur ce paramètre morphologique.

Ces résultats font suite à divers travaux précédents qui ont étudié les impacts du stress salin sur la morphologie des plantes. Notamment, Munns et Tester (2008) ont prouvé que la salinité a un impact significatif sur la croissance cellulaire, influençant particulièrement la croissance

longitudinale des organes chez différentes espèces, y compris le blé. Leurs études statistiques, également fondées sur l'ANOVA, ont révélé une sensibilité notable de ces paramètres à la salinité. Zhu (2001) a également mis en évidence que le stress salin affecte particulièrement la croissance cellulaire de la tomate, ce qui se manifeste souvent par un raccourcissement quantifiable des tiges ou des morceaux de feuilles.

Suite à l'analyse de la variance (ANOVA) qui a révélé une différence hautement significative entre les trois modalités de traitement (Témoins, Concentration moyenne (C), et Concentration forte (CC)), une analyse post-hoc selon la méthode de Bonferroni a été réalisée afin d'identifier les différences spécifiques entre les groupes (Tableau 11).

Tableau 11. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	3,964	0,090	3,788	4,141	A
C	3,656	0,095	3,470	3,842	A
CC	3,122	0,100	2,925	3,320	B

Les données obtenues indiquent des disparités variables entre les groupes examinés. L'analyse comparative entre le groupe témoin (T) et la solution saline à forte concentration (CC) met en évidence une différence hautement significative, suggérant que le stress salin intense diminue considérablement la valeur de l'indicateur morphologique lonD3/G3. Toutefois, la différence constatée entre le témoin (T) et la concentration moyenne (C) n'est pas significative sur le plan statistique après ajustement, ce qui indique que le stress modéré n'impacte pas de façon marquante cette variable. Finalement, une distinction notable est observée entre les deux paliers de stress salin (C et CC), illustrant une baisse considérable de la variable à mesure que la salinité passe de modérée à élevée.

L'analyse de regroupement classe les modalités en deux catégories statistiquement distinctes : les traitements contrôle (T) et concentration moyenne (C) sont tous deux rassemblés au sein d'un même groupe (groupe A), signifiant qu'il n'y a pas de différence notable entre eux, alors que la concentration saline élevée (CC) constitue un groupe à part entière (groupe B). Cette classification atteste que seul le stress salin élevé a un effet négatif notable sur les

variables morphologiques lonD3/G3. Ces conclusions sont en accord avec celles de Munns et Tester (2008), qui mettent l'accent sur le fait que l'augmentation graduelle de la salinité entraîne une diminution notable de la croissance des tissus chez plusieurs espèces végétales, principalement par entrave à l'élargissement cellulaire. Ali *et al.* (2004), dans une recherche sur le maïs, ont noté une diminution progressive de la croissance des feuilles avec l'augmentation du taux de Na Cl, avec des écarts marqués entre les niveaux intermédiaire et élevé, semblables à ceux notés entre les groupes C et CC dans cette analyse.

4.3.5. Angle droite1/angle gauche1 (AnD1/AnG1)

Analyse de la variance (ANOVA) – Variable AnD1/G1 (Tableau 12)

Tableau 12. Analyse de la variance " AnD1/AnG1 "

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	3066,760	1533,380	25,944	< 0,0001	
Erreur	267	15780,373	59,103			
Total corrigé	269	18847,133				

L'ANOVA effectuée sur la variable AnD1/AnG1, qui représente l'angle foliaire droit-gauche, a mis en évidence une influence fortement significative du stress salin ($F = 25,944$; $p < 0,0001$). Ce constat souligne que les diverses concentrations de Na Cl ont provoqué des changements significatifs de cet angle, reflétant une sensibilité morphologique marquée à la salinité. La croissance latérale des feuilles semble être déséquilibrée par l'accroissement du stress salin, ce qui a pour conséquence d'impacter leur symétrie et la structure globale du feuillage.

Ces constatations s'alignent avec plusieurs recherches précédentes. Par exemple, Manaa *et al.* (2011) ont démontré que le stress salin provoque des modifications morpho-physiologiques

Chez la tomate, des modifications majeures sont observées, y compris celles de l'architecture foliaire associées à des déséquilibres du métabolisme cellulaire et de la direction de croissance. De même, Chahbar *et al.* (2023) ont signalé qu'une élévation graduelle de la concentration en

Na Cl provoque non seulement une diminution de la superficie des feuilles, mais également des altérations structurelles dans les éléments aériens.

Analyse post-hoc – Test de Bonferroni AnD1/G1 (Tableau13)

Tableau 13. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	53,376	0,810	51,781	54,972	A
C	50,386	0,769	48,872	51,899	B
CC	44,950	0,860	43,258	46,643	C

L'analyse de Bonferroni met en évidence des différences fortement significatives entre toutes les modalités du traitement. L'analyse comparative entre la concentration moyenne (C) et la forte concentration saline (CC) révèle une baisse notable de la variable AnD1/G1 en situation de stress salin intense. Par ailleurs, on note une différence marquée entre le témoin (T) et la concentration élevée (CC), validant l'action d'inhibition due au stress salin. Finalement, l'écart entre le témoin (T) et la concentration moyenne (C) est aussi notable, bien qu'il soit moins marqué.

L'attribution des groupes basée sur les lettres révèle une distinction claire : le groupe A comprend le témoin (T), le groupe B englobe la concentration moyenne (C), tandis que le groupe C est dédié à la forte concentration saline (CC). Cela indique que les traitements au sel, en particulier à haute concentration, ont un impact distinct et graduel sur la variable morphologique AnD1/G1. On a mis en parallèle notre constat avec celui de Kaya *et al.* (2001), qui ont noté une diminution marquée des angles foliaires chez le blé à partir d'un certain niveau de stress, en notant des différences claires entre les groupes exposés à diverses concentrations salines.

4.3.6. Angle droite2/angle gauche2 (AnD2/AnG2)

Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée pour évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique AnD2/G2 (Tableau14) :

Tableau 14. Analyse de la variance "AnD2/G2"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	1207,654	603,827	9,028	< 0,0002	
Erreur	267	17857,341	66,881			
Total corrigé	269	19064,995				

Les données recueillies dans cette recherche démontrent que le stress salin a un impact marqué sur l'angle foliaire (An), ce qui est attesté par une valeur de $F = 9,028$ et une $p\text{-value} = 0,0002$. Cela indique que les diverses concentrations de sel (T, C, CC) ont une influence tangible sur ce paramètre morphologique. Des études similaires ont été signalées dans divers travaux, Ali *et al.* (2004) ont noté que la salinité diminue considérablement les angles des feuilles à la base du maïs, influençant ainsi la forme de la plante et par conséquent sa photosynthèse.

L'analyse des comparaisons multiples selon la méthode de Bonferroni met en évidence un effet différentiel du stress salin sur la variable morphologique AnD2/G2 (Tableau 15).

Tableau 15. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	51,912	0,862	50,215	53,609	A
C	50,318	0,818	48,708	51,929	A
CC	46,678	0,914	44,878	48,479	B

Les données recueillies montrent qu'une forte salinité entraîne une réduction importante de l'angle foliaire AnD2/G2, avec des variations notables entre la concentration saline élevée (CC) et les deux autres catégories. Effectivement, on note des différences statistiquement notables entre CC et le témoin (T), tout comme entre CC et la concentration moyenne (C). En revanche, aucune différence significative n'est observée entre T et C. Cette diminution graduelle des valeurs moyennes illustre l'influence grandissante du stress salin sur ce trait morphologique.

Cette remarque est corroborée par l'analyse de cluster qui isole le groupe CC dans une catégorie statistique séparée, tandis que les groupes T et C sont rassemblés ensemble.

Ces constats sont en accord avec ceux de Cuartero *et al.* (2006), qui ont constaté chez la tomate une diminution des angles foliaires en présence de salinité, perçue comme une réaction d'adaptation visant à restreindre la transpiration.

4.3.7. Angle droite3/angle gauche3 (AnD3/AnG3)

Analyse de la variance de la variable morphologique AnD3/G3 (Tableau 16) :

Tableau 16. Analyse de la variance "AnD3/G3"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	1586,840	793,420	10,059	< 0,0001	
Erreur	267	21059,615	78,875			
Total corrigé	269	22646,454				

L'application de l'analyse de la variance (ANOVA) à la variable morphologique AnD3/G3 a mis en évidence un effet extrêmement significatif du stress salin ($F = 10,059$; $p < 0,0001$). Cela indique que les disparités entre les groupes T, C et CC sont statistiquement solides et témoignent de l'impact réel des niveaux de salinité sur l'angle foliaire examiné. Plusieurs recherches corroborent le fait que l'angle AnD3/G3 est sensible à la salinité. Par exemple, Cuartero *et al.* (2006) ont démontré que la salinité entraîne une diminution des angles foliaires chez la tomate, ce qui serait un mécanisme d'adaptation restreignant la surface exposée à la lumière et diminuant ainsi la perte en eau.

L'analyse post-hoc réalisée par la méthode de Bonferroni révèle que (Tableau 17) :

Tableau 17. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	52,201	0,936	50,358	54,044	A
C	50,716	0,888	48,967	52,464	A

CC	46,288	0,993	44,333	48,243	B
----	--------	-------	--------	--------	----------

L'analyse statistique révèle un effet différent selon le stress salin sur la variable examinée. On observe des différences significatives entre la forte salinité (CC) et les deux autres groupes, le groupe témoin (T) et le groupe à concentration moyenne (C), ce qui indique une baisse notable de la variable morphologique chez les plantes exposées à un stress salin élevé. Toutefois, on n'observe aucune différence notable entre le témoin et la concentration moyenne, indiquant une réaction comparable dans ces deux situations. L'analyse en clusters indique que le témoin et la concentration moyenne se rangent dans la même catégorie statistique (A), alors que la concentration élevée constitue un groupe séparé (B). Ces résultats corroborent l'impact nuisible du stress salin fort sur la morphologie des feuilles et sont en concordance avec plusieurs recherches antérieures. Par exemple, Al-Gaadi *et al.* (2024) ont démontré que la hausse de la salinité dans l'eau d'irrigation conduit à une diminution graduelle marquée de la photosynthèse et des propriétés foliaires chez la tomate cultivée en hydroponie, ce qui confirme le déclin observé de l'angle foliaire dans notre recherche. Les réactions morphologiques et physiologiques attendues en présence de concentrations élevées de sel sont en accord avec l'augmentation progressive des effets du stress salin

4.4.Étude comparative de la variabilité morphologique foliaire chez la tomate (Tsarine F1) sous stress salin à l'aide de l'ACP et de l'ANOVA

Après avoir étudié les paramètres liés aux effets du stress salin sur la variété (HayatF1), nous avons aussi mené une Analyse en Composantes Principales (ACP) suivie d'une ANOVA sur la seconde variété, (TsarineF1), comme expliqué ci-dessous.

4.4.1. Résultats d'ACP pour les caractères étudiés

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été présentée à l'aide du cercle de corrélation (Figure 15) et appliquée aux caractéristiques morphologiques des feuilles de tomate de la variété soumise à divers niveaux de stress salin (Figure 10). Cette analyse a mis en lumière les composantes F1 et F2 qui ont respectivement représenté 28,564% et 12,292% de la variance (Tableau 18).

Tableau 18. Valeurs propres

	F1	F2
Valeur propre	6,284	2,704
Variabilité (%)	28,564	12,292
% cumulé	28,564	40,856

Le pourcentage de variance expliqué par les deux premiers axes (40,856%), notamment le premier axe (28,564%), révèle une structuration significative des données morphologiques sous l'influence du stress salin.

Comme le montrent Ashraf et Harris (2004), l'analyse en composantes principales est particulièrement efficace pour distinguer les génotypes tolérants et sensibles au sel, notamment sur la base des traits morpho-physiologiques. Cela appuie l'usage des axes principaux pour comprendre la variabilité entre les différentes variétés dans ton étude.

4.4.2. ACP des caractères morphologiques des feuilles selon les niveaux de stress salin

Présente une Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée aux caractéristiques morphologiques des feuilles de tomate soumises à différents niveaux de stress salin (Figure15).

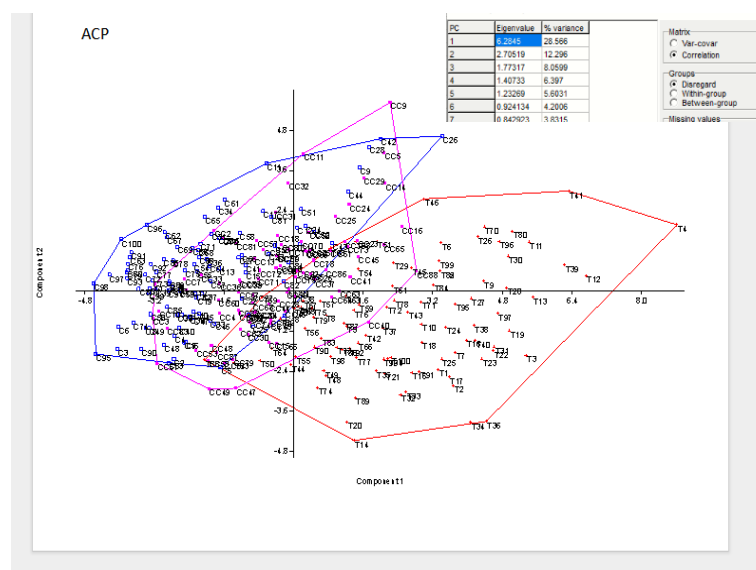


Figure 15. Représentation des individus dans le plan factoriel F1 × F2 (40,856 % de variance totale)

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) sur les caractéristiques morphométriques des feuilles de tomate exposées à divers niveaux de stress salin révèle la structure des relations entre les variables et facilite la distinction des groupes expérimentaux. Les deux premières dimensions factorielles (F1 et F2) rendent compte collectivement de 40,86 % de la variance globale des informations, avec une part respective de 28,56 % pour F1 et de 12,29 % pour F2. Selon le cercle de corrélation (Annexe 02), l'axe F1 montre une corrélation positive avec les longueurs des nervures (lng N/D1, N/D2, N/G1, N/P, etc.), alors que certaines sinuosités (sin/D1, sin/D2, sin/G1) et angles (Ang D3, Ang G3) présentent une corrélation négative. Cela traduit un contraste entre l'allongement foliaire et les modifications morphologiques angulaires ou sinueuses. L'axe F2, moins influent, est associé à la largeur foliaire (larg/F) et au nombre de nervures latérales (Nb N/DL), soulignant leur rôle secondaire mais pertinent dans la structuration morphologique.

L'axe F2, d'influence moindre, est lié à la largeur des feuilles (larg/F) et au nombre de nervures latérales (Nb N/DL), mettant en évidence leur importance secondaire mais significative dans l'organisation morphologique.

L'illustration des sujets sur le plan factoriel révèle une distinction marquée entre les groupes : le groupe témoin (T), mis en évidence en rouge, se trouve à la droite du diagramme et constitue un amas de points compact, indiquant une morphologie uniforme dans des conditions standards. En revanche, les groupes C (concentration moyenne, en bleu) et CC (concentration élevée, en violet) montrent une dispersion plus prononcée, témoignant d'une variabilité augmentée provoquée par le stress salin. La similitude partielle entre C et CC indique des réactions morphologiques semblables face à un stress modéré et fort, cependant, la dissociation progressive témoigne d'effets spécifiques au stress intense. Cette tendance met en lumière une réaction morphologique différenciée et dépendante de la dose, vraisemblablement associée à l'inhibition de l'allongement cellulaire ou à un changement structurel des tissus foliaires.

Ces constatations s'accordent avec les études de (Zhu 2001 ; Parida et Das, 2005 ; Munns et Tester, 2008) ainsi que de Flowers *et al.* (2010), qui ont chacun observé des impacts morphologiques graduels liés à la salinité, y compris un ralentissement de croissance, une diminution de la turgescence et une détérioration des tissus foliaires. En outre, Zeng et Shannon (2000) ont prouvé l'utilité de l'ACP pour examiner la variabilité morphologique du riz soumis à un stress salin, leur étude ayant permis d'expliquer près de 45 % de la variance. Cela valide l'application de cette méthode multi-variée dans le cadre du stress abiotique.

4.4.2. Études des cultivars (observation)

Pour sélectionner les meilleurs cultivars, nous avons retenu les valeurs les plus élevées dans le tableau des $\cos^2$ des observations (Tableau 19).

Tableau 19. Cosinus carrés des caractères sur les axes principaux

	F1	F2	F1+F2
Lng N/P	0,199	0,355	0,554
larg /F	0,087	0,420	0,503
lng N/D1	0,457	0,136	0,593
lng N/D2	0,546	0,112	0,658
lng N/D3	0,407	0,157	0,564
lng N/G1	0,360	0,202	0,562
lng N/G2	0,510	0,127	0,637
lng N/G3	0,222	0,051	0,273
Ang/D1	0,386	0,112	0,498
Ang/D2	0,379	0,148	0,527
Ang/D3	0,398	0,158	0,556
Angel G1	0,241	0,166	0,407
Ang/ G2	0,383	0,116	0,499

Dans notre recherche, l'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) a facilité la condensation des données provenant des divers paramètres morphologiques observés sur les feuilles de tomate exposées au stress salin (Na Cl). Le (tableau 19) expose les valeurs des cosinus au carré ($\cos^2$) pour chaque variable sur les deux premiers axes majeurs, F1 et F2. Le $\cos^2$ évalue la qualité de représentation d'une variable sur un axe spécifique : plus sa valeur est importante, mieux la variable est illustrée dans l'espace factoriel. Dans la recherche de Sivakumar *et al.* (2020) concernant la tomate en situation de stress salin, les variables présentant un $\cos^2$ élevé sur PC1 et PC2 ont été jugées comme les plus discriminantes.

L'analyse du tableau repose sur l'addition des $\cos^2$ des deux premiers axes (F1 et F2). Par conséquent, les variables qui ont des valeurs dépassant 0,5 sont jugées adéquatement représentées dans le plan F1 $\times$ F2, ce qui explique leur choix pour une étude plus poussée. Dans l'analyse morphologique effectuée, plusieurs traits montrent une $\cos^2$ supérieure à 0,5, et sont par conséquent identifiés comme significativement représentés :

- log N/P ($\cos^2 = 0,554$)
- log N/D1 ($\cos^2 = 0,593$)
- log N/D2 ($\cos^2 = 0,658$)
- log N/D3 ($\cos^2 = 0,564$)
- log N/G1 ($\cos^2 = 0,562$)
- Ang/D2 ($\cos^2 = 0,527$)
- Ang/D3 ($\cos^2 = 0,556$)
- Ang G3 ($\cos^2 = 0,513$)

Les résultats observés : des longueurs spécifiques de nervures (log N/D1, D2, D3, log N/G1) montrent une sensibilité marquée au stress salin et structurent considérablement l'espace morphologique des feuilles de tomate, devenant ainsi des indicateurs significatifs de la réaction au Na Cl. En outre, l'inclusion de caractères angulaires (Ang/D2, D3, G3) laisse présager des modifications architecturales adaptatives. Ces conclusions, qui s'alignent avec celles de Cuartero *et al.* (2006), attestent que le stress salin entraîne une diminution à la fois des dimensions des feuilles et des transformations géométriques destinées à réduire la déperdition d'eau. Par conséquent, les nervures et les angles se manifestent comme des indicateurs phénotypiques fiables de l'adaptation au stress salin.

4.4.3. Étude de corrélation entre les caractères

NB/lob D : Nombre du lobe droit, **NB/lob G** : Nombre du lobe gauche, **LngN /P** : Longueur de la nervure principale, **Lrg/F** : Largeur de la feuille, **Nbnerv/sec/D** : Nombre des nervures secondaires du côté droit, **Nbnerv/sec/G** : Nombre des nervures secondaires du côté gauche, **Sinus/D** : Sinus du côté droit, **Sinus/G** : Sinus du côté gauche, **Ang 1D** : Angle 1 du côté droit, **Ang 1G** : Angle 1 du côté gauche, **Ang 2D** : Angle 2 du côté droit, **Ang 2G** : Angle 2 du côté gauche, **Ang 3D** : Angle 3 du côté droit, **Ang 3G** : Angle 3 du côté gauche.

r c'est le coefficient de corrélation

$r > 0.6$: La corrélation est très bien.

La corrélation entre l'ensemble des caractères morphologiques mesurés des feuilles de la tomate (Tableau20).

Tableau 20. Matrice de corrélation.

	variables	Nb/D	Nb/U	Nb/G	Nb/M	Log/NP	log/JF	log/D1	log/D2	log/D3	log/D4	log/G1	log/G2	log/G3	sin/D1	sin/D2	sin/D3	sin/G1	sin/G2	Ang/D1	Ang/D2	Ang/G1	Ang/G2	Ang/G3
40	Nb/D	1	0.023	-0.067	0.268	0.041	-0.118	0.078	0.091	0.184	-0.021	0.018	-0.005	-0.115	-0.248	-0.181	-0.181	-0.079	-0.004	-0.104	0.008	-0.041	-0.011	
41	Nb/U	0.023	1	0.604	-0.029	0.172	-0.025	0.283	0.259	0.234	0.181	0.220	0.085	0.161	0.178	0.048	0.100	0.196	0.166	0.256	0.189	0.162	0.161	
42	Nb/G	-0.067	0.604	1	-0.022	0.133	-0.086	0.187	0.243	0.185	0.232	0.266	0.134	0.235	0.246	0.048	0.157	0.288	0.300	0.265	0.220	0.189	0.238	
43	Nb/M	0.268	-0.029	-0.022	1	-0.082	0.081	0.211	0.057	0.148	0.123	0.181	-0.036	0.056	-0.062	-0.014	-0.066	0.051	0.032	0.022	0.062	0.085	-0.044	
44	Log/NP	0.041	0.172	0.133	-0.082	1	0.580	0.484	0.413	0.450	0.489	0.402	0.241	0.397	0.181	0.084	0.081	0.100	0.093	0.085	-0.040	0.068	0.081	
45	log/JF	-0.118	-0.025	-0.086	0.081	0.580	1	0.348	0.318	0.196	0.381	0.379	0.251	0.006	0.118	0.134	-0.010	0.058	-0.081	-0.024	-0.170	0.038	0.051	
46	log/D1	0.078	0.283	0.187	0.211	0.484	0.348	1	0.684	0.552	0.517	0.546	0.297	0.244	0.216	0.222	0.194	0.247	0.284	0.267	0.180	0.278	0.274	
47	log/D2	0.091	0.259	0.243	0.057	0.413	0.318	0.684	1	0.657	0.534	0.556	0.388	0.272	0.215	0.261	0.259	0.321	0.300	0.294	0.240	0.346	0.388	
48	log/D3	0.184	0.234	0.185	0.148	0.450	0.318	0.552	0.657	1	0.420	0.513	0.352	0.189	0.177	0.226	0.161	0.267	0.252	0.242	0.214	0.255	0.241	
49	log/D4	-0.021	0.181	0.232	0.123	0.489	0.381	0.517	0.534	0.420	1	0.644	0.274	0.169	0.156	0.184	0.189	0.227	0.147	0.210	0.112	0.219	0.241	
50	log/G1	0.018	0.220	0.266	0.181	0.402	0.379	0.542	0.556	0.523	0.644	1	0.480	0.297	0.189	0.261	0.223	0.303	0.308	0.297	0.220	0.316	0.351	
51	log/G2	-0.005	0.085	0.134	-0.036	0.241	0.251	0.297	0.388	0.352	0.274	0.480	1	0.084	0.133	0.123	0.176	0.138	0.197	0.185	0.244	0.190	0.271	
52	sin/D1	-0.115	0.160	0.235	0.056	0.087	0.086	0.144	0.272	0.189	0.169	0.237	0.084	1	0.432	0.333	0.307	0.264	0.284	0.258	0.251	0.228	0.231	
53	sin/D2	-0.248	0.178	0.246	-0.062	0.180	0.154	0.216	0.215	0.177	0.156	0.189	0.133	0.432	1	0.381	0.402	0.278	0.289	0.341	0.139	0.201	0.158	
54	sin/D3	-0.181	0.048	0.048	-0.104	0.084	0.134	0.222	0.261	0.226	0.184	0.281	0.123	0.333	0.391	1	0.365	0.244	0.223	0.280	0.221	0.222	0.159	
55	sin/G1	-0.181	0.100	0.157	-0.066	0.081	-0.010	0.184	0.238	0.161	0.183	0.213	0.176	0.307	0.492	0.365	1	0.318	0.297	0.286	0.220	0.269	0.291	
56	Ang/D1	-0.073	0.196	0.288	0.051	0.100	0.056	0.247	0.321	0.267	0.227	0.303	0.136	0.264	0.278	0.244	0.339	1	0.483	0.513	0.333	0.536	0.541	
57	Ang/D2	-0.004	0.066	0.120	0.032	0.089	-0.081	0.284	0.320	0.252	0.147	0.308	0.187	0.286	0.288	0.223	0.287	0.483	1	0.518	0.434	0.437	0.511	
58	Ang/D3	-0.104	0.234	0.283	0.022	0.085	-0.024	0.267	0.294	0.242	0.210	0.287	0.189	0.284	0.341	0.280	0.286	0.523	0.538	1	0.442	0.529	0.501	
59	Ang/G1	0.006	0.193	0.220	0.062	-0.041	-0.171	0.180	0.248	0.214	0.112	0.220	0.244	0.258	0.233	0.221	0.230	0.313	0.434	0.442	1	0.483	0.391	
60	Ang/G2	-0.041	0.062	0.189	-0.065	0.068	0.089	0.279	0.346	0.255	0.219	0.316	0.180	0.252	0.201	0.222	0.269	0.526	0.437	0.529	0.483	1	0.611	
61	Ang/G3	-0.015	0.255	0.285	-0.046	0.081	0.052	0.274	0.388	0.245	0.242	0.355	0.270	0.220	0.204	0.158	0.287	0.543	0.518	0.503	0.394	0.611	1	

Dans la matrice de corrélation, une corrélation positive croissante (forte corrélation) est observée.

Les caractéristiques qui présentent des corrélations positives fortes sont les suivantes :

- Nombre de lobe de côté droit (Nb L/D) avec nombre de lobe côté gauche (Nb/G) à (+0,614).
- Longueur de nervure principale (long N/P) avec largeur de la feuille (Larg/F) à (+0,560).
- Longueur de nervure secondaire droit 1 (lng N/D1) avec Longueur de nervure secondaire droit2 (long N/D2) à (0,684).
- Longueur de nervure secondaire droit 1 (lng N/D1) avec Longueur de nervure secondaire droit3 (lng N/D3) à(0,532).
- Longueur de nervure secondaire droit 1 (lng N/D1) avec Longueur de nervure secondaire gauche 1(long N/G1) à(0,527).

- Longueur de nervure secondaire droit 1 (lng N/D1) avec Longueur de nervure secondaire gauche2 (lng N/G2) à(0,542).
- Longueur de nervure secondaire droit2 (lng N/D2) avec Longueur de nervure secondaire droit3 (long N/D3) à(0,657).
- Longueur de nervure secondaire droit2 (long N/D2) avec Longueur de nervure secondaire gauche 1(long N/G1) à(0,524).
- Longueur de nervure secondaire droit2 (long N/D2) avec Longueur de nervure secondaire gauche2 (long N/G2) à (0,556).
- Longueur de nervure secondaire droit3 (long N/D3) avec Longueur de nervure secondaire gauche2 (long N/G2) à(0,523).
- Longueur de nervure secondaire gauche 1(long N/G1) avec Longueur de nervure secondaire gauche2 (long N/G2) à(0,644).
- Sinus droit 1 (Sin/D1) avec sinus gauche 2(Sin/G2) à(0,507).
- Angel droit 1(Ang/D1) avec Angel droit 3(Ang/D3) à(0,523).
- Angel droit 1(Ang/D1) avec Angel gauche 2(Ang/G2) à(0,526).
- Angel droit 1(Ang/D1) avec Angel gauche 3(Ang/G3) à(0,543).
- Angel droit 2(Ang/D2) avec Angel droit 3(Ang/D3) à(0,538).
- Angel droit 3(Ang/D3) avec Angel gauche 2(Ang/G2) à(0,529).
- Angel droit 3(Ang/D3) avec Angel gauche 3(Ang/G3) à(0,503).
- Angel gauche 2(Ang/G2) avec Angel gauche 3(Ang/G3) à(0,617).

Ces conclusions, tout comme celles concernant la variété (Hayat F1), sont en adéquation avec de multiples études qui ont prouvé que, face au stress salin, les plantes ont tendance à préserver une coordination morpho-fonctionnelle entre différentes caractéristiques clés. Cette coordination permet d'optimiser la photosynthèse et la distribution interne de l'eau, en dépit des limitations dues à la salinité. Par exemple, en ce qui concerne le poivre, Chartzoulakis et Klapaki (2000) ont noté une relation significative entre la taille des feuilles et le nombre de nervures. Ceci pourrait indiquer une stratégie compensatoire pour maintenir l'efficacité vasculaire en dépit d'une réduction de la surface foliaire.

4.5. L'analyse de la variance ANOVA

Analyse de la variance (ANOVA) a été appliquée à plusieurs variables, notamment :

- le rapport longueur/largeur (L/G),
- la longueur des nervures principales (Lng N/G1, N/D1...),
- les rapports longitudinaux (LonD1/G1, LonD2/G2, LonD3, G3),
- ainsi que certains angles foliaires (AnD1/G1, AnD2/G2, AnD3).

Commencent avec le paramètre moyen de longueur de la feuille /largeur de la feuille (L/G) qui contient :

4.5.1. Moyennes de la longueur de la feuille /largeur de la feuille (L/G)

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée à la variable morphologique longueur/largeur (L/G) (Tableau21)

Tableau 21. Analyse de la variance "L/G"

Source	DDL	S. des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	21,195	10,597	4,513	0,012	
Erreur	287	673,909	2,348			
Total corrigé	289	695,104				

L'analyse de variance (ANOVA) montre une influence significative du stress salin sur la forme des feuilles ($F = 4,513$; $p = 0,012$), ce qui signifie que les variations entre les traitements sont statistiquement valides. Ces résultats sont conformes à. Dans l'étude sur le blé réalisée par Rafiq *et al.* (2006), des résultats comparables ont été notés. D'après les auteurs, une baisse significative de la croissance des feuilles (en termes de longueur et de largeur) a été observée sous 125 mM de Na Cl

, en raison d'une perturbation du métabolisme cellulaire et d'une diminution de l'élongation des cellules. Cela illustre une réaction adaptative similaire chez une espèce dicotylédone telle que la tomate. Ghonaim *et al.* (2023) ont également examiné la réaction de dix génotypes d'orge face au stress salin. L'analyse qu'ils ont effectuée a mis en évidence une diminution notable des caractéristiques morphologiques, comme la longueur des feuilles et la biomasse aérienne, en réponse à l'augmentation de la salinité. La diminution du rapport L/G

pourrait être due à une inhibition différentielle de l'étirement par rapport à l'expansion radiale des cellules foliaires. Ces deux recherches attestent que la diminution de la dimension des feuilles, en particulier du rapport L/G, est une réaction préservée chez diverses espèces face à la contrainte du sel. Ainsi, la comparaison confirme la solidité de nos résultats en ce qui concerne la tomate.

Un test de comparaison multiple selon la méthode de Bonferroni a été réalisé pour préciser les différences entre les modalités de traitement (T, C, CC) (Tableau 22).

Tableau 22. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	8,738	0,153	8,436	9,039	A
C	8,554	0,153	8,252	8,855	A
CC	8,085	0,162	7,767	8,403	B

Démontre une différence notable entre les modalités. Le groupe exposé à une salinité élevée (CC) se distingue de manière significative des groupes témoin (T) et à salinité modérée (C), comme le démontre son appartenance à une catégorie distincte (B). En revanche, T et C partagent la même classification (A), indiquant qu'il n'y a pas de différence notable entre eux. Cette distribution indique qu'uniquement un fort stress salin provoque une diminution significative de ce paramètre morphologique, signalant une entrave à l'expansion foliaire probablement associée à un déséquilibre osmotique. Ces observations sont en accord avec celles de Roşca *et al.* (2023), qui ont noté une diminution marquée des dimensions foliaires chez des variétés de tomate exposées à une forte salinité, mettant en évidence l'impact néfaste progressif du stress sur la morphologie des plantes.

4.5.2. Long Nervures secondaires droite1/ Long Nervures secondaires gauche 1 "LOND1 /G1 "

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée à la variable LONG D1 / LONG1 révèle une très forte significativité statistique de l'effet du traitement salin sur cette caractéristique morphologique (Tableau23).

Tableau 23. Analyse de la variance "LOND1/G1"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	
--------	-----	------------------	--------------------	---	--------	--

Modèle	2	21,691	10,846	18,621	< 0,0001	Significatif
Erreur	287	167,159	0,582			
Total corrigé	289	188,850				

L'effet du stress salin sur la croissance des feuilles, notamment en ce qui concerne la longueur du segment D1/G1, est fortement significatif comme l'indiquent un p extrêmement bas (< 0,0001) et un test F élevé (18,621). Ces conclusions corroborent l'idée que le sel entrave l'étirement des feuilles, en ligne avec les travaux de Munns et Tester (2008), qui ont démontré que la concentration de Na⁺ freine le développement cellulaire dans les feuilles réactives au stress osmotique.

Le test de Bonferroni appliqué à la variable lonD1/LONG1 met en évidence des différences hautement significatives entre les différents traitements salins (Tableau24) :

Tableau 24. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	3,532	0,076	3,382	3,682	A
CC	3,230	0,080	3,071	3,388	B
C	2,874	0,076	2,724	3,024	C

Le groupe de contrôle (T) présente la plus haute moyenne de développement foliaire (3,532), témoignant d'une croissance optimale sans pression. Cette moyenne baisse avec la hausse de Na Cl : 3,230 pour CC et 2,874 pour C. Il existe des différences statistiquement significatives entre tous les groupes ($p < 0,0001$), mettant en évidence des réactions morphologiques distinctes. Ces observations corroborent l'idée que le stress salin entrave la croissance des feuilles, conformément à Aktas *et al.* (2006) et Munns et Tester (2008), qui ont relevé des impacts sur la longueur et l'organisation des nervures. Toutefois, la réaction constatée dans le cadre du traitement C (forte concentration) pourrait également traduire une adaptation physiologique provoquée par un stress plus marqué. Effectivement, diverses plantes mettent en marche des processus de tolérance comme la concentration d'osmoprotecteurs (tel que la proline), une meilleure régulation osmotique et des adaptations morphologiques afin de minimiser les pertes d'eau. Ces modifications aident la plante à persister malgré une croissance partiellement entravée, comme le démontrent les conclusions de Khedr *et al.* (2003), qui ont noté une expression accrue des protéines de stress en condition de haute salinité.

4.5.3. Long Nervures secondaires droite2/ Long Nervures secondaires gauche 2"LOND2/G2 "

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique LOND2/G2 (Tableau 25).

Tableau 25. Analyse de la variance "LOND2/G2"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	49,642	24,821	46,910	< 0,0001	
Erreur	287	151,857	0,529			
Total corrigé	289	201,500				

Les résultats mettent en évidence une influence marquée du traitement salin sur l'expansion des feuilles, illustrée par un score F notable (46,910) et une probabilité associée extrêmement basse ($p < 0,0001$). Cela atteste que les disparités observées entre les groupes T, C et CC sont attribuables au stress plutôt qu'à la chance. Ces conclusions correspondent à celles de Maggio *et al.* (2007), qui ont noté chez la tomate une diminution significative de la croissance des nervures latérales, indiquant une réponse morphologique à la contrainte osmotique.

L'analyse des comparaisons multiples selon la méthode de Bonferroni met en évidence des différences significatives entre toutes les modalités étudiées pour la variable Var LOND2/G2 (Tableau 26).

Tableau 26. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	3,886	0,073	3,742	4,029	A
CC	3,530	0,077	3,379	3,681	B
C	2,901	0,073	2,758	3,044	C

Les comparaisons entre groupes montrent une hiérarchie claire : T (3,886) > CC (3,530) > C (2,901), avec des différences très hautement significatives entre T et C ($p < 0,0001$), CC et T, la valeur est significative ($p < 0,0001$), tout comme entre T et CC ($p = 0,001$). Chaque traitement constitue une catégorie statistique distincte (T = A, CC = B, C = C), reflétant

un effet distinct du stress salin. Ces données corroborent une altération dose-dépendante de la croissance des plantes, comme mentionné par Munns et Tester (2008). Cependant, la concentration en sel la plus élevée (C) semble avoir provoqué une réaction adaptative plus prononcée, possiblement en activant des mécanismes de tolérance comme l'accumulation de proline ou la régulation osmotique. Ce n'est pas le cas de la concentration moyenne (CC), qui bien qu'ayant un impact, n'a pas entraîné une réaction adaptative intégrale. Cette vision est soutenue par les recherches de Khedr *et al.* (2003), qui ont démontré que des niveaux élevés de stress peuvent inciter à la synthèse de protéines liées au stress et d'osmoprotecteurs contribue à une tolérance améliorée.

4.5.4. Long Nervures secondaires droite3/ Long Nervures secondaires gauche 3 "LOND3/G3 "

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique LOND3/G3 (tableau 27).

Tableau 27. Analyse de la variance "LOND3/G3"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	37,911	18,956	34,210	< 0,0001	
Erreur	287	159,026	0,554			
Total corrigé	289	196,937				

L'analyse de la variance (ANOVA) révèle un impact très significatif du stress salin sur la variable examinée ($F = 34,210$; $p < 0,0001$), soulignant que les écarts entre les groupes T, C et CC sont dus à l'intervention. La puissance élevée de F et la probabilité très minime attestent de la solidité statistique. Ces conclusions concordent avec celles de Hartzoulakis et al. (2002), qui ont noté une diminution importante de la croissance des feuilles et des racines du concombre sous l'influence grandissante du Na Cl.

Le test de Bonferroni appliqué à la variable lonD3/LONG3 met en évidence des différences hautement significatives entre les différents traitements salins (Tableau28).

Tableau 28. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	3,514	0,074	3,367	3,660	A
CC	3,344	0,078	3,189	3,498	A
C	2,686	0,074	2,540	2,833	B

Des comparaisons mettent en évidence une différence notable entre le groupe témoin (T) et le traitement à salinité modérée (C), ainsi qu'entre CC et C, avec des valeurs plus basses pour C dans les deux situations. Cependant, aucune distinction marquée n'est remarquée entre T et CC, indiquant une réaction comparable entre ces deux modalités. L'analyse des groupes homogènes regroupe donc T et CC au sein d'une même catégorie statistique (A), tandis que C constitue un ensemble distinct (B). Cela peut sembler étonnant, mais c'est dû au fait qu'un niveau modéré de salinité ne provoque pas systématiquement des mécanismes de défense performants, à l'inverse d'un niveau élevé de salinité qui déclenche des réactions adaptatives plus prononcées chez la plante. Selon Ashraf et Foolad (2007), l'accumulation de composés osmoprotecteurs, comme la proline et d'autres protéines de stress, est essentielle pour préserver l'équilibre osmotique et protéger les structures cellulaires. Ces constatations correspondent à celles de Zhang *et al.* (2022), qui ont démontré que certaines variétés de tomates possèdent une tolérance supérieure à un stress salin intense, via des adaptations spécifiques physiologiques et biochimiques.

4.5.5. Angle droite1/angle gauche1 (AnD1/AnG1)

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique (AnD1/AnG1) (Tableau 29).

Tableau 29. Analyse de la variance "AnD1/G1"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	15580,132	7790,066	152,410	< 0,0001	
Erreur	287	14669,355	51,113			
Total corrigé	289	30249,487				

L'analyse statistique met en évidence une influence très marquée du stress salin sur l'élément morphologique AnD1/G1 ($p < 0,0001$), soulignant la sensibilité élevée de cette caractéristique à la salinité. Ces résultats sont en accord avec Kaya *et al.* (2001) qui ont noté

une diminution significative des angles foliaires chez le blé à partir d'un certain niveau de stress, et ont observé des différences marquées entre les groupes exposés à diverses concentrations salines.

L'analyse des comparaisons multiples avec correction de Bonferroni pour la variable AnD1/G1 révèle des différences hautement significatives entre tous les groupes de traitement (Tableau 30).

Tableau 30. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	61,745	0,715	60,337	63,152	A
CC	53,343	0,754	51,860	54,826	B
C	44,099	0,715	42,691	45,506	C

La variable AnD1/G1 décroît en fonction de la sévérité du stress salin : 61,745 (T), 53,343 (CC) et 44,099 (C), avec des écarts hautement significatifs entre chaque groupe ($p < 0,0001$). Chaque traitement constitue un ensemble homogène distinct (A, B, C), reflétant une réponse morphologique progressive. Ces résultats concordent avec ceux d'Ashraf (2009), qui indique également que l'impact morphologique du stress salin se révèle graduellement, avec une diminution constante de la dimension et de la biomasse des feuilles à mesure que la salinité s'intensifie. En outre, la variation d'impact entre des concentrations modérées et élevées s'explique par la capacité d'ajustement de la plante. À un niveau de stress modéré, des perturbations initiales se produisent qui entravent la croissance sans toutefois déclencher entièrement les mécanismes de défense. Toutefois, en cas de forte concentration, la plante stocke des osmoprotecteurs comme la proline qui stabilisent les membranes cellulaires, encouragent l'adaptation morphologique et renforcent la résistance au stress salin (Ashraf et Foolad, 2007).

4.5.6. Angle droite2/angle gauche2 (AnD2/AnG2)

Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée pour évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique AnD2/G2 (Tableau31) :

Tableau 31. Analyse de la variance "AnD2/G2"

Source	DDL	Somme des	Moyenne des carrés	F	Pr > F	
--------	-----	-----------	--------------------	---	--------	--

		carrés				Significatif
Modèle	2	17177,584	8588,792	174,361	< 0,0001	
Erreur	287	14137,263	49,259			
Total corrigé	289	31314,847				

L'analyse de la variance (ANOVA) révèle un impact fortement significatif du stress salin sur la variable AngD2/AngG2 ($F = F_{174, 361}$; $p < 0,0001$), expliquant plus de la moitié de la variance. La salinité par conséquent, a un impact considérable sur la morphologie des feuilles en modifiant le rapport angulaire. Ces résultats corroborent les observations de Shani et Ben-Gal (2005), qui avaient noté une diminution des angles foliaires en présence de salinité, contribuant ainsi à réduire l'évaporation et à maximiser l'utilisation de l'eau.

Le test de Bonferroni, qui est un tableau comparatif multiple post-hoc, souligne des différences très significatives entre toutes les modalités (T par rapport à C, T par rapport à CC, et CC par rapport à C) en ce qui concerne la variable AngD2/AngG2. Les valeurs p pour chaque comparaison sont toutes inférieures à 0,0001 (Tableau32).

Tableau 32. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	61,556	0,702	60,175	62,938	A
CC	51,808	0,740	50,351	53,264	B
C	43,029	0,702	41,648	44,411	C

Les moyennes d'AngD2/AngG2 diminuent avec l'accroissement du stress salin : 61,556 (T), 51,808 (CC) et 43,029 (C), chaque groupe se distinguant de manière significative (A, B, C). Ces observations indiquent un changement graduel de la forme des feuilles en relation avec la salinité, avec une déformation plus prononcée à haute concentration. Ils corroborent les constatations de Zhou *et al.* (2018), qui ont observé une diminution des angles foliaires chez la tomate en réaction au Na Cl, illustrant un ajustement destiné à minimiser la transpiration. Il est à noter que cette modification morphologique est plus marquée dans des environnements riches en sel, indiquant que la plante mobilise ses mécanismes de résistance uniquement en réponse à un stress intense. Effectivement, diverses recherches ont démontré qu'en présence de fortes concentrations de sel, la plante a tendance à amasser plus de composés osmorégulateurs comme la proline. Ceci renforce la défense cellulaire contre le stress osmotique et encourage des modifications morphologiques efficaces (Verbruggen et Hermans, 2008). Toutefois, à des

niveaux de concentration modérés, ces processus ne sont pas totalement initiés, ce qui pourrait justifier une adaptation morphologique réduite.

4.5.7. Angle droite3/angle gauche3 (AnD3/AnG3)

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet du stress salin sur la variable morphologique AnD3/AnG3 (Tableau 33).

Tableau 33. Analyse de la variance "AnD3/G3"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F	Significatif
Modèle	2	17052,086	8526,043	160,021	< 0,0001	
Erreur	287	15291,618	53,281			
Total corrigé	289	32343,705				

L'analyse de variance indique un impact hautement significatif du stress salin sur AnD3/G3 ($F = 160,021$; $p < 0,0001$), avec une large portion de la variance attribuable au traitement (somme des carrés = 17 052,086). Ces résultats attestent que la salinité a un impact significatif sur cette caractéristique morphologique des feuilles. Ces résultats sont en accord avec Kaya *et al.* (2001) qui ont noté une diminution significative des angles foliaires chez le blé à partir d'un certain niveau de stress, et ont observé des différences marquées entre les groupes exposés à diverses concentrations salines.

L'analyse post-hoc de Bonferroni confirme l'existence d'un effet significatif du stress salin sur la variable morphologique étudiée (Tableau 34).

Tableau 34. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour site (Bonferroni)
"AnD3/G3"

Modalité	Moyenne	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
T	62,511	0,730	61,074	63,947	A
CC	51,391	0,769	49,877	52,905	B
C	44,172	0,730	42,735	45,608	C

On observe une différence significative entre les moyennes des groupes T (62,511), CC (51,391) et C (44,172), avec une diminution progressive des valeurs en fonction de l'augmentation de la concentration en sel ($p < 0,0001$). Chaque modalité de traitement forme un groupe distinct sur le plan statistique, ce qui souligne l'influence graduelle de la salinité

sur la morphologie des feuilles. De manière surprenante, c'est sous la concentration modérée (C) que la réduction de l'angle a été la plus marquée. Ce résultat pourrait traduire une absence de réponse adaptative suffisamment efficace à ce niveau de stress. À l'inverse, dans le traitement à forte salinité (CC), la plante aurait pu activer certains mécanismes de défense, tels que l'accumulation de composés osmoprotecteurs comme la proline ou certains sucres solubles, associés à une régulation osmotique et stomatique. Ces ajustements physiologiques pourraient atténuer les effets du stress sur la morphologie foliaire, comme l'ont décrit Ashraf et Foolad (2007).

4.6. Impact possible de la déférence enter les concentration

Selon certaines observations, il a été noté qu'à des niveaux de salinité intermédiaires, l'impact sur la plante était parfois plus prononcé qu'à des niveaux élevés. Cette réaction pourrait être associée à l'activation croissante de mécanismes d'adaptation, en particulier la production de proline, qui joue le rôle d'osmoprotecteur. Elle contribue à l'équilibre osmotique, à la stabilisation des membranes cellulaires et à la défense contre les agressions oxydatives. Selon Hassani *et al.* (2008), la capacité des plantes à intensifier la production de proline en situation de stress salin pourrait être un indicateur de leur tolérance, illustrant leur faculté à préserver leur intégrité cellulaire dans un environnement aussi déséquilibré.

Conclusion

Conclusion

La salinité des sols représente un enjeu environnemental majeur, affectant directement la croissance et la productivité des cultures, notamment celle de la tomate. Cette étude, conduite sous serre en conditions naturelles, avait pour objectif d'analyser l'impact de différentes concentrations de sel sur la morphologie foliaire de deux variétés de tomate : Hayat F1 et Tsarine F1.

Les résultats ont révélé une réduction significative des dimensions foliaires sous l'effet du stress salin, accompagnée de modifications morphologiques spécifiques à chaque variété. Hayat F1 a montré une tolérance progressive, avec une diminution régulière de la taille des feuilles proportionnelle à l'augmentation de la salinité. Ce comportement suggère une capacité d'adaptation morphologique continue, sans recours immédiat à des mécanismes biochimiques tels que l'accumulation de proline.

À l'inverse, Tsarine F1 s'est montrée plus vulnérable, affichant une altération marquée de la morphologie foliaire dès les concentrations salines modérées. Une certaine stabilisation a toutefois été observée à des niveaux plus élevés, ce qui pourrait traduire l'activation tardive de réponses de défense, comme la synthèse de composés osmoprotecteurs (proline).

En conclusion, les analyses statistiques (ANOVA et ACP) ont révélé une réduction significative des dimensions foliaires sous l'effet du stress salin. La variété Hayat F1 a montré une modification progressive de la morphologie, tandis que la variété Tsarine F1 a révélé une réponse intéressante caractérisée par une stabilité en condition de salinité élevée, suggérant l'activation de mécanismes physiologiques tels que l'accumulation de proline. Cette capacité d'adaptation pourrait rendre Tsarine F1 plus apte à la culture dans des zones à forte salinité, malgré une sensibilité initiale apparente.

Pour compléter ces observations, il serait judicieux d'intégrer dans les travaux futurs des paramètres tels que l'accumulation de proline, la conductivité membranaire ou l'expression de gènes liés à la tolérance au sel. Il serait également pertinent d'évaluer les effets combinés de la salinité avec d'autres stress abiotiques, comme la sécheresse ou les températures extrêmes.

Référence bibliographiques

1. Abbad, M. (2018). Impact de la salinité des eaux non conventionnelles sur le comportement éco-physiologique de deux variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) [Thèse de doctorat, Université de Blida 1]. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biotechnologies, Université de Blida 1.
2. Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sánchez-Blanco, M. J., & Hernández, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
3. Aktas, H., Abak, K., & Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 260–266.
4. Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Madugundu, R., Zeyada, A. M., Alameen, A. A., Edris, M. K., & Edrees, H. F. (2024). Response of leaf photosynthesis, chlorophyll content and yield of hydroponic tomatoes to different water salinity levels. *PLOS ONE*, 19(2), e0293098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293098>[journals.plos.org](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293098journals.plos.org)
5. Ali, Y., Aslam, Z., Ashraf, M. Y., & Tahir, G. R. (2004). Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of maize hybrids. *International Journal of Agriculture & Biology*, 6(1), 86–88.
6. Altuntas, O., Kaya, C., & Ashraf, M. (2024). Unlocking the potential of pepper plants under salt stress: Mycorrhizal effects on physiological parameters related to plant growth and gas exchange across tolerant and sensitive genotypes. *Plants*, 13(10), 1380. <https://doi.org/10.3390/plants13101380>
7. Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27(1), 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.005>
8. Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
9. Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
10. Bentvelsen C.L.M., 1980. Réponse des rendements à l'eau. Ed. Dunod. 235p.
11. Bouzaata, C. (2015). Valorisation des sous-produits de quatre variétés de tomate industrielle (*Solanum esculentum* L.) dans l'Est algérien [Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat]. université badji mokhtar – Annaba. 111p
12. Chahbar, A., Boukhebt, H., & Djebbar, M. R. (2023). Effects of salt stress on growth parameters and leaf anatomy of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings. *Journal of Plant Stress Physiology*, 3(1), 17–23. <https://doi.org/10.58379/jpsp231111>
13. Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86(3), 247–260.

14. Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M., & Androulakis, I. (2002). Effects of NaCl salinity on growth, ion content and photosynthesis of six olive cultivars. *Plant and Soil*, 246(1), 53–60.
15. Chaux C.L et Foury .C.L. 1994. Cultures légumières et maraîchère, TOME III : légumineuses potagères, légumes fruit. TEC et Doc Lavoisier, Paris. P563.
16. Cuartero, J., Fernández-Muñoz, R., & Bolarin, M. C. (2006). Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*, 111(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.032>
17. Daunay, M.-C., Laterrot, H., ET Janick, J. (2007). Iconography of the solanaceae from antiquity to the xviith century : A rich source of on genetic diversity and uses. *Acta Horticulturae*, 745, 59 88. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.745.3>
18. Delarue, M., Benhamed, M., ET Fragkostefanakis, S. (2025). The role of epigenetics in tomato stress adaptation. *New Crops*, 2, 11. <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2024.100044>
19. Derouiche, B. (2018). Impact du stress salin sur l'écophysiologie des glycophytes et identification de quelques mécanismes de tolérance [Thèse de doctorat, Université Saad Dahlab Blida 1]. Université Saad Dahlab Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, Laboratoire de Recherche en Biotechnologie des Productions Végétales.
20. Dersouni, C. (2019). Étude de la relation entre les protéines et quelques paramètres histo-morphologiques et physio-biochimiques chez la tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) sous les conditions salines [Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine 1]. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Écologie Végétale.
21. Downton, W. J. S. (1977). Photosynthesis in salt-stressed grapevines. *Functional Plant Biology*, 4(2), 183–192.
22. Dutuit, P., Pourrat, Y., & Dutuit, J.M. (1994). La notion de stress de la cellule à l'écosystème.
23. FAO (Food and Agricultural Organization). 2008. Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>
24. Flexas, J., Niinemets, Ü, Gallé, A., Barbour, M. M., Centritto, M., Diaz-Espejo, A., ... & Medrano, H. (2014). Mesophyll conductance to CO₂ and leaf anatomy: A meta-analysis. *Plant, Cell & Environment*, 37(9), 1986–1998. <https://doi.org/10.1111/pce.12344>
25. Flowers, T. J., Galal, H. K., & Bromham, L. (2010). Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37(7), 604–612. <https://doi.org/10.1071/FP09269>
26. Ghonaim, M. M., El-Baz, M. G., Ahmed, N. F., Hassan, S. M., & El-Din, M. F. (2023). Morpho-physiological and biochemical response of ten barley genotypes under salinity stress. *BMC Plant Biology*, 23, Article 190. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04218-w>
27. Goka, M. G. L., Mensah, R. T., Dufrechou, M., Picouet, P., Karou, S. D., & Ameyapoh, Y. A. (2021). Importance socio-economique de la production et proprietes nutritionnelles de la tomate (*Solanum lycopersicum L.*) au togo: synthese

- bibliographique .Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, 23(3), 89-104.
28. Guo, M., Wang, X.-S., Guo, H.-D., Bai, S.-Y., Khan, A., Wang, X.-M., Gao, Y.-M., & Li, J.-S. (2022). Tomato salt tolerance mechanisms and their potential applications for fighting salinity : A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 949541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.949541>
 29. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Bhowmik, P. C., Hossain, M. A., Rahman, M. M., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643–9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
 30. Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M., & Kaid-Harche, M. (2008). Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*)
 31. Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. Bruxelles, Belgique : Editions De Boeck Supérieur.
 32. ITCMI. (2017). *Guide pratique la culture de la tomate sous serres*.
 33. Jiménez Bolaño, D. C., Insuasty, D., Rodríguez Macías, J. D., & Grande-Tovar, C. D. (2024). Potential Use of Tomato Peel, a Rich Source of Lycopene, for Cancer Treatment. *Molecules*, 29(13), 3079. <https://doi.org/10.3390/molecules29133079>
 34. Kalhor, N. A., Rajpar, I., Kalhor, S. A., Ali, A., Raza, S., Ahmed, M., Kalhor, F. A., Ramzan, M., & Wahid, F. (2016). Effect of salts stress on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 7(15), 2257–2271. <https://www.researchgate.net/publication/310386616>
 35. Kaya, C., Kirnak, H., & Higgs, D. (2001). Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of kinetin and IAA in salt-stressed wheat. *Plant Growth Regulation*, 34, 125–128.
 36. Khedr, A. H., Abbas, M. A., Wahid, A. A., Quick, W. P., & Abogadallah, G. M. (2003). Proline induces the expression of salt stress responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. to salt stress. *Journal of Experimental Botany*, 54(392), 2553–2562. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg277>
 37. Kochakinezhad, H., Peyvast, G., Asil, M. H., & Zarchini, M. (2012). A comparison of organic and chemical fertilizers for tomato production. *Journal of Organic Systems*, 7(2), 14–25.
 38. Kolev, N. (1976). *Les cultures maraichères en Algérie*. Tome 1, Ed: FAO, 210p.
 39. Laumonnir, R. (1979). *Cultures légumières et maraichères*. Tome 3, Ed : J-B Baillière, Paris, 240p.
 40. Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2007). Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.02.002>
 41. Maillard, J. (2001) - Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. *Handicap International*, 35p : 9-17 p.
 42. Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Abdelly, C., & Barbato, R. (2011). Salt stress induced physiological and proteomic changes in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 168(11), 1161–1171.

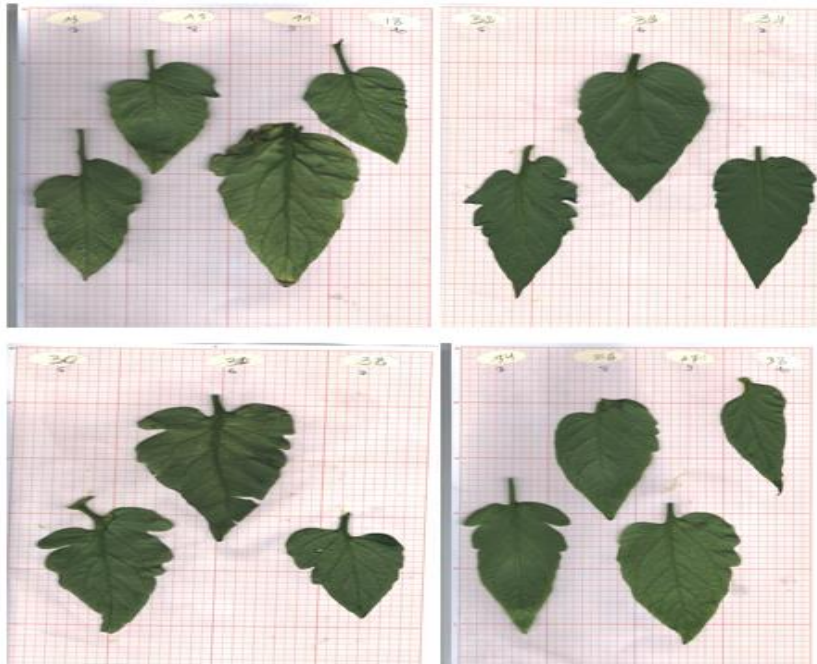
43. Marion, M. (2016). Réponse d'une plante pérenne aux stress abiotique et biotique, interaction entre sécheresse et oïdium de la vigne. 9_86p.
44. Mohamdi, M., Bouya, D., & Salem, A. (2011). Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5(3). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i3.72171>
45. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
46. Naamala, J., & Smith, D. L. (2021). Microbial derived compounds are a promising approach to mitigating salinity stress in agricultural crops. frontiers in microbiology, 12, 765320. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.765320>
47. Naika, S., Dam, B. van, & Florijn, A. (2005). La culture de la tomate : Production, transformation et commercialisation (5ième ed. révisée). Agromisa ; CTA.
48. Nicola, S., Tibaldi, G., & Fontana, E. (2009). TOMATO PRODUCTION SYSTEMS AND THEIR APPLICATION TO THE TROPICS. Acta Horticulturae, 821, 27-34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.821.1>
49. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3), 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06>
50. POLESE J.M., 2007. La culture de la tomate. Ed. Arthémis.95p.
51. Rafiq, M., Ali, M., Awan, S. I., & Basra, S. M. A. (2006). Morphobiochemical analysis of salinity stress response of wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture & Biology, 8(1), 126–128.
52. Ramade, S. (2003). Éléments d'écologie, Écologie fondamentale. 3eme édition, ed.
53. Romero-Aranda, R., Soria, T., & Cuartero, J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. Plant Science, 160(2), 265–272. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00386-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00386-5)
54. Roşca, M., Mihalache, G., & Stoleru, V. (2023). Tomato responses to salinity stress : From morphological traits to genetic changes. Frontiers in Plant Science, 14, 1118383. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118383>
55. Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, 9(7), 671–675.
56. Senousy, H. H., Gaber, A., & Taha, R. S. (2023). Algal bio-stimulants enhance salt tolerance in common bean: Dissecting morphological, physiological, and genetic mechanisms for stress adaptation. Plants, 12(21), 3714. [<https://doi.org/10.3390/plants12213714>]
57. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity : A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(2), 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
58. Sivakumar, J., Prashanth, J. E. P., Rajesh, N., Reddy, S. M., & Pinjari, O. B. (2020). Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-

- tolerant tomato germplasm at the seedling stage. *Journal of Biosciences*, 45, 141. <https://doi.org/10.1007/s12038-020-00094-4>
59. Sour, M. K., & Hatamian, M. (2019). Biochemical and morphological responses of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants to salinity stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(10), 1377–1389.
 60. Tanveer, K., Gilani, S., Hussain, Z., Ishaq, R., Adeel, M., & Ilyas, N. (2020). Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium. *Journal of Plant Nutrition*, 43(1), 28-35. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659324>
 61. Valimunzigha C.K., 2006 Etude de comportement physiologique et agronomique de la tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en réponse à un stress hydrique précoce. Université Catholique de Louvain.
 62. Verbruggen, N., et Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants : a review. *Amino Acids*, 35(4), 753–759. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6>
 63. Yeo, M. A., Koblai, K. H., & Koffi, E. K. (2022). Évaluation de l'influence du substrat sur des paramètres agro morphologiques et biochimiques de la tomate (*SolanumLycopersicumesculentum*) en culture hydroponique.
 64. Zeng, L., & Shannon, M. C. (2000). Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Science*, 40(4), 996–1003. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.404996x>
 65. Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.-O., & Rosenqvist, E. (2018). Salinity stress affects leaf development and photosynthetic capacity in tomato. *Scientia Horticulturae*, 240, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.061>
 66. Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66–71.
 67. Zribi, K., Fatma, G., Rejeb, S., Rejeb, M. N., & Zid, E. (2009). Analysis of salt tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using principal component analysis. *Agricultural Water Management*, 96(6), 807–816. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.10.005>
 68. Zribi, L., Gharbi, F., Rezgui, F., & Rejeb, S. (2007). Effets du stress salin sur la croissance et sur les mécanismes de photoprotection chez la tomate.

Annexes

Annexe 1. Échenillage des feuilles traité par eau saline et eau normale (Hayat F1)

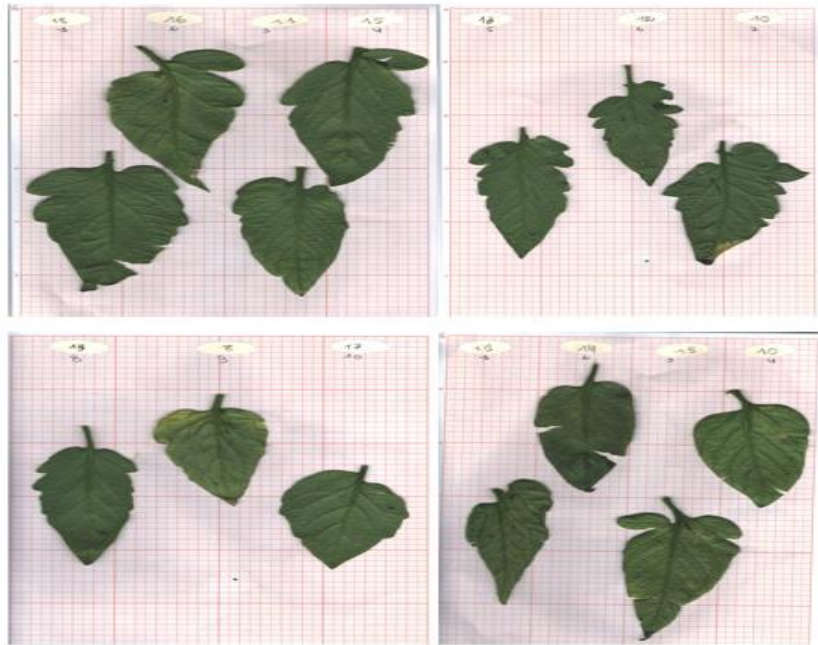
1_Hayat F1 (Témoin)



2_Hayat F1 (Concentration Moyenne)

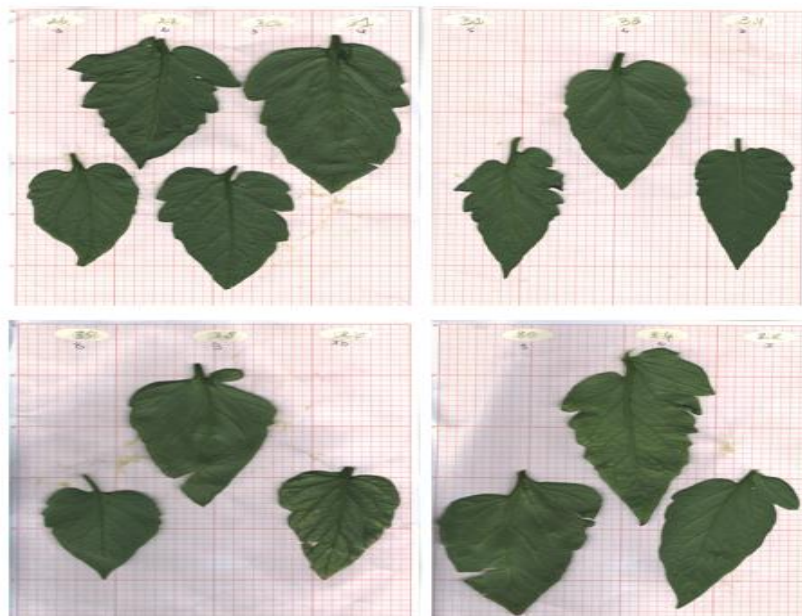


3_Hayat F1 (Concentration Fort)

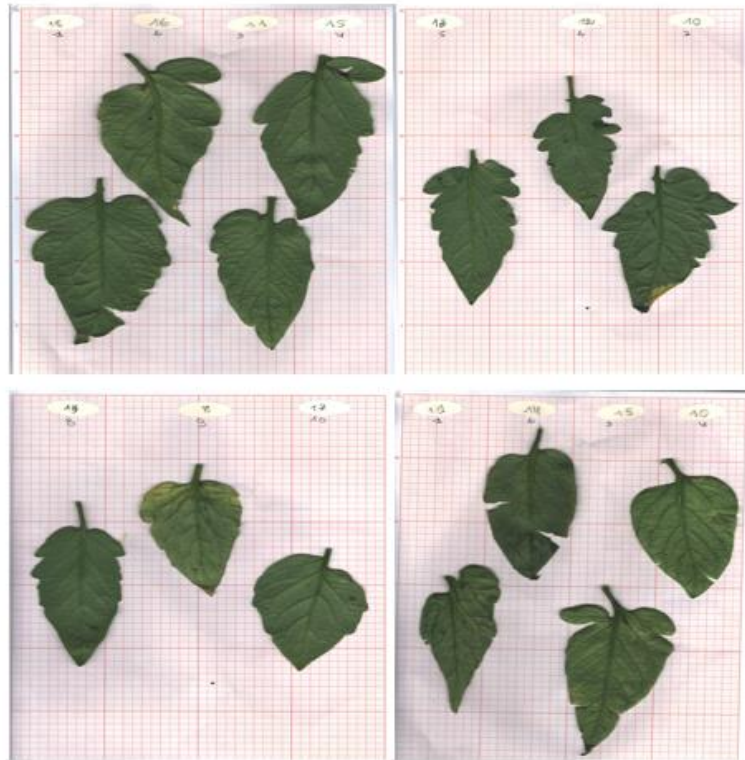


Annexe 2. Échenillage des feuilles traité par eau saline et eau normale (Tsarine F1)

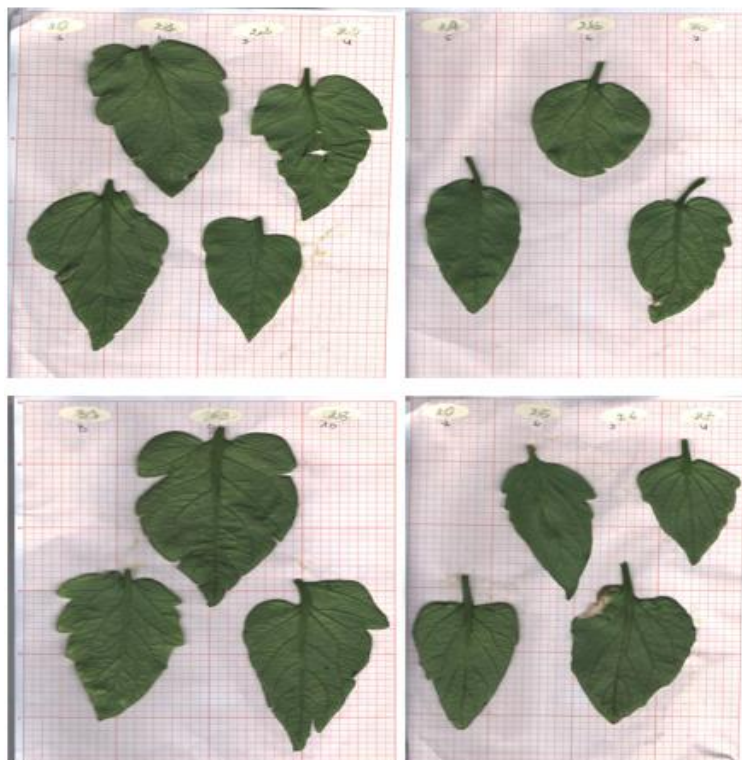
1_Tsarine F1(témoin)

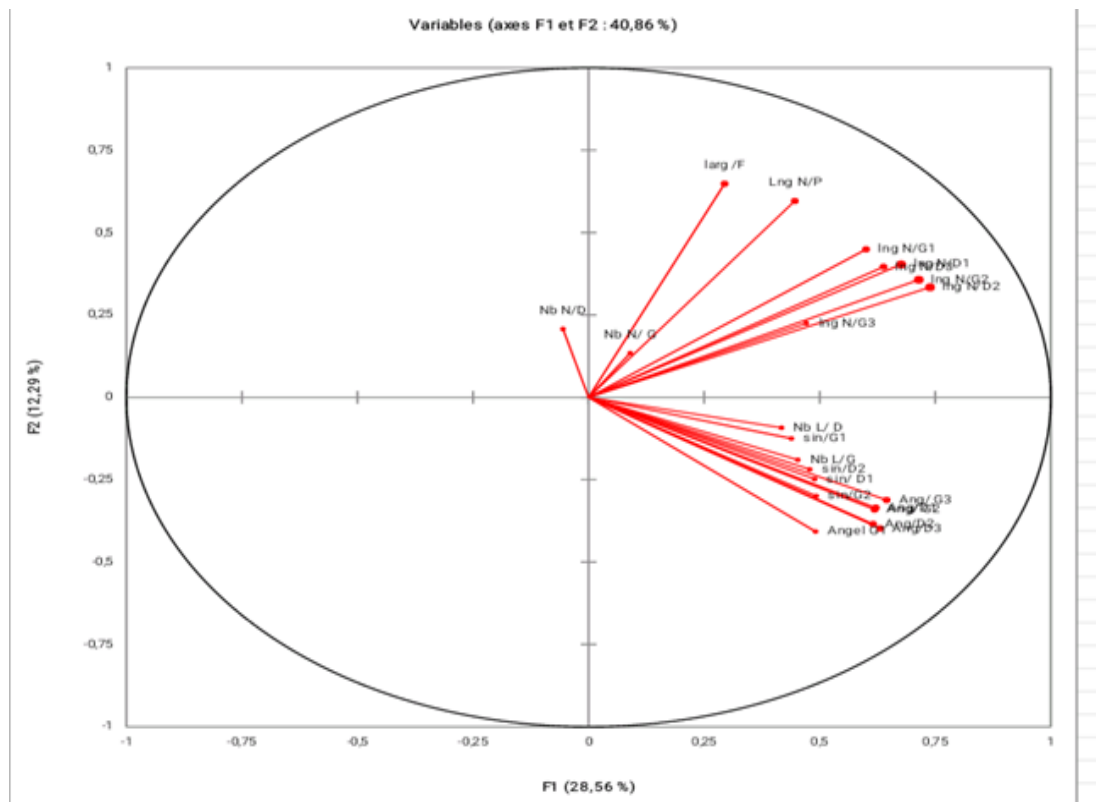


2_Tsarine F1 (concentration moyenne)



3_Tsarine F1 (Concentration fort)





Anex03 : Cercle de corrélation de la variété (Tsarine F1)

Résumé

ملخص

ملخص تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الإجهاد الملحي على الشكل الظاهري لأوراق صنفين من الطماطم *Solanum lycopersicum* L.، وهما: "Hayat F1" و "TsarineF1". تم تعريض النباتات لثلاثة مستويات من الري: ماء عادي (شاهد)، تركيز متوسط من كلوريد الصوديوم (50 ملي مول)، وتركيز مرتفع (100 ملي مول). تم إجراء القياسات المورفولوجية للأوراق بعد مسحها بجهاز المساح الضوئي (scanner)، باستخدام برنامج ImageJ، وذلك اعتمادًا على معايير شكلية مثل الطول، العرض، عدد العروق الثانوية، والزوايا، أظهرت التحاليل الإحصائية باستخدام ANOVA والتحليل المكون الرئيسي (ACP) وجود انخفاض ملحوظ في أبعاد الأوراق تحت تأثير الإجهاد الملحي. أظهر الصنف "Hayat F1" تغيرًا تدريجيًا في الشكل الظاهري، بينما أبدى الصنف "TsarineF1" استجابة أولية سريعة تلتها مرحلة من الاستقرار، مما يشير إلى وجود آلية محتملة للتأقلم مرتبطة بتراكم مركب البرولين. تسلط هذه النتائج الضوء على تأثير الملوحة على الصفات الشكلية للأوراق، كمؤشر جيد على أهمية اختيار الأصناف الملائمة لتحقيق زراعة مستدامة في البيئات المتأثرة بالملوحة.

الكلمات المفتاحية: طماطم، الملوحة، الشكل الظاهري، ANOVA، ACP

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'effet du stress salin sur la morphologie foliaire de deux variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), à savoir : Hayat F1 et Tsarine F1. Les plantes ont été soumises à trois niveaux d'irrigation : eau normal (témoin), concentration modérée en chlorure de sodium (50 mM) et concentration élevée (100 mM). Les mesures morphologiques des feuilles ont été effectuées après numérisation à l'aide d'un scanner et analysées avec le logiciel ImageJ, en se basant sur des critères tels que la longueur, la largeur, le nombre de nervures secondaires et les angles. Les analyses statistiques (ANOVA et ACP) ont révélé une réduction significative des dimensions foliaires sous l'effet du stress salin. La variété Hayat F1 a montré une modification progressive de la morphologie, tandis que la variété Tsarine F1 a présenté une réponse initiale rapide suivie d'une phase de stabilisation, suggérant un mécanisme d'adaptation potentiel lié à l'accumulation de proline. Ces résultats mettent en évidence l'impact de la salinité sur les caractères morphologiques des feuilles, en tant qu'indicateur pertinent pour le choix de variétés adaptées en vue d'une agriculture durable en milieux salins.

Mots-clés : Tomate, salinité, morphologie, ANOVA, ACP

Abstract

This study aims to evaluate the effect of salt stress on the leaf morphology of two tomato cultivars (*Solanum lycopersicum* L.), namely Hayat F1 and TsarineF1. Plants were subjected to three irrigation levels : normal water (control), moderate sodium chloride concentration (50 mM), and high concentration (100 mM). Leaf morphological measurements were conducted after scanning with a scanner, using ImageJ software, based on shape criteria such as length, width, number of secondary veins, and the angles. Statistical analyses (ANOVA and PCA) revealed a significant reduction in leaf dimensions under salt stress. The Hayat F1 cultivar exhibited a gradual morphological change, while TsarineF1 showed an initial sensitivity followed by a stabilization phase, suggesting a potential adaptation mechanism related to proline accumulation. These findings highlight the impact of salinity on leaf morphological traits, emphasizing their relevance as indicators for selecting suitable cultivars for sustainable agriculture in saline environments.

Keywords: Tomato, salinity, morphology, ANOVA, PCA



Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: / 2025	PV de soutenance N°: / 2025
Nom et prénom(en majuscule) de l'étudiant (e): QUACH MA RE MAI SSA	لقب و اسم الطالب (ة): وليد
La mention التقدير	Note(./20) العلامة
L'effet de stress salin sur les caractéristique morphologique des feuille de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	L'intitulé de mémoire المذكورة عنوان

Déclaration et décision de l'enseignant promoteur : تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

Je soussigné (e), **LAIA B. Ziane**,
(grade) **Prof.** à l'université
de **Biskra**, avoir examiné intégralement ce
memoire après les modifications apportées par l'étudiant.
J'atteste que :
* le document a été corrigé et il est conforme au model de
la forme du département SNV
* toutes les corrections ont été faites strictement aux
recommandations du jury.
* d'autres anomalies ont été corrigées

تصريح:
أنا الممضي (ة) أسفله **لايا ب. زيان** (الرتبة)
أستاذ بجامعة
أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة
وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه
أشهد بأن :
* المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم
الطبيعة والحياة.
* المذكرة صحيحة وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة
* تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة

Décision :

Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité
et de pourcentage des fautes linguistiques, Je décide que
ce mémoire doit être classé sous la catégorie

قرار:
اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج ، على نسبة الأخطاء اللغوية
وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة
:

acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جيد جدا	excellent ممتاز	exceptionnel متميز
E	D	C	B	A	A+



الأستاذ المشرف

[Signature]

التاريخ
2025 / 06 / 22

NB : Cette fiche doit être collée d'une façon personnelle derrière la page de garde sur les copies de mémoire déposées au
niveau de la bibliothèque universitaire



Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: / 2025	PV de soutenance N°: / 2025
Nom et prénom(en majuscule) de l'étudiant (e) : B.OUSSAGGA K. AOUTAR	
L'élève (nom) : BOUSSAGGA K. AOUTAR	
La mention (التقدير)	Note (20) (العلامة)
L'intitulé de mémoire (المذكورة عنوان) L'effet du stress Salin sur les caractéristiques morphologiques des feuilles de Tamarix (Salicornia peruviana L.)	

Déclaration et décision de l'enseignant promoteur : تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

Je soussigné (e), **L. A. A. M. Ziane**,
(grade) **prof.** à l'université
de **Biskra**, avoir examiné intégralement ce
mémoire après les modifications apportées par l'étudiant.
J'atteste que :
* le document a été corrigé et il est conforme au modèle de
la forme du département SNV
* toutes les corrections ont été faites strictement aux
recommandations du jury.
* d'autres anomalies ont été corrigées

تصريح :
أنا الممضي (ة) أسفله **ل. أ. أ. م. زيان**
(الرتبة) **أستاذ** بجامعة
بسكرة
أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة
وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه
أشهد بأن :
* المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم
الطبيعة والحياة.
* المذكرة صحيحة وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة
* تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة

Décision :

Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité
et de pourcentage des fautes linguistiques, Je décide que
ce mémoire doit être classé sous la catégorie

قرار :
اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج، على نسبة الأخطاء اللغوية
وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة

acceptable مقبول	ordinaire عادي	bien حسن	très bien جيد جدا	excellent ممتاز	exceptionnel متميز
E	D	C	B	A	A+



الأستاذ المشرف

[Signature]

التاريخ

2025 / 06 / 22

NB : Cette fiche doit être collée d'une façon permanente derrière la page de garde sur les copies de mémoire déposées au
niveau de la bibliothèque universitaire