الجمهوريـــــــة الجزائريـــة الديمقراطيـــة الشعبيـــة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليـم العالـــي و البحـث العلمـي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique	**المدرسة الوطنية العليا للفلاحة**
Département : Productions végétales	**القسم : الإنتاج النباتي**
Spécialité : Ressources génétiques et amélioration des productions végétales	**التخصص : الموارد الوراثية و تحسين الإنتاج النباتي**

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme De Master en Sciences Agronomiques

Présenté Par :

KREIFA Abdeldjabbar et KHERIF Mohamed Louai

THEME

Étude de l'effet des extraits d'algues marines sur l'activité biologique du sol et sur la culture de la tomate industrielle (*Solanum lycopersicum* L.)

Soutenu Publiquement le 23/09/2026

Devant le jury composé de :

Mémoire dirigé par :	
Mme BELOUCHRANI Amel Souhila	Professeur, ENSA
M. ABDELLAHOUM Zakaria	MCA, ENSA
Président :	
M. HADDAD Benalia	MCA, ENSA
Examinateurs :	
Mme MOUSSAOUI Sawsen	MAA, ENSA
M. AISSIOU Mohammed Yehya El Amine	MCA, ESSAIA
Invitée :	
Mme NOURI Ilhem	Ingénieur principale, ENSA

Résumé

Cette étude s'inscrit dans la recherche d'alternatives durables aux intrants chimiques de synthèse en culture de tomate industrielle (*Solanum lycopersicum* var. Roma). Elle évalue l'effet d'un biostimulant à base de l'algue verte *Ulva lactuca* sur les performances agronomiques et physiologiques de la plante, ainsi que sur l'activité biologique du sol. Trois essais complémentaires ont été conduits : (1) le priming des semences avec un extrait aqueux à quatre concentrations (0, 5, 10 et 15 %) ; (2) l'application foliaire et racinaire d'un extrait hydro-éthanolique à quatre concentrations (0, 1, 2 et 3 g/L) ; (3) l'évaluation de l'activité biologique du sol, menée simultanément sur les pots des essais 1 et 2, par mesure du dégagement de C-CO_2. Les résultats montrent une réponse dépendante de la dose, avec une meilleure réponse à la concentration intermédiaire pour la plupart des paramètres de la plante : 10 % pour le priming et 2 g/L pour les applications foliaire et racinaire. Le priming à 10 % a ainsi augmenté le rendement par bouquet de 74,8 % par rapport au témoin. L'application racinaire a surtout favorisé le développement racinaire et certains paramètres du rendement, tandis que l'application foliaire a davantage stimulé la partie aérienne. Le dégagement de C-CO_2 a augmenté avec le priming comme avec les deux modes d'application ; à 3 g/L, le cumul dépasse celui du témoin de 53 % par voie racinaire contre 31 % par voie foliaire. Ces résultats mettent en évidence le potentiel d'*Ulva lactuca* comme biostimulant pour améliorer la croissance, le rendement, la qualité des fruits et l'activité biologique du sol chez la tomate industrielle. Le choix de la concentration et du mode d'application apparaît déterminant selon l'objectif de production visé.

Mots-clés : Tomate industrielle (*Solanum lycopersicum* var. Roma), *Ulva lactuca*, biostimulant, priming des semences, application foliaire, application racinaire, activité biologique du sol.

Abstract

This study is part of the search for sustainable alternatives to synthetic chemical inputs in processing tomato production (*Solanum lycopersicum* var. Roma). It evaluates the effects of a biostimulant based on the green macroalga *Ulva lactuca* on plant agronomic and physiological performance, as well as on soil biological activity. Three complementary experiments were conducted: (1) seed priming with an aqueous extract at four concentrations (0, 5, 10 and 15%); (2) foliar and root application of a hydroethanolic extract at four concentrations (0, 1, 2 and 3 g/L); and (3) assessment of soil biological activity, carried out simultaneously on the pots of experiments 1 and 2, by measuring C-CO_2 evolution. The results showed a dose-dependent response, with the best

response at the intermediate concentration for most plant parameters: 10% for seed priming and 2 g/L for foliar and root applications. Seed priming at 10% thus increased yield per truss by 74.8% compared with the control. Root application mainly promoted root development and certain yield-related parameters, whereas foliar application preferentially stimulated aboveground growth. C-CO_2 evolution increased with seed priming as well as with both application methods; at 3 g/L, cumulative C-CO_2 exceeded the control by 53% under root application versus 31% under foliar application. These results highlight the potential of *Ulva lactuca* as a biostimulant for improving plant growth, yield, fruit quality and soil biological activity. The choice of concentration and application method appears decisive depending on the targeted production objective.

Keywords: Processing tomato (*Solanum lycopersicum* var. Roma), *Ulva lactuca*, biostimulant, seed priming, foliar application, root application, soil biological activity.

ملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار البحث عن بدائل مستدامة للمدخلات الكيميائية الاصطناعية في زراعة الطماطم الصناعية (*Solanum lycopersicum* var. Roma)، وتهدف إلى تقييم تأثير محفز حيوي قائم على الطحلب الأخضر *Ulva lactuca* في الأداء الزراعي والفسيولوجي للنبات وفي النشاط البيولوجي للتربة. أُجريت ثلاث تجارب متكاملة: (1) تنشيط البذور بمستخلص مائي بأربعة تراكيز (0 و5 و10 و15%)؛ (2) التطبيق الورقي والجذري لمستخلص هيدروإيثانولي بأربعة تراكيز (0 و1 و2 و3 غ/لتر)؛ (3) تقييم النشاط البيولوجي للتربة، الذي أُنجز في الوقت نفسه على أصص التجربتين الأولى والثانية، بقياس انبعاث C-CO_2. أظهرت النتائج استجابة مرتبطة بالجرعة، مع أفضل استجابة عند التركيز المتوسط في معظم مؤشرات النبات: 10% في تنشيط البذور و2 غ/لتر في التطبيقين الورقي والجذري. وقد رفع تنشيط البذور بتركيز 10% مردود العنقود بنسبة 74.8% مقارنةً بالشاهد. وعزّز التطبيق الجذري خصوصًا نمو الجذور وبعض مؤشرات المردود، بينما حفّز التطبيق الورقي نمو الجزء الهوائي أكثر. كما ازداد انبعاث C-CO_2 مع تنشيط البذور ومع نمطي التطبيق؛ وعند 3 غ/لتر تجاوز المجموع التراكمي قيمة الشاهد بنسبة 53% في التطبيق الجذري مقابل 31% في التطبيق الورقي. وتبرز هذه النتائج إمكانات *Ulva lactuca* كمحفز حيوي لتحسين نمو الطماطم الصناعية ومردودها وجودة ثمارها والنشاط البيولوجي لتربتها. ويُعدّ اختيار التركيز وطريقة التطبيق عاملًا حاسمًا بحسب هدف الإنتاج المنشود.

الكلمات المفتاحية: الطماطم الصناعية(*Solanum lycopersicum* var. Roma) ، *Ulva lactuca*، محفز حيوي، تنشيط البذور، التطبيق الورقي، التطبيق الجذري، النشاط البيولوجي للتربة.

Table des matières

Remerciements i
Dédicace ii
Résumé iv
Abstract iv
ملخص v
Liste des tableaux xiii
Liste des figures xv
Liste des abréviations xxiii
Liste des Annexes xxiv
Introduction générale 1
PARTIE I : Synthèse bibliographique 4
CHAPITRE I : TOMATE INDUSTRIELLE 4
1. Généralités sur la tomate 4
1.1. Origine et historique 4
1.2. Position systématique et classification botanique 5
1.3. Importance économique *et al*imentaire 5
2. Description botanique et morphologique 6
2.1. Appareil végétatif 6
2.2. Appareil reproducteur 7
2.3. Stades phénologiques 8
3. Exigences agronomiques et écologiques 9
3.1. Exigences climatiques 9
3.2. Exigences édaphiques 9
3.3. Besoins en eau et irrigation 9
3.4. Fertilisation 10
4. Conduite culturale de la tomate industrielle 11
4.1. Choix variétal 11
4.2. Préparation du sol et semis 11
4.3. Entretien de la culture 12
4.4. Récolte 12
5. Principales contraintes 12
5.1. Maladies 12
5.2. Ravageurs 13
5.3. Contraintes abiotiques 13
6. Composition et qualité technologique du fruit 14

6.1. Composition biochimique 14
6.2. Paramètres de qualité industrielle 14
CHAPITRE II : BIOSTIMULANTS 15
1. Notions de biostimulants 15
1.1. Définitions 15
1.2. Différences entre biostimulants, amendements et engrais 15
2. Classification des biostimulants 16
2.1. Biostimulants microbiens 16
2.2. Biostimulants non microbiens 17
3. Algues marines 18
3.1. Généralités sur les algues marines 18
3.2. Classification des algues marines 18
4. Généralités sur l'algue verte *Ulva lactuca* 19
4.1. Taxonomie, morphologie et description botanique 19
4.2. Répartition géographique 20
4.3. Mode de reproduction et cycle de vie 20
4.4. Caractéristiques biochimiques d'*Ulva lactuca* 21
4.4.1. Polysaccharides 21
4.4.2. Protéines et acides aminés 21
4.4.3. Lipides et acides gras 21
4.4.4. Minéraux et oligoéléments 21
4.4.5. Phytohormones et régulateurs de croissance 22
4.4.6. Composés phénoliques et antioxydants 22
4.5. Modes d'application de l'extrait de *Ulva lactuca* 22
4.5.1. Trempage des semences (seed priming) 22
4.5.2. Application par trempage du sol (soil drench) 23
4.5.3. Application foliaire 23
4.5.4. Combinaison des modes d'application 23
4.6. Méthodes d'extraction 23
5. Effets de l'extrait d'*Ulva lactuca* sur les plantes et le sol 24
5.1. Effets sur les plantes 24
CHAPITRE III : ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL 26
1. Rôle et importance de l'activité biologique du sol 26
1.1. Définition 26
1.2. Intérêt de l'activité biologique du sol 26
1.2.1. Fertilité du sol 26
1.2.2. Contribution aux cycles biogéochimiques (C, N, P, S) 27
1.2.3. Place dans la durabilité des systèmes de culture 28

2. Composantes de l'activité biologique du sol 28
2.1. Microflore : bactéries, champignons, actinomycètes, algues du sol 28
2.2. Microfaune: protozoaires, nématodes 29
2.3. Macrofaune : vers de terre, insectes du sol, collemboles… 29
3. Indicateurs de l'activité biologique du sol 30
3.1. Indicateurs biochimiques 30
3.2. Indicateurs microbiologiques 31
3.3. Indicateurs liés à la matière organique 31
4. Facteurs influençant l'activité biologique du sol 32
4.1. Facteurs édaphiques 32
4.2. Facteurs anthropiques 32
PARTIE II : Matériels et méthodes 35
1. Présentation du site d'expérimentation 35
1.1. Localisation géographique du site expérimental 35
1.2. Conditions climatiques 35
1.2.1. Températures 36
1.2.2. Précipitations 36
1.2.3. Diagramme ombrothermique 36
2. Matériels biologiques et caractéristiques du sol 37
2.1. Matériel végétale 37
2.2. Caractéristiques du sol 37
2.3. Algues marines 40
2.3.1. Collecte de l'algue verte *Ulva lactuca* 40
2.3.2. Préparation de la poudre d'algues 41
3. Conduite des essais 41
3.1. Essai 1 : Évaluation de l'effet du priming des semences par l'extrait aqueux d'*Ulva lactuca* 41
3.1.1. Préparation de l'extrait aqueux 41
3.1.2. Priming de semences 42
3.1.3. Dispositif expérimental 43
3.2. Essai 2 : Évaluation de l'effet d'un extrait hydro-éthanolique d'*Ulva lactuca* selon deux modes d'application 43
3.2.1. Procédure d'extraction 43
3.2.2. Préparation de la solution mère et des doses appliquées 44
3.2.3. Dispositif expérimental 46
3.2.4. Protocole d'application 46
3.3. Essai 3 : Évaluation de l'activité biologique du sol 47
3.3.1. Principe de la méthode 47
3.3.2. Dispositif expérimental 47

3.3.3. Protocole de piégeage et dosage du C-CO_2 dégagé 47
4. Conduite de la culture 48
4.1. Phase pépinière et semis 48
4.2. Endurcissement et transplantation 49
4.3. Traitements phytosanitaires 50
5. Paramètres étudiés 51
5.1. Paramètres de croissance et de reproduction 52
5.2. Paramètres physiologiques de la plante 53
5.3. Paramètres nutritionnels et biomasse des parties aériennes et racinaires 54
5.4. Paramètres morphologiques de fruit et de rendement 55
5.5. Paramètres de qualité biochimique et technologique du fruit 57
6. Analyses statistiques 59
PARTIE III : Résultats et Discussions 61
SECTION I. Caractérisation du sol avant et après culture 61
1. Résultats des analyses de sol 61
1.1. Analyse granulométrique du sol (méthode de la pipette de Robinson) 61
1.2. Analyse physico-chimique et biochimique du sol : avant et après culture 62
2. Discussion 64
SECTION II. Essai 1 : Évaluation de l'effet du priming des semences par l'extrait aqueux d'*Ulva lactuca* 65
I. Paramètres étudiés 65
1. Paramètres de croissance et de reproduction 65
1.1. Résultats 65
1.1.1. Hauteur des plants (cm) 65
1.1.2. Diamètre de tige (mm) 67
1.1.3. Nombre de ramifications 68
1.1.4. Nombre de feuilles / plant 69
1.1.5. Surface foliaire (cm^2) 69
1.1.6. Nombre de fleurs / plant 70
1.1.7. Nombre de fruits / plant 70
1.1.8. Taux de nouaison (%) 71
1.2. Discussion 72
2. Paramètres physiologiques 74
2.1. Résultats 74
2.1.1. Taux de chlorophylle totale (mg/g MF) 74
2.1.2. Taux de sucres totaux (mg/100g PF) 74
2.2. Discussion 75
3. Paramètres nutritionnels et biomasse des parties aériennes et racinaires 76
3.1. Résultats 76

3.1.1. Taux d'azote total de la partie aérienne (% MS) ... 76
3.1.2. Poids frais de la partie aérienne (g) ... 77
3.1.3. Poids sec de la partie aérienne (g) ... 77
3.1.4. Poids frais de la partie racinaire (g) ... 78
3.1.5. Poids sec de la partie racinaire (g) ... 78
3.2. Discussion ... 79
4. Paramètres morphologiques du fruit et de rendement ... 80
4.1. Résultats ... 80
4.1.1. Longueur du fruit (mm) ... 80
4.1.2. Diamètre du fruit (mm) ... 81
4.1.3. Ratio L/D (Longueur / Diamètre) ... 81
4.1.4. Poids frais du fruit (g) ... 82
4.1.5. Poids sec de fruit (g) ... 82
4.1.6. Taux de Matière Sèche (%) ... 83
4.1.7. Rendement par bouquet / plant (g) ... 84
4.2. Discussion ... 84
5. Paramètres de qualité biochimique et technologique du fruit ... 85
5.1. Résultats ... 86
5.1.1. Degré de Brix (°Bx) ... 86
5.1.2. Acidité titrable (g/100g PF) ... 86
5.1.3. Teneur en vitamine C (mg/100g PF) ... 87
5.1.4. Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100g PF) ... 87
5.1.5. Teneur en flavonoïdes totaux (mg EQ/100 PF) ... 88
5.1.6. Teneur en lycopène (mg/100g PF) ... 88
5.1.7. Teneur en β-carotène (mg/100g PF) ... 89
5.2. Discussion ... 90
II. Analyse en Composantes Principales (ACP) ... 91
1. Résultats ... 92
1.1. Qualité de la représentation et valeurs propres ... 92
1.2. Cercle des corrélations ... 93
1.3. Plan des individus ... 96
2. Discussion ... 97
SECTION III. Essai 2 : Évaluation de l'effet des application foliaires et racinaires des extraits hydro-éthanolique d'*Ulva lactuca* ... 99
I. Paramètres étudiés ... 99
1. Paramètres de croissance et de reproduction ... 99
1.1. Résultats ... 99
1.1.1. Hauteur de la plante (cm) ... 99

1.1.2. Diamètre de la tige (mm) 101
1.1.3. Nombre de feuilles / plant 103
1.1.4. Nombre de ramifications / plant 104
1.1.5. Surface foliaire (cm²) 105
1.1.6. Nombre de fleurs / plant 106
1.1.7. Taux de nouaison (%) 107
1.1.8. Nombre de fruits (nb/plant) 108
1.2. Discussion des résultats des paramètres de croissance 109
2. Paramètres physiologiques de la plante 111
2.1. Résultats 111
2.1.1. Taux de chlorophylle totale (mg/g MF) 111
2.1.2. Taux de sucres totaux (mg/100g PF) 112
2.2. Discussion 113
3. Paramètres nutritionnels et biomasse des parties aériennes et racinaires 114
3.1. Résultats 114
3.1.1. Taux d'azote total de la partie aérienne (% MS) 114
3.1.2. Poids frais de la partie aérienne (g) 115
3.1.3. Poids sec de la partie aérienne (g) 116
3.1.4. Poids frais de la partie racinaire (g) 117
3.1.5. Poids sec de la partie racinaire (g) 118
3.2. Discussion 119
4. Paramètres morphologiques du fruit et de rendement 121
4.1. Résultats 121
4.1.1. Diamètre du fruit (mm) 121
4.1.2. Longueur du fruit (mm) 122
4.1.3. Ratio L/D (Longueur / Diamètre) 123
4.1.4. Rendement par bouquet fructifère (g) 124
4.1.5. Poids frais du fruit (g) 125
4.1.6. Poids sec du fruit (g) 126
4.1.7. Taux de Matière Sèche (%) 127
4.2. Discussion 128
5. Paramètres de qualité biochimique et technologique du fruit 129
5.1. Résultats 129
5.1.1. Degré de Brix (°Bx) 129
5.1.2. Acidité titrable (g/100g PF) 130
5.1.3. Teneur en vitamine C 131
5.1.4. Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100g PF) 132
5.1.5. Teneur en flavonoïdes totaux (mg EQ/100g PF) 133

5.1.6. Teneur en lycopène (mg/100g PF) 134
5.1.7. Teneur en β-carotène (mg/100g PF) 135
5.2. Discussion 136
1. Résultats 139
1.1. Qualité de la représentation et valeurs propres. 139
1.2. Cercle des corrélations 140
1.3. Plan des individus 143
2. Discussion 144
III. Correction pour comparaisons multiples (Benjamini–Hochberg / FDR) 146
1. Application aux tests ANOVA univariés — Essai 1 et Essai 2 146
2. Résultat global 146
SECTION IV. Essai 3 : Activité biologique du sol 148
I. Activité biologique du sol — Essai 1 148
1. Quantité de C-CO_2 dégagée par les microorganismes du sol 148
1.1. Stade début de phase végétative, 15 jours après transplantation (P1) 148
1.2. Stade croissance active, pic d'activité racinaire, 30 jours après transplantation (P2) 149
1.3. Stade début de floraison, 45 jours après transplantation (P3) 150
1.4. Stade pleine floraison, 60 jours après transplantation (P4) 151
1.5. Stade formation et maturation des fruits, 75 jours après transplantation (P5) 152
1.6. Cumul moyen de dégagement de C-CO_2 pendant toute la durée du cycle cultural. 153
2. Discussion 154
3. Corrélation entre le C-CO_2 dégagé et les traitements de priming algal 155
II. Activité biologique du sol — Essai 2 156
1. Quantité de C-CO_2 dégagée par les microorganismes du sol 156
1.1. Stade début de phase végétative, 15 jours après transplantation (P1) 156
1.2. Stade croissance active, pic d'activité racinaire, 30 jours après transplantation (P2) 157
1.3. Stade début de floraison, 45 jours après transplantation (P3) 158
1.4. Stade pleine floraison, 60 jours après transplantation (P4) 159
1.5. Stade formation et maturation des fruits, 75 jours après transplantation (P5) 160
1.6. Cumul moyen de dégagement de C-CO_2 pendant toute la durée du cycle cultural 161
2. Discussion 162
3. Corrélation entre les traitements de biostimulant (application foliaire et racinaire) et la quantité de C-CO_2 dégagée en fonction du temps 163
Conclusion generale et perspectives 167
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 170
ANNEXES 195