الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Ref :……

Université El Moudjahid Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Thème :

Effet de la salinité sur le comportement morphologique et anatomique chez le poivron doux *Capsicum annuum* L.

Présenté par :

- **Rokia Torche**

Devant le jury :

Nom et Prénom: Doula Aicha	**Grade :MCB**	**Président**	**Affiliation :Univ- Mila**
Nom et Prénom: Zarafa chafia	**Grade:MAA**	**Examinateur**	**Affiliation :Univ- Mila**
Nom et Prénom :Bouassaba Karima	**Grade:MCA**	**Promoteur**	**Affiliation:Univ- Mila**

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier ALLAH, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force, la patience, le courage et la volonté d'accomplir ce travail.

J'exprime mes plus vifs remerciements et ma profonde gratitude à mon encadrante, Madame Bouassaba Karima, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Ses précieux conseils, sa disponibilité constante, sa rigueur scientifique et ses encouragements m'ont été d'une aide inestimable tout au long de la réalisation de ce modeste travail. Je la remercie pour le temps qu'elle m'a consacré et pour le partage de ses connaissances.

Je tiens également à exprimer mon profond respect et ma sincère gratitude à Madame Zarafa Chafia, pour m'avoir fait le grand honneur de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement à Madame Doula Aicha , pour avoir bien voulu examiner et évaluer ce travail en tant que membre du jury. Ses remarques et suggestions seront précieuses.

J'adresse également mes remerciements à l'ensemble des enseignants et au personnel du département qui ont contribué à ma formation tout au long de mon cursus universitaire.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration et à l'aboutissement de ce mémoire, trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Dédicaces

Tout d'abord, louanges à **ALLAH**, Le Tout-Puissant et Le Miséricordieux, qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ce parcours. Il m'a accordé la santé, le courage et la volonté pour mener à bien ce travail et m'a inspiré les bons pas ainsi que les justes réflexes. Sans Sa grâce et Sa miséricorde, cet accomplissement n'aurait jamais abouti.

Je dédie ce modeste travail :

À mon très cher père, **Hocine**,

Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude pour tous les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma réussite. Tu as toujours été mon modèle de persévérance et de sagesse. Merci pour ton soutien inconditionnel, tes précieux conseils et la confiance absolue que tu m'as toujours accordée. Que Dieu te préserve et t'accorde santé et longue vie.

À ma très chère mère, **Soumia**,

La source de ma motivation et le véritable pilier de ma vie. Merci pour ton amour infini, ta tendresse inépuisable, tes prières bienveillantes et tes encouragements continus qui m'ont toujours donné la force d'avancer, même dans les moments les plus difficiles. Ce succès est le tien autant que le mien. Que Dieu te comble de bonheur et veille sur toi.

À mes chères sœurs, **Rawia, Afaf et Hadjer**,

Pour votre affection sincère, votre soutien moral indéfectible et votre présence réconfortante à mes côtés. Vous avez su partager mes joies et apaiser mes doutes. Vous êtes ma fierté et mon refuge.

À mon cher frère, **Youcef**,

Avec toute mon affection, ma profonde reconnaissance et mon respect. Merci d'être une présence rassurante et de m'avoir soutenu tout au long de ce chemin. Que notre lien fraternel se renforce chaque jour davantage.

À mes adorables neveux et nièces,

Belkiss, Adem, Safwan, Ibrahim et Baraa,

Vous êtes les rayons de soleil qui illuminent notre quotidien. Votre innocence et vos sourires apportent une joie et un bonheur inestimables à ma vie. Que votre avenir soit rempli de succès et de lumière.

Enfin, à toute ma famille, mes amis, et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire et dont les noms ne figurent pas sur cette page, je vous adresse ma plus sincère reconnaissance.

Table des matières

Introduction : 1

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique sur le Poivron Super Marconi 3

1. Généralités sur le poivron (*Capsicum annuum* L. var. Super Marconi) 4

1.1. Présentation botanique 4

1.1.1. Position systématique 4

1.1.2. Description morphologique de la variété Super Marconi 4

1.1.3. Origine, répartition et écologie 5

1.2. Valeur nutritionnelle et utilisations 6

12.1. Un profil nutritionnel exceptionnel 6

1.2.2. Utilisations culinaires 6

1.3. Importance économique et agronomique 6

1.3.1. Place de la culture en Algérie 6

1.3.2. Vulnérabilité agronomique au sel 7

2. Composition phytochimique du poivron (var. Super Marconi) 8

2.1. Les métabolites primaires 8

2.1.1. Glucides, lipides et protéines 8

2.1.2. Dynamique des pigments photosynthétiques 8

2.2. Les métabolites secondaires 9

2.2.1. Les caroténoïdes et la Vitamine C 9

2.2.2. Composés phénoliques et flavonoïdes 10

2.2.3. Les capsaïcinoïdes : le paradoxe du poivron doux 10

2.3. Évaluation de l'activité antioxydante 10

3. Le stress salin chez le poivron 10

3.1. La problématique de la salinité en agriculture maraîchère 10

3.2. Mécanismes d'action du stress salin chez *Capsicum annuum* 11

3.2.1. Le stress osmotique (Phase précoce) 11

3.2.2. Le stress ionique (Phase tardive) 11

3.2.3. Le stress oxydatif (Conséquence métabolique) 12

3.3. Réponses et mécanismes d'adaptation du cultivar Super Marconi 12

4. Effet du stress salin sur la phytochimie 14

4.1. Altération des métabolites primaires 14

4.1.1. Dégradation des pigments photosynthétiques 14
4.1.2. Effet sur les protéines et accumulation de proline 14
4.2. Modulation des métabolites secondaires 14
4.2.1. Stimulation de la voie des polyphénols 14
4.2.2. Réponse des caroténoïdes et de la Vitamine C 15
4.3. Amplification du potentiel antioxydant global 15
5. Études antérieures et synthèse bibliographique 15
5.1. Études sur la germination et la morphologie 15
5.2. Impacts physiologiques et anatomiques rapportés 15
5.3. Réponses phytochimiques dans la littérature 16
Chapitre 2 — Matériels et Méthodes 18
Matériels et Méthodes 19
1. Objectif de l'étude 19
2. Matériel végétal 19
3. Concentrations salines utilisées 19
4. Préparation des solutions salines 19
5. Plantes, substrat et conditions de culture 20
5.1. Mise en place des plants 20
5.2. Conditions environnementales 21
5.3. Programme d'arrosage (cycle sur 2 mois) 21
6. Récolte et mesures morphométriques 22
6.1. Longueur de la tige 22
6.2. Longueur des racines 22
6.3. Nombre de feuilles 22
7. Étude anatomique 22
7.1. Préparation des coupes 22
7.2. Traitement préliminaire 23
7.3. Double coloration 23
7.4. Montage et observation 23
Chapitre 3 — Résultats et Discussion 25
Résultats et Discussion : 26
1. Résultats morphologiques 26

1.2. Nombre de feuilles (NF) 28
1.3. Longueur des racines (LR) 28
2. Effet de la salinité sur l'anatomie de la tige 30
2.1. Épaisseur de l'Épiderme (Epi) 32
2.2. Épaisseur de l'Exoderme et de l'Endoderme (EXO+ENDO) 32
2.3. Épaisseur du Péricycle (Pery) 33
2.4. Complexe Xylème et Phloème (Xyl+Phol) 33
2.5. Cylindre Vasculaire (VC) 34
5. Discussion : 35
5.1. Effets sur les paramètres morphologiques 35
5.2. Effets sur le tissu anatomique des tiges 35
6. Synthèse comparative 36
Conclusion 37
Conclusion : 38

Listes Des Figures

Figure 1 : Photographie annotée d'un plant de poivron variété Super Marconi en pleine phase de fructification (montrant les fruits pendants allongés). (1) 5
Figure 2 : Composition nutritionnelle du poivron doux (Super Marconi). (Source : données USDA). 6
Figure 3 : Diminution théorique de la biomasse en fonction du sel (NaCl). ((d'après Daneshmand et al., 2010 ; Penella et al., 2016).) 7
Figure 4 : Évolution pigmentaire lors de la maturation du fruit. ((d'après Gómez-García & Ochoa-Alejo, 2013). 9
Figure 5 : Structures chimiques des principaux antioxydants du poivron doux (acide ascorbique, β-carotène, capsanthine). (d'après Topuz & Ozdemir, 2007). 9
Figure 6 : Schéma conceptuel du blocage de l'absorption d'eau au niveau des poils absorbants de la racine sous l'effet du gradient osmotique induit par les ions Na^+ et Cl^-. Daneshmand et al. (2010) et Penella et al. 11
Figure 7 : Voie de production des ROS dans le chloroplaste d'une feuille de poivron lors d'une exposition au stress salin (schéma de la peroxydation lipidique).(2) 12
Figure 8 : Coupes transversales au niveau de la tige chez les deux variétés de piment (Capsicum annuum L.) La comparaison des coupes anatomiques réalisées au niveau des tiges de piment (Capsicum annuum L.) des plantes témoins et stressées montre que la tige des plantes témoins est constituée de deux zones: l'écorce et le cylindre centrale . (European Scientific Journal May 2018 edition Vol.14, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431) 13
Figure 9 : Jeunes plants de Capsicum annuum L . au moment de la mise en place dans les pots (diamètre 13 cm). 20
Figure 10 : Dispositif expérimental : plants de Capsicum annuum L. soumis aux cinq traitements salin (C0 : 0 g/l — C4 : 15 g/l NaCl) dans les conditions de laboratoire, après deux mois de traitement. ..21
Figure 11 : Plants de Capsicum annuum L. des différents traitements salin (C1 : 2,5 g/l — C4 : 15 g/l NaCl) étalés sur papier millimétré pour la mesure de la longueur de la tige et des racines. 22
Figure 12 : Coupes transversales de tiges de Capsicum annuum L. après double coloration (Vert de méthyle et Rouge Congo), montées en boîtes de Pétri, prêtes pour l'observation microscopique. 23
Figure 13 : Coupes transversales fraîches de tige de Capsicum annuum L. pour les cinq traitements salin (C0 : 0 g/l — C1 : 2,5 g/l — C2 : 5 g/l — C3 : 10 g/l — C4 : 15 g/l NaCl), déposées dans des boîtes de Pétri et sur lames porte-objet, avant coloration. 24
Figure 14 : : Aspect morphologique global des plants de poivron (Capsicum annuum L., cv. Super Marconi) en fin d'expérimentation, soumis à différentes concentrations de stress salin (C0 = 0 g/l, C1 = 2,5 g/l, C3 = 10 g/l et C4 = 15 g/l). 26
Figure 15 : Longueur moyenne de la tige de Capsicum annuum L. 27
Figure 16 : Nombre moyen de feuilles de Capsicum annuum L. 28
Figure 17 : Longueur moyenne des racines de Capsicum annuum L. 29
Figure 18 : Coupes transversales au niveau de la tige (×40) poivron doux (Capsicum annuum L. var. Super Marconi). 30
Figure 19 : Histogramme de la variation de l'épaisseur de l'épiderme 32
Figure 20 : Histogramme de la variation de l'épaisseur de l'exoderme et de l'endoderme 33
Figure 21 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du péricycle 33

Figure 22 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du complexe xylème-phloème 34
Figure 23 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du cylindre vasculaire.....35

Listes Des Figures

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques moyennes du fruit de la variété Super Marconi. 5
Tableau 2 : Évolution estimée de la production de poivron en Algérie. ((Source : FAOSTAT et MADR).) 7
Tableau 3 : Composition biochimique primaire des fruits de Capsicum annuum L. var. Super Marconi...... 8
Tableau 4 : Teneurs comparatives en polyphénols totaux et flavonoïdes dans le poivron doux. 10
Tableau 5 : Comparaison du ratio K^+/Na^+ dans les feuilles de poivrons sous stress salin. 12
Tableau 6 : Évolution théorique des antioxydants phénoliques sous stress salin. 14
Tableau 7 : Synthèse des modifications anatomiques caulinaires sous stress salin chez le poivron...... 16
Tableau 8 : Études mondiales sur le poivron doux sous stress salin. 17
Tableau 9 : Dispositif expérimental de la variété Super Marconi..... 20

Liste des Abréviations :

- **ABA : Acide Abscissique**
- **AIA : Acide Indole-3-Acétique**
- **ANOVA : Analyse de Variance (Analysis of Variance)**
- **APX : Ascorbate Peroxydase**
- **CAT : Catalase**
- **cv. : Cultivar**
- **DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (Test d'activité antioxydante)**
- **ENDO : Endoderme (Cortex interne)**
- **Epi : Épiderme**
- **ERO / ROS : Espèces Réactives de l'Oxygène / Reactive Oxygen Species**
- **EXO : Exoderme (Cortex externe)**
- **FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization)**
- **g/l : Gramme par litre**
- **ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles**
- **LR : Longueur des Racines**
- **LT : Longueur de la Tige**
- **MF : Matière Fraîche**
- **mM : Millimolaire**
- **MS : Matière Sèche**
- **NaCl : Chlorure de Sodium**
- **NF : Nombre de Feuilles**
- **PAL : Phénylalanine Ammonia-Lyase**
- **Pery : Péricycle**
- **SOD : Superoxyde Dismutase**
- **var. : Variété**
- **VC : Cylindre Vasculaire**
- **Xyl+Phol : Complexe Xylème et Phloème**

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du stress salin induit par différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) (allant de 0 à 15 g/l) sur les paramètres morphologiques et anatomiques du poivron doux (*Capsicum annuum* L., variété 'Super Marconi') au stade de plantule. Les résultats morphologiques montrent une réduction significative et progressive de la longueur de la tige et du nombre de feuilles proportionnelle à l'augmentation de la salinité.

En revanche, la longueur des racines présente une légère augmentation à faible concentration saline (2,5 g/l), reflétant une stratégie d'adaptation au déficit osmotique, avant de chuter aux fortes doses. Sur le plan anatomique, les coupes transversales de la tige révèlent une diminution de l'épaisseur de l'épiderme, du cortex externe (exoderme) et des vaisseaux conducteurs, accompagnée d'une hypertrophie compensatoire du cortex interne (endoderme) agissant comme barrière protectrice. Aux fortes concentrations, des nécroses cellulaires apparaissent.

En conclusion, la variété 'Super Marconi' se montre modérément sensible à la salinité, tolérant des doses allant jusqu'à 5 g/l de NaCl, seuil au-delà duquel des dommages structuraux et morphologiques sévères compromettent sa croissance.

Mots-clés : *Capsicum annuum* L., variété 'Super Marconi', stress salin, NaCl, morphologie, anatomie de la tige, tolérance.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الإجهاد الملحي الناجم عن تركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (NaCl) (تتراوح من 0 إلى 15 جم/لتر) على المعايير المورفولوجية والتشريحية لنبات الفلفل الحلو. *Capsicum annuum* L) ، صنف ' Super Marconi

في مرحلة الشتلة. أظهرت النتائج المورفولوجية انخفاضاً معنوياً وتدريجياً في طول الساق وعدد الأوراق يتناسب مع زيادة الملوحة.

في المقابل، سجل طول الجذور زيادة طفيفة عند التركيز الملحي المنخفض (2.5 جم/لتر)، مما يعكس استراتيجية تكيفية مع النقص الأسموزي، قبل أن ينخفض بشكل حاد عند الجرعات العالية. على المستوى التشريحي، كشفت المقاطع العرضية للساق عن انخفاض في سمك البشرة، والقشرة الخارجية، والأوعية الناقلة، مصحوباً بزيادة تعويضية في سمك القشرة الداخلية لتكون بمثابة حاجز وقائي.

عند التركيزات العالية، لوحظ ظهور تنخر خلوي وفقدان للمسافات البينية. في الختام، يظهر الصنف 'Super Marconi' حساسية معتدلة للملوحة، حيث يمكنه تحمل تركيزات تصل إلى 5 جم/لتر من كلوريد الصوديوم، وهو الحد الذي تتجاوزه الأضرار الهيكلية والمورفولوجية الشديدة التي تعيق نمو النبات.

الكلمات المفتاحية.*Capsicum annuum* L **:**، صنف'Super Marconi' ، الإجهاد الملحي، كلوريد الصوديوم، المورفولوجيا، تشريح الساق، التحمل.

Abstract :

The objective of this study is to evaluate the impact of salt stress induced by different concentrations of sodium chloride (NaCl) (ranging from 0 to 15 g/l) on the morphological and anatomical parameters of sweet pepper (*Capsicum annuum* L., 'Super Marconi' variety) at the seedling stage. The morphological results show a significant and progressive reduction in stem length and leaf number proportional to the increase in salinity.

Conversely, root length exhibited a slight increase at a low saline concentration (2.5 g/l), reflecting an adaptive strategy to osmotic deficit, before declining at higher doses. Anatomically, stem cross-sections revealed a decrease in the thickness of the epidermis, outer cortex (exodermis), and vascular tissues, accompanied by a compensatory hypertrophy of the inner cortex (endodermis) acting as a protective barrier.

Tissue necrosis and loss of intercellular spaces appeared at higher concentrations. In conclusion, the 'Super Marconi' variety is moderately sensitive to salinity, tolerating doses up to 5 g/l of NaCl, beyond which severe structural and morphological damages compromise its growth.

Keywords: *Capsicum annuum* L., 'Super Marconi' variety, salt stress, NaCl, morphology, stem anatomy, tolerance.

Introduction :

La salinité des sols représente l'une des contraintes abiotiques les plus répandues et les plus dommageables pour l'agriculture mondiale. On estime que plus de 800 millions d'hectares de terres cultivables sont affectés par la salinisation à l'échelle planétaire, un chiffre qui ne cesse de croître sous l'effet conjugué des pratiques d'irrigation intensive, du changement climatique et de la dégradation des terres (FAO, 2021). Dans les régions arides et semi-arides, dont l'Algérie fait partie, ce phénomène constitue une menace directe pour la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes agricoles.

Face à cette réalité, les cultures maraîchères se trouvent en première ligne. Parmi elles, le poivron (*Capsicum annuum* L.) occupe une place de choix en raison de son importance économique, nutritionnelle et thérapeutique. Avec une production mondiale dépassant 40 millions de tonnes par an (FAOSTAT, 2023), il s'impose comme l'une des cultures légumières les plus cultivées sur tous les continents. Sa richesse en métabolites bioactifs — capsaïcinoïdes, caroténoïdes, composés phénoliques, acide ascorbique — lui confère des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et pharmacologiques reconnues (Reyes-Escogido et al., 2011 ; Wahyuni et al., 2011).

Cependant, *Capsicum annuum* est classé parmi les plantes glycophytes, c'est-à-dire sensibles aux concentrations élevées de sel. Le stress salin altère profondément sa croissance, sa physiologie et sa composition biochimique, compromettant ainsi la qualité et le rendement de la production (Munns & Tester, 2008). La compréhension des mécanismes par lesquels cette plante répond aux contraintes salines, en particulier sur le plan de sa composition phytochimique, représente donc un enjeu scientifique et agronomique de premier ordre.

Le choix de la variété 'Super Marconi' de *Capsicum annuum* comme modèle d'étude dans ce travail est motivé par plusieurs raisons. D'une part, son profil métabolique secondaire est particulièrement diversifié et bien documenté dans la littérature scientifique récente. D'autre part, sa sensibilité établie au stress salin en fait un sujet d'étude pertinent pour analyser les réponses biochimiques adaptatives aux stress ionique et osmotique. Enfin, sa valeur économique en Algérie — notamment dans les wilayas du Nord et dans les périmètres irrigués — justifie pleinement une investigation approfondie de ses réponses aux conditions de culture difficiles.

Ce mémoire de fin d'études a pour objectif général d'analyser l'effet de différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) sur la composition phytochimique du poivron (*Capsicum annuum* L., variété 'Super Marconi'), en s'appuyant sur une revue bibliographique exhaustive des travaux récents (2010–2025). Plus spécifiquement, il vise à : (1) décrire les principales caractéristiques botaniques,

écologiques et économiques de *Capsicum annuum* ; (2) inventorier les métabolites primaires et secondaires du poivron et les méthodes de leur analyse ; (3) caractériser le stress salin, ses types, ses effets et les mécanismes de tolérance développés par les plantes ; (4) analyser l'impact du stress salin sur la phytochimie des plantes maraîchères, avec un focus sur le poivron ; et (5) synthétiser les études antérieures portant spécifiquement sur *Capsicum annuum* (notamment la variété 'Super Marconi') sous stress salin.

Ce travail est organisé en cinq chapitres successifs, articulés autour d'une problématique centrale : dans quelle mesure les concentrations croissantes de NaCl modifient-elles le profil phytochimique et l'activité antioxydante de *Capsicum annuum* L. ? La conclusion de la partie théorique formule les hypothèses de travail qui guideront la démarche expérimentale.

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique sur le Poivron Super Marconi

1. Généralités sur le poivron (*Capsicum annuum* L. var. Super Marconi)

1.1. Présentation botanique

1.1.1. Position systématique

Capsicum annuum L. est une espèce végétale d'importance économique majeure, appartenant à la vaste famille des Solanaceae (tout comme la tomate, l'aubergine ou la pomme de terre). Au sein de cette famille, le genre *Capsicum* se décline en de multiples variétés cultivées, parmi lesquelles figure la variété **Super Marconi**. Ce cultivar de poivron doux est particulièrement apprécié dans le bassin méditerranéen pour sa forme allongée caractéristique et ses indéniables qualités organoleptiques.

La position systématique s'établit comme suit :

Règne : Plantae Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : Capsicum

Espèce : Capsicum annuum L.

1.1.2. Description morphologique de la variété Super Marconi

Le cultivar **Super Marconi** se distingue par un port buissonnant et vigoureux, atteignant généralement 60 à 80 cm de hauteur. Ses feuilles, d'un vert profond, offrent une généreuse surface photosynthétique. Les fleurs, souvent blanches, solitaires et à corolle pentamère, donnent naissance à des fruits très reconnaissables : ils sont très allongés (souvent entre 20 et 25 cm de long), légèrement coniques et côtelés. Le péricarpe de ce poivron est relativement fin, mais croquant. À maturité, le fruit passe d'un vert brillant à un rouge intense.

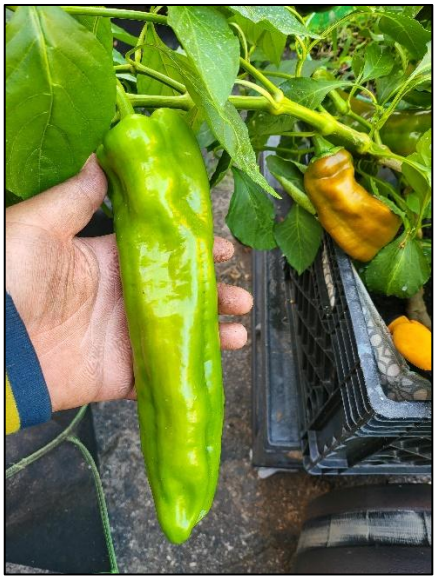


Figure 1 : Photographie annotée d'un plant de poivron variété Super Marconi en pleine phase de fructification (montrant les fruits pendants allongés). (1)

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques moyennes du fruit de la variété Super Marconi.

Paramètre	Valeur moyenne
Longueur du fruit	20 - 25 cm
Diamètre équatorial	4 - 6 cm
Épaisseur du péricarpe	3 - 5 mm
Poids moyen du fruit frais	100 - 150 g
Forme	Allongée, conique, lobée
Couleur à maturité	Rouge intense

1.1.3. Origine, répartition et écologie

Originaire d'Amérique centrale et du Sud, le poivron a été largement diffusé à travers le monde. La variété **Super Marconi** est une culture thermophile typique, exigeant des températures idéales comprises entre 20 et 25 °C pour une floraison et une nouaison optimales. Elle prospère dans des sols bien drainés, meubles et riches en matière organique. Cependant, à l'instar de nombreux autres cultivars de *Capsicum annuum*, le Super Marconi présente une grande vulnérabilité face aux stress abiotiques, notamment la salinité des sols, qui constitue un frein majeur à son développement dans les zones semi-arides.

1.2. Valeur nutritionnelle et utilisations

12.1. Un profil nutritionnel exceptionnel

La variété Super Marconi est très prisée en gastronomie pour sa chair douce et sucrée, caractérisée par l'absence quasi totale de capsaïcine (pungence très faible). Ce fruit est gorgé d'eau, de fibres, de vitamines (particulièrement la vitamine C, dont la concentration est maximale au stade rouge) et d'antioxydants naturels tels que les caroténoïdes (qui lui donnent sa couleur) et les polyphénols.

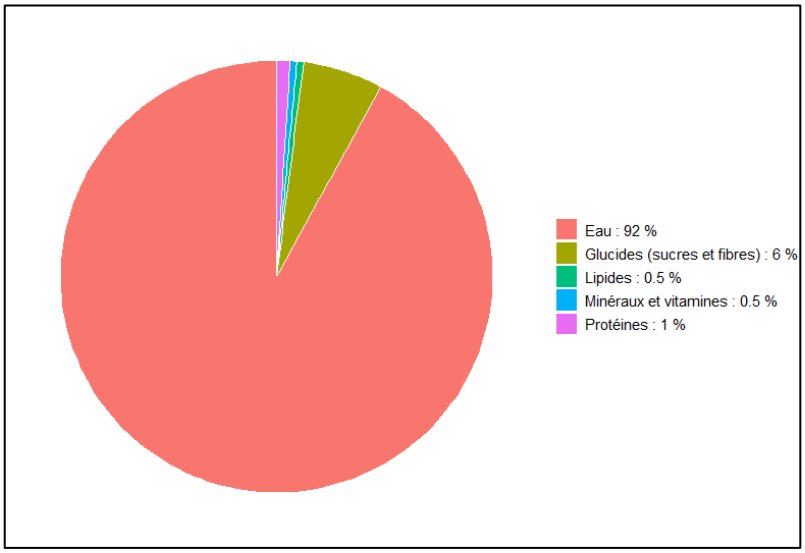


Figure 2 : Composition nutritionnelle du poivron doux (Super Marconi). (Source : données USDA).

1.2.2. Utilisations culinaires

Grâce à sa forme allongée et à sa saveur douce, le Super Marconi se prête à de multiples usages culinaires : consommé frais en salades, il est également excellent grillé, confit ou farci. Il est par ailleurs très utilisé par l'industrie de transformation pour la confection de conserves ou de coulis doux.

1.3. Importance économique et agronomique

1.3.1. Place de la culture en Algérie

La culture du poivron, et tout particulièrement des variétés douces allongées de type Marconi, occupe une place stratégique dans le maraîchage algérien. Que ce soit en culture de plein champ ou sous serre (plasticulture), cette spéculation génère des revenus considérables pour les agriculteurs.

Tableau 2 : Évolution estimée de la production de poivron en Algérie. ((Source : FAOSTAT et MADR).)

Année	Surface cultivée (ha)	Production (Tonnes)	Rendement (q/ha)
2019	~60 000	~450 000	~75
2020	~62 000	~470 000	~76
2021	~65 000	~490 000	~75
2022	~66 000	~500 000	~76
2023	~68 000	~520 000	~76

1.3.2. Vulnérabilité agronomique au sel

Malgré son fort potentiel économique, la culture du poivron Super Marconi est entravée par sa nature de plante glycophyte. Des concentrations salines (NaCl) dans l'eau d'irrigation dépassant 50 mM suffisent à réduire drastiquement sa germination, le développement de sa biomasse foliaire et racinaire, ainsi que le rendement et la qualité de ses fruits (Daneshmand et al., 2010 ; Penella et al., 2016).

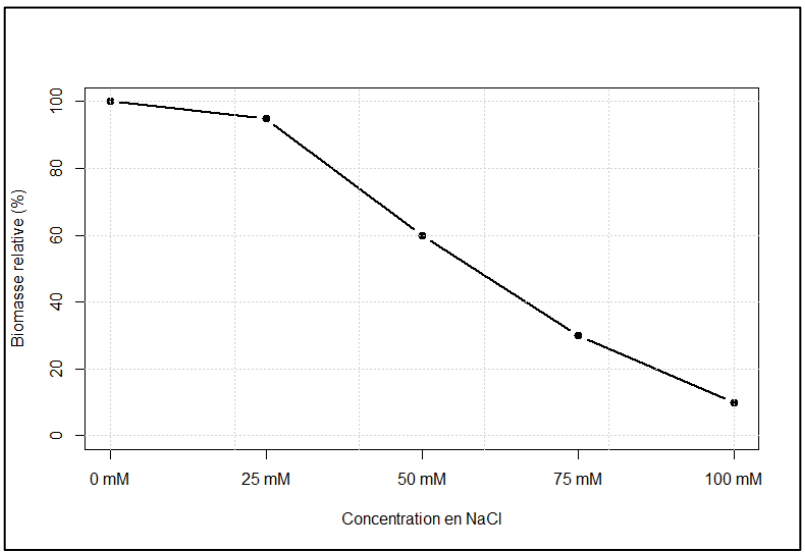


Figure 3 : Diminution théorique de la biomasse en fonction du sel (NaCl). ((d'après Daneshmand et al., 2010 ; Penella et al., 2016).)

2. Composition phytochimique du poivron (var. Super Marconi)

2.1. Les métabolites primaires

2.1.1. Glucides, lipides et protéines

La variété **Super Marconi**, en tant que poivron doux, se caractérise par une forte accumulation de sucres solubles (glucose et fructose) au cours de sa maturation. Ces glucides confèrent au fruit sa saveur sucrée si prisée et représentent la fraction majeure de sa matière sèche organique. Les lipides et les protéines y sont présents en proportions plus modestes (respectivement ~0,5 % et 1 à 2 % de la masse fraîche). Les protéines incluent toutefois un grand nombre d'enzymes fondamentales pour la physiologie et la défense de la plante, à l'image de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL), de la superoxyde dismutase (SOD) et de la catalase (CAT).

Tableau 3 : Composition biochimique primaire des fruits de Capsicum annuum L. var. Super Marconi.

Composant	Stade Vert	Stade Rouge
Sucres solubles (g/100g MF)	3,5	5,8
Protéines (g/100g MF)	1,2	1,5
Lipides (g/100g MF)	0,3	0,4
Vitamine C (mg/100g MF)	80	160

2.1.2. Dynamique des pigments photosynthétiques

Chez le Super Marconi, le passage du fruit vert au fruit rouge est marqué par un bouleversement pigmentaire spectaculaire. Les chlorophylles a et b, responsables de la couleur verte initiale, sont progressivement dégradées (action de la chlorophyllase). Ce processus s'accompagne d'une néosynthèse massive de caroténoïdes colorés. Dans les feuilles, le maintien d'un bon équilibre (rapport chlorophylle a/b) est crucial pour garantir une photosynthèse optimale, et toute baisse brutale de ce rapport constitue un biomarqueur de stress.

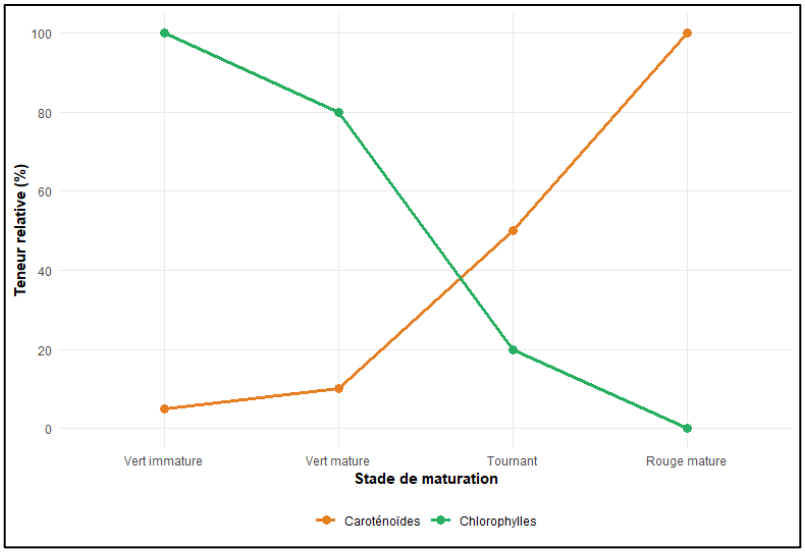


Figure 4 : Évolution pigmentaire lors de la maturation du fruit. ((d'après Gómez-García & Ochoa-Alejo, 2013).

2.2. Les métabolites secondaires

2.2.1. Les caroténoïdes et la Vitamine C

Le cultivar Super Marconi est un excellent pourvoyeur de métabolites secondaires antioxydants. À pleine maturité (stade rouge), ses fruits allongés accumulent de grandes quantités de pigments spécifiques au genre *Capsicum*, tels que la **capsanthine** et la **capsorubine**, ainsi que du **β-carotène**.

En outre, le Super Marconi est exceptionnellement riche en acide ascorbique (**vitamine C**), atteignant des teneurs bien supérieures à celles des agrumes. Ces composés jouent un rôle physiologique crucial de détoxification des radicaux libres.

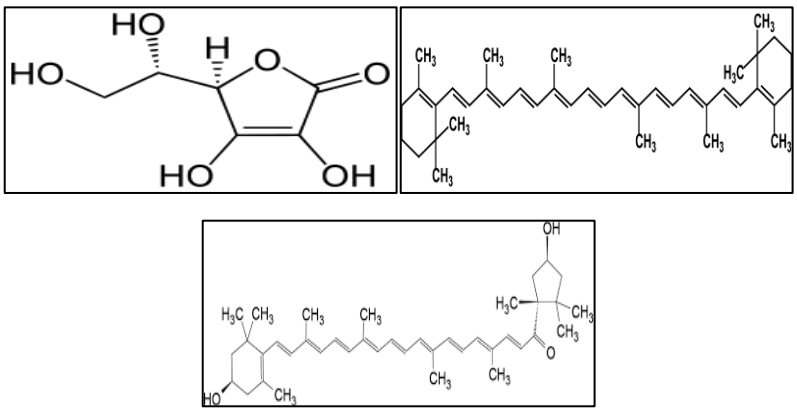


Figure 5 : Structures chimiques des principaux antioxydants du poivron doux (acide ascorbique, β-carotène, capsanthine). (d'après Topuz & Ozdemir, 2007).

2.2.2. Composés phénoliques et flavonoïdes

La variété Super Marconi renferme également une belle diversité de composés phénoliques, notamment l'acide chlorogénique et des dérivés flavonoliques (quercétine, lutéoline). La biosynthèse de ces polyphénols transite par la voie des phénylpropanoïdes, contrôlée par l'enzyme PAL. Il est scientifiquement prouvé que l'activité de cette voie métabolique est souvent stimulée en réponse aux agressions abiotiques comme la salinité, afin de renforcer les boucliers cellulaires.

Tableau 4 : Teneurs comparatives en polyphénols totaux et flavonoïdes dans le poivron doux.

Composés (mg EAG/100g)	Poivron Vert	Poivron Jaune	Poivron Rouge (Super Marconi)
Polyphénols totaux	120	150	180 - 220
Flavonoïdes	45	60	80 - 100

2.2.3. Les capsaïcinoïdes : le paradoxe du poivron doux

Contrairement aux piments forts, la variété **Super Marconi** est un poivron dit "doux" (sweet pepper). De ce fait, sa teneur en capsaïcine et en dihydrocapsaïcine (les molécules responsables de la saveur piquante/pungente) est extrêmement faible, voire virtuellement nulle. Au cours de la sélection de cette variété, l'expression de l'enzyme capsaïcine synthase (CS) dans le placenta du fruit a été fortement inhibée, privilégiant ainsi la douceur de la chair.

2.3. Évaluation de l'activité antioxydante

De par l'abondance de sa vitamine C, de ses polyphénols et de ses caroténoïdes, les extraits de la variété Super Marconi présentent un fort pouvoir antioxydant. Cette capacité de piégeage des espèces réactives de l'oxygène (ROS) est couramment mesurée en laboratoire par des méthodes spectrophotométriques validées, telles que le test au radical libre **DPPH** ou le test **ABTS**.

3. Le stress salin chez le poivron

3.1. La problématique de la salinité en agriculture maraîchère

Le stress salin survient lorsque l'accumulation de sels solubles (majoritairement le chlorure de sodium, NaCl) dans la rhizosphère dépasse le seuil de tolérance de la plante. En Algérie, l'irrigation avec des eaux chargées en minéraux et l'évaporation intense dans les régions maraîchères (telles que les zones côtières ou les serres du sud) aggravent le phénomène de salinisation secondaire des sols. Le poivron,

et plus spécifiquement la variété **Super Marconi**, y est particulièrement vulnérable en raison de sa classification agronomique en tant que plante glycophyte sensible.

3.2. Mécanismes d'action du stress salin chez *Capsicum annuum*

L'agression saline s'articule autour de trois composantes majeures qui affectent drastiquement les cultures de poivrons doux :

3.2.1. Le stress osmotique (Phase précoce)

L'excès de sel dans le sol diminue fortement le potentiel hydrique, ce qui empêche les racines du poivron **Super Marconi** de prélever l'eau nécessaire à sa turgescence. Cela engendre une déshydratation tissulaire immédiate, une fermeture rapide des stomates (pour limiter la transpiration) et, par conséquent, un arrêt de l'élongation cellulaire.

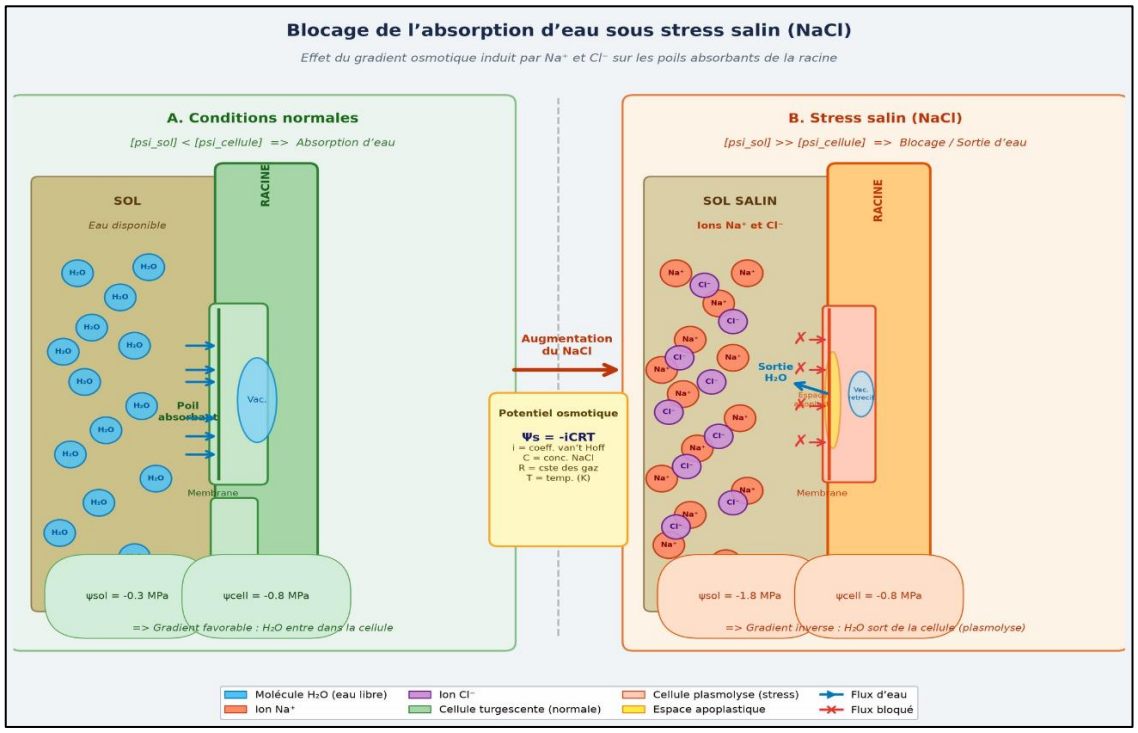


Figure 6 : Schéma conceptuel du blocage de l'absorption d'eau au niveau des poils absorbants de la racine sous l'effet du gradient osmotique induit par les ions Na^+ et Cl^-. Daneshmand et al. (2010) et Penella et al.

3.2.2. Le stress ionique (Phase tardive)

Au fil du temps, l'accumulation progressive d'ions toxiques dans les tissus foliaires du poivron finit par perturber gravement l'homéostasie. L'ion sodium (Na^+) entre en compétition directe avec le potassium (K^+), un élément vital pour l'activation de dizaines d'enzymes végétales et la régulation

stomatique. Chez la variété Super Marconi, cette toxicité ionique se traduit fréquemment par un jaunissement (chlorose) et des brûlures marginales (nécroses) sur les feuilles les plus anciennes.

Tableau 5 : Comparaison du ratio K^+/Na^+ dans les feuilles de poivrons sous stress salin.

Concentration NaCl	Na^+ foliaire (mg/g MS)	K^+ foliaire (mg/g MS)	Ratio K^+/Na^+
Témoin (0 mM)	2,5	45,0	18,0
Stress modéré (50 mM)	15,0	35,0	2,3
Stress sévère (100 mM)	30,0	20,0	0,6

3.2.3. Le stress oxydatif (Conséquence métabolique)

La fermeture stomatique limite l'apport en dioxyde de carbone (CO_2), déséquilibrant ainsi la machinerie de la photosynthèse. Les électrons excédentaires réagissent alors avec l'oxygène moléculaire pour former des Espèces Réactives de l'Oxygène (ROS), telles que l'anion superoxyde ($O_2^{\bullet -}$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Ces molécules très instables s'attaquent aux lipides membranaires, aux protéines et à l'ADN du poivron.

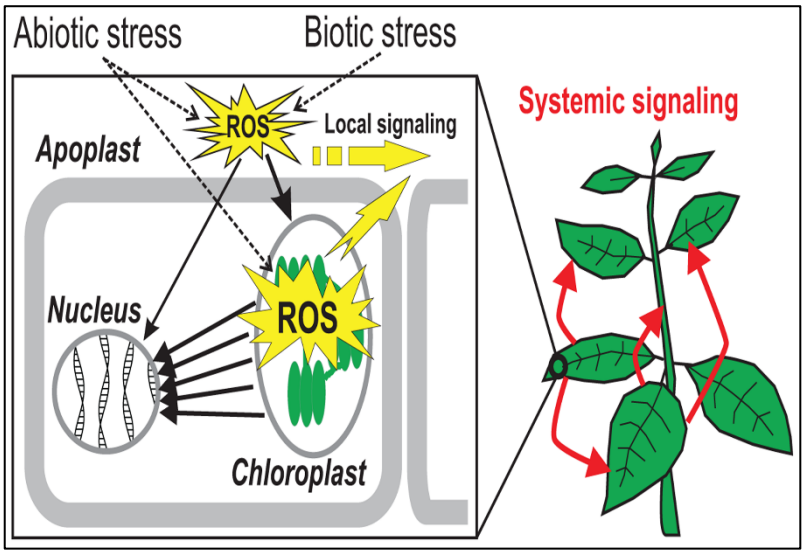


Figure 7 : Voie de production des ROS dans le chloroplaste d'une feuille de poivron lors d'une exposition au stress salin (schéma de la peroxydation lipidique).(2)

3.3. Réponses et mécanismes d'adaptation du cultivar Super Marconi

Face à ces agressions environnementales, les plants de *Capsicum annuum* déploient des stratégies d'adaptation pour tenter de survivre, bien que ces mécanismes restent limités en comparaison avec les plantes halophytes :

1. **Ajustement osmotique** : Pour contrebalancer la baisse du potentiel hydrique, le Super Marconi accumule des osmolytes compatibles, principalement la **proline** et des sucres solubles. Ces molécules maintiennent la pression osmotique cellulaire sans perturber le métabolisme.

2. **Exclusion et compartimentation** : La plante tente de séquestrer les ions Na^+ dans les vacuoles (via l'activation d'antiporteurs membranaires NHX) pour protéger le cytosol des cellules foliaires.

3. **Défense antioxydante** : Le poivron mobilise rapidement des enzymes détoxifiantes (telles que la SOD, la CAT et l'APX) ainsi que des métabolites antioxydants (polyphénols, vitamine C) pour neutraliser les ROS destructrices.

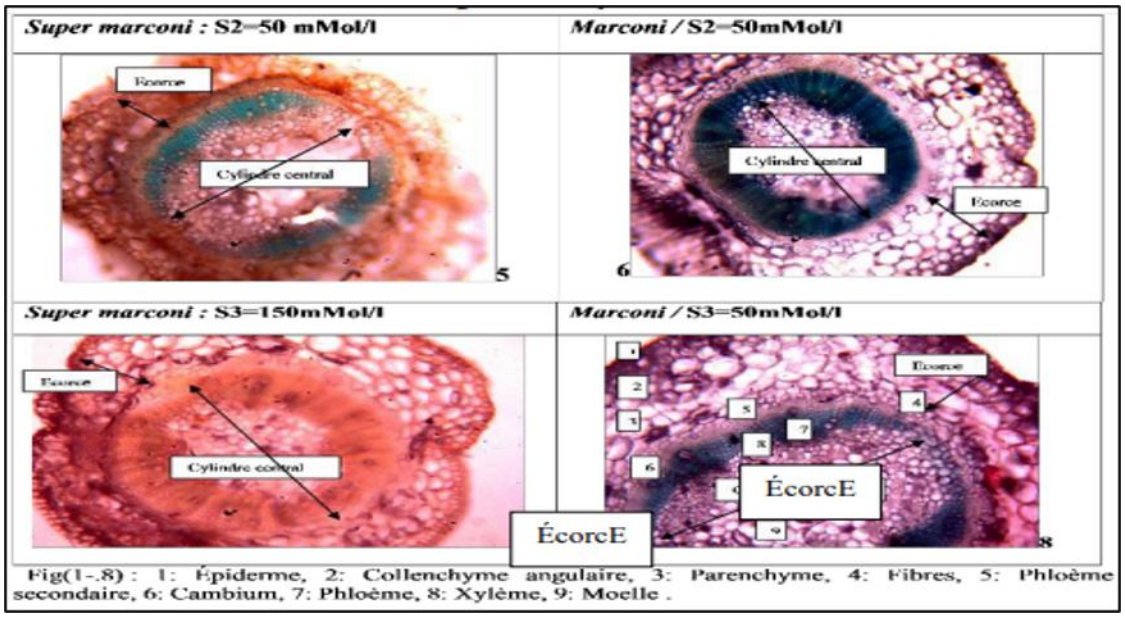


Figure 8 : **Coupes transversales au niveau de la tige chez les deux variétés de piment (Capsicum annuum L.) La comparaison des coupes anatomiques réalisées au niveau des tiges de piment (Capsicum annuum L.) des plantes témoins et stressées montre que la tige des plantes témoins est constituée de deux zones: l'écorce et le cylindre centrale . (European Scientific Journal May 2018 edition Vol.14, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431)**

4. Effet du stress salin sur la phytochimie

4.1. Altération des métabolites primaires

4.1.1. Dégradation des pigments photosynthétiques

Chez la variété **Super Marconi**, l'exposition à des doses croissantes de sel (NaCl) provoque fréquemment une chlorose progressive des feuilles. Cette décoloration, typique du stress salin, est le symptôme visuel d'une chute drastique des teneurs en chlorophylles a et b. D'un point de vue biochimique, la toxicité des ions Na^+ inhibe l'enzyme δ-aminolévulinate déshydratase (freinant ainsi la biosynthèse de la chlorophylle) tout en stimulant l'activité de la chlorophyllase (qui accélère sa dégradation).

4.1.2. Effet sur les protéines et accumulation de proline

La toxicité ionique engendre une dénaturation des protéines solubles de la plante. En réaction, la variété Super Marconi réoriente son métabolisme azoté vers la synthèse d'acides aminés dotés d'un pouvoir protecteur. La **proline** s'accumule de manière spectaculaire dans les tissus foliaires, où elle agit à la fois comme un osmorégulateur (pour capter l'eau) et comme un bouclier protégeant les membranes cellulaires de la peroxydation.

4.2. Modulation des métabolites secondaires

4.2.1. Stimulation de la voie des polyphénols

L'un des mécanismes de défense les plus remarquables chez *Capsicum annuum* L. var. Super Marconi est la modification de son profil phénolique. Le stress oxydatif induit par l'excès de sel active très fortement la phénylalanine ammonia-lyase (PAL), l'enzyme clé de la biosynthèse des composés phénoliques. En conséquence, lors de stress salins modérés (par exemple entre 2,5 et 5 g/l de NaCl), on assiste très souvent à une **augmentation notable des polyphénols totaux et des flavonoïdes**. Ces composés agissent comme des "éboueurs" de radicaux libres (Navarro et al., 2006).

Tableau 6 : Évolution théorique des antioxydants phénoliques sous stress salin.

Concentration NaCl (g/l)	Polyphénols totaux (mg/100g)	Flavonoïdes (mg/100g)
0 (Témoin)	180	80
2,5 (Stress léger)	195	95
5 (Stress modéré)	220	110
10 (Stress sévère)	160	65

4.2.2. Réponse des caroténoïdes et de la Vitamine C

Les fruits allongés du poivron Super Marconi, réputés pour leur richesse intrinsèque en vitamine C et en caroténoïdes (notamment au stade rouge), présentent une réponse biphasique face au sel. Un stress modéré peut parfois agir comme un "éliciteur", induisant une sur-accumulation de ces composés antioxydants pour protéger les cellules végétales. En revanche, un stress salin sévère ou prolongé (> 10 g/l) provoque souvent l'effondrement de ces réserves en raison des dommages cellulaires irréversibles (Navarro et al., 2006 ; Rouphael et al., 2018).

4.3. Amplification du potentiel antioxydant global

En corrélation directe avec la surproduction de composés phénoliques, la capacité antioxydante globale des extraits (foliaires ou des fruits) de la variété Super Marconi s'accroît lors des phases initiales ou modérées du stress. Ce potentiel antioxydant est généralement mesuré *in vitro* par la capacité des extraits à réduire le radical **DPPH**. Il existe ainsi une très forte corrélation linéaire entre la teneur en polyphénols d'un plant de poivron Super Marconi et son aptitude à piéger les ROS générées par la toxicité du NaCl.

5. Études antérieures et synthèse bibliographique

5.1. Études sur la germination et la morphologie

De nombreuses recherches se sont penchées sur la sensibilité du genre *Capsicum annuum* L. au sel, révélant que l'étape de la germination est la plus vulnérable. Des études (Penella et al., 2016) ont démontré que des cultivars doux à morphologie allongée, génétiquement proches de la variété **Super Marconi**, subissent une réduction drastique de leur biomasse dès 50 mM de NaCl. Cette diminution se manifeste par un nanisme, un raccourcissement significatif des entrenœuds et une chute du nombre de feuilles, impactant de fait la surface photosynthétique globale de la plante.

5.2. Impacts physiologiques et anatomiques rapportés

La littérature agronomique souligne que la salinité induit des modifications anatomiques profondes chez les poivrons doux de type Marconi : réduction du diamètre des vaisseaux du xylème (limitant la circulation de sève) et hypertrophie des cellules corticales (endoderme et exoderme) en guise d'adaptation et de barrière protectrice. Du point de vue physiologique, les auteurs rapportent invariablement que la conductance stomatique et la photosynthèse nette s'effondrent rapidement sous l'effet osmotique du NaCl.

Tableau 7 : Synthèse des modifications anatomiques caulinaires sous stress salin chez le poivron.

Tissu anatomique	Tendance sous stress salin (NaCl)	Conséquence physiologique
Épiderme	Diminution de l'épaisseur	Perte d'intégrité de la barrière externe
Cortex (Exo+Endoderme)	Augmentation / Hypertrophie	Renforcement de la bande de Caspary (filtrage)
Péricycle	Réduction	Baisse de la division cellulaire périphérique
Xylème / Phloème	Réduction du diamètre des vaisseaux	Diminution de la conduction hydro-minérale
Cylindre vasculaire	Dilatation globale	Stockage accru d'eau ou séquestration ionique

5.3. Réponses phytochimiques dans la littérature

Les travaux pionniers de Navarro et al. (2006) sur le poivron doux ont mis en évidence l'impact complexe du sel sur la qualité phytochimique des fruits. Les cultivars doux, semblables au Super Marconi, montrent généralement une augmentation de l'activité antioxydante (test DPPH) et une synthèse accrue de polyphénols (flavonoïdes) pour des stress salins modérés, traduisant une phase d'adaptation métabolique.

Cependant, concernant le profil des capsaïcinoïdes, la littérature est formelle : les cultivars de type "bell pepper" ou "Marconi", génétiquement sélectionnés pour leur douceur, ne montrent aucune accumulation significative de capsaïcine, même sous l'effet d'un stress abiotique intense. Cela contraste fortement avec les piments forts (ex: jalapeños), chez lesquels le stress salin peut parfois exacerber la pungence.

Tableau 8 : Études mondiales sur le poivron doux sous stress salin.

Auteurs	Concentrations NaCl	Paramètres mesurés	Principaux résultats
Navarro et al. (2006)	0, 25, 50, 75 mM	Vitamine C, polyphénols	Effet biphasique (↑ à 50 mM, ↓ à 75 mM)
Daneshmand et al. (2010)	0 à 150 mM	Germination	Inhibition significative de la germination dès 50 mM
Penella et al. (2016)	0, 30, 60 mM	Photosynthèse, biomasse	Baisse de la conductance stomatique et du rendement
Rouphael et al. (2018)	0 à 50 mM	Caroténoïdes	Variabilité de l'accumulation selon le stade de maturité

Chapitre 2 — Matériels et Méthodes

Matériels et Méthodes

1. Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du stress salin induit par le chlorure de sodium (NaCl) sur les paramètres **morphologiques** et **anatomiques** du poivron (*Capsicum annuum* L.) au stade de la plantule, et d'évaluer la capacité d'adaptation ou de résistance de cette espèce aux différentes concentrations salines.

L'étude a été réalisée en conditions contrôlées au laboratoire, avec **cinq niveaux de salinité** allant de 0 à 15 g/l de NaCl.

2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est le poivron (*Capsicum annuum* L.), cultivar **Super Marconi** (variété couramment utilisée en Algérie pour sa sensibilité et sa valeur agronomique). Il s'agit d'une variété de type doux à port dressé, à fruits allongés et coniques.

Les graines ont été fournies par l'Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles (ITCMI, Algérie).

3. Concentrations salines utilisées

Cinq niveaux de salinité ont été testés en utilisant le NaCl (chlorure de sodium) comme agent salinisant :

Traitement	Concentration (g/l NaCl)	Description
C0	0 g/l	Témoin (eau distillée)
C1	2,5 g/l	Stress salin faible
C2	5 g/l	Stress salin modéré
C3	10 g/l	Stress salin élevé
C4	15 g/l	Stress salin très élevé

Ces concentrations ont été choisies sur la base des travaux antérieurs portant sur la tolérance à la salinité chez les Solanacées (Osa *et al.*, 2014 ; Mazi, 2000).

4. Préparation des solutions salines

Les solutions salines ont été préparées par dissolution du NaCl (de qualité analytique, Sigma-Aldrich) dans de l'eau distillée, selon les concentrations définies :

- **Solution C1 (2,5 g/l)** : 2,5 g de NaCl dissous dans 1 000 ml d'eau distillée.
- **Solution C2 (5 g/l)** : 5 g de NaCl dissous dans 1 000 ml d'eau distillée.
- **Solution C3 (10 g/l)** : 10 g de NaCl dissous dans 1 000 ml d'eau distillée.
- **Solution C4 (15 g/l)** : 15 g de NaCl dissous dans 1 000 ml d'eau distillée.

Tableau 9 : Dispositif expérimental de la variété Super Marconi

	SupM	SupM	SupM	SupM
Concentration	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**
C1	1SupM-C1	2SupM-C1	3SupM-C1	4SupM-C1
C2	1SupM-C2	2SupM-C2	3SupM-C2	4SupM-C2
C3	1SupM-C3	2SupM-C3	3SupM-C3	4SupM-C3
C4	1SupM-C4	2SupM-C4	3SupM-C4	4SupM-C4

5. Plantes, substrat et conditions de culture

5.1. Mise en place des plants

De jeunes plants de poivron (*Capsicum annuum* L., cultivar Super Marconi) ont été directement placés dans des pots plastiques de **diamètre 13 cm**, remplis d'un substrat de terreau homogène (composition : [préciser si connue, ex. tourbe, sable, perlite]). Chaque pot a reçu **3 plantes** . Les pots ont été répartis en **5 lots** correspondant aux 5 traitements salin (C0 à C4).

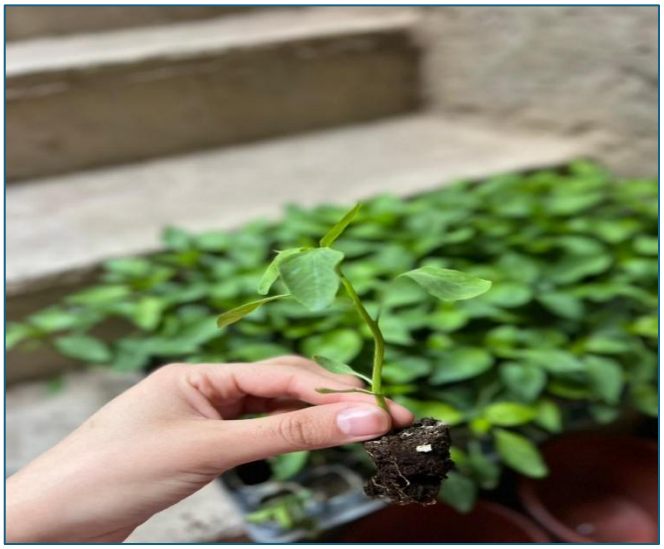


Figure 9 : Jeunes plants de Capsicum annuum L . au moment de la mise en place dans les pots (diamètre 13 cm).

5.2. Conditions environnementales

L'expérimentation s'est déroulée en conditions contrôlées de laboratoire, à l'Institut des Sciences de la Technologie, Centre Universitaire, durant l'année académique **2025/2026**. Les conditions de culture ont été maintenues constantes : température ambiante , photopériode naturelle, hygrométrie ambiante.

5.3. Programme d'arrosage (cycle sur 2 mois)

Les plants ont été soumis à un programme d'arrosage cyclique de 3 jours, répété pendant **deux mois** :

- **Jour 1** : arrosage avec la solution saline correspondant au traitement du lot (C0 : eau distillée ; C1 : 2,5 g/l NaCl ; C2 : 5 g/l ; C3 : 10 g/l ; C4 : 15 g/l).
- **Jour 2** : arrosage avec de l'eau distillée.
- **Jour 3** : aucun arrosage.

Le volume d'arrosage a été maintenu constant pour tous les pots (50 ml/pot/arrosage).



Figure 10 : Dispositif expérimental : plants de Capsicum annuum L. soumis aux cinq traitements salin (C0 : 0 g/l — C4 : 15 g/l NaCl) dans les conditions de laboratoire, après deux mois de traitement.

Au terme des deux mois de traitement, les plants ont été retirés délicatement de leurs pots et soumis à un lavage soigneux à l'eau distillée afin d'éliminer les résidus de substrat. Des coupes transversales de tige ont ensuite été réalisées pour l'étude anatomique, et les paramètres morphométriques suivants ont été mesurés : la longueur de la tige (en cm) et le nombre total de feuilles par plant.

6. Récolte et mesures morphométriques

Au terme des deux mois d'expérimentation, les plants ont été retirés délicatement de leurs pots. Les racines ont été lavées à l'eau distillée afin d'éliminer les résidus de substrat. Les paramètres morphométriques suivants ont été mesurés sur chaque plante :

6.1. Longueur de la tige

Mesurée à l'aide d'une règle graduée (en cm), depuis le collet jusqu'à l'apex de la tige principale.

6.2. Longueur des racines

Longueur totale de la racine principale mesurée à la règle (en cm) après rinçage.

6.3. Nombre de feuilles

Nombre total de feuilles développées par plant, compté manuellement.



Figure 11 : Plants de Capsicum annuum L. des différents traitements salin (C1 : 2,5 g/l — C4 : 15 g/l NaCl) étalés sur papier millimétré pour la mesure de la longueur de la tige et des racines.

Pour chaque traitement, les mesures ont été effectuées sur [préciser le nombre de répétitions biologiques, ex. n = 5 plants]. Les valeurs moyennes et les écarts-types ont été calculés pour chaque paramètre.

7. Étude anatomique

7.1. Préparation des coupes

Des segments de tige ont été prélevés au niveau du **deuxième entre-nœud** de chaque plant. Les coupes transversales fraîches ont été réalisées à main levée à l'aide d'une lame de rasoir (ou au microtome, si applicable), afin d'obtenir des sections les plus fines possible.

7.2. Traitement préliminaire

Les coupes ont été immergées dans de l'eau distillée contenant de l'**acide citrique** ([préciser la concentration, ex. 1 %]) pendant **5 minutes**, afin de préserver les structures cellulaires, puis rincées à l'eau distillée.

7.3. Double coloration

Les coupes ont été colorées successivement selon le protocole suivant :

1. **Vert de méthyle** ([préciser la concentration]) : immersion pendant **3 minutes**, puis rinçage à l'eau distillée — colore les noyaux cellulaires et certaines parois.
2. **Rouge Congo** ([préciser la concentration]) : immersion pendant **3 minutes**, puis rinçage abondant à l'eau distillée — colore les parois cellulosiques en rouge.

Ce protocole de double coloration a été appliqué à l'ensemble des coupes issues des cinq niveaux de traitement salin (C0 à C4).



Figure 12 : Coupes transversales de tiges de Capsicum annuum L. après double coloration (Vert de méthyle et Rouge Congo), montées en boîtes de Pétri, prêtes pour l'observation microscopique.

7.4. Montage et observation

Les coupes colorées ont été montées entre lame et lamelle avec de l'eau glycérinée. L'observation et la prise d'images ont été réalisées au **microscope optique** (Optika, 2009), avec analyse d'image par le logiciel PROVIEW .

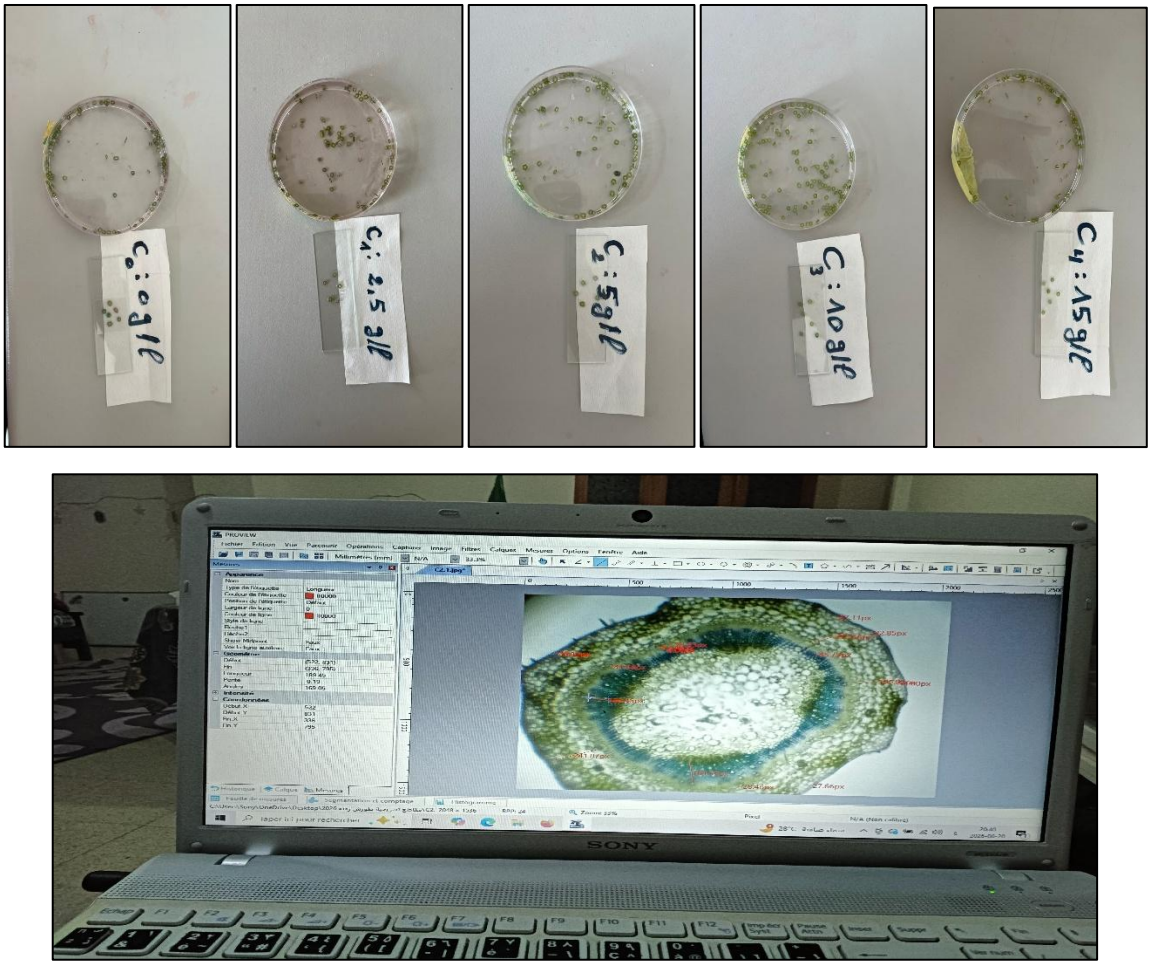


Figure 13 : Coupes transversales fraîches de tige de Capsicum annuum L. pour les cinq traitements salin (C0 : 0 g/l — C1 : 2,5 g/l — C2 : 5 g/l — C3 : 10 g/l — C4 : 15 g/l NaCl), déposées dans des boîtes de Pétri et sur lames porte-objet, avant coloration.

Chapitre 3 — Résultats et Discussion

Résultats et Discussion :

Le stress salin constitue l'un des facteurs écologiques les plus limitants pour la croissance et le développement des plantes cultivées. Dans les zones arides et semi-arides, la salinisation des sols représente une contrainte majeure pour la production maraîchère, notamment pour des espèces sensibles comme le poivron (*Capsicum annuum* L.). Le cultivar **super marconi** a été évalué à travers des paramètres morphologiques (longueur de tige, longueur des racines, nombre de feuilles) et anatomiques (structure des tissus caulinaires) sous l'effet de cinq concentrations croissantes de NaCl (C0 : 0 g/l à C4 : 15 g/l).

1. Résultats morphologiques

L'observation visuelle des plants en fin d'expérimentation met en évidence l'impact global et macroscopique du stress salin sur le développement du poivron. Comme l'illustrent les photographies ci-dessous, l'augmentation de la concentration en NaCl se traduit par un ralentissement visible de la croissance, un port de plus en plus chétif, ainsi que l'apparition de symptômes de flétrissement et de chlorose foliaire aux doses les plus sévères (notamment à 10 et 15 g/l).



Figure 14 : : Aspect morphologique global des plants de poivron (Capsicum annuum L., cv. Super Marconi) en fin d'expérimentation, soumis à différentes concentrations de stress salin (C0 = 0 g/l, C1 = 2,5 g/l, C3 = 10 g/l et C4 = 15 g/l).

1.1. Longueur de la tige (LT)

La longueur de la tige constitue l'un des indicateurs les plus directs de la croissance végétative. Les mesures ont été effectuées sur quatre plantules par traitement à la fin de la période d'expérimentation. Les résultats

montrent une diminution progressive et significative avec l'augmentation de la concentration en NaCl. La réduction est modérée entre C0 et C3, puis s'accélère nettement à C4 (15 g/l), suggérant l'existence d'un **seuil de tolérance saline** autour de 10–15 g/l.

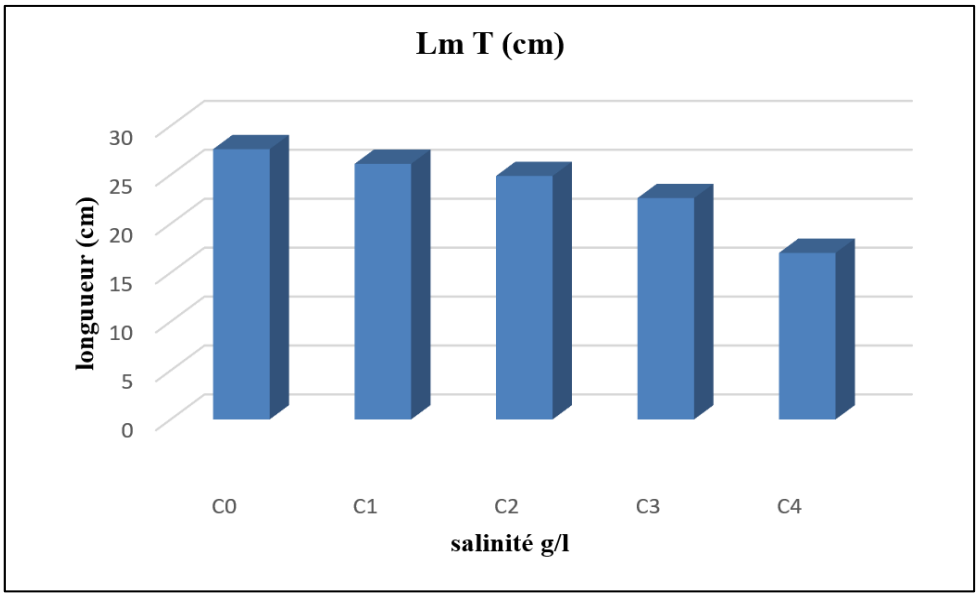


Figure 15 : Longueur moyenne de la tige de Capsicum annuum L.

La longueur moyenne passe de **27,62 cm** (C0) à **17,02 cm** (C4), soit une **réduction totale de 38,4 %**. Le test Newman-Keuls distingue quatre groupes : C0–C1 (*a*), C2 (*ab*), C3 (*b*) et C4 (*c*), confirmant que la salinité agit de façon dose-dépendante sur la croissance caulinaire. Cette diminution s'explique par l'inhibition de l'élongation cellulaire sous l'effet du stress osmotique et de la toxicité ionique (accumulation de Na^+ et Cl^-).

1.2. Nombre de feuilles (NF)

Le nombre de feuilles par plantule reflète l'activité méristématique et la vitalité générale de la plante sous contrainte saline. Les résultats montrent une baisse progressive du nombre de feuilles dès C1, avec une chute brutale à C4 où des symptômes visuels de **chlorose** et de **nécrose foliaire** sont également observés.

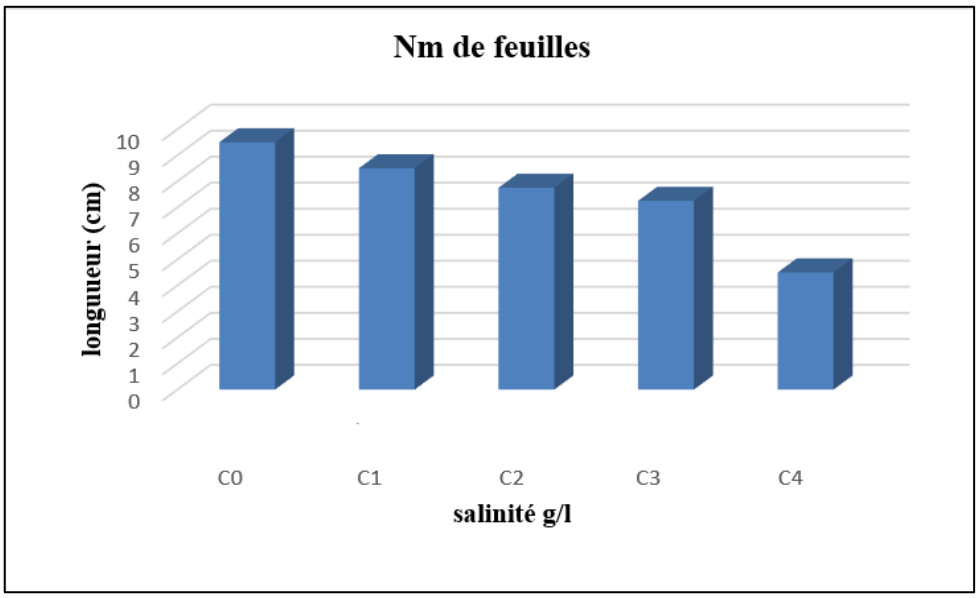


Figure 16 : Nombre moyen de feuilles de Capsicum annuum L.

Le nombre moyen de feuilles diminue de **9,50** (C0) à **4,50** (C4), soit une **réduction de 52,6 %**. La baisse reste modérée entre C0 et C3 (−2,25 feuilles), puis s'accentue fortement entre C3 et C4 (−2,75 feuilles), témoignant d'un effet toxique direct à forte concentration ionique. Cette réduction sévère limite considérablement la surface photosynthétique de la plante, compromettant ainsi sa production de biomasse.

1.3. Longueur des racines (LR)

La longueur du système racinaire renseigne sur la capacité d'exploration du sol et l'absorption hydro-minérale en conditions de stress. Contrairement à la tige, le système racinaire montre une certaine tolérance aux faibles concentrations de NaCl : les valeurs de C0, C1 et C2 ne diffèrent pas significativement. La diminution significative n'apparaît qu'à partir de C3, suggérant un mécanisme d'adaptation racinaire à stress modéré.

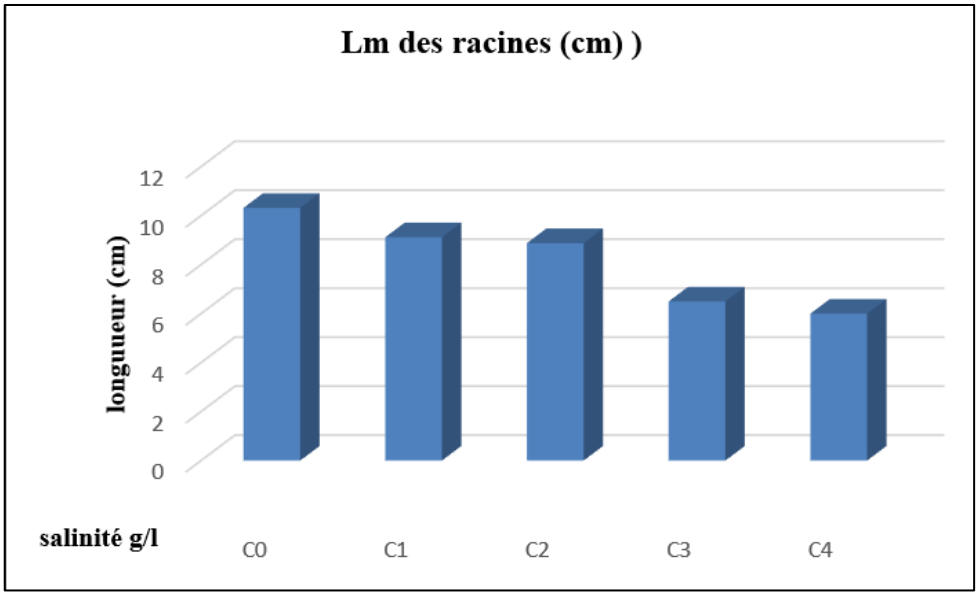


Figure 17 : Longueur moyenne des racines de Capsicum annuum L.

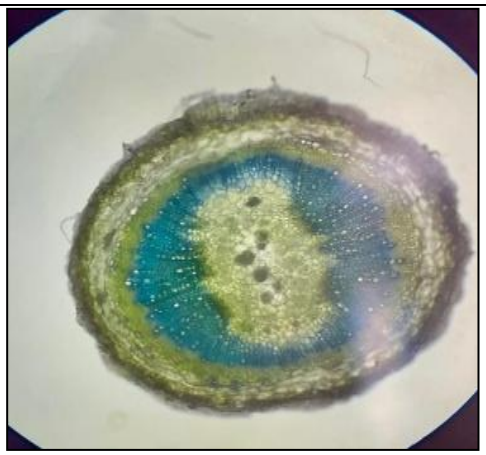
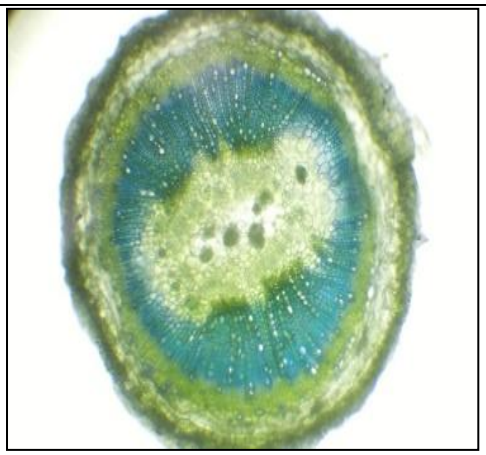
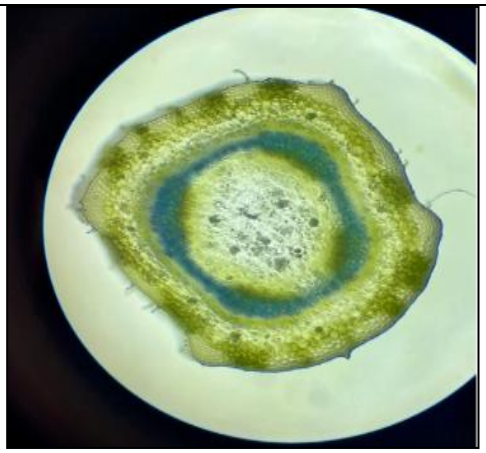
La longueur racinaire passe de **10,32 cm** (C0) à **6,00 cm** (C4), soit une réduction de **41,9 %**. La forte variabilité à C2 (SD = 1,93 cm) s'explique par la présence d'une réponse d'élongation compensatoire chez certaines plantules face au stress osmotique modéré. Le système racinaire semble d'abord chercher à étendre sa zone d'exploration avant de céder face à la toxicité saline aux fortes doses (C3 et C4).

2. Effet de la salinité sur l'anatomie de la tige

L'examen des coupes histologiques transversales de tiges de *Capsicum annuum* L. soumises à différentes concentrations de NaCl révèle des modifications structurales importantes.

Observation des coupes transversales

Voici les planches d'observations histologiques (coupes transversales de la tige) pour chaque traitement :

Concentration	Coupe transversale	Coupe transversale
C0		
C1		

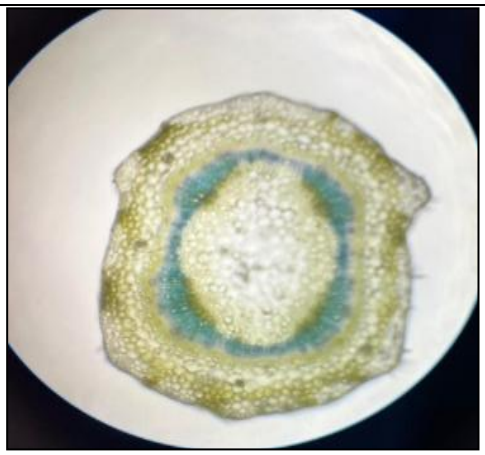
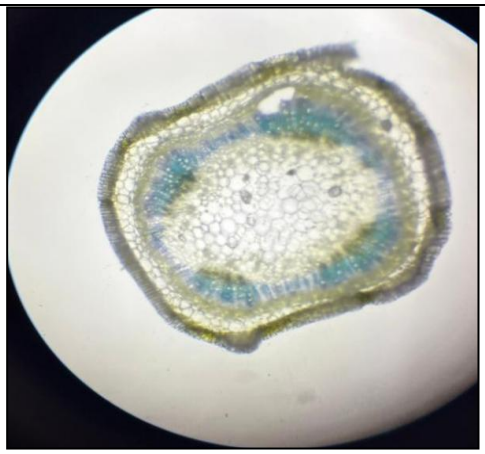
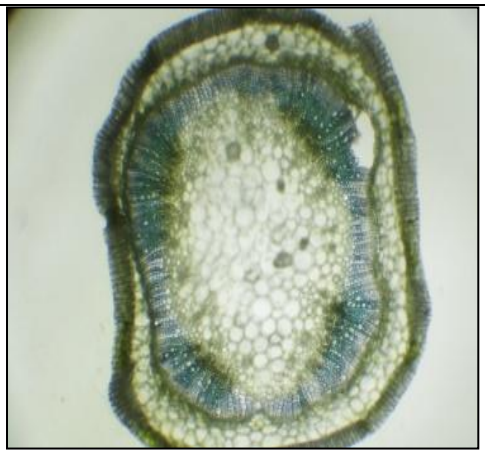
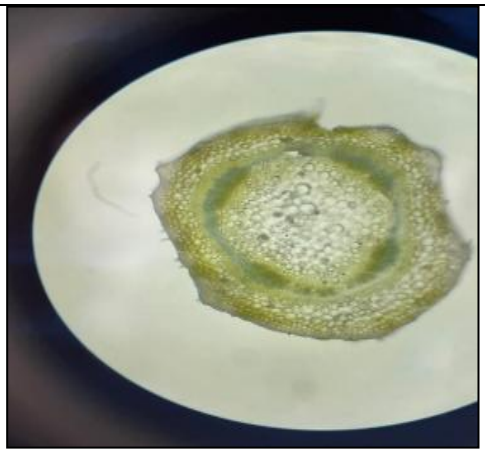
C2		
C3		
C4		

Figure 18 : Coupes transversales au niveau de la tige (×40) poivron doux (Capsicum annuum L. var. Super Marconi).

EPI: Épiderme Exo+ Endo :exoderme et endoderme Pery: péricycle

Xyle+Phol: Xyleme +Pholeme VC:vasculaire cylendre

2.1. Épaisseur de l'Épiderme (Epi)

L'**épiderme** subit une diminution drastique, passant de 51,00 mm chez les plantes témoins (C0) à 15,15 mm à la concentration la plus sévère (C4), soit une **réduction de 70,3 %**.

Cette régression traduit l'effet inhibiteur direct de la toxicité ionique (notamment l'accumulation de Na^+ et Cl^-) qui altère la division cellulaire et l'intégrité des membranes cellulaires au niveau du tissu protecteur externe.

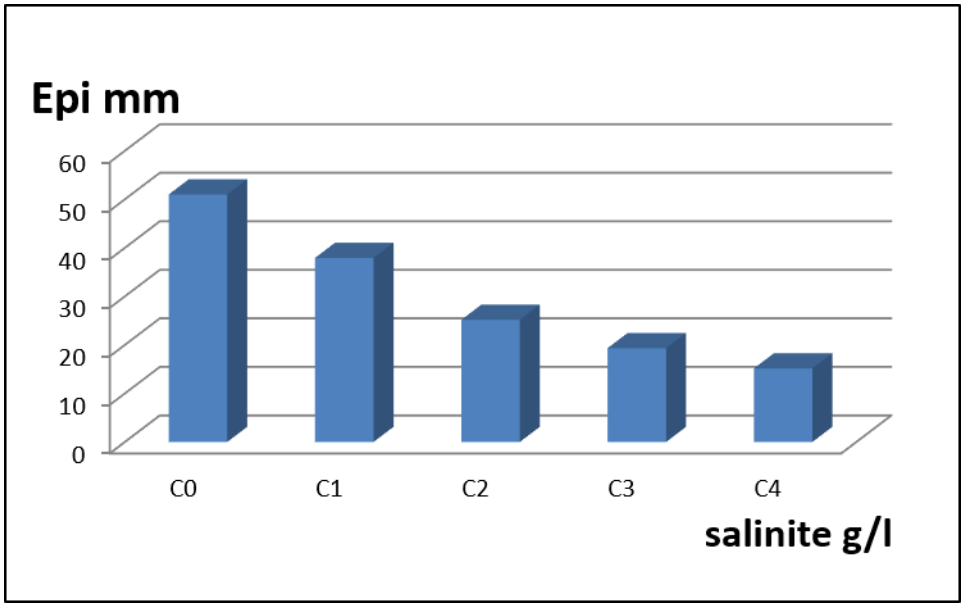


Figure 19 : Histogramme de la variation de l'épaisseur de l'épiderme

2.2. Épaisseur de l'Exoderme et de l'Endoderme (EXO+ENDO)

L'épaisseur combinée de l'**exoderme et de l'endoderme** augmente progressivement avec l'intensité du stress salin, passant de 106,53 mm (C0) à 170,17 mm (C4), soit une **augmentation de 59,7 %**.

Contrairement à l'épiderme, cet épaississement constitue un mécanisme de défense adaptatif essentiel. Le renforcement de l'endoderme (lié à la bande de Caspary) joue le rôle d'une barrière apoplastique renforcée pour filtrer et restreindre l'afflux massif d'ions toxiques vers les vaisseaux conducteurs du cylindre central.

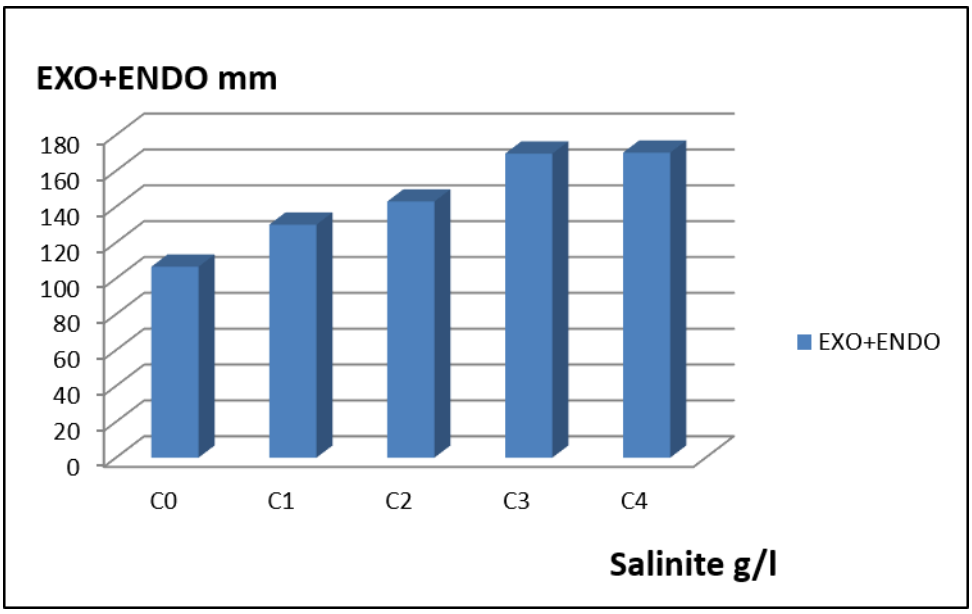


Figure 20 : Histogramme de la variation de l'épaisseur de l'exoderme et de l'endoderme

2.3. Épaisseur du Péricycle (Pery)

Le **péricycle** régresse de façon importante sous l'effet du stress salin, diminuant de 109,33 mm (C0) à 46,74 mm (C4), ce qui correspond à une **réduction de 57,2 %**.

Tout comme l'épiderme, la réduction de ce tissu périphérique interne s'explique par l'inhibition de la division et de l'élongation cellulaires causée par le stress osmotique sévère et la toxicité spécifique du sel.

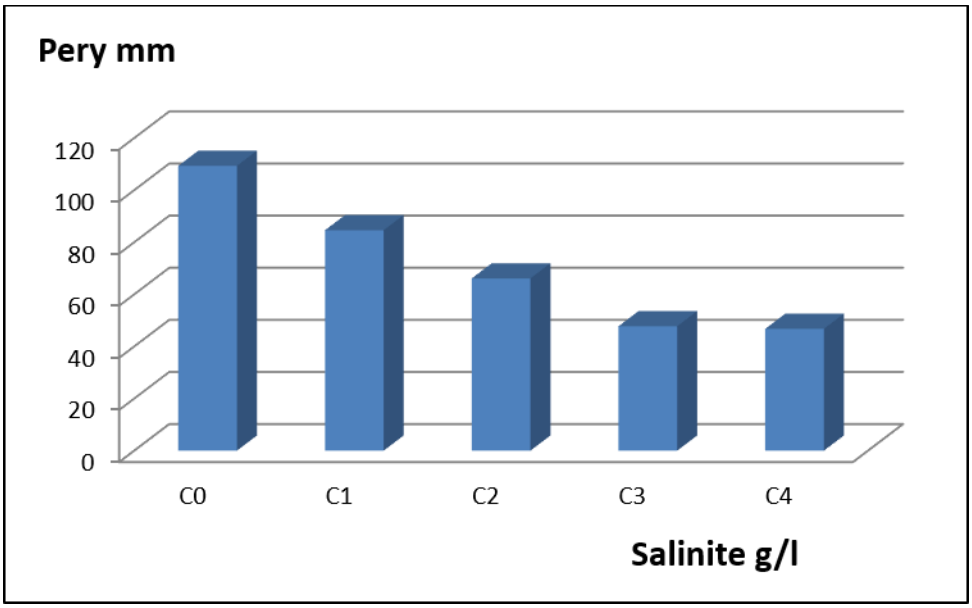


Figure 21 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du péricycle

2.4. Complexe Xylème et Phloème (Xyl+Phol)

Les tissus conducteurs primaires (**Xylème + Phloème**) montrent une très forte sensibilité à la salinité : leur épaisseur chute de 321,33 mm (C0) à 133,41 mm (C4), soit une **réduction globale de 58,5 %**.

Cette forte diminution structurale affecte directement la capacité de la plante à transporter l'eau brute (xylème) et les nutriments élaborés (phloème). Il s'agit d'une des causes majeures de la réduction de la croissance morphologique globale (tige, feuilles, racines) observée à l'échelle de la plante entière.

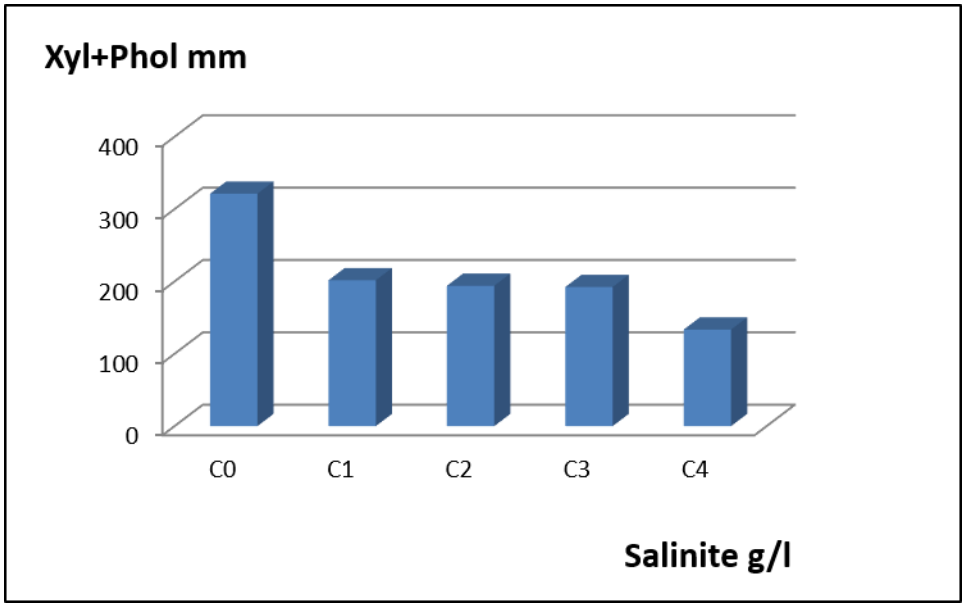


Figure 22 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du complexe xylème-phloème

2.5. Cylindre Vasculaire (VC)

Malgré la baisse des tissus conducteurs centraux, la taille globale du **cylindre vasculaire** connaît une hypertrophie continue, augmentant de 778,12 mm (C0) à 1056,45 mm (C4), soit une augmentation de **+35,8 %**.

Cette dilatation compensatoire s'explique par une augmentation substantielle du volume parenchymateux (cellules de remplissage) en réponse au stress. Elle vise très probablement à stocker de l'eau supplémentaire ou à séquestrer les ions excédentaires dans de grandes vacuoles afin de protéger les autres tissus vitaux de la plante.

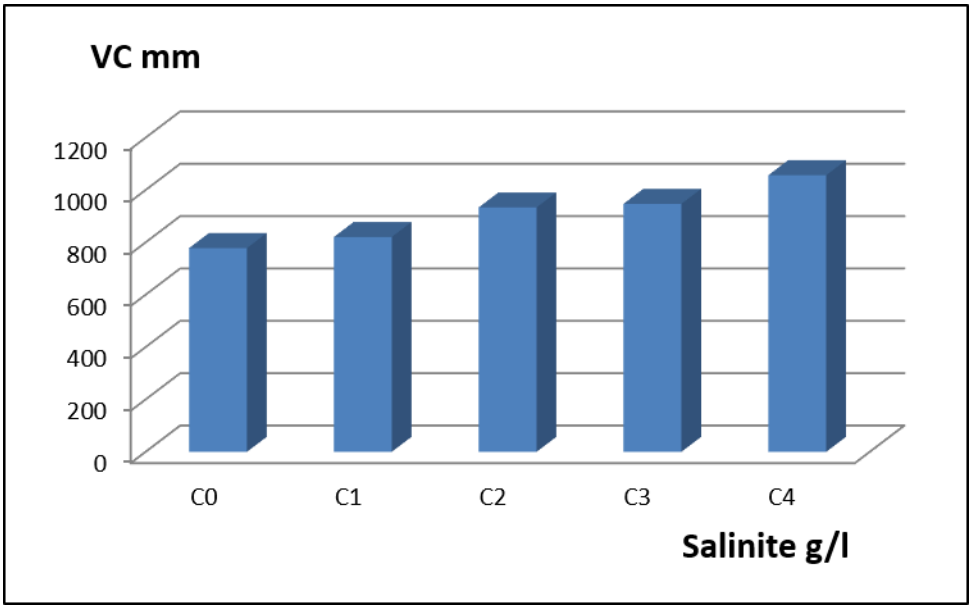


Figure 23 : Histogramme de la variation de l'épaisseur du cylindre vasculaire

5. Discussion :

5.1. Effets sur les paramètres morphologiques

D'une façon générale, on observe une différence fondamentale entre les plantes témoins (C0) et celles soumises aux traitements salins. Le témoin illustre le développement optimal du poivron sans aucune contrainte environnementale, où la turgescence cellulaire, la division méristématique et l'absorption d'eau s'effectuent à pleine capacité. La cause des altérations observées chez les plantes traitées réside dans la présence du NaCl, qui induit un double stress destructeur : d'abord un stress osmotique précoce qui réduit drastiquement la disponibilité de l'eau pour les racines, puis une toxicité ionique sévère due à l'accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus de la plante.

Ces phénomènes expliquent pourquoi la croissance en longueur des tiges, des racines et le nombre de feuilles diminuent de manière significative avec l'augmentation de l'intensité du stress. Nos résultats corroborent les travaux récents menés exclusivement sur le poivron (*Capsicum annuum* L.), notamment ceux de Penella *et al.* (2016) et Albdaiwi *et al.* (2019), qui ont démontré une inhibition similaire de la biomasse et de la surface photosynthétique sous l'effet du sel. Un seuil critique de tolérance a été identifié autour de 10–15 g/l de NaCl chez ce cultivar, seuil au-delà duquel les dommages cellulaires et morphologiques deviennent brutaux et irréversibles (Taïbi *et al.*, 2021).

5.2. Effets sur le tissu anatomique des tiges

En comparant les coupes histologiques des plantes témoins avec celles des plantes stressées, il est clair que la cause saline induit des changements structuraux importants au niveau caulinaire. Chez le témoin, l'intégrité de l'épiderme et du cortex externe est parfaite et continue. En revanche, sous l'effet de fortes doses de sel, la

réduction drastique de ces tissus externes résulte de la toxicité ionique directe qui dégrade les membranes cellulaires (Zhani *et al.*, 2020).

À l'inverse, l'hypertrophie observée au niveau du cortex interne (endoderme) chez les plants stressés constitue un mécanisme d'adaptation spécifique. Comme rapporté récemment par Bistgani *et al.* (2019) lors de travaux similaires sur le poivron, cet épaississement renforce la bande de Caspary. Cela agit comme une barrière mécanique pour bloquer et filtrer les mouvements apoplasmatiques des ions toxiques (Na^+) vers les vaisseaux conducteurs centraux. L'apparition de nécroses aux plus fortes concentrations (C3–C4) témoigne de l'effondrement ultime de ces barrières physiologiques de défense face à une cause saline devenue létale.

6. Synthèse comparative

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des effets observés du stress salin sur les paramètres morphologiques et anatomiques de *Capsicum annuum* L. cv. Super marconi .

Paramètre	Tendance observée	Interprétation
Longueur de tige	Diminution progressive (−38 % à C4)	Inhibition osmotique + toxicité ionique
Nombre de feuilles	Diminution progressive (−53 % à C4)	Inhibition de la division cellulaire
Longueur des racines	Stable C0–C2, puis diminution à C3–C4	Tolérance modérée, puis toxicité ionique directe
Épiderme	Diminution progressive (−70 %)	Dégradation des membranes cellulaires / toxicité ionique
Exoderme + Endoderme	Augmentation (+60 %)	Mécanisme de barrière adaptative
Péricycle	Diminution progressive (−57 %)	Toxicité ionique
Xylème + Phloème	Diminution progressive (−58 %)	Perturbation du transport hydro-minéral
Cylindre Vasculaire	Augmentation (+36 %)	Dilatation compensatoire (stockage d'eau/ions)

Conclusion

Conclusion :

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact du stress salin induit par différentes concentrations de chlorure de sodium (NaCl) sur les paramètres morphologiques et anatomiques du poivron (*Capsicum annuum* L., variété 'Super Marconi') au stade plantule, afin de mieux comprendre les mécanismes de réponse et les limites de tolérance de cette espèce à la salinité.

Les résultats morphologiques obtenus montrent une **réduction significative et progressive** de la longueur de la tige et du nombre de feuilles avec l'augmentation de la concentration saline (S0 = 0 g/l → S3 = 10 g/l). Cette inhibition de la croissance aérienne est liée à l'effet osmotique du NaCl qui réduit la disponibilité en eau, à la toxicité ionique des ions Na^+ et Cl^- qui perturbent l'équilibre minéral et les processus métaboliques, ainsi qu'à l'altération des hormones de croissance (AIA, Cytokinines, ABA).

En revanche, la longueur des racines présente une **légère augmentation à faible concentration saline** (S1 = 2,5 g/l), reflétant une stratégie d'adaptation de la plante qui développe son système racinaire pour améliorer l'absorption hydrique en conditions de déficit osmotique. Cette augmentation disparaît aux fortes concentrations (S3 = 10 g/l) où la toxicité ionique sévère inhibe également la croissance racinaire.

Sur le plan anatomique, les coupes transversales des tiges ont révélé des **modifications structurales importantes** directement corrélées à la salinité :

- **Diminution significative** de l'épaisseur de l'épiderme, du cortex externe (exoderme) et du diamètre des vaisseaux conducteurs, témoignant des effets destructeurs des ions Na^+ et Cl^- sur les membranes et les parois cellulaires.
- **Augmentation de l'épaisseur du cortex interne** (endoderme), interprétée comme un mécanisme de défense limitant la progression des ions toxiques vers les vaisseaux conducteurs.
- Apparition de **nécroses cellulaires**, d'hypertrophie et de perte des espaces intercellulaires aux fortes concentrations (S3 = 10 g/l).

En conclusion, le poivron (*Capsicum annuum* L., variété 'Super Marconi') manifeste un comportement **modérément sensible au stress salin**. Il peut tolérer des concentrations modestes de NaCl (entre 2,5 et 5 g/l) avec des perturbations fonctionnelles limitées, mais présente des dommages morphologiques et anatomiques significatifs à partir de 5 g/l et un déclèn sévère à 10 g/l. Ces résultats suggèrent que **la culture du poivron dans des sols ou des eaux d'irrigation présentant des**

concentrations salines supérieures à 5 g/l de NaCl doit être évitée sans recours à des techniques de gestion de la salinité ou à des variétés tolérantes.

Ces travaux ouvrent des perspectives pour de futures études, notamment :

- L'évaluation comparée de la résistance à la salinité chez d'autres variétés de poivron locales (algériennes ou méditerranéennes).
- L'analyse biochimique des mécanismes de tolérance : accumulation de proline, teneur en chlorophylle, activité des enzymes antioxydantes.
- L'exploration de techniques agronomiques d'amélioration de la tolérance au sel (greffage, biostimulants, préconditionnement salin des semences).

Références Bibliographiques

- **Daneshmand, F., Arvin, M. J., & Kalantari, K. M. (2010).** Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. *Acta Physiologiae Plantarum*, *32*(1), 91–96. https://doi.org/10.1007/s11738-009-0384-9

- **FAO. (2021).** *The impact of disasters and crises on agriculture and food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb3673en

- **FAOSTAT. (2023).** *Crops and livestock products — Pepper (Capsicum)*. Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

- **Hasegawa, P. M. (2013).** Sodium (Na^+) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany*, *92*, 19–31. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.03.001

- **Mahmoudi, H., Huang, J., Gruber, M. Y., Kang, J., Karimi, G., & Khazaei, H. (2012).** The impact of genotype and salinity on physiological function, secondary metabolite accumulation, and antioxidative responses in lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(8), 2027–2036. https://doi.org/10.1021/jf204877g

- **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

- **Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006).** Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, *96*(1), 66–73. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057

- **Ozgur, R., Uzilday, B., Sekmen, A. H., & Turkan, I. (2013).** Reactive oxygen species regulation and antioxidant defence in halophytes. *Functional Plant Biology*, *40*(9), 832–847. https://doi.org/10.1071/FP12389

- **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.2004.06.010

- **Penella, C., Landi, M., Guidi, L., Nebauer, S. G., Pellegrini, E., San Bautista, A., Remorini, D., Nali, C., López-Galarza, S., & Calatayud, Á. (2016).** Salt-tolerant rootstock increases yield of pepper under salinity through maintenance of photosynthetic performance

and sinks strength. *Journal of Plant Physiology*, *193*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.02.007

- **Reyes-Escogido, M. L., González-Mondragon, E. G., & Vazquez-Tzompantzi, E. (2011).** Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules*, *16*(2), 1253–1270. https://doi.org/10.3390/molecules16021253
- **Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018).** Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, *234*, 275–289. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033
- **Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., & Savouré, A. (2015).** Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, *115*(3), 433–447. https://doi.org/10.1093/aob/mcu265
- **Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D., & Agati, G. (2004).** Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist*, *163*(3), 547–561. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01126.x
- **Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2011).** Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions. *Phytochemistry*, *72*(10), 1358–1370. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.03.016
- **Zhu, J. K. (2016).** Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, *167*(2), 313–324. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029

1. https://www.sandiaseed.com/blogs/news/fertilize-peppers-now-heres-how
2. https://www.researchgate.net/figure/Reactive-oxygen-species-ROS-talk-in-plant-cells-Biotic-and-abiotic-stimuli-lead-to-the_fig1_234071266

Annexxes :

Les tableaux suivants regroupent les mesures individuelles réalisées sur les quatre plantules par traitement, permettant de vérifier la cohérence des moyennes et d'apprécier la variabilité inter-individuelle au sein de chaque traitement.

Tableau G1 — Longueur de la tige (cm)

Plante	C0 (0 g/l)	C1 (2,5 g/l)	C2 (5 g/l)	C3 (10 g/l)	C4 (15 g/l)
Plante 1	26,0	23,0	22,0	20,0	14,8
Plante 2	24,0	26,0	27,0	23,0	16,5
Plante 3	29,0	27,0	25,0	23,5	18,8
Plante 4	31,5	28,5	25,5	24,0	18,0

Tableau G2 — Longueur des racines (cm)

Plante	C0 (0 g/l)	C1 (2,5 g/l)	C2 (5 g/l)	C3 (10 g/l)	C4 (15 g/l)
Plante 1	9,5	8,0	7,0	6,0	7,0
Plante 2	9,0	9,0	9,0	6,5	5,0
Plante 3	9,8	9,0	11,5	7,0	6,5
Plante 4	13,0	10,5	8,0	6,5	5,5

Tableau G3 — Nombre de feuilles

Plante	C0 (0 g/l)	C1 (2,5 g/l)	C2 (5 g/l)	C3 (10 g/l)	C4 (15 g/l)
Plante 1	9	9	8	7	4
Plante 2	9	8	7	8	6
Plante 3	11	9	9	7	5
Plante 4	9	8	7	7	3

Tableau G4 — Mesures anatomiques des tissus de la tige (µm)

Concentration	Mesure	Épiderme	Exoderme/Endoderme	Péricycle	Xylème/Phloème	Cylindre Vasculaire
C0 (0 g/l)	Valeurs	51 ; 42 ; 57	91,59 ; 118 ; 110	118 ; 113 ; 97	344,14 ; 302 ; 318	795,6 ; 799 ; 739,78
	Moyenne	50	106,53	109,33	321,33	778,12
C1 (2,5 g/l)	Valeurs	40,25 ; 40,02 ; 33,55	136,03 ; 130,06 ; 124,06	81,61 ; 84,08 ; 86,30	203,23 ; 208,02 ; 193,61	775 ; 824 ; 862,70
	Moyenne	37,93	130,05	84,01	201,62	720,55
C2 (5 g/l)	Valeurs	25 ; 22,85 ; 27,60	134,36 ; 143,94 ; 151	63,15 ; 70,26 ; 64,90	202 ; 182,19 ; 197,77	929,98 ; 945,06 ; 925,35
	Moyenne	25,17	142,9	66,11	193,98	933,43
C3 (10 g/l)	Valeurs	22 ; 18,11 ; 17,89	191,72 ; 144,29 ; 175,80	50,99 ; 54,04 ; 36	196,58 ; 180,50 ; 199,77	954,23 ; 939,08 ; 948
	Moyenne	19,33	169,60	47,01	192,28	947,10
C4 (15 g/l)	Valeurs	14,14 ; 17,89 ; 13,42	173,11 ; 168,30 ; 174,10	54,15 ; 40,05 ; 46,04	131,16 ; 129,80 ; 139,28	1050,07 ; 1058,56 ; 1060,66
	Moyenne	15,15	170,17	46,74	139,28	1056,45