

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie et Agro-Écologie

THÈSE DE DOCTORAT

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production végétale intégrée

POTENTIALITÉS DES EXTRAITS ALGAUX ET VÉGÉTAUX DANS L'OPTIMISATION DES ACTIVITÉS MÉTABOLIQUES ET L'EXPRESSION VÉGÉTATIVE CHEZ LES PLANTES CULTIVÉES

Par

MOHAMMEDI Anissa

Devant le jury composé de :

CHAOUIA CHERIFA	Professeure	U. Blida. 1	Présidente
DJAZOULI ZAHRE EL DINNE	Professeur	U. Blida. 1	Encadreur
BAHA MOUNIA	Professeure	E.N.S. Kouba	Examinatrice
CHEBOUTI NADJIBA	Professeure	U. Boumerdes	Examinatrice
NEBIH DAOUIA	MCA	U. Blida. 1	Examinatrice
MERAH OTMANE	MCA	U. Toulouse	Co-encadreur

Blida, Janvier 2022

RÉSUMÉ

POTENTIALITÉS DES EXTRAITS ALGAUX ET VÉGÉTAUX DANS L'OPTIMISATION DES ACTIVITÉS MÉTABOLIQUES ET L'EXPRESSION VÉGÉTATIVE CHEZ LES PLANTES CULTIVÉES

Résumé

Dans la nécessité de répondre aux vagues écologiques en agriculture et réduire les intrants chimiques, l'économie circulaire s'implique par le biais des matières premières renouvelables d'origine agricole, extrait algaux et végétaux, pour s'engager dans la démarche du développement durable, la valorisation du potentiel chimique des extraits algaux et végétaux passe obligatoirement par la sécurisation des molécules et innover des procédés de formulation.

Nous avons donc choisi *Ulva rigida*, *Dictyota dichotoma* comme espèces algales et la paille de blé pour la préparation des extraits aqueux brut et envisagé un test de différentes concentrations (0,2/250ml ; 0,3/250ml ; 0,5/250 ; 1 ml /250 ml) sur un lot de semence de blé par le biais de deux techniques **Priming** et l'**Encapsulation** sur des paramètres morfo-physiologiques. Par référence à nos résultats, la concentration (0,2ml) en priming à améliorer significativement par rapport au témoin le taux, index et vitesse de germination, les deux parties aérienne et racinaire et le taux de polyphénols chez l'algue verte *Ulva rigida*, en revanche, ce sont deux concentrations chez l'algue brune *Dictyota dichotoma* qui stimule les graines 0,2 ml pour le taux, l'index et vitesse de germination et 1ml pour la partie aériennes et polyphénols, alors que son incorporation dans l'encapsulation été non significative. L'extrait *Ulva rigida* encapsulé se démarque par la concentration 1ml et améliore significativement tous les paramètres morfo -physiologique testé, l'extrait smoke comme agent de priming a augmenté significativement tous les paramètres morfo-physiologique des graines de blé, en revanche dans la technique de micro encapsulation n'agit pas dans la germination mais performe la levé de la plante (partie racinaire et aérienne). Ses résultats positifs, c'est une raison pour lequel on passe a séquestré cette matière active dans une formulation et envisagé d'autres tests sur graines et sur plants (*Vitis vinifera*).

Dans cette formulation, on a pu comparer un produit innové avec un bioproduit industrialisé comme première étape ou le formulé le dépasse, une seconde étape ou il améliore significativement le nombre de feuille, surface foliaire, l'activité photosynthétique de la vigne par rapport au témoin (eau).

Les extraits algaux et végétaux font partie d'une grande source naturelle, des déchets exploités et formulés qui peuvent répondre aux attentes actuelles et futures des opérateurs économiques tout en assurant la pérennité de l'activité agricole.

Mots clés : Priming, formulation, micro-encapsulation, extraits d'algues,

ABSTRACT

POTENTIALITIES OF ALGAL AND PLANT EXTRACTS IN THE OPTIMIZATION OF METABOLIC ACTIVITIES AND VEGETATIVE EXPRESSION IN CULTIVATED PLANTS

Abstract

In the necessity to answer the ecological waves in agriculture and to reduce the inputs, the circular economy implies by the use of the renewable raw materials of agricultural origin, algal and vegetable extracts, to engage in the step of the sustainable development, the valorization of the chemical potential of the algal and vegetable extracts passes obligatorily by the securing of the molecules and to innovate processes of formulation

We have therefore chosen *Ulva rigida*, *Dictyota dichotoma* as algal species and wheat straw for the preparation of raw aqueous extracts and considered a test of different concentrations (0.2/250ml; 0.3/250ml; 0.5/250; 1 ml /250 ml) on a batch of wheat seed by the use of two techniques Priming and Encapsulation on morph-physiological parameters. With reference to our results, the concentration (0.2ml) in priming to improve significantly compared to the control, the rate, index and speed of germination, both aerial and root parts and the rate of polyphenols in the green alga *Ulva rigida*, on the other hand it is two concentrations in the brown alga *Dictyota dichotoma* which stimulates the seeds 0,2 ml for the rate, the index and the speed of germination and 1ml for the aerial part and polyphenols, whereas its incorporation in the encapsulation was not significant. The encapsulated *Ulva rigida* extract is distinguished by the concentration of 1ml and significantly improves all the morph-physiological parameters tested, the smoke extract as priming agent significantly increased all the morph-physiological parameters of the wheat seeds, on the other hand in the micro encapsulation technique does not act in the germination but performs the lifting of the plant (root and aerial part). Its positive results are the reason why this active ingredient has been sequestered in a formulation and other tests on seeds and plants (*Vitis vinifera*) have been considered.

In this formulation, we have been able to compare an innovative product with an industrialized bioproduct as a first step where the formulated one overcomes it, a second step where it improves significantly the number of leaves, leaf surface, photosynthetic activity of the vine compared to the control (water).

The algal and vegetable extracts are part of a great natural source, exploited and formulated waste that can meet the current and future expectations of economic operators while ensuring the sustainability of agricultural activity.

Key words: priming, encapsulation, algal extracts, smoke extract

ملخص

إمكانات مستخلصات الطحالب والنباتات في تحسين الأنشطة الأيضية والتعبير النباتي في النباتات المزروعة

في الحاجة إلى الاستجابة للموجات البيئية في الزراعة وتقليل المدخلات، يشارك الاقتصاد الدائري من خلال خليج المواد الخام المتجددة ذات الأصل الزراعي والطحالب والمستخلصات النباتية، للمشاركة في عملية التنمية المستدامة، وتعزيز الإمكانات الكيميائية من مستخلصات الطحالب والنباتات تتطوي بالضرورة على تأمين الجزيئات وابتكار عمليات صياغة

لذلك اخترنا *Ulva rigida* و *Dictyota dichotoma* كأصناف من الطحالب وخميرة القمح لتحضير المستخلصات المائية الخام وتوخينا اختبارًا بتركيزات مختلفة (0.2 / 250 مل؛ 0.3 / 250 مل؛ 0.5 / 250 مل؛ 1 مل / 250 مل) على a دفعة من بذور القمح باستخدام تقنيتين: فتيلة وتغليف على معايير مورفو فيزيولوجية. بالرجوع إلى نتائجنا، فإن التركيز (0.2 مل) في التحضير يتحسن بشكل ملحوظ مقارنة بالتحكم في معدل ومؤشر وسرعة الإنبات والجزيئين الهوائيين والجذريين ومعدل البوليفي نول في الطحالب الخضراء *Ulva rigida*، على من ناحية أخرى، هذان تركيزان في الطحالب البنية *Dictyota dichotoma* التي تحفز البذور 0.2 مل لمعدل، مؤشر وسرعة الإنبات و 1 مل للجزء الجوي والبوليفينول، بينما لم يكن دمجها في التغليف معنويًا. يتميز مستخلص *Ulva rigida* المغلف بتركيز 1 مل ويحسن بشكل كبير جميع المعلمات المورفولوجية الفسيولوجية التي تم اختبارها، وزاد مستخلص الدخان كعامل فتيلة بشكل كبير من جميع المعلمات المورفولوجية الفسيولوجية لبذور القمح، من ناحية أخرى في تقنية الكبسولة الدقيقة. لا يعمل في الإنبات ولكنه يؤدي إلى ظهور النبات (الجزء الجذري والجوي). تعتبر نتائجها الإيجابية أحد الأسباب التي

دفعتنا إلى عزل هذا المكون النشط في تركيبة وأخذنا في الاعتبار الاختبارات الأخرى على البذور والنباتات (*Vitis vinifera*). في هذه الصيغة، يمكننا مقارنة منتج مبتكر بمنتج حيوي صناعي كخطوة أولى حيث تتجاوزه التركيبية، وهي خطوة ثانية حيث يحسن بشكل كبير عدد الأوراق ومساحة الأوراق ونشاط التمثيل الضوئي للكرمة مقارنةً بالتحكم (الماء).

تعد المستخلصات الطحلبية والنباتية جزءًا من مصدر طبيعي كبير للنفايات المستغلة والمصنعة التي يمكن أن تلبى التوقعات الحالية والمستقبلية للمشغلين الاقتصاديين مع ضمان استدامة النشاط الزراعي.

الكلمات المفتاحية: تحضير، تغليف، مستخلصات طحلبية، خلاصة دخان

REMERCIEMENTS

Une thèse c'est un escalier d'expériences scientifique et humaine qui marque l'esprit.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects aux membres du jury de thèse d'avoir accepté d'honorer et d'enrichir mon travail. Pour cela, je leur exprime ma profonde reconnaissance.

Je commencerais par remercier madame CHAOUIA CHERIFA Professeure à l'Université de Blida 1 pour avoir aimablement accepté la responsabilité de présider le jury de ma thèse.

Je remercie énormément Madame NEBIH DHAOUIA Maitre de conférences A à l'Université de Blida.1 de faire partie du jury de ma thèse.

Je voudrais remercier aussi Professeure CHEBOUTI NADJIBA à l'Université de Boumerdes d'avoir accepté d'examiner ma thèse et de faire partie du jury.

Je remercie également Professeur BAHA MOUNIA à E.N.S. Kouba d'avoir accepté d'examiner mon travail et de faire partie de jury.

Je tiens à remercier profondément Professeur Z.E. DJAZOULI, mon directeur de thèse d'abord pour ses qualités humaines et d'être la personne qu'il est. Je le remercie de m'offrir une liberté de réflexion et la chance d'avoir cette thématique, de faire naître en moi une petite scientifique qui a une vision d'avenir avec un savoir-faire, et de m'avoir transmis son amour envers la science et son honnêteté envers le travail.

Je le remercie encore pour son accompagnement, disponibilité, orientation et ses conseils éclairés tout au long de ces quatre ans de thèse et surtout de m'avoir apporté son énergie positive comme une lumière dans le noir.

C'est avec beaucoup de gratitude que je remercie vivement Docteur Merah Othmane, Maitre de conférences HDR de l'Université de Toulouse, INP-ENSIACET, (Laboratoire de Chimie Agro-industrielle), et de l'Université Paul Sabatier Département Génie Biologique. France, d'une part, pour avoir accepté de codiriger ma thèse, sa contribution à la rédaction de mes articles et ses qualités scientifiques et humaines, et d'autre part de m'avoir accepté et accueilli au sein de son groupe de recherche à l'école d'INPT en France.

Je tiens aussi à remercier Dr KORD AFAF, membre du centre CNRDPA qui m'a beaucoup aidé pour l'identification des algues marines.

Un grand merci à Monsieur RAFIK EL HADI et l'équipe du CRAPC pour leurs disponibilités et pour avoir mis à ma disposition le matériel nécessaire pour la caractérisation de mes extraits.

Je voudrai également remercier Mr Sid Ahmed de m'offrir une zone expérimentale au sein de son pépinière et de m'accueillir chaleureusement.

Au final je tiens à remercier notre équipe de laboratoire de recherche et mes collègues pour leurs esprits coopératifs, solidarité et soutien moral.

DÉDICACE (1)

I had dream... I will not say dream this time because dreams come true, since I was child I had a little philosophy, "I am here to make a difference and before I pass away, I will make sur that I have left something big behind me".

I grow up with this idea, and as all human being I didn't know where the waves of life will throw me, and how difficult it can be, for a little girl who try to make her own way ,,

I have chosen to swim in the knowledge sea, sometimes I was sinking and other times I was breathless, even tho I made my boat for this trip.

Only then, I said to life, "Trust Me, I am the master of my sea".

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'M' followed by the name 'Miss C' in a cursive script.

DÉDICACE (2)

Je dédie ce travail accompagné d'un profond amour :

- A l'âme de ma chère grand-mère.

- A mon support dans la vie : mes parents.

- A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir : Samia.

- A celle qui m'a soutenu et encouragé : ma petite Suzi.

- A mes chers frères : Achen, Adel, Abdel koudous.

-A tous mes ami(e)s : Salim, Ismahén, Yasmine, Neal, Samir, youyou.

à tous ceux qui m'aiment

Table des matières

RÉSUMÉ
ABSTRACT
ملخص
REMERCIEMENTS
DÉDICACES
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	3
Synthèse BIBLIOGRAPHIQUES.....	3
I.1. Le Changement climatique et l’agriculture.....	3
I.2. Les stimulants biologiques.....	7
I.2.1.1. Type de biostimulants	8
I.2.1.2. Le compostage	8
I.2.2.2. Le vermicompostage	9
I.2.2.3. Les biostimulants d’origine animale	9
I.2.2.4. Inoculum de bactéries	10
I.2.2.5. Les biostimulants d’origine végétale	11
I.2.2.5.1. Les hydrolysats ou extraits de plantes.....	11
I.2.2.5.2. Les extraits végétaux dérivés de fumée : Smoke	14
I.2.2.5.2.1 Production de l’eau saturée de smoke	14
I.2.2.5.2.2 Smoke : molécule signal	15
I.2.2.5.2.3. Rôle de KAR1	16
I.2.2.6. Biostimulant d’origine algale	17
I.2.2.6.1 Généralité sur les algues.....	17
I.2.2.6.2 Composition	18
I.2.2.6.3 Le rôle des biofertilisants algales.....	18
I.3. Les formulations	20
I.3.1. Définition des formulations.....	20
I.3.2. Les composants d’un produit formulé.....	21
I.3.3. La micro-encapsulation	23
I.4. Importance des formulations	23
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES	26
II.1. Objectif de travail	26
II.2. Présentation de la zone de prélèvement et identification des algues marines	26

II.3. Présentation globale des zones d'étude.....	28
II.4. Matériel et méthodes d'études.....	30
II.4.1.1. Les extraits aqueux d'algues.....	31
II.4.1.2. Extrait aqueux enfumé : le smoke	31
II.4.2. Caractérisation des extraits par spectroscopie d'absorption atomique (SAA).....	33
II.4.3. Formulations des extraits	33
II.4.4. Prélèvement et analyse du sol.....	34
II.4.5. Conduite des essais	34
II.4.5.1. Conduite des essais en conditions contrôlées	34
II.4.5.1.1. Essais par la technique du Le priming.....	35
II.4.5.1.2. Essais par la technique de la micro-encapsulation	37
II.4.5.2. Conduite des essais en conditions semi-contrôlées	38
II.4.6. Paramètres estimés	40
II.4.6.1. En conditions contrôlées	40
II.4.6.2. En conditions semi-contrôlées	41
II.4.7. Tests statistiques utilisés	42
CHAPITRE III : RÉSULTATS.....	43
III.1. Caractérisation des extraits algaux et végétaux	43
III.2. Évaluation de la performance de la technique du Priming par application des extraits algaux et végétaux.....	46
III.2.1. Évaluation de l'amorçage des graines par les extraits algaux.....	46
III.2.1.1. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux de germination des graines	46
III.2.1.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines	48
III.2.1.3. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur la vitesse de croissance.....	50
III.2.1.4. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur l'index de germination	51
III.2.1.5. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les paramètres morphologiques	53
III.2.1.6. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les polyphénols totaux	54
III.2.2. Évaluation de l'amorçage des graines par les extraits végétaux (smoke).....	55
III.2.2.1. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux de germination des graines	55
III.2.2.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines	56
III.2.2.3. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur la vitesse de germination	57
III.2.2.4. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur l'index de germination	58
III.2.2.5. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les paramètres morphologiques	59
III.3. Évaluation de la performance de la technique micro-encapsulation par application des extraits algaux et végétaux	60
III.3.1. Évaluation de la micro-encapsulation des graines par les extraits algaux	60

III.3.1.1. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur le taux de germination des graines	60
III.3.1.2. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur le taux d'inhibition des graines.....	62
III.3.1.3. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur la vitesse de croissance.....	64
III.3.1.4. Effet des différentes concentrations de micro-encapsulation sur l'index de germination	66
III.3.1.5. Effet de différentes concentrations de micro-encapsulation sur les paramètres morphologiques	67
III.3.1.6. Effet de différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur les polyphénols totaux	68
III.3.2. Évaluation de la micro-encapsulation des graines par les extraits végétaux (smoke)	68
III.3.2.1. Effet des différentes concentrations III utilisées en micro-encapsulation sur le taux de germination des graines	68
III.3.2.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines	69
III.3.2.3. Effet des différentes concentrations utilisées en mico-encapsulation sur la vitesse de germination.....	70
III.3.2.4. Effet des différentes concentrations utilisées en micro8encapsulation sur l'index de germination	71
III.3.2.5. Effet de différentes concentrations utilisée en micro encapsulation sur les paramètres morphologiques	72
III.4. Effets de la séquestration des principes actif sur la germination et la croissance des graines	72
III.4.1. Effets des techniques de séquestration sur la germination des graines.....	73
III.4.2. Effets des techniques de séquestration sur la croissance des parties aérienne et racinaires des graines.....	76
III.5. Effet de la formulation sur l'expression végétative des plants de vigne.....	79
Chapitre VI : Discussion	81
CONCLUSION	88
Références bibliographiques	90

LISTE FIGURES

Figure I. 1: Diagramme schématique de la rétroaction positive des cycles et de l'expansion des zones arides dues au changement climatique et à la diminution du COS. Modifié (33).....	6
Figure I. 2 : Rôles des rhizobactéries dans la croissance des plantes (72).....	11
Figure I. 3 : Exemple de PDB (Effets de l'extrait de feuille de moringa) dans l'amélioration de la tolérance au stress abiotique. (82).....	13
Figure I. 4 : Prototype pour produire de l'eau saturée de fumée (87).....	14
Figure I. 5 : Structures chimiques des karrikinés, du strigol (5), de la coumarine (6) et d'une pyrone apparentée (7) isolée de la fumée (94).....	15
Figure I. 6 : Réponse de germination observée avec des graines de laitue Var. Grand Rapids sensibles à la lumière après 24 h dans l'obscurité à 25 °C.	17
Figure I. 7 : Effets des biofertilisants algaux sur les propriétés physiologiques et biochimiques du sol (117).....	19
Figure I. 8 : structure simplifiée d'un tensioactif.....	21
Figure I. 9 : Représentation schématique du mécanisme proposé pour l'émulsification : (a) un contact entre la phase huileuse et la phase aqueuse contenant une substance dispersible dans l'eau , (b) Le mécanisme sous-jacent est le déplacement de la substance dispersible dans l'eau de la phase huileuse vers la phase aqueuse (flèches rouges), (c) une turbulence interfaciale et la formation spontanée de gouttelettes d'huile.(132).....	22
Figure I. 10 : micro-encapsulation d'un fragment de plante (139).....	23
Figure II. 1 : Localisation de la zone de prélèvement	26
Figure II. 2 : Aspect micro et macroscopique d' <i>Ulva rigida</i> (photo original)	27
Figure II. 3: Aspect micro et macroscopique de <i>Dictyota dichotoma</i> (photo original).....	27
Figure II. 4: Localisation des sites d'expérimentation (Google Earth-2021).....	28
Figure II. 5: Variation de la température minimale et maximale quotidienne par an du site d'étude (région de Soumaa). (METEONORM vers.7.1).....	29
Figure II. 6 : Variation des précipitations journalières par an du site d'étude (région de Soumaa) (METEONORM vers.7.1)	29
Figure II. 7: Schéma hypothétiques de l'impact des différents traitements aux extraits algaux et végétaux dans la stimulation des paramètres physiologiques et de croissance de blé et de vigne.....	30
Figure II. 8 : Aspect général des deux extraits aqueux algaux bruts (original).	31
Figure II. 9: Prototype de production de l'extrait aqueux enfumé (Original)	32
Figure II. 10: Dispositif expérimental des essais en conditions contrôlées	36
Figure II. 11: Protocole d'enrobage des graines par l'alginate	37
Figure II. 12: Graines de blé encapsulées (original)	38
Figure II. 13: Dispositif expérimental des traitements sur plants de vigne en pépinière (photo Original).....	39
Figure III. 1: Projection des principaux composés minéraux et des pigments des extraits algaux et végétaux sur les deux axes de l'A.C.	45

Figure III. 2: Classification hierarchique ascendante (CHA) des principaux composés minéraux et des pigments des extraits algaux et végétaux	45
Figure III. 3: Fluctuations temporelles des taux de germination.....	47
Figure III. 4: Fluctuations temporelles des taux d’Inhibition	49
Figure III. 5: Effet des concentrations des extraits végétaux smoke sur l’index de germination	71
Figure III. 6: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal sur le taux de germination	73
Figure III. 7: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extrais algal et végétal sur le taux de germination par comparaison a un bioengrais homologué	74
Figure III. 8: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal par la technique du Priming sur la vitesse et l’index de germination.....	75
Figure III. 9: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal par la technique d’Encapsulation sur la vitesse et l’index de germination.....	76
Figure III. 10: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie aérienne	77
Figure III. 11: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie aérienne par comparaison a un bioengrais homologué	77
Figure III. 12: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie racinaire	78
Figure III. 13: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie racinaire par comparaison a un bioengrais homologué	78

LISTE TABLEAUX

Tableau I. 1: Substances favorisant la croissance sécrétée par des PGPR spécifiques.	10
Tableau II. 1: Paramètres du programme micro-onde de SAA	33
Tableau II. 2 : Description des traitements réalisés dans les essais contrôlés	35
Tableau III. 1: Composition en éléments minéraux et en pigments des extraits algaux et végétaux	43
Tableau III. 2 : Test de comparaison par paire appliqué aux éléments minéraux et aux pigments des extraits algaux et végétaux	44
Tableau III. 3: Effet comparé des concentrations l’extrait aqueux de l’algue verte <i>Ulva rigida</i> et de l’algue brune <i>Dictyota dichotoma</i> sur le taux de germination des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)	48
Tableau III. 4: Effet comparé des concentrations de l’extrait aqueux de l’algue verte <i>Ulva rigida</i> et de l’algue brune <i>Dictyota dichotoma</i> sur le taux d’inhibition des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)	50

Tableau III. 5: Variation des paramètres morfo-physiologique sous l'effet de la concentration des extraits des deux algues.....	53
Tableau III. 6: Effet comparé des concentrations des extraits végétaux smoke sur le taux de germination des graines de blé (Test Khi ² /probabilités associées)	56
Tableau III. 7: Effet comparé des concentrations des extraits végétaux smoke sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test Khi ² /probabilités associées)	57
Tableau III. 8: Variation des paramètres morphologique sous l'effet de la concentration des extraits végétaux smoke.....	59
Tableau III. 9: Effet comparé des concentrations l'extrait aqueux de l'algue verte <i>Ulva rigida</i> et de l'algue brune <i>Dictyota dichotoma</i> sur le taux de germination des graines de blé (Test Khi ² /probabilités associées)	62
Tableau III. 10: Effet comparé des concentrations de l'extrait aqueux de l'algue verte <i>Ulva rigida</i> et de l'algue brune <i>Dictyota dichotoma</i> sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test Khi ² /probabilités associées)	64
Tableau III. 11: Variation des paramètres morfo-physiologique sous l'effet de la concentration des extraits des deux algues.....	67
Tableau III. 12: Variation des paramètres morphologique sous l'effet de la concentration des extraits végétaux smoke.....	72
Tableau III. 13: Variation des expressions végétative et physiologique de la vigne sous l'effet des phytoformulations à base d'extrait aqueux d' <i>Ulva rigida</i> (My±SE)	79
Concernant, la chlorophylle a, l'analyse de la variance annonce que son expression est significativement dépendante de la nature de l'extrait aqueux (p<5%) (Tableau III. 14). Les résultats du test de Tukey montrent la présence de 3 groupes homogènes (a, ab et b). L'effet des phytopréparations, qui désigne l'expression de la chlorophylle a la plus importance est signalé chez la formulation F2 et l'extrait brut EBV (le groupe homogènes a). La formulation F1 exprime les quantités aussi importance que le témoin (le groupe homogènes ab).....	80
Les résultats du test de Tukey montrent la présence de 2 groupes homogènes relatifs à la quantité de la chlorophylle b et à la chlorophylle totale présente dans les feuilles de vigne (a et b), dont la quantité chlorophyllienne la plus marquée est allouée à la formulation F2 et l'extrait brut EBV d' <i>Ulva rigida</i> formant ainsi le groupe homogène (a), par conséquent le groupe homogène (ab). Enfin, la plus faible quantité est signalée sous l'application de l'eau et de la formulation F1 (groupe homogène b) (Tableau III. 15).	80
À propos des potentialités des phytopréparations sur l'expression des caroténoïdes, le test de Tukey fait constater une différence significative, exprimant les valeurs les plus importantes sous l'effet des deux formulation F1 et F2 (Tableau III. 16).....	80

INTRODUCTION

La pression démographique mondiale sur la production agricole exige des approches nouvelles et durables pour satisfaire la demande toujours croissante de biomasse végétale destinée à l'alimentation humaine et animale. Pour satisfaire la demande toujours croissante l'activité de recherche en matière de systèmes agricoles a été orientée pendant des années pour l'augmentation du rendement sans tenir compte de la qualité du produit et de l'utilisation rationnelle des ressources. Les pratiques agricoles conventionnelles reposent en grande partie sur des d'engrais et de pesticides non renouvelables. Bien que leur introduction ait permis des progrès substantiels pour l'humanité [1] les produits agrochimiques constituent également une menace grave et non résolue pour la santé humaine et l'environnement [2]. En outre, l'approvisionnement et l'application de ces intrants deviennent de plus en plus coûteux en raison de l'épuisement des ressources et de la demande mondiale d'engrais minéraux. Enfin, l'utilisation d'intrants chimiques dans l'agriculture est limitée par un cadre juridique plus strict en raison de l'inquiétude croissante du public [3].

En revanche, l'attention se porte aujourd'hui principalement sur la qualité des produits et la durabilité des systèmes de culture. En outre, la gestion de la culture accorde plus d'attention à la réduction des coûts de production en diminuant les intrants. L'économie circulaire s'implique et l'utilisation des matières premières renouvelables d'origine agricole est nécessaire pour s'engager dans la démarche du développement durable.

L'inspiration de la nature c'est la clé qui ouvre la porte vers une recherche sur des matières renouvelables non exploitables et les performées selon les modalités d'usages, la lumière est projetée sur les déchets de mer (ressources algales) et la paille de blé (source végétales) comme matières à valoriser.

Cette thèse est consacrée à la valorisation de la biomasse algale dont le choix est porté sur deux espèces : *Ulva rigida* et *Dictyota Dichotoma* et biomasse végétale : paille de blé. Une préparation des extraits aqueux de ces derniers étaient nécessaire pour faire recours à la chimie verte et les formulées dans le but d'obtenir un produit final efficace et stable. Deux applications ont été investiguées, sur un lot de semences et sur plante vigne (comme modèle) : pour évaluer les potentialités des extraits algaux et végétaux dans l'optimisation de la performance des activités métaboliques et

d'expression végétative chez les plantes model à travers deux questions hypothèses :
(i) Les extraits algaux et végétaux peuvent-ils performer l'activité métabolique et l'expression végétative des semences ? (ii) La formulation de l'extrait algale peut-elle performer l'expression végétative des semences et jeunes plantules ?

CHAPITRE I

Synthèse BIBLIOGRAPHIQUES

I.1. Le Changement climatique et l'agriculture

La propagation de la pandémie du virus SRAS-CoV-2 a pu offrir à l'échelle mondiale une réduction importante et rapide des émissions de polluants atmosphériques et anthropiques [4] telle réduction été estimé dans 129 pays [5] malheureusement ce changement remarquable ne peut freiner la variabilité fondamentale du climat sur des échelles de temps allant de quelques secondes à des millénaires [6] ni ses conditions extrêmes sur des échelles de temps allant de quelques jours à plusieurs années [7] tels événements d'un point de vue écologique souligne le besoin urgent de mieux comprendre leurs rôles à l'avenir, qui affectent la biosphère et entraînent des changements importants dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres [8] comme la vague de chaleur européenne de 2003, suivie par un événement de chaleur similaire en Russie occidentale 7 ans plus tard [9] plusieurs axes de recherche , que le changement climatique pourrait devenir une cause importante d'extinction des espèces au cours du prochain siècle à venir, car la terre s'est réchauffée d'environ 0,74 °C au cours des 100 dernières années, et les températures moyennes mondiales devraient encore augmenter de $4,3 \pm 0,7$ °C d'ici à 2100 [10] les arguments thermodynamiques indiquent qu'un réchauffement accru pourrait effectivement amplifier les sécheresses en augmentant la demande en eau de l'atmosphère [11], une observation par satellite révèle géographiquement des diminutions importantes et étendues de l'activité de la végétation coïncidé avec une période prolongée de précipitations inférieures à la normale [12]. La réponse aux vagues de chaleur aux extrêmes est incertaine par les arbres, mais importante pour la fonction des écosystèmes [13-15], les températures extrêmes combinées à une sécheresse prolongée ont été impliquées comme facteurs de mortalité forestière [16, 17]. Les températures élevées pendant les vagues de chaleur extrêmes, peuvent dépasser les seuils thermiques des plantes, entraînant des dommages thermiques directs ou la mortalité [18], sachant que les températures les plus chaudes associées à des déficits de précipitations ont des conséquences négatives pour la croissance des plantes, en particulier dans les écosystèmes semi-arides ce qui peut augmenter la productivité des

écosystèmes et entraîner l'absorption de carbone terrestre [19]. Les impacts du changement climatique peuvent être observés à plusieurs niveaux : (i) baisse de la prévisibilité du rendement des cultures, évolution de la demande d'irrigation, risque croissant d'infestations parasitaires (ii), perte d'habitats d'espèces et d'écosystèmes protecteurs, déplacements migratoires (iii), érosion, inondation, salinisation, stress sur les mangroves, les marais (iv), variabilité de l'approvisionnement en eau et de sa qualité et de sa distribution. Plus de concurrence et de conflits transfrontaliers (v), changements dans la composition, l'étendue, la santé et la productivité des forêts. Augmentation des incidents liés aux maladies infectieuses, hydriques et vectorielles, au stress thermique et à la mortalité, des coûts de santé publique supplémentaires [20], explique Medlyn que pendant les vagues de chaleur extrêmes la productivité des plantes est affectée. Les taux nets de photosynthèse foliaire diminuent souvent à des températures élevées en raison de l'augmentation de la respiration mitochondriale, de la photorespiration, des altérations de la biochimie photosynthétique et de la fermeture des stomates. Dans des conditions environnementales modérées, la conductance stomatique est prédite en fonction du taux de photosynthèse et du déficit de pression de vapeur (DPV), qui sont à leur tour affectés par la température [21, 22] (i) d'une part, la pression de vapeur augmente avec la température, ce qui détermine la diffusion de l'eau des feuilles vers l'atmosphère donc une humidité spécifique constante. (ii) D'autre part, une réduction de la photosynthèse et de la transpiration dues à la sécheresse du sol élevé qui entraîne une fermeture des stomates, et donc une réduction du refroidissement par évaporation de la feuille et par conséquent des feuilles plus chaudes. Ceci implique une pression de vapeur plus élevée. La chaleur extrême affecte les processus physiologiques au niveau de la cellule, feuille et plante, y compris les changements dans le développement foliaire et la surface ainsi que la diminution de la photosynthèse et de la croissance qui peuvent engendrer une augmentation du stress oxydatif [23]. Dans l'absence d'une sécheresse sévère, les scientifiques ont récemment observé un découplage entre la photosynthèse (réduite par la chaleur) et la transpiration (soutenue par la chaleur), pour les Eucalyptus en conjonction avec une augmentation rapide de la tolérance thermique des feuilles, ce qui entraîne une rétroaction négative induite par la végétation sur l'intensité des vagues de chaleur [22]. La sécheresse et la chaleur coïncident souvent, et combinées ont un effet plus fort sur la photosynthèse de la végétation que chacun des facteurs pris séparément [24]. Pour la respiration, en particulier celle du sol, la sécheresse et

la chaleur ont plutôt des effets compensatoires : une température élevée augmente la respiration microbienne et la sécheresse la diminue. Par conséquent, l'effet immédiat de la sécheresse et de la chaleur sur le bilan global de carbone est plutôt négatif, comme confirmé par de nombreuses études [19, 25].

Avec le changement climatique, les sols qui sont considérés comme un réservoir majeur de carbone : contiennent plus de carbone que l'atmosphère et la végétation terrestres réunies sont devenues l'une des ressources les plus vulnérables du monde [26]. Cependant, les actions anthropogéniques sur le sol peuvent en faire une source nette de gaz à effet de serre (GES) dû au carbone organique du sol (COS) (Fig. I.1), les sols émettent des GES vers l'atmosphère d'où ils piègent les radiations thermiques et contribuent au réchauffement global. Les deux principaux GES dont l'émission est anthropogénique à base de carbone émis par le sol sont le CO₂ et le CH₄. L'oxyde nitreux (N₂O) est un autre GES pour lequel les émissions sont devenues de plus en plus anthropogéniques, notamment à cause des sols agricoles et des installations d'élevage.[26, 27].

Le carbone persiste dans le sol pendant plusieurs années [28], une fois intégrées au sol sous forme de matériel organique, il peut être perdu sous la forme de dioxyde de carbone (CO₂) ou de méthane (CH₄) émis dans l'atmosphère, érodé, ou sous la forme de carbone organique dissous (COD), lessivé vers les rivières ou les océans[29]. Les dynamiques de ces processus soulignent l'importance de quantifier les flux globaux de carbone pour assurer les avantages maximums que peut produire le COS pour le bien-être des populations, la production alimentaire, ainsi que pour la régulation de l'eau et du climat.[30]

Le COS est le principal composant de la matière organique du sol (MOS) [31]. En tant qu'indicateur de la santé du sol, il est important pour ses contributions à la production alimentaire, la réduction et l'adaptation au changement climatique et la réalisation des objectifs pour le développement durable [32]. La présence d'un fort taux de MOS fournit les nutriments aux plantes et améliore la disponibilité de l'eau. Le COS améliore la stabilité structurelle du sol en promouvant la formation d'agrégats qui, en association avec la porosité, assurent une aération suffisante et l'infiltration de l'eau qui permettent la croissance des plantes. Avec une quantité suffisante de COS, la capacité de filtration des sols permet une meilleure fourniture en eau potable. Cependant, les sols peuvent

devenir une source substantielle de GES vers l'atmosphère lorsque la décomposition du COS est accélérée [26]. Bien que l'impact global du changement climatique sur les stocks de COS soit hautement variable en fonction de la région ou du type de sol, l'augmentation des températures ainsi que la fréquence accrue des événements.

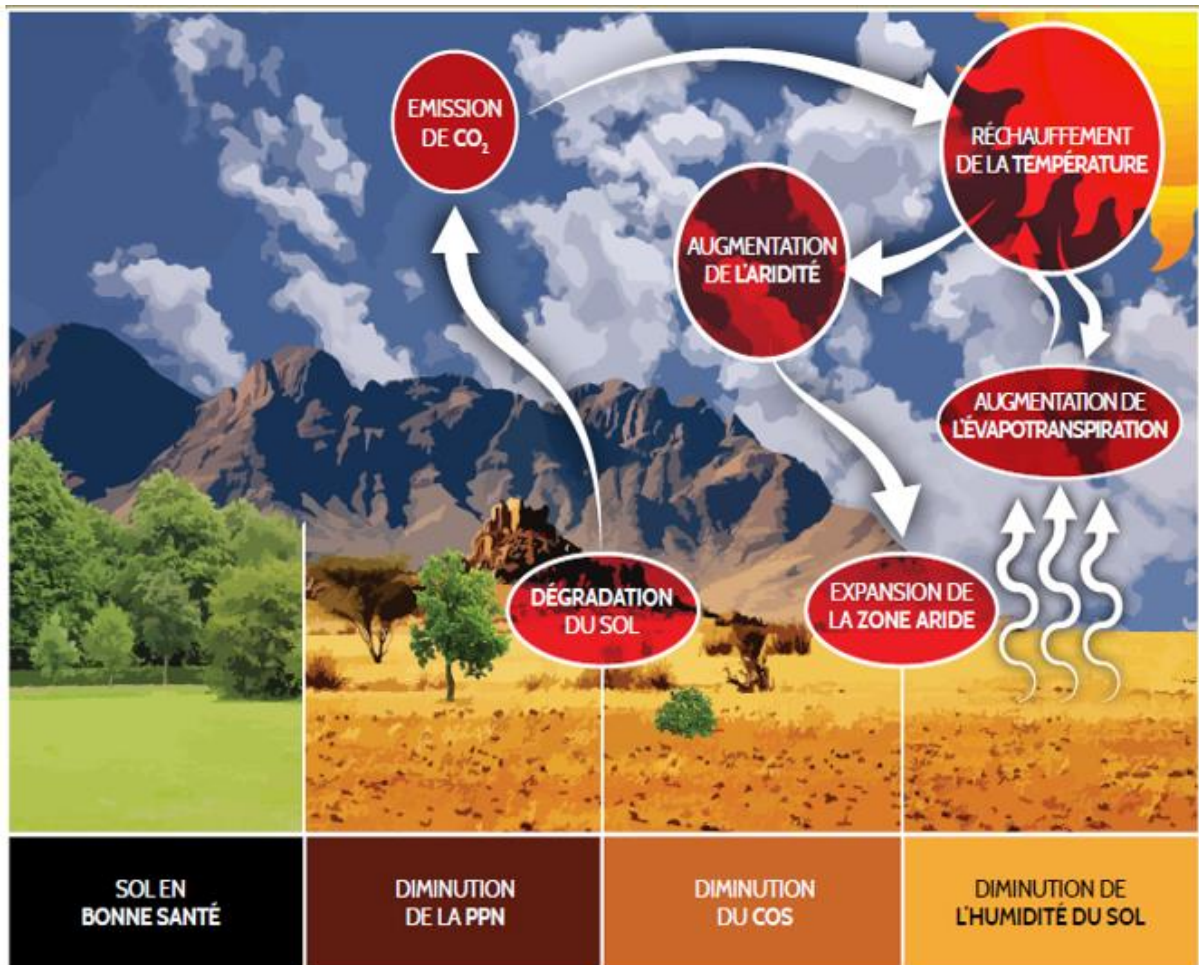


Figure I. 1: Diagramme schématisé de la rétroaction positive des cycles et de l'expansion des zones arides dues au changement climatique et à la diminution du COS. Modifié [33]

Extrêmes est susceptible de mener à de plus importantes pertes de COS [26, 28], les stocks de COS sont estimés à environ 1 500 PgC pour le premier mètre de sol [30]. Les plantes jouent un rôle central dans le cycle global du carbone, car plus de 10 % du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère est recyclé par la photosynthèse [34].

Après la photosynthèse, les plantes déposent du carbone organique dans le sol par exsudation et incorporation de la biomasse dans le sol, une augmentation nette des stocks de carbone dans le sol est réalisée lorsque la quantité de dépôts de carbone est supérieure aux pertes de carbone par décomposition microbienne et respiration

des racines [35]. Des expériences sur la fertilité des sols ont révélé qu'une fertilisation déséquilibrée induit une diminution des stocks de COS [36] sans ajouter les décennies d'intensification des terres agricoles qui ont exporté des quantités énormes d'éléments nutritifs (N, P, K, mais aussi S, Ca, Mg, Fe, Cl, Mn, Zn, Cu, B, Mo), en grande partie plus que ce que le sol et les roches sous-jacentes peuvent fournir [37], ce qui cause la perte d'énormes quantités de carbone organique en raison de l'intensification de l'agriculture [36]. Par ailleurs, la matière organique étant la clé de la fertilité chimique, biologique et physique du sol. En effet, stocker davantage de carbone dans les sols et le maintenir à long terme c'est une bonne alternative pour atténuer le changement climatique et pour une agriculture durable [38].

I.2. Les stimulants biologiques

En raison de la demande croissante de la durabilité en agriculture, il est nécessaire de choisir pour des engrais naturels ou biologiques à fin de remplacer les engrais synthétiques [39, 40], car l'utilisation d'intrants chimiques dans l'agriculture est limitée par un cadre juridique plus strict en raison de l'inquiétude croissante du public, par résolution à ce problème les biostimulants jouent un rôle central de durabilité dont ils peuvent réduire la dépendance aux engrais, en particulier aux intrants chimiques non agricoles [41, 42]. Dans ce contexte, les biostimulants, font l'objet d'une attention particulière en tant que substances naturelles [43] offrent une approche potentiellement innovante pour réguler et modifier les processus physiologiques des plantes, stimule la croissance, assouplit les restrictions liées au stress et améliore les performances [44]. Un biostimulant est une substance organique qui, appliquée en petites quantités, améliore la croissance et le développement de la plante, et une telle réponse ne peut être obtenue par l'application de nutriment traditionnelle pour plante [45], défini du Jardin qu'un biostimulant végétal comme étant « toute substance ou micro-organisme appliqué aux plantes dans le but d'améliorer l'efficacité nutritionnelle, la tolérance aux stress abiotiques et/ou la qualité des de sa teneur en nutriments » [46] qui améliore la productivité des plantes en raison de ses propriétés originales de complexe constituants, et non pas la conséquence de l'unique présence d'un élément nutritif élémentaire [44]. L'étude pionnière de Hervé, fournit la première véritable application conceptuelle, il suggère que le développement de nouveaux produits « bio-rationnels » devrait se faire sur la base d'une approche systémique fondée sur la synthèse chimique, la biochimie et la biotechnologie appliquée aux contraintes

physiologiques, agricoles et écologiques des plantes réelles, il suggère également que ces produits devraient fonctionner à faibles doses, être écologiquement bénins et avoir des avantages reproductibles dans la culture des plantes agricoles [47].

Les technologies utilisées pour la préparation des biostimulants sont très variées et comprennent : la culture, l'extraction, la fermentation, la transformation et la purification, l'hydrolyse et le traitement par rupture cellulaire à haute pression. L'utilisation d'extraits plutôt que de matières premières est souvent justifiée, plutôt que de la biomasse brute est la conséquence de la nécessité d'un processus de fabrication normalisé afin de produire un produit commercial uniforme [48], sachant que les biostimulants commerciaux fabriqués à partir de sources similaires sont généralement commercialisés comme des produits équivalents, mais peuvent différer considérablement dans leurs compositions et par conséquent leurs efficacités [49]. Un exemple de ceci la multitude d'extraits commerciaux d'algues marines, souvent dérivés de la même espèce, sont rarement équivalente [50]. De nombreux fabricants de biostimulants ne révèlent pas la technologie de production, car il s'agit d'un secret commercial [49]. En général, les biostimulants sont supposés être biodégradables, non toxiques, non polluants et non dangereux pour les organismes vivants, dont on peut retirer la même conclusion pour ses dérivées [46, 48, 50].

I.2.1.1. Type de biostimulants

I.2.1.2. Le compostage

L'utilisation de compost au lieu de tourbe dans les mélanges de substrat est l'une des mesures proposées pour accroître la durabilité des pépinières qui produisent des plantes ornementales en pot [51]. Un certain nombre d'études ont montré que les résidus organiques tels que déchets solides urbains, les boues d'épuration, les déchets d'élagage, les déchets de champignons et même les déchets verts, après un compostage approprié, peuvent être utilisés avec de très bons résultats comme milieu de croissance à la place de la tourbe [52]

Le compostage a le potentiel de convertir de grandes quantités de déchets solides municipaux en en matières utilisables comme engrais, additifs organiques du sol substrat de culture [53] c'est un procédé organique bien établi qui consiste à recycler les déchets naturels en matériaux amorphes et solides de type humus, par

décomposition microbienne sous l'effet des conditions contrôlées : température, humidité et l'aération [54]. Le produit obtenu a des caractéristiques souhaitables en ce qui concerne l'odeur, les graines de mauvaises herbes et les agents pathogènes, la stratégie de gestion des déchets considérés comme la plus économique et pratique que d'autres, la manipulation, le stockage et l'application agricoles du produit composté sont sans aucun impact sur l'environnement [55].

I.2.2.2. Le vermicompostage

Le vermicompostage est une méthode biotechnologique de compostage qui utilise différentes espèces de vers de terre pour renforcer le mécanisme de conversion des déchets et obtenir un meilleur produit [56]. Ce dernier est constitué de fientes de vers de terre qui peuvent améliorer la santé et la nutrition du sol. C'est un produit riche en nutriments qui permet à tous les types de déchets biodégradables de passer dans les intestins du ver, y compris les déchets agricoles, les déchets de cuisine, les déchets du marché, les déchets biologiques de l'industrie alimentaire et les déchets animaux. Les vers sont utilisés ici comme agents biologiques pour consommer ces déchets et jeter les excréments dans un processus appelé vermicompost [57]. Il est rapporté que vermicompost contenait source précieuse de nutriments des phytohormones de croissance comme les auxines, les cytokines, les gibbérellines, acides humiques et d'antioxydants qui sont sécrétés par les vers de terre [47, 58, 59] sachant qu'il a un effet positif sur la croissance végétative et le rendement [60, 61], il est également démontré que le vermicompost améliore la germination des graines et la croissance précoce des semis [54, 61, 62], l'amélioration de processus de germination est attribuée à l'impact positif des acides humiques [63]. Selon Benazzouk *et al*, l'utilisation du vermicompost comme agent de priming en prétraitement améliore le pourcentage de germination des graines âgées en présence de NaCl, en revanche il n'apporte aucun changement mineur lorsqu'il est directement ajouté à une solution de germination contenant déjà du NaCl [64].

I.2.2.3. Les biostimulants d'origine animale

Les biostimulants d'origine animale sont précisément des déchets industriels, tels que les déchets d'abattoirs, sang desséché, les bouses de vache, les fientes de poules, etc. Leur décomposition est lente, mais ils restent intéressants pour leurs apports en azote qui favorise la multiplication rapide de la microflore du sol : ils jouent un rôle

important dans la durabilité de la fertilité du sol soit par l'apport des éléments nutritifs, soit par l'amélioration de ces propriétés physico-chimiques [65].

Le plus courant est celui obtenu à partir de fumier de bovins et poulets [66]. Certaines recherches penchent à convertir l'abondant fumier de poulet généré qui constitue un danger pour l'environnement, en une forme plus utile : une efficace méthode d'extraction a été menée sur les nutriments du fumier de poulet composté en un extrait qui servira d'alternative aux engrais inorganiques.[67] Les engrais organiques issus de la production animale peuvent contenir des composants indésirables, tels que des résidus de médicaments vétérinaires, qui sont libérés dans l'environnement lors de leur application [68].

I.2.2.4. Inoculum de bactéries

Les bactéries du sol qui peuvent coloniser l'environnement de la rhizosphère sont appelées rhizobactéries, dont certaines favorisent l'absorption des nutriments et la croissance des plantes ; elles sont donc appelées PGPR (plant growth- promoting rhizobacteria) [69]. Les PGPR sont divisés en deux groupes en fonction de leurs relations avec les racines de plantes : i) extracellulaire, qui colonise la rhizosphère ou les espaces entre les cellules du cortex racinaire, ii) intracellulaire, qui existe à l'intérieur des cellules racinaires spécialisées dans les nodules de légumineuses [70]. On peut citer dans le groupe PGPR extracellulaire : *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, et *Bacillus Pseudomonas*, *Agrobacterium* et *Bacillus* [71]. Un nombre croissant d'espèces bactériennes ont été signalées comme produisant des substances favorisant la croissance des plantes (tableau I.1) [72].

Tableau I. 1: Substances favorisant la croissance sécrétée par des PGPR spécifiques.

PGPR	Plant growth-promoting substances
<i>Pseudomonas putida</i>	Indole-3-acetic acid, siderophores, hydrogen cyanide, ammonia, exo-polysaccharides, phosphate solubilization
<i>Rhizobium</i> spp. (pea)	Siderophores, hydrogen cyanide, ammonia, exo-polysaccharides, Indole-3-acetic acid
<i>Mesorhizobium</i> spp.	Indole-3-acetic acid, siderophores, hydrogen cyanide, exo-polysaccharides, ammonia
<i>Acinetobacter</i> spp.	Indole-3-acetic acid, phosphate solubilization, siderophores
<i>Rhizobium</i> spp. (lentil)	Indole-3-acetic acid, siderophores, hydrogen cyanide, ammonia, exo-polysaccharides
<i>Pseudomonas</i> spp. A3R3	Indole-3-acetic acid, siderophores
<i>Psychrobacter</i> spp. SRS8	Heavy metal mobilization
<i>Bradyrhizobium</i> spp.	Indole-3-acetic acid, siderophores, exo-polysaccharides, hydrogen cyanide, ammonia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 4EA	Siderophores
<i>Bacillus</i> spp. PSB10	Indole-3-acetic acid, siderophores, hydrogen cyanide, ammonia

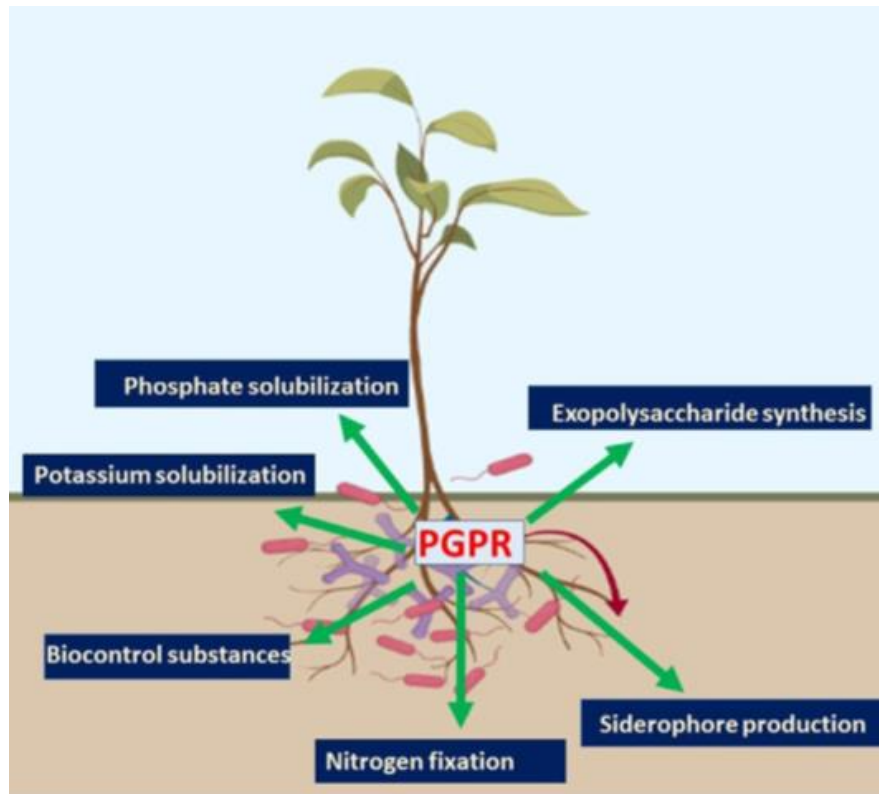


Figure I. 2 : Rôles des rhizobactéries dans la croissance des plantes [72].

De nombreuses études ont montré le rôle (Figure I.2) et la capacité de ces bactéries de la rhizosphère peut favoriser l'amélioration de la croissance et du développement des plantes dans le cas de stress et dans les conditions normales. En outre, elles jouent un rôle important dans le maintien de la fertilité du sol [73, 74]. Elles améliorent la croissance et le développement des plantes hôtes, elles ont la capacité de fixer l'azote, inhiber la pression de production d'éthylène des racines et produire des hormones de croissance des plantes, des antibiotiques et des composés antifongiques et solubilisant les minéraux, tels que le phosphore et le Fe [75, 76], une recherche récente démontre que les PGPR ont modulé l'acquisition du Fe dans les plantules de coing lors d'une carence en Fe en influençant les réponses physico-chimiques et moléculaires [77].

I.2.2.5. Les biostimulants d'origine végétale

I.2.2.5.1. Les hydrolysats ou extraits de plantes

L'utilisation de biostimulants d'origine végétale (PDB) peut aider l'agriculture à cibler une croissance et un développement spécifiques, Les PDB peuvent accélérer la croissance des plantes, les protéger contre les stress abiotiques et/ou améliorer

l'efficacité de l'utilisation des nutriments en améliorant les processus physiologiques des plantes tels que l'absorption des nutriments, la croissance et la tolérance aux stress abiotiques [78]. L'extrait aqueux d'ail améliore la croissance, les caractéristiques physiologiques ainsi que le contenu et la composition phytochimique de plusieurs cultures horticoles, y compris les oliviers [79] haricot [80] tomate. De même, l'extrait de racine de carotte augmente, les processus physiologiques et les concentrations phytochimiques des plantules de niébé (*Vigna sinensis*) dans des conditions de stress salin [81]. Les applications d'extraits aqueux de *Moringa oleifera* (Figure 1.3) peuvent augmenter la croissance végétative ainsi que l'absorption des nutriments dans différentes cultures horticoles, augmentant en fin de compte la productivité des cultures et les rendements économiques pour les producteurs Il a également augmenté la hauteur des plantes, le nombre de branches, la surface foliaire, le rendement de la biomasse et la teneur en huile volatile [82]. L'hydrolysate de luzerne aide la plante à augmenter biomasse de *Zea mays* et surmonter les situations de stress salin, en améliorant le métabolisme de l'azote et les systèmes antioxydants [83]

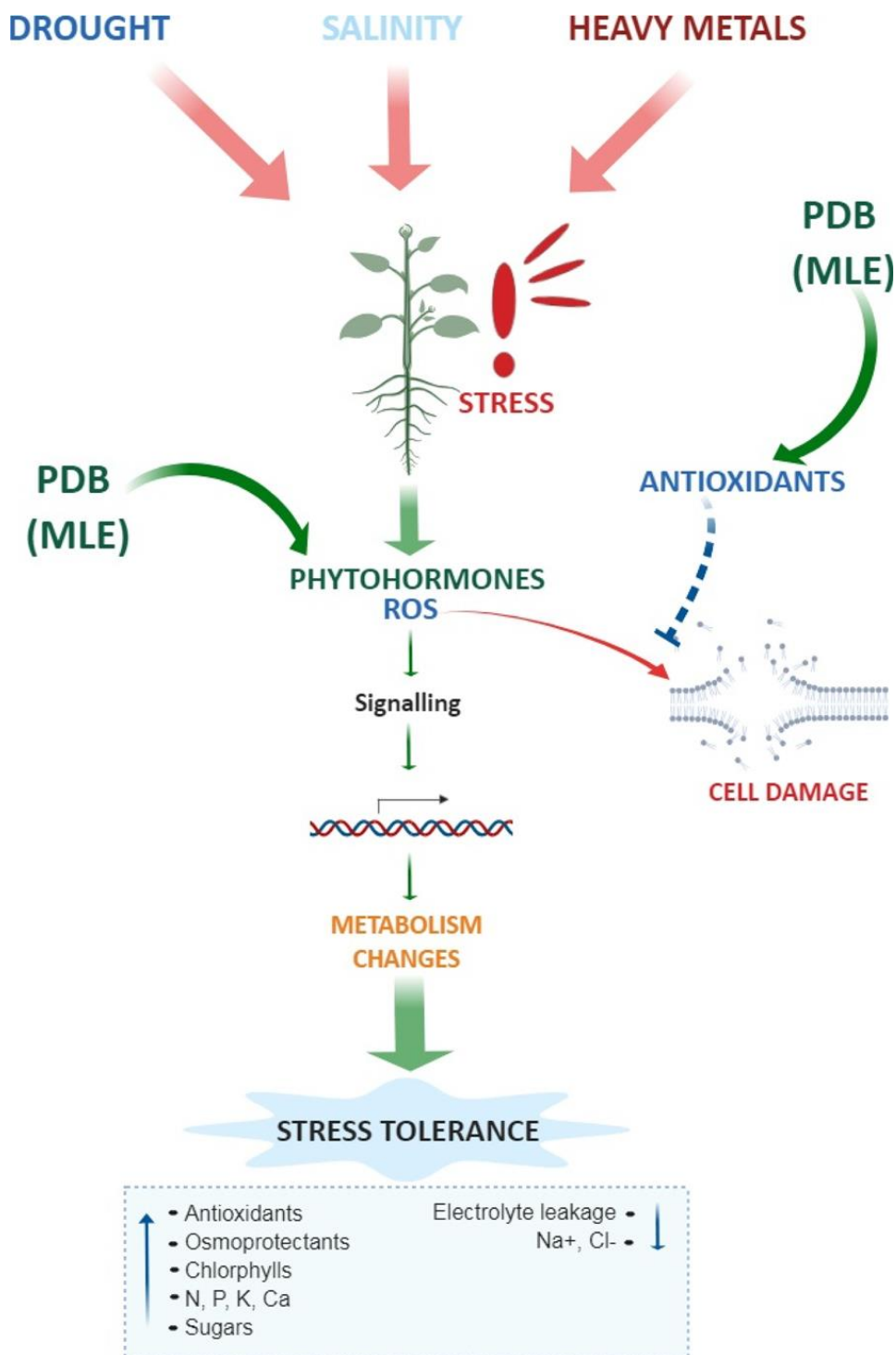


Figure I. 3 : Exemple de PDB (Effets de l'extrait de feuille de moringa) dans l'amélioration de la tolérance au stress abiotique.[82].

PDB : biostimulants naturels d'origine végétale ; MLE : extrait de feuille de moringa ; ROS : espèces réactives de l'oxygène

I.2.2.5.2. Les extraits végétaux dérivés de fumée : Smoke

Le phénomène de stimulation des graines par la fumée froide en aérosol et les solutions aqueuses de fumée, une découverte fascinante qui a donné lieu à de nombreuses tentatives de compréhension, d'où il attire une attention particulière [84].

I.2.2.5.2.1 Production de l'eau saturée de smoke

La fumée âcre est produite par la combustion des végétaux sècs dans un système contrôlé (Figure I.4), la combustion lente de différents types de végétaux et de produits organiques à des températures comprises entre 180 °C et 200 °C produit des composés thermostables, durables et solubles dans l'eau [85]. La fumée est ensuite barbotée dans de l'eau pour produire de l'eau saturée de fumée, après de longues périodes de stockage et d'entreposage l'eau saturée de fumée conserve son activité [86]

Le(s) principe(s) actif(s) avait (avaient) les mêmes propriétés chromatographiques que d'autres matières d'origine végétale telles que la cellulose, l'agar et les extraits d'arômes alimentaires [87, 88]



Figure I. 4 : Prototype pour produire de l'eau saturée de fumée [87].

La fumée contient un certain nombre de biomolécules actives connues et inconnues, sont solubles dans l'eau et présentent des effets stimulants à de très faibles concentrations et ne sont pas toxiques avec de multiples effets bénéfiques sur les plantes cultivées, ce qui peut potentiellement minimiser l'utilisation d'engrais inorganiques et de pesticides.[89]

I.2.5.2.2 Smoke : molécule signal

Les processus de croissance et de développement des plantes sont contrôlés par de nombreuses molécules de signalisation, tant endogènes qu'exogènes. Certaines, dont les auxines, les cytokines, l'acide abscissique, l'éthylène et les gibbérellines, sont connues depuis des décennies, d'autres n'ont été découvertes que récemment et leurs fonctions et leurs mécanismes de signalisation sont mal compris. Parmi ces dernières, citons les karrikinolide (butenolide, 3-méthyl-2 H-furo [2,3-c] pyran-2-one, KAR1) (Figure I.5) identifiés dans la fumée « Smoke » provenant de la combustion de matériel végétal [86, 90]. Les « karrikins » sont nommés d'après le mot indigène local « karrik » qui désigne la fumée, utilisé par le peuple Noongar dans le sud-ouest de l'Australie. Le suffixe « -in désigne une famille de molécules biologiquement actives (analogues à la gibbérelline ou auxine). La molécule mère originale est désignée par karrikin-1 (KAR1) ou « karrikinolide » [91]. Actuellement, il y a quatre karrikins connus : KAR1, KAR2, KAR3 et KAR4. Identifié pour la première fois en 2003, son isolement été récemment rapportés en détail [92] et la preuve de sa structure définitive été obtenue par synthèse [93].

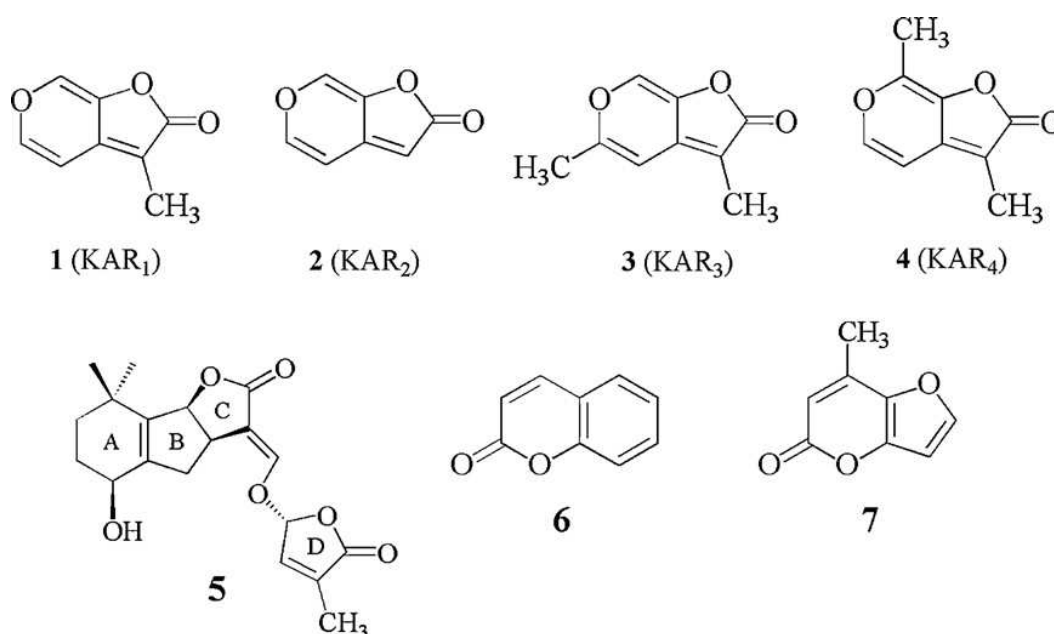


Figure I. 5 : Structures chimiques des karrikines, du strigol (5), de la coumarine (6) et d'une pyrone apparentée (7) isolée de la fumée [94].

Le KAR1 synthétique a montré une puissante activité germinative à des concentrations inférieures à 1 ppb (109 M) avec l'espèce clé du test biologique, la laitue Grand Rapids *Lactuca sativa cv* et une gamme d'espèces australiennes sensibles à la fumée (*Conostylis aculeata*, *Stylidium affine*), sud-africaines *Syncarpha vestita* et nord-

américaines *Nicotiana (attenuata, Emmenanthe penduliflora)* [95]. sa structure a été confirmée par la suite par un groupe distinct qui a montré que ce composé isolé (identifié comme KAR1) favorise la germination des graines de laitue Grand Rapids [86].

Le karrikinolide stimule la germination des graines dans la même série d'espèces qui réagissent à la fumée, à partir d'un large contexte phylogénétique (gymnospermes et angiospermes), à travers toutes les formes de vie (arbres, arbustes, plantes vivaces et herbes), les habitats végétaux et les classes de dormance des graines. Plus de 60 espèces de graines, représentant 26 familles de diverses plantes, toutes ont réagi positivement au KAR1, en étant sensibles à la fumée. La découverte de KAR1 a révélé une nouvelle classe structurelle de composés actifs dans les plantes, maintenant connus sous le nom de karrikins [96].

I.2.2.5.2.3. Rôle de KAR1

Les composés d'origine végétale dérivée de fumé (smoke) induisent de nombreux changements dans les graines, allant de l'altération de leur sensibilité aux phytohormones [97] et aux besoins en lumière [98], en passant par l'induction de changements dans la morphologie du tégument et les caractéristiques de perméabilité des graines. Étant donné que KAR1 stimule la germination de nombreuses espèces et agit à des très faibles concentrations (<1 ppb ou 1 nM), il suppose qu'il peut agir en influençant la production ou le métabolisme d'autres phytohormones. L'acide gibbérellique (AG) joue un rôle clé dans la levée de la dormance et la promotion de la germination chez de nombreuses espèces, alors que l'acide abscissique (ABA) induit et prolonge la dormance des graines. KAR1 a induit l'expression de deux enzymes clés de la biosynthèse des AG dans les graines d'*Arabidopsis thaliana* en dormance primaire :AG3ox1 et AG3ox2 ; cependant, les niveaux endogènes d'ABA et de AG4 n'ont pas été affectés avant la germination [96].

Les mécanismes impliqués dans l'action de smoke sur la germination des graines ne sont pas connus, mais chez certaines espèces le passage de solutés à travers les membranes des graines est favorisé [99], en augmentant la perméabilité de l'enveloppe de la graine à l'eau et à l'oxygène de manière similaire à la scarification [98]. Smoke peut stimuler la germination chez nombreuses espèces grâce à son composé bioactif karrikinolide (KAR1 de la fumée) qui montre des effets prometteurs sur plusieurs plantes cultivées importantes. Testées sur des épinards, il a augmenté

de manière significative la chlorophylle totale, les caroténoïdes et la teneur en protéines des feuilles d'épinards [89], l'amorçage avec KAR1 sur des poivrons (*Capsicum annuum L.*) a amélioré la germination de plus de 20 % pour les graines immatures que sur des graines matures [100], sur les graines de tomate, haricot et maïs, les résultats ont montré un meilleur pourcentage de germination avec des indices de vigueur plus élevés que les grains non traités [101] d'autres études ont découverts également qu'il s'agissait d'un stimulant efficace qui peut aussi surmonter l'exigence de lumière pour la germination (Figure I.6) [102]. En général, l'extrait smoke constitue un stimulus positif pour la germination de nombreuses espèces, bien que son utilisation à une concentration élevée peut engendrer des effets négatifs sur la germination des graines [103].

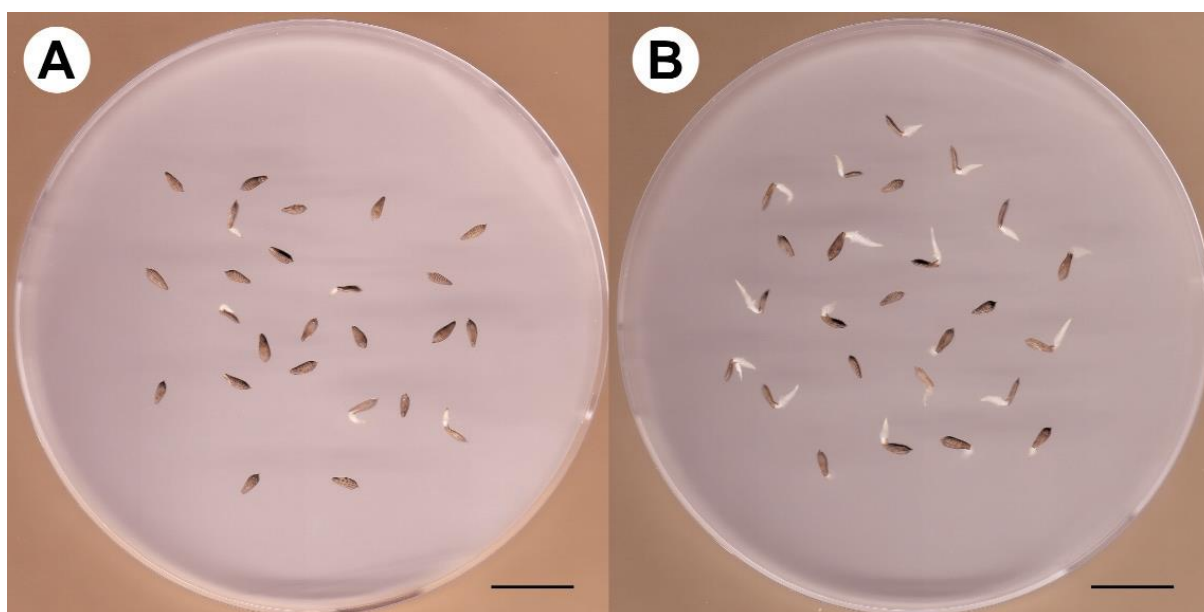


Figure I. 6 :Réponse de germination observée avec des graines de laitue Var. Grand Rapids sensibles à la lumière après 24 h dans l'obscurité à 25 °C.

(A) Eau distillée (B) Traitement avec le composé KAR1 à 10⁻⁹M. Barres d'échelle, 10 mm [87]

I.2.2.6. Biostimulant d'origine algale

Les espèces d'algues marines sont souvent considérées comme une bioressource sous-exploitée dans des applications thérapeutiques cosmétologique, comme source de nourriture, de matières premières industrielles et botaniques depuis des siècles [50]

I.2.2.6.1 Généralité sur les algues

Les algues marines font partie intégrante des écosystèmes marins y compris les mers et les océans, tandis que quelques espèces peuvent croître et proliférer dans d'autres

écosystèmes d'eau douce [104], sont largement classé en 3 catégories principaux en fonction de leur pigmentation: les algues vertes (Chlorophyta), les algues brunes (Phaeophyta) et les algues rouges (Rhodophyta). La couleur verte caractéristique des algues vertes est due à la présence de chlorophylle a et b comme dans les plantes supérieures. La pigmentation brune des phéophytes est attribuée à la dominance des xanthophylles et de la fucoxanthine qui masquent les autres pigments. La phycoérythrine constitue le pigment principal des rhodophytes (algues rouges) qui est principalement responsable de la couleur rouge [105]. Il est bien connu que différents groupes d'algues marines contiennent différents composés ayant des effets bénéfiques sur les plantes [106] par exemple, les algues brunes contiennent une teneur élevée de laminaires, fucoïdan, et l'alginate comme polysaccharides, les algues Chlorophyta et Rhodophyta contiennent d'autres groupes de polysaccharides, comme les ulvanes et les carraghénanes [107, 108].

En agriculture, les algues marines offre une stratégie de protection prometteuse, sont appliquées sous différentes formes: fraîches, séchées, hachées ou utilisées dans une préparation de compostage [109], dans des pulvérisations foliaires [110] ou amendement pour le sol [111]. Les métabolites des algues marines contiennent énormément de molécules bioactives ayant des activités antifongiques, antivirales, antibactériennes et antiprotozoaires et antiprotozoaires [112].

I.2.2.6.2 Composition

Les extraits d'algues agissent comme biostimulants principalement en raison de la présence des phytohormones [113] ainsi que la présence des macro-éléments (N, P, K, Ca, S) et microéléments (Mg, Zn, Mn, Fe), acides aminés, vitamines, polysaccharides . Bien qu'un grand nombre des différents composants chimiques des extraits d'algues et leurs modes d'action restent inconnus, mais présentent une activité synergique [111, 114].

I.2.2.6.3 Le rôle des biofertilisants algales

(i) Impact sur le sol :

Les algues et les extraits d'algues affectent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (figure I.7) qui, à leur tour, influencent sur la plante. Ils améliorent la capacité de rétention d'humidité et en favorisant la croissance des microbes bénéfiques du sol, par conséquent on obtient un sol en bonne santé [115]

Les sels de l'acide alginique contenu dans les algues marines participent en combinaison avec les ions métalliques du sol pour former des complexes de poids moléculaires élevés qui retiennent l'humidité du sol et améliorent la structure de la mie, ils en résultent une meilleure activité capillaire des pores et offre une aération au sol qui, à leur tour, stimulent la croissance du système racinaire des plantes et l'activité microbienne du sol [116].

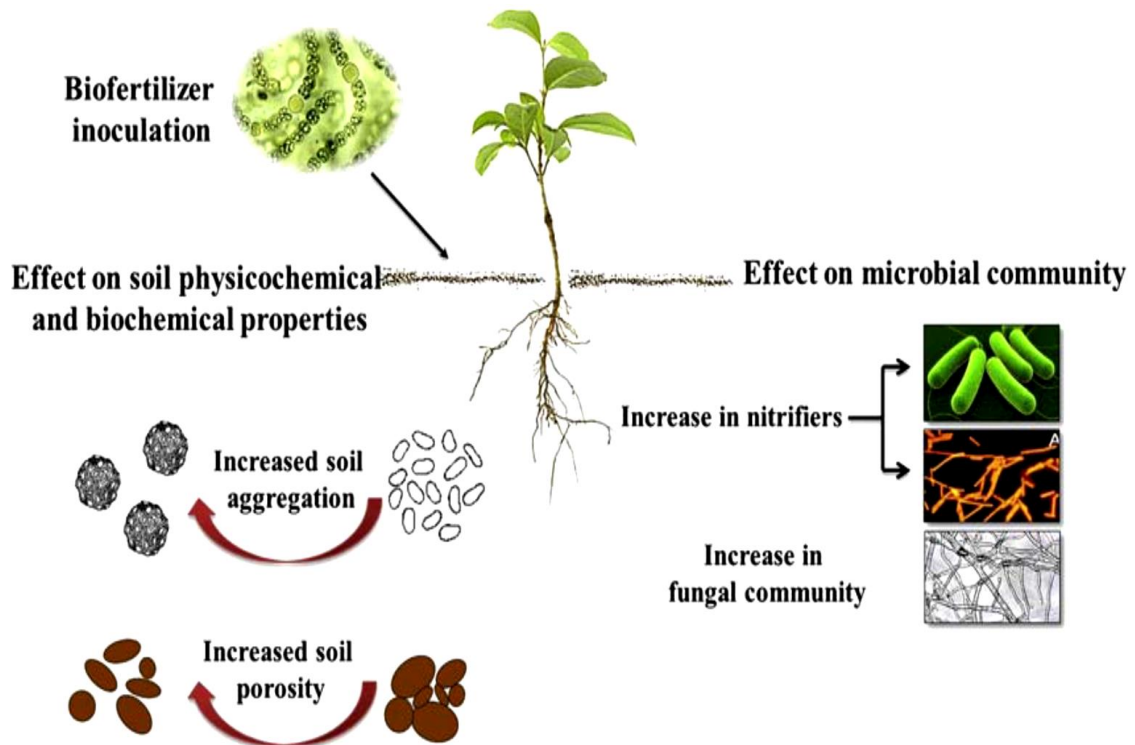


Figure I. 7 : Effets des biofertilisants algaux sur les propriétés physiologiques et biochimiques du sol [117]

(ii) Impact sur la stimulation contre le stress biotique et abiotique :

Il a été démontré que les extraits d'algues *Ascophyllum nodosum* contiennent des bétaïnes : la bétaïne de l'acide 6-aminovalérique et la glycine [118]. Pour stabiliser la structure protéique et la paroi cellulaire, les plantes sécrètent de la glycine bétaïne, et pour maintenir la pression de turgescence, elles éliminent les ROS. Le mécanisme de tolérance au stress des plantes dû aux algues marines n'est pas bien étudié, mais les recherches suggèrent que certains composants bioactifs dans les algues marines impliquées dans la gestion du stress sont les bétaïnes et les cytokines [118, 119]. Sous stress de la sécheresse, l'application de ces derniers a augmenté la surface foliaire et la teneur en eau chez les épinards [120], Il a également été signalé que les

composants liés au stress comme les cytokines, la proline et les antioxydants sont également augmentés de manière endogène dans la plante en présence d'un extrait d'algues marines [121, 122].

(iii) Impact sur la production des cultures

L'application foliaire d'extraits à différentes concentrations entraîne un rendement plus élevé, une croissance plus intensive et une meilleure absorption des nutriments du soja [123], la pulvérisation des extraits d'algues sur des pousses de tomates pendant la période végétative marque une augmentation de 30 % de la masse des fruits [124], Il a été également démontré que le trempage des graines dans des extraits d'algues a un impact positif sur le processus de germination et croissance germinatifs [125, 126], les avantages de l'application d'extraits d'algues ont également été prouvés par Pise et Sabal qui ont démontré que les extraits d'algues marines stimulent la croissance des pousses et augmente la masse de la *Trigonella foenum-graecum.*, l'augmentation des hydrates de carbone, des protéines, des acides aminés libres, des polyphénols et de l'azote a également été trouvée [127], l'augmentation de la quantité de pigments photosynthétiques (chlorophylle a, b, et caroténoïdes) a été remarquée de manière significative chez le maïs et les oignons, ainsi pour la quantité de caroténoïdes dans les deux cultures [128].

I.3. Les formulations

I.3.1. Définition des formulations

Bien avant l'ère chrétienne, l'obtention des formules par essais ou erreurs et basées exclusivement sur l'association des matières naturelles complexes du règne animal, végétal ou minéral. Pendant cette période, les Chinois maîtrisaient la technique de la fonte du bronze et ils savaient faire de la céramique, de l'encre de Chine et de la poudre à canon ; les Égyptiens avaient, de leur côté, des formules pour conserver les fruits avec du miel, embaumer les momies et teindre les tissus. Plus récemment, les Romains dominaient la préparation du verre et du savon. Ces « recettes » obtenues difficilement ont été jalousement gardées secrètes et transmises de maître à disciple, depuis ils assurent la prospérité de ceux qui les possèdent. Actuellement toutes les industries produisent des matières premières ou des produits finis destinés au consommateur final, tôt ou tard, sont amenés à formuler leurs produits pour adaptez-

les aux besoins réels de leurs clients, d'où la nécessité de développer le savoir et le savoir-faire des formulations [129].

La notion de formulation peut être définie comme l'ensemble des connaissances et des opérations utilisées lors du mélange, de l'association ou du conditionnement d'ingrédients d'origine naturelle ou synthétique, souvent incompatibles entre eux, afin d'obtenir un produit commercial caractérisé par sa fonction d'usage et sa capacité à répondre à des spécifications prédéfinies [129]. Un produit formulé contient généralement, les ingrédients actifs qui réalisent la majeure partie de la fonction principale recherchée et les ingrédients auxiliaires ou additifs qui contribuent à améliorer l'efficacité du produit [130]. Dans une autre définition: les propriétés des émulsions, telles que le type, la taille des gouttes, la stabilité, la viscosité, composition, ainsi que les conditions de mélange mécanique connues pour être affectées par ce qu'on appelle une formulation[131]

I.3.2. Les composants d'un produit formulé

Une formulation c'est un ensemble de composés dont on distingue les principes actifs, qui remplissent la fonction principale recherchée et des adjuvants comme aides à la formulation qui jouent des rôles secondaires, mais souvent indispensables. Les tensioactifs (ou agents de surface) qui sont, d'abord des molécules synthétiques ou naturelles possédant une chaîne à caractère lipophile (ou queue hydrophobe) lié à un groupement à caractère hydrophile (appelée tête polaire) comme illustré sur la (Figure I.8), issue d'un système d'une formulation émulsionnée ; des systèmes comportant au moins deux phases liquides non miscibles (Figure I.9).

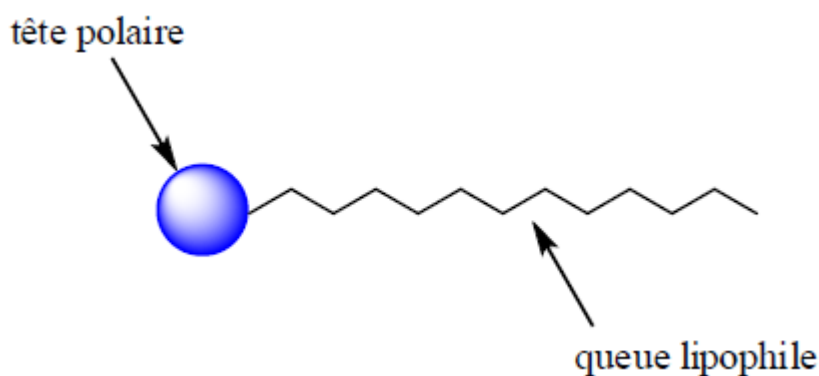


Figure I. 8 : structure simplifiée d'un tensioactif

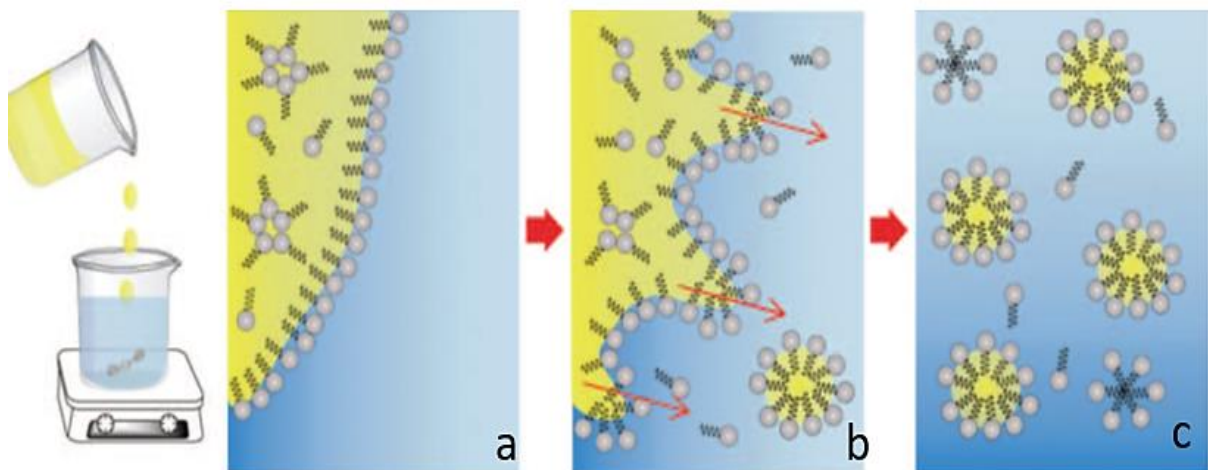


Figure I. 9 : Représentation schématique du mécanisme proposé pour l'émulsification : (a) un contact entre la phase huileuse et la phase aqueuse contenant une substance dispersible dans l'eau , (b) Le mécanisme sous-jacent est le déplacement de la substance dispersible dans l'eau de la phase huileuse vers la phase aqueuse (flèches rouges), (c) une turbulence interfaciale et la formation spontanée de gouttelettes d'huile.[132]

En général de l'eau et l'huile, dispersées l'une dans l'autre sous forme de gouttes. Il s'agit de systèmes hors équilibre thermodynamique en raison de l'énergie libre à l'interface entre les deux phases, ce qui nécessite donc l'utilisation d'agents émulsionnants [133], car si on homogénéise seulement une phase huileuse et une phase aqueuse ensemble, le système se décompose rapidement par une variété de mécanismes différents, y compris la floculation des gouttelettes, la coalescence, la maturation d'Ostwald et la séparation gravitationnelle, c'est pour cette raison il est nécessaire d'ajouter divers types d'adjuvants aux nanoparticules pour améliorer leur stabilité à long terme [134]. Un émulsifiant est une molécule tensioactive qui est capable de s'absorber à la surface des gouttelettes, de faciliter la rupture des gouttelettes et de les protéger contre l'agrégation [132]. Les conditions physico-chimiques de la formulation (c'est-à-dire la nature des substances, la température et la composition), sont des facteurs déterminants de la qualité de produit formulé, sont connues pour être liée aux propriétés de l'émulsion, notamment la stabilité ou la persistance du produit formulé [135]. La sélection d'un émulsifiant approprié (ou d'une combinaison d'émulsifiants) est l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte pour une conception correcte d'une formulation [136]. Les émulsions multiples

ont été proposées comme une méthode majeure pour l'encapsulation de composés bioactifs solubles dans l'eau [137].

I.3.3. La micro-encapsulation

La micro-encapsulation est l'emballage de petites particules (solide, liquide, gaz) appelées noyau ou actif, à l'intérieur d'une matière secondaire, appelée matrice ou enveloppe, pour former de petites capsules. Ce procédé permet de créer une barrière de protection pour les molécules encapsulées et de contrôler leur relargage dans un milieu donné. Le contenu d'une capsule individualisée est protégé de l'environnement par la matière enrobant et peut être libéré sous l'action de la température, d'enzymes, du changement de pH du milieu, de l'action mécanique ou simplement par la diffusion à travers la matière enrobante poreuse.[138].

La micro-encapsulation est une méthode de conservation couramment utilisée pour conserver les aliments, les molécules ou encore des échantillons liés à la médecine (éléments prophylactiques) ou à l'agronomie (enrobage de graines) (Figure I.9), permet également de mieux protéger les échantillons en empêchant par exemple la prolifération de microorganismes [139]



Figure I. 10 :micro-encapsulation d'un fragment de plante [139]

I.4. Importance des formulations

- (i) Réduction de tension de surface et augmentation d'absorption

Dans une formulation les agents de contrôle, réduisent généralement la gamme de tailles des gouttelettes : les gouttelettes fines sont la partie du jet la plus susceptible de dériver. Malheureusement, les grosses gouttelettes sont difficiles à retenir sur la feuille, car leur énergie cinétique augmente rapidement avec le diamètre des gouttelettes. Le dépôt par pulvérisation est un processus complexe qui est influencé par la tension superficielle dynamique, la viscosité et l'élasticité, qui influent pendant le processus de collision. La surface de la plante, la vitesse et l'angle d'impact sont également importants.

Les composants de la formulation réduisent la tension de surface et augmente la viscoélasticité, ce qui améliore le dépôt et réduit le rebond des gouttelettes [140] ils favorisent une absorption rapide des biostimulants et améliorent ainsi la résistance à la pluie en réduisant la tension de surface [141], grâce aux adjuvants qui améliorent généralement la rétention de la pulvérisation, mais certains font l'inverse a affirmé par Penner *et al* [142] que les adjuvants de silicone peuvent provoquer des gouttelettes de pulvérisation sur les feuilles, ce qui permet d'utiliser en toute sécurité des herbicides résiduels, cette catégorie d'adjuvants sont appelés « adjuvants répulsifs », améliorent la sécurité des cultures en réduisant l'absorption foliaire d'herbicides tels que l'isoxaflutole et le métolachlore. Cette technologie améliore performance biologique, car les gouttelettes de pulvérisation repoussées atteignent le sol où la sécurité des cultures est adéquate et où un contrôle résiduel des mauvaises herbes par l'herbicide est nécessaire.

(ii) La libération contrôlée de la molécule bioactif, la plupart des produits formulés à libération contrôlée sont des suspensions de microcapsules, les nouvelles chimies des polymères peuvent créer des parois d'enveloppe pour adapter la libération des molécules à des taux prévisibles [143].

(iii) Amélioration des performances du sol

Sa principale caractéristique est qu'il se disperse fortement après contact avec l'eau dans le sol, le granulé de 1 mm peut se briser en plus de 50 000 particules et ainsi assurer une meilleure distribution et un meilleur contrôle de la qualité. Particules et peut donc assurer une meilleure distribution et améliorer l'activité biologique.[144]

(iv) Sur le pH

De nombreux produits formulés contenant des adjuvants contrôlent le pH. Parfois le pH est augmenté, abaissé ou tamponné jusqu'à la neutralité. Les formulations contrôlent le pH, mais n'indiquent généralement pas cette caractéristique sur leur étiquette ou leur documentation promotionnelle [145, 146].

CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. Objectif de travail

Les Biostimulants à base d'extraits aqueux sont de plus en plus utilisés dans l'agriculture moderne. Dans cette étude, les extraits aqueux utilisés sont à base deux espèces d'algues : (algue verte) *Ulva rigida* et (algue brune) *Dictyota dichotoma* et comme masse végétale (la paille de blé) extrait d'eau enfumée (Le Smoke) suscitent un intérêt croissant chez les chercheurs et les agriculteurs pour leur potentiel de biocontrôle et de biostimulation. Dans cette section on s'intéresse à la description des essais qui ont été réalisés sur la germination des graines par priming et micro encapsulation et sur la croissance des plants de vigne dans une pépinière.

II.2. Présentation de la zone de prélèvement et identification des algues marines

Les algues marines *Ulva rigida* et *Dictyota dichotoma* ont été collectée en mer dans une eau peu profonde (< à 2m) au printemps 2018, dans la région côtière de Bou-Ismaïl (40,1 km à l'ouest d'Alger, 36 ° 38 '17,517 "N 2 ° 42' 12,087" E Algérie) (Fig. II.1).



Figure II. 1 : Localisation de la zone de prélèvement .

L'identification de l'algue fraiche a été réalisée au Centre de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture, Algérie et selon les descriptions de Cabioc'h et Hamel [147, 148] (Fig. II.2 et 3)

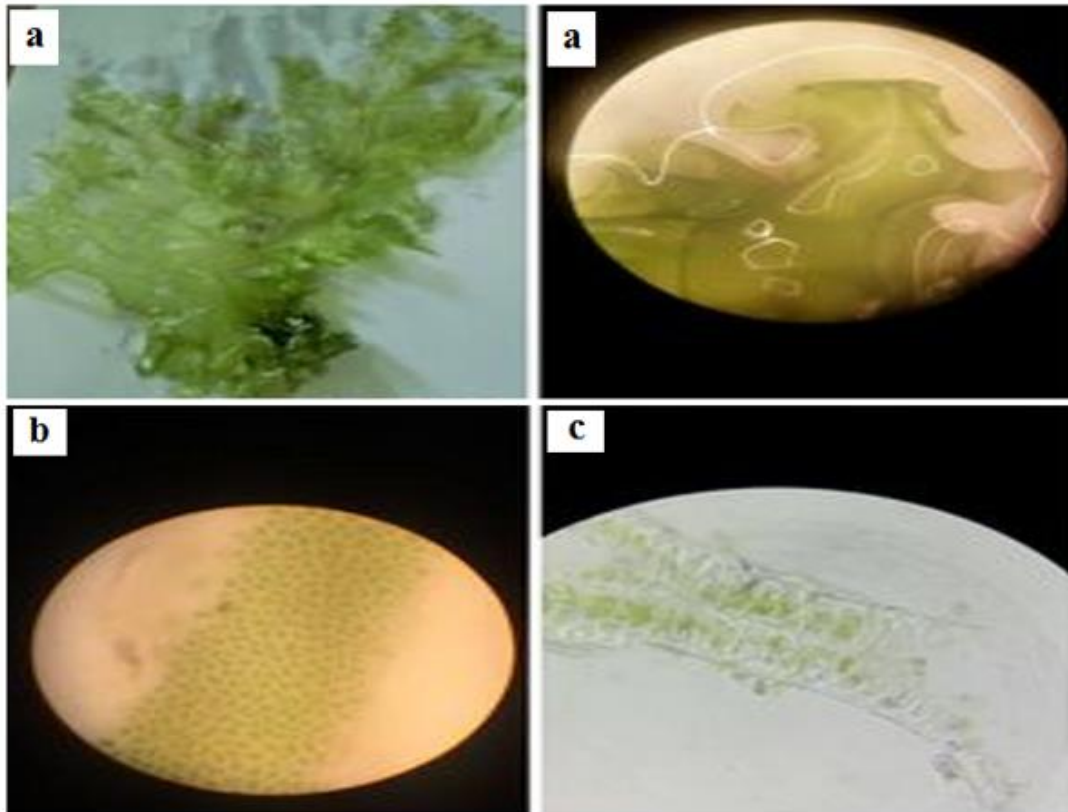


Figure II. 2 :Aspect micro et macroscopique d'*Ulva rigida* (photo original)
a: Aspect macroscopique d'*Ulva rigida*., b: aspect microscopique général des cellules rectangulaires étroitement disposées, c: Coupe montrant deux couches de cellules superposées. G x40

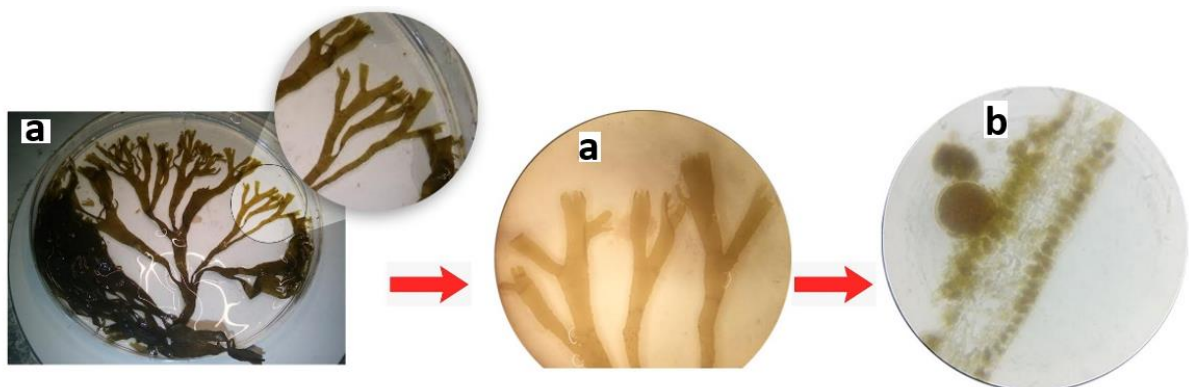


Figure II. 3: Aspect micro et macroscopique de *Dictyota dichotoma* (photo original)

a: Aspect macroscopique d'*Ulva rigida*., b: aspect microscopique général des cellules rectangulaires étroitement disposées,c: Coupe montrant deux couches de cellules superposées. (G x40)

II.3. Présentation globale des zones d'étude

Les études ont été menées au niveau de deux zones expérimentales (Fig II.4). Dans la localité de Soumaa (36°30'36.34" N et 2°52'26.05" E, Algérie). Les expériences réalisées dans les conditions contrôlées ont été conduite au niveau de Laboratoire de Recherche de Biotechnologies des Production Végétales, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, l'Université de Blida1 (LRBPV). Cependant, les expériences réalisées dans les conditions semi contrôlée ont été conduite dans la pépinière El Fartas (exploitation privé).



Figure II. 4: Localisation des sites d'expérimentation (Google Earth-2021)

a : Laboratoire de recherche de Biotechnologies des Production Végétales, Université de Blida 1, b : Pépinière El Fartas

La région est caractérisée par des conditions climatiques méditerranéennes à subcontinentales (hiver frais et pluvieux). Les précipitations, principalement en hiver et au printemps, sont caractérisées par une grande irrégularité inter-annuelle. Le mois le plus froid est janvier (température moyenne de 7,8°C). Les mois les plus chauds sont juillet et août (température moyenne de 21°C).

La saison de notre période d'étude (2018-2019) a été très pluvieuse avec 945,8 mm qui ont dépassé de près de 718 mm la moyenne des précipitations sur 42 ans. De plus, la répartition des précipitations n'a pas été régulière. En effet, plus de 82% des

pluies sont tombées entre septembre 2018 et février 2019. La diminution des précipitations a coïncidé avec une forte demande évaporatoire due principalement à la hausse des températures et du rayonnement (Fig. II 5 et 6).

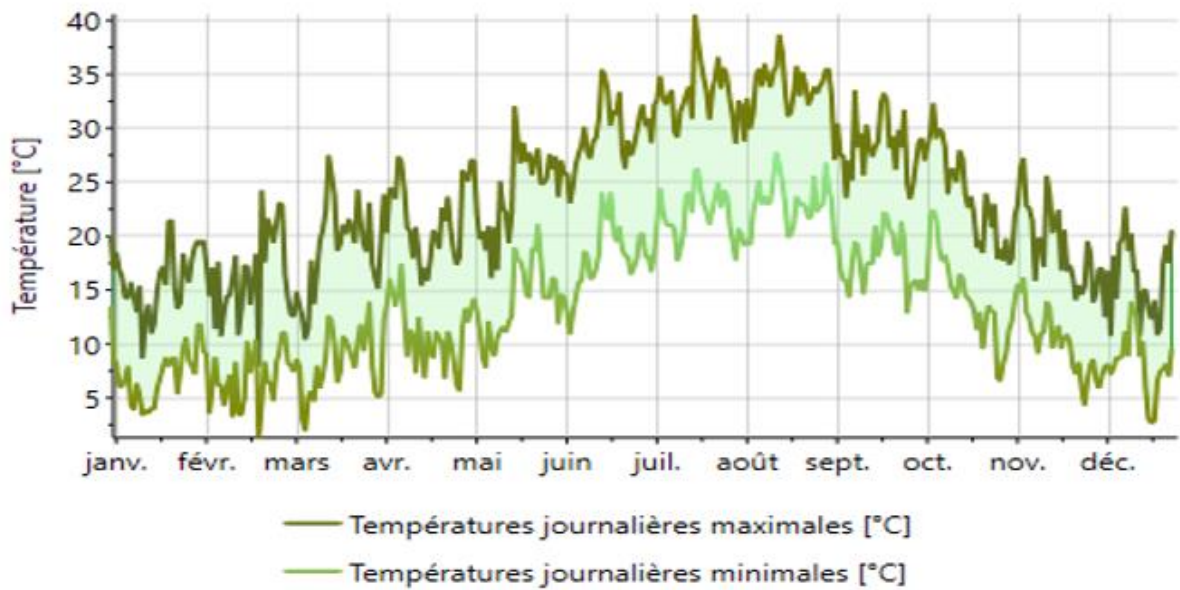


Figure II. 5: Variation de la température minimale et maximale quotidienne par an du site d'étude (région de Soumaa). (METEONORM vers.7.1)

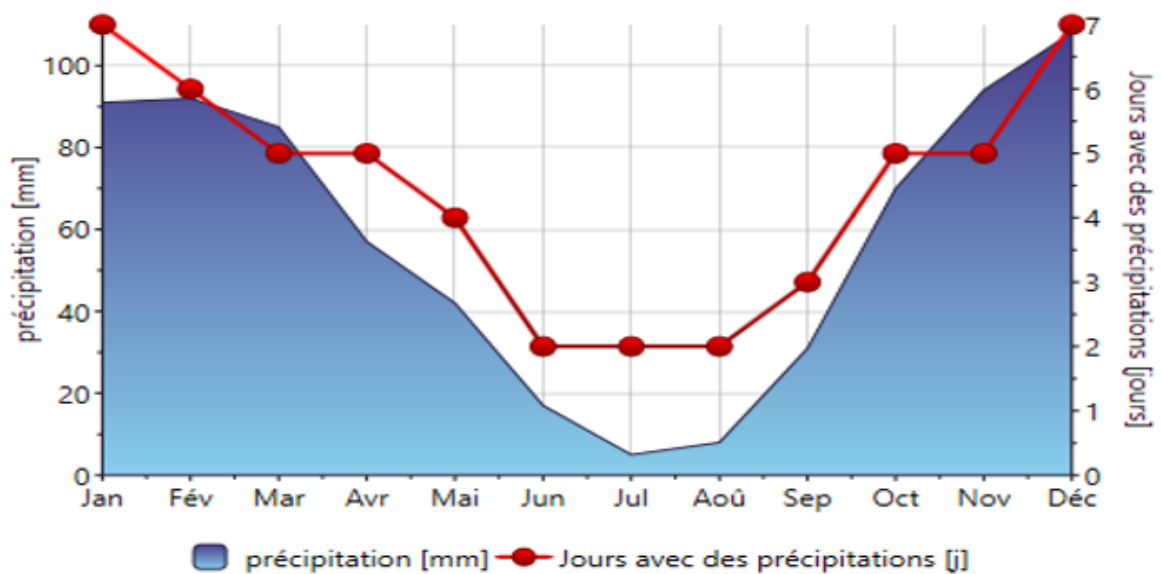


Figure II. 6 : Variation des précipitations journalières par an du site d'étude (région de Soumaa) (METEONORM vers.7.1)

II.4. Protocole expérimentale adapté

L'objectif de cette section vise à mettre en évidence les protocoles expérimentaux qui permettent d'explorer les potentialités des extraits algaux et végétaux dans l'optimisation de la performance des activités métaboliques et d'expression végétative chez les plantes model à travers deux questions hypothèses : (i) Les extraits algaux et végétaux peuvent-ils performer l'activité métabolique et l'expression végétative des semences? (ii) La formulation de l'extrait algale peut-elle performer l'expression végétative des jeunes plantules? Le schéma directeur ci-joint récapitule l'ensemble des expérimentations permettant d'atteindre les objectifs sous cités. (Fig. II. 7).

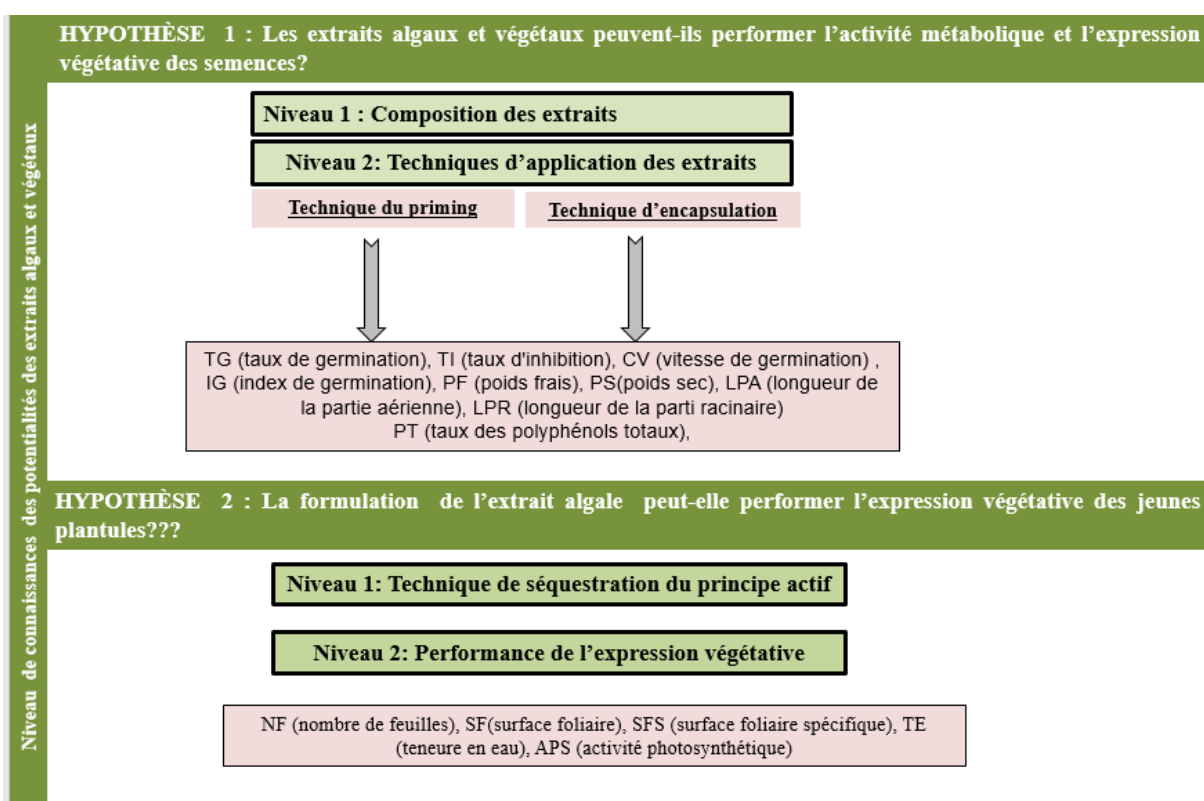


Figure II. 7: Schéma hypothétiques de l'impact des différents traitements aux extraits algaux et végétaux dans la stimulation des paramètres physiologiques et de croissance de blé et de vigne

II.4.1.1. Les extraits aqueux d'algues

Les deux espèces *Ulva rigida* et *Dictyota dichotoma* ont été préparées en extrait aqueux de la même manière, après une récolte de l'eau de mer, les deux algues ont été triées pour éliminer les impuretés : les débris, les petits coquillages et rincées afin de se débarrasser de sel, elles ont subi un séchage par la suite dans une étuve ventilée réglée à 45°C pendant 24h et ont été transformé en poudre à l'aide d'un broyeur comme d'écrit par Roy *et al*, [149] dans une fiole, 60g de chaque poudre ont été introduites avec 400ml d'eau distillée, ces mélanges ont été mis en agitation pendant 72 heures dans un agitateur magnétique. Les macérâts ont été centrifugés à 4000tr/min pendant 15 minutes. Les surnageants ont été récupérés puis conservés à l'obscurité et à basse température dans des flacons de couleur sombre (Fig. II.8).



Figure II. 8 : Aspect général des deux extraits aqueux algaux bruts (original).

II.4.1.2. Extrait aqueux enfumé : le smoke

Dans ce modèle d'extraction, la paille de blé a été utilisée dans le but d'obtenir un extrait aqueux végétale, le concept est différent celui des algues suivant la méthode qui consiste à brûler la paille de blé sèche sous-échantillons de 200 g dans un récipient métallique qui a été alimenté en feu et d'air placée et enfermer pour assurer un

chauffage circulaire, la fumée générée par le matériel végétal est passée en continu dans le tuyau métallique attaché et a bouillonné dans 4 L d'eau distillée dans le premier flacon en revanche le deuxième flacon été utilisé comme un piège pour le gaz de la paille de blé transformé (Fig. II 9). Le coton utilisée dans le deuxième flacon comme piège a été amorcé dans 100ml d'eau distillé pour obtenir le thé de smoke.

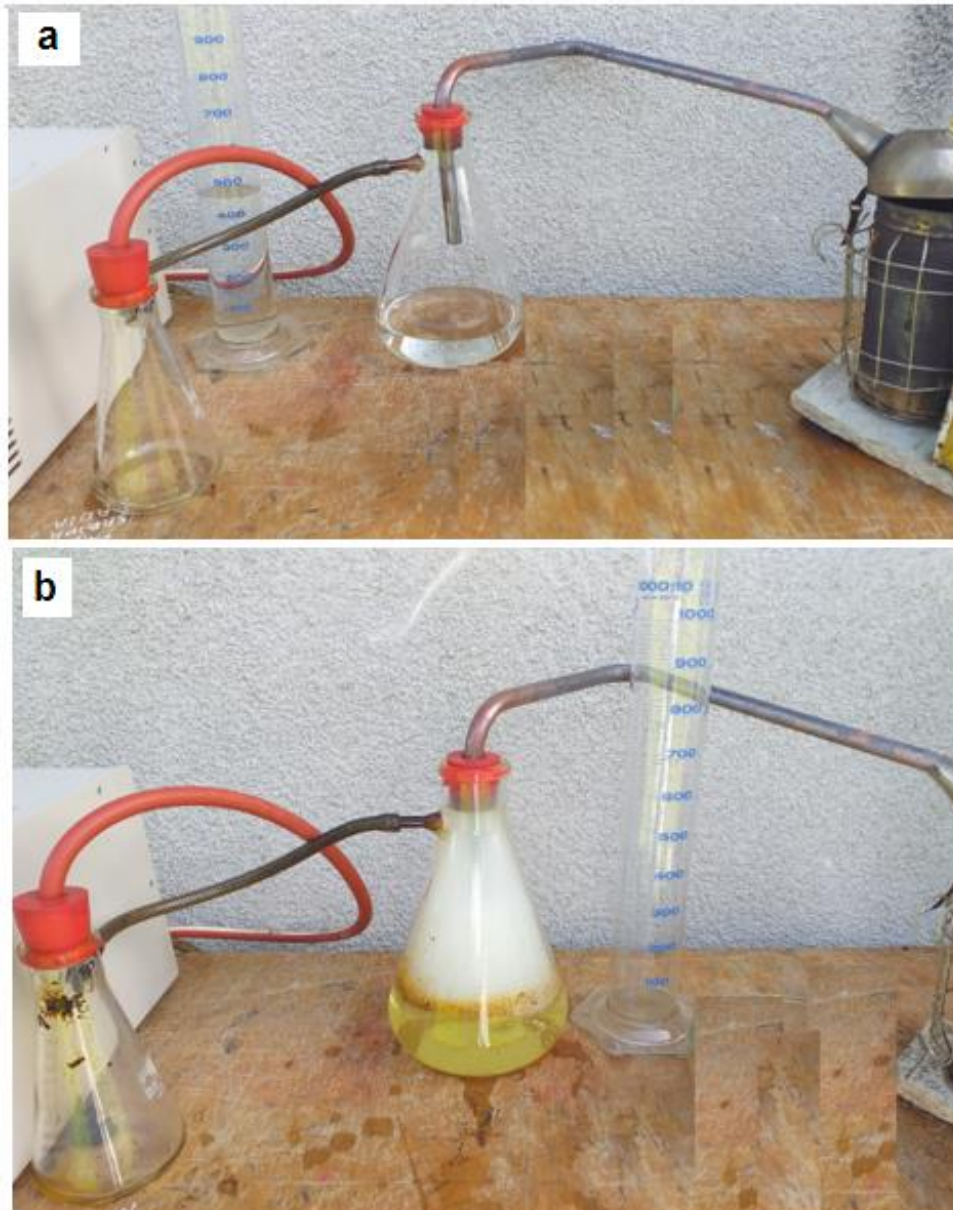


Figure II. 9: Prototype de production de l'extrait aqueux enfumé (Original)
a: lancement de la production de l'extrait enfumé, b : Aspect final de l'extrait enfumé

II.4.2. Caractérisation des extraits par spectroscopie d'absorption atomique (SAA)

La caractérisation des éléments minéraux des échantillons a été réalisée au niveau du Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse physico-chimique CRAPC. Le récipient de digestion par micro-ondes en copolymère de tétrafluoroéthylène (TFM) a été placé sur le plateau de la balance, taré et 1,5 g de chaque extrait ont été mis. Le TFM a été introduit dans le bouclier de sécurité HTC pour commencer la digestion. La carbonisation hydro-thermique (HTC) est une technologie de conversion thermo-chimique ce procédé est employé pour convertir la biomasse contenant les composés organiques en matériaux riches en carbone. HTC Considéré comme une technologie viable pour les biomasses humides et prometteuse en raison de l'élimination de l'étape de séchage. Les acides suivants ont été ajoutée goutte à goutte aux extraits (7 ml de HNO₃ 65% ,1 ml de H₂O₂ 30%) puis les solutions ont été doucement agitée pour homogénéiser les échantillons avec les acides.

Le récipient a été introduit dans le segment du rotor, et inséré dans la cavité micro-ondes qui a été connectée avec le capteur de température. Le programme micro-ondes a été exécuté jusqu'à la fin.

Le rotor a été refroidi par l'eau jusqu'à ce que la solution atteigne la température ambiante, qui a été transférée dans un flacon marqué.

Le programme micro-ondes est décrit dans le tableau II.1. Les solutions par la suite ont été analysées par spectroscopie d'absorption atomique, SAA (Agilent AA Duo 240 FS/240 Z).

Tableau II. 1: Paramètres du programme micro-onde de SAA

step	Time	T1	T2	P	Power
1	00:15:00	200°C	110°C	45bar	Max power
2	00:15:00	200°C	110°C	45bar	Max power

II.4.3. Formulations des extraits

Les formulations sont préconisées dans le but d'optimiser l'activité biologique des extraits aqueux d'*Ulva rigida* et *Dictyota dichotoma*. Les formulations ont été réalisées au niveau du Laboratoire de recherche LRBPV, Département de Biotechnologie et Agro-Ecologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida 1.

Formulation F1, c'est un mélange original où la quantité de l'extrait aqueux a été réduite jusqu'à 50% et mélangé avec 20% de solvant et un émulsifiant d'extrait de Bétaïne, 10% de mouillant, 7% ZnSO₄, 3% MnSO₄, après une agitation active de 6000 rpm pendant 15 min à l'UltraTurrax IKA.

Formulation F2, a été préparée selon la méthode décrite par Chaichi et Djazouli [150]. Obtenue par l'utilisation d'extrait aqueux brut à 60% comme matière active à laquelle un mélange de 30% de mouillant, 10% pénétrant et de tension active sont ajoutés, après une agitation active à l'UltraTurrax IKA.

Le bioproduit Algin® : c'est un produit commercial qui nous a servis de témoin pour comparer et valoriser nos formulations, grâce à sa composition spécifique en algue, zéolithe, substances humiques et végétales, et en Bacillus R6CDX.

II.4.4. Analyse du sol

Selon [150], le pH est basique. La teneur en Bicarbonate est de l'ordre de 6,97 Meq/L. Les Chlorures présentent une valeur de 5,01 Meq/L. Les Sulfates et les Nitrates, présentent des valeurs respectives de 7,96 Meq/L. et 0,71 Meq/L. Dans l'ensemble, les teneurs en Ca (9,77 Meq/L), Mg (2,70 Meq/L), K (0,02 Meq/L) et Na (3,40 Meq/L) obtenus montrent que nos échantillons présentent une diversité dans leur réserve. L'ensemble des échantillons étudiés présentent des teneurs en sels de l'ordre de 0,8 mg/l et une Conductivité DE 1,25 mS/cm.

II.4.5. Conduite des essais

L'ensemble d'expériences ont été menés dans deux différents types de conditions

II.4.5.1. Conduite des essais en conditions contrôlées

La semence utilisée dans cette étude est le blé dur (*Triticum turgidum L.*) vitrom G4 dont la faculté germinative est de 92%, les graines ont été stérilisées par chlorure de sodium pendant 20 min à 20 % (v/v) rincées et trempées dans l'eau distillée et séchées dans une étuve ventilée, cette procédure est nécessaire pour éviter la contamination par microorganisme pendant la germination.

Afin de réaliser deux techniques distinctes :

II.4.5.1.1. Essais par la technique du Le priming

C'est un traitement de pré-semis qui conduit à un état physiologique stable, améliore la qualité des semences et permet aux graines de germer plus efficacement [151]. Dans cette étude, L'objectif est de tester la capacité stimulatrice de différents agents de priming (l'extraits aqueux brute et formulé d'algue verte *Ulva rigida*, l'algue brune *Dictyota dichotoma* et la paille de blé) par recours à la technique de priming. Une meilleure compréhension des événements morpho-physiologiques se produisent chez les graines amylicées pendant le traitement d'amorçage nous permettra de corrélérer la vigueur des graines aux différentes concentrations de l'agent du priming.

Chaque lot de graines est amorcé dans trois groupes d'extraits (Tableau II.2) : extrait d'algues verte, extrait d'algue brune et leurs formulés et l'extrait végétal smoke et ses formulations, après une décantation en 9 lots de 175 graines pour chaque groupe, ensuite les flacons ont été mis dans l'étuve à 23°C pendant 6h.

Tableau II. 2 : Description des traitements réalisés dans les essais contrôlés

	Priming		
	Groupe 1 : Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Groupe 2 : Algue brune <i>Dictyota dichotoma</i>	Groupe 3 : smoke baille de blé
Extrait brute	D1= 1ml /250ml d'eau	D1= 1ml /250ml d'eau	D1= 1ml /250ml d'eau
	D2= 0 ,5 /250ml d'eau	D2= 0 ,5 /250ml d'eau	D2= 2ml /250ml d'eau
	D3= 0,3 /250ml d'eau	D3= 0,3 /250ml d'eau	Thé= 1ml/250 d'eau
	D4= 0,2 /250ml d'eau	D4= 0,2 /250ml d'eau	Témoin EAU = 1ml/250 d'eau (Hydropriming)
	Témoin = 1ml/250 d'eau	Témoin = 1ml/250 d'eau	-
Formulé de l'extrait	F1=1ml/250ml d'eau TF1=1ml /250ml d'eau	F1= 1ml /250ml d'eau TF1=1ml /250ml d'eau	F1= 1ml /250ml d'eau TF1=1ml /250ml d'eau
	Produit biologique ® = 1ml /250ml d'eau	-	Produit biologique ® = 1ml /250ml d'eau

Les graines ont été rincées avec de l'eau distillée pour éliminer les résidus des bioproduits et laissées sécher pendant 7 jours jusqu'à ce qu'elles reprennent leurs formes initiales (Tégument sec). Neuf rangées de boîtes de Pétri sont recommandées pour l'installation de l'expérience dont le nombre de répétitions est 5, chaque boîte est imbibée par un bioproduit dans chaque groupe d'extrait (vert, brun, smoke), l'ensemble été mis dans une chambre d'Hortibox (16h/8h de photopériode, 23°C et 80% d'humidité) (Fig. II 10).

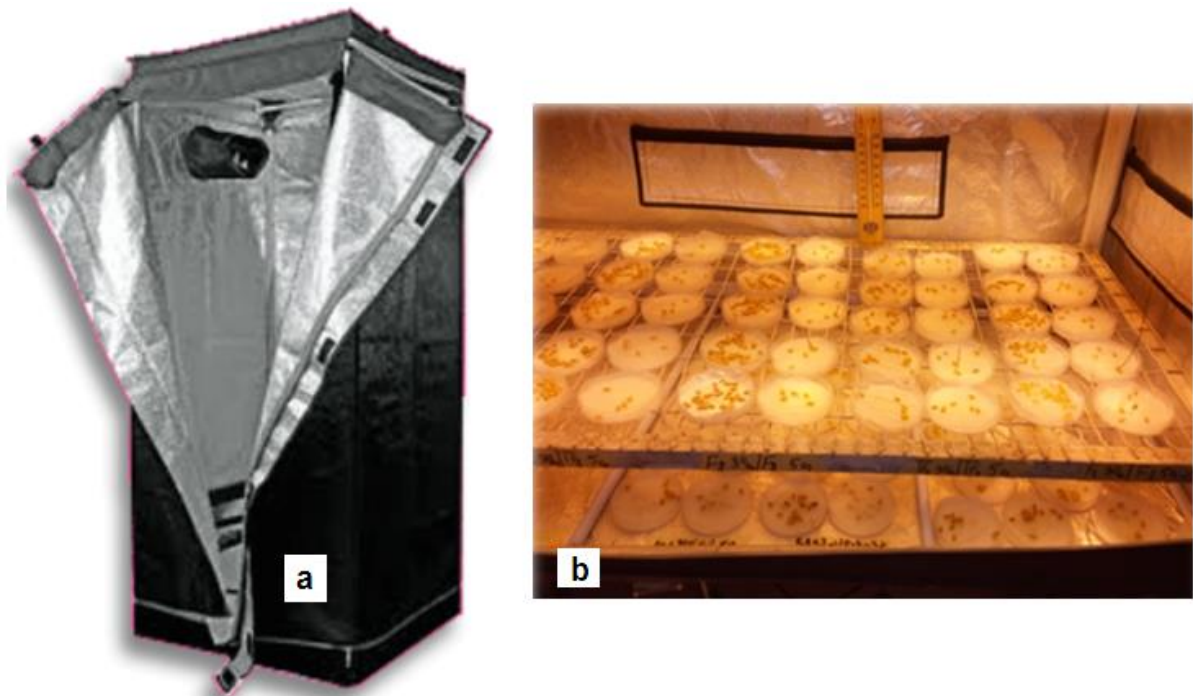


Figure II. 10: Dispositif expérimental des essais en conditions contrôlées

a: Hortibox, b :Disposition des graines dans l'Hortibox

Le suivi des essais est préconisé pendant 10 jours, l'imbibition des graines été fait selon leurs besoins en différents traitements et selon les dilutions suivantes : Les extraits aqueux brutes préparées ont été dilué selon quatre dose 1 ml ; 0,5 ml ; 0,3 ml et 0,2 ml dans 250 ml d'eau à usage normal en revanche les formulés ont été dilués selon deux doses 1 ml et 0,5 ml dans 250 d'eau.

II.4.5.1.2. Essais par la technique de la micro-encapsulation

La micro-encapsulation est une technique utilisée pour conserver les aliments, les molécules ou encore des échantillons liés à la médecine ou à l'agronomie, (enrobage des graines) [139]. Dans cette étude, l'objectif est de tester l'homogénéité des différentes concentrations de matières actifs (l'extraits aqueux brute et formulé d'algue verte *Ulva rigida*, l'algue brune *Dictyota dichotoma* et la paille de blé) avec la matière enrobante qui se traduit par des événements morfo-physiologiques corrélés à la croissance des graines.

La technique a été réalisée dans les conditions les plus stériles possibles.

Une solution d'alginate de concentration **(1-5%)** à définir en g/L (grammes de cristaux d'alginate/litre d'eau distillée stérile) ou le pH de l'eau distillée utilisée pour dissoudre les cristaux d'alginate est pH 7,5) la solution a été homogénéisée par un agitateur magnétique, les graines ont été mises pendant 5min dans l'alginate. Le mélange graines-alginate est prélevé avec une micropipette de 5mL sur laquelle on a installé un cône dont l'extrémité a été coupée en fonction de la taille de la graine (Fig. II 11) et plongée par la suite dans une solution cationique à 0,1M (soit 1,11g/100mL), laissée pendant 15 min puis filtrée par une passoire et séchées dans une étuve ventilée à 23C° pendant 72h, résultat de la technique se présente dans la figure II.12.

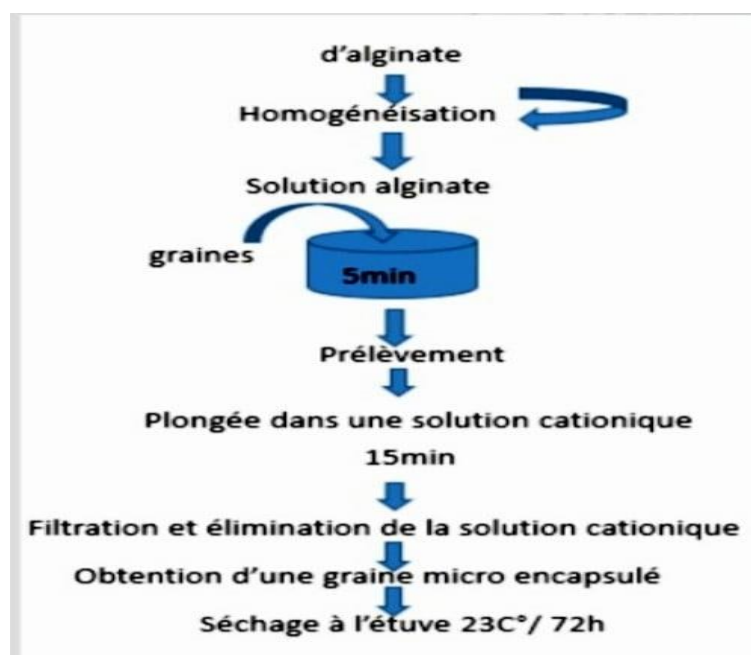


Figure II. 11: Protocole d'enrobage des graines par l'alginate

Neuf rangées de boîtes de pétri sont recommandées pour l'installation de l'expérience dont le nombre de répétitions est 5, chaque boîte est imbibée par un bioproduit dans chaque groupe d'extrait (vert, brun, smoke), l'ensemble est mis dans une chambre d'Hortibox (16h/8h de photopériode, 23°C et 80% d'humidité).

Le suivi des essais est préconisé pendant 10 jours, l'imbibition des graines faite selon leurs besoins en différents traitements et selon les dilutions représentés dans le tableau II.2. La graine est considérée comme germée, lorsque la radicule a percé l'enveloppe. A ce stade, différents paramètres de germination ont été déterminés comme déjà cité par [152].



Figure II. 12: Graines de blé encapsulées (original)

II.4.5.2. Conduite des essais en conditions semi-contrôlées

Cette étude a pour objectif de se focaliser sur l'extrait brut et formulé d'*Ulva rigida* comme bio traitement dans des conditions semi-contrôlées dans le but de mettre en

valeur les potentialités stimulatrices de l'extrait de cette espèce méditerranéenne non documenté sur les jeunes plants de la vigne.

L'expérience a été réalisée dans des conditions semi contrôlées, dans une pépinière, en pots. Pour chaque essai, dix répétitions ont été effectuées. Le matériel végétal qui a été utilisé c'est des plants greffés soudés de la vigne (Var RED GLOB) ont été transplantés dans des pots en plastique transparent de 20 cm de hauteur et 15 cm de diamètre, ayant la capacité de 1500 ml avec des trous de drainage permettant l'évacuation de l'excès d'eau. Les pots ont été remplis de terre (Fig. II 12).



Figure II. 13: Dispositif expérimental des traitements sur plants de vigne en pépinière (photo Original)

Les plantes ont été conduites sous une irrigation optimale. L'irrigation a été faite en fonction des besoins des plantes en ajoutant 2L d'eau tous les deux jours, ce qui correspond à 80% de la capacité du champ.

Les deux formulations F1, F2 préparées avec l'extrait d'algue *Ulva rigida* ainsi que l'extrait brut ont été diluées selon 8ml/L (v/v) évaluées par application foliaire à 50mL par plante à neuf feuilles bien développées (stade 11 de l'échelle BBCH). Cette étape a été répétée chaque décade pendant un mois. La première période les feuilles ont

été au stade 13-14 de l'échelle BBCH, dans la deuxième période ont été au stade 51 de l'échelle BBCH et pour la dernière période de l'expérience elles étaient au stade 53 de l'échelle BBCH).

Avant chaque application de traitement, le nombre de feuilles nouvellement émergées a été noté.

Deux feuilles ont été récoltées pour la détermination des traitements physiologiques et chimiques.

II.4.6. Paramètres étudiés

II.4.6.1. En conditions contrôlées

-Le pourcentage de germination totale (TG) a été calculé selon la formule

$$TG (\%) = \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines semées}} \cdot 100$$

-Le pourcentage de taux d'inhibition a été calculé selon la formule :

$$Ti (\%) = \frac{\text{Nombre de graines semées}}{\text{Nombre de graines germées}} \cdot 100$$

- L'index de germination a été calculé selon la formule :

$$GI = \sum \left(\frac{Ni}{Ti} \right),$$

Avec : Ti = nombre de jours après le semis, Ni = le nombre de graines germées le $i^{\text{ème}}$ jour.

-La vitesse de germination a été calculée selon la formule :

$$CV = \frac{N1+N2+\dots+Nn}{(N1T1 + N2T2+\dots+NnTn)} \times 100.$$

Avec : $N1$: nombre de graines germées au temps $T1$, $N2$: nombre de graines germées au temps $T2$,
 Nn : nombre de graines germées au temps Tn .

-La longueur des parties aérienne et racinaire exprimé en (cm²), ont été estimés par analyse d'image (image analysis software Digimizer ver. 3.0. (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium)

-La masse sèche a été déterminée après séchage à 80°C pendant 24h, quant au poids frais, il est exprimé en (g).

-Les polyphénols totaux ont été déterminés par la méthode décrite par Shao et *al.* [153]. 0,5-1g de graines a été extrait avec 10mL d'éthanol 80% puis a été centrifugé à 10,000 tours/min pendant 20min. Le surnageant a été récupéré et laissé évaporer pendant 20 min à température ambiante. Les résidus ont été récupérés dans de l'eau distillée. 0,5 mL de ce dernier a été additionnée à 2,5 mL de Folin Ciocalteu 1N et à 2 ml de Na₂CO₃ 7,5%. Après agitation, le mélange a été gardé à l'ombre pendant 30 min à température ambiante. L'absorbance a été effectuée à 760 nm. L'acide gallique a été utilisé comme standard pour la courbe d'étalonnage. La teneur en composés phénoliques est exprimée en équivalent d'acide gallique en utilisant équation linéaire de la courbe d'étalonnage : $Y=0,0019X + 0,0306$, $R^2=0,9986$, où Y est l'absorbance et X est la concentration en acide gallique équivalents (g/mL).

II.4.6.2. En conditions semi-contrôlées

-La surface foliaire, exprimée en cm², a été déterminée à l'aide du logiciel d'analyse d'images Digimizer ver. 3.0. (MedCalc Software bv, Ostend, Belgique)

- la teneur en eau relative : Le contenu relatif en eau (RWC) a été libéré selon la méthode de Merah [154] sur dix feuilles. Le poids frais (FW) a été mesuré à l'excision. Le poids sec (DW) a été évalué après 48 h à 80°C. Le RWC a été calculé selon l'équation suivante :

$$RWC (\%) = [(FW-DW) / (FW)] \times 100.$$

-Surface foliaire spécifique

$$SLA = SF / (MS)$$

- Détermination des pigments (Chlorophylle a, b et caroténoïdes). Les pigments ont été extraits selon la méthode de Lichtenthaler [155]. Cent milligrammes de feuilles fraîches ont été broyées avec 40ml d'acétone (80%) et l'extrait obtenu a été centrifugé à 3000 rpm pendant 10 min. L'absorbance de l'extrait a été déterminée à 647, 664, et 470 nm par spectrophotomètre UV La chlorophylle a, b et les caroténoïdes ont été calculés comme suit :

$$\text{Chla} = 12,21(A_{664}) - 2,79(A_{647})$$

$$\text{Chlb} = 21,21(A_{647}) - 5,1(A_{664})$$

$$\text{Caroténoïdes} = (1000A_{470} - 1,8\text{Chla} - 85,02\text{Chlb})/98$$

$$\text{ChIT} = \text{Chla} + \text{Chlb}$$

II.4.7. Tests statistiques utilisés

La distribution des échantillons selon la loi Normale ainsi que leur homogénéité sont vérifiés selon le test Levene's. Les résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) afin de déterminer l'effet des différents traitements aux extraits algaux et végétaux sur les paramètres de croissance et biochimiques des graines et des plants de la vigne. Lorsque l'analyse ANOVA est significative à un seuil de $p \leq 0,05$, les différences entre les moyennes des groupes sont scorées selon le test Student Newman Keuls (SNK). Les données sont présentées sous forme de moyennes arithmétique accompagnées par les valeurs du coefficient de variation C.V. et sont analysées avec les logiciels SYSTAT vers 12 et XLSTAT vers 2016. La tendance de l'influence de la fluctuation des paramètres de croissance et biochimiques des graines et des plants de la vigne sous l'effet des caractéristiques des extraits algaux et végétaux ont été établies par une analyse en composante principale (A.C.P.). La projection des variables sur les deux axes de l'analyse multivariée a été conduite par le logiciel (PAST vers. 1.37) .

CHAPITRE III : RÉSULTATS

III.1. Caractérisation des extraits algaux et végétaux

Afin de comparer la capacité accumulative de chaque extrait, enregistré pour les différents minéraux et pigments, les valeurs du SAA et de l'UV-visible sont représentées dans le tableau III.1. A l'exception du Nickel (Ni) qui caractérise l'extrait vert brut (EVB), la tendance d'accumulation des éléments minéraux est en faveur de l'extrait brun brut (EBB). Les valeurs d'accumulation des éléments minéraux sont enregistrées chez l'extrait végétal (smoke) (EVS). D'autre part des différences importantes sont obtenues à travers la quantification des pigments. Globalement, l'EBB paraît exprimer la quantité de pigments la plus élevée (Tableau III.1).

Tableau III. 1: Composition en éléments minéraux et en pigments des extraits algaux et végétaux

	Composés	EVB	EBB	EVS
Éléments minéraux	Fe (mg/L.)	0,041±0,0025	0,180±0,0126	0,069±0,0035
	Mn (mg/L.)	0,001±0,0001	0,0040,0003	0,008±0,0004
	Zn (mg/L.)	0,004±0,0002	0,205±0,0144	0,067±0,0034
	Cu (mg/L.)	0,001±0,0001	0,002±0,0001	0,002±0,0001
	Mg (mg/L.)	1,155±0,0693	1,34±0,0938	0,169±0,0085
	Ca (mg/L.)	1,072±0,0643	5,232±0,3662	2,647±0,1324
	K (mg/L.)	1,063±0,0638	16,804±1,1763	0,062±0,0031
	Pb (mg/L.)	0,012±0,0007	0,11±0,0077	0,100±0,0050
	Cr (mg/L.)	0,016±0,0010	0,055±0,0039	0,037±0,0019
	Cd (mg/L.)	0,019±0,0011	0,018±0,0013	0,015±0,0008
	Ni (mg/L.)	0,093±0,0056	ND	ND
Pigments	Chl a (µg/g. MF)	13,650±0,8190	19,719±1,3803	00,00
	Chl b (µg/g. MF)	9,613±0,5768	7,215±0,5051	00,00
	Chl Totale (µg/g. MF)	23,263±1,3958	26,934±1,8854	00,00
	Caroténoïdes (µg/g. MF)	6,252±0,3751	25,744±1,8021	00,00

EBB : Extrait brun brut ; EVB : Extrait vert brut ; ES : Extrait végétal (smoke) ; ND : non détecté ; Chl : chlorophylle.

Les variations enregistrées dans les quantités moyennes des éléments minéraux et des pigments sont confirmées par la probabilité globale calculée par le test de Wilcoxon et confirmé par le test de Monte Carlo (Tableau III.2), qui stipule l'existence

d'une différence significative ($p < 5\%$) entre les quantités enregistrées chez l'EBB et l'EVB et l'EVS. Cependant, aucune différence significative n'est signalée entre l'EBB et l'EVB en matière d'accumulation des pigments ($p > 5\%$) (Tableau III.2).

Tableau III. 2 : Test de comparaison par paire appliqué aux éléments minéraux et aux pigments des extraits algaux et végétaux

	Eléments minéraux						Pigments	
	EVB	EBB	EVB	EVS	EBB	EVS	EVB	EBB
Nombre	11		11		11		4	
Moyenne	0,316	2,177	0,316	0,288	2,177	0,288	13,194	19,903
Test Wilcoxon (p)	0,0207*		0,7221 ^{NS}		0,0151*		0,1441 ^{NS}	
Test Monte Carlo (p)	0,0185*		0,7617 ^{NS}		0,0120*		0,2496 ^{NS}	

EBB : Extrait brun brut, EBV : Extrait vert brut, ES : Extrait végétal (smoke), * : Significatif à 5%
NS: non Significatif

L'analyse des correspondances (A.C.) permet d'étendre l'information de la composition phytochimique des différents extraits étudiés (Fig. III.1). Cette information est dépendante de celle portée par la nature des extraits algaux et végétaux. Sur la base d'une similarité de -1,8, la CHA, montre la présence de deux groupes de compositions phytochimiques (Fig. III.2).

Le plan factoriel porté par les deux premières composantes principales ($F_1 + F_2$) donne une vision assez claire de la structure de nos extraits (Fig. III.1). Les composés minéraux et les pigments se répartissent entre les trois extraits (EVB, EBB et EVS). Le groupe 1, porte l'information permettant de caractériser l'extrait végétal (smoke), tandis que le groupe 2, nous indique les constituants des extraits algaux. Le plan factoriel, composé des deux premières composantes principales, reflète relativement bien la structure de notre base de données. Le groupe 1, renseigne principalement la description de l'EVS. Ainsi, les minéraux Fe, Mn, Zn, Cu, Ca, Pb, Cr, Cd sont représentatifs de la structure phytochimique de l'EVS. Les composés K, Mg, Ni, Chl a, Chl b, Chl Totale est les caroténoïdes discriminant les extraits algaux (Groupe 2) (Fig. III.1). Cependant, à une similarité de -0,6, l'EVB traduit la prédominance de la fraction des pigments chlorophylliens associés au Mg et au Ni. En revanche, l'EBB, montre une prédominance des caroténoïdes et du K (Fig. III.1 et 2).

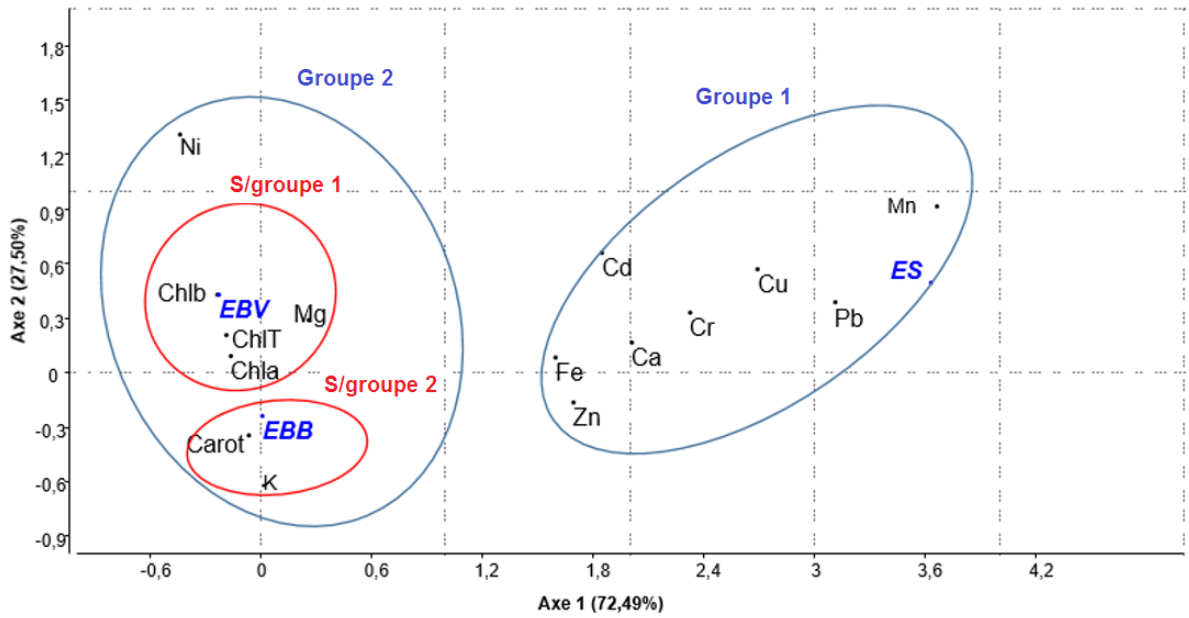


Figure III. 1: Projection des principaux composés minéraux et des pigments des extraits algaux et végétaux sur les deux axes de l'A.C.

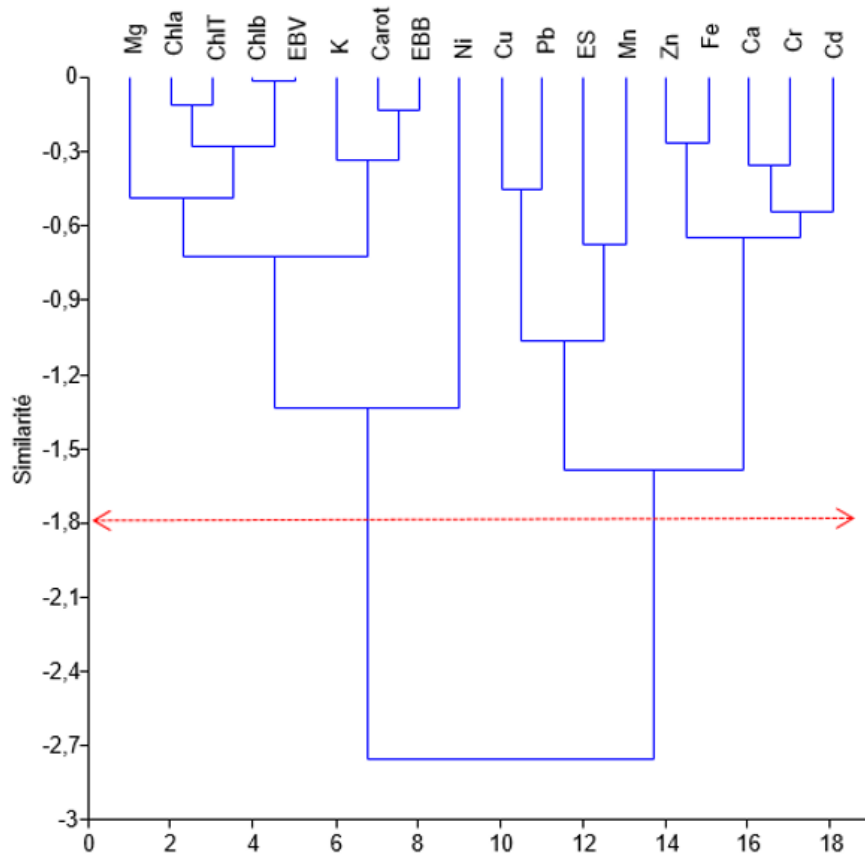


Figure III. 2: Classification hiérarchique ascendante (CHA) des principaux composés minéraux et des pigments des extraits algaux et végétaux

III.2. Évaluation de la performance de la technique du Priming par application des extraits algaux et végétaux

III.2.1. Évaluation de l'amorçage des graines par les extraits algaux

III.2.1.1. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux de germination des graines

Selon la figure III.3, l'évolution temporelle des taux de germination observée chez les graines de blé dur sous l'effet de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, montre un effet stimulateur contrasté selon le degré de concentration des traitements, obéissant à un gradient négatif 1ml < 0,5 ml < 0,3 ml < 0,2 ml (Fig. 1a). Le taux de germination signalé sous l'effet des différents traitements se détache du taux de germination signalé chez le témoin. Au bout du 4^{ème} jour, la concentration 0,2 ml atteint son niveau maximum par rapport aux autres concentrations et marque le 100% du taux de germination. Dès le 4^{ème} jour et jusqu'au 10^{ème} jour, les valeurs du taux de germination expriment une certaine stabilité dans la germination. A cet effet, les graines de blé amorcées dans la concentration 0,2 ml d'extrait aqueux enregistrent le taux de germination le plus élevé, secondé par les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml, 1 ml et le témoin selon un ordre croissant qui marque le taux de germination de plus en plus faible. Les graines amorcées dans l'eau (témoin) marquent de taux de germination le plus faible pendant 10 jours affichant un taux de 82% par rapport aux concentrations d'extrait aqueux d'*U. rigida*. Dans la mesure où les résultats d'amorçage des graines de blé par l'extrait aqueux d'*U. rigida* ont signalé des rapprochements en termes de taux de germination, nous avons préféré visualiser l'effet d'amorçage durant les premiers jours d'imprégnation des graines dans l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma* Plus précisément, nous avons cherché des rapprochements ou des divergences entre les différentes concentrations. La Figure (A'), indique les fluctuations les plus détaillées du taux de germination pendant les quatre premiers jours de la germination de blé sous effets de 4 différentes concentrations et leur témoin. Au bout du 2^{ème} jour la concentration 0,5mL de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma* indique le taux de germination le plus élevé estimé à 60%, suivie par les concentrations 0,2 ml, 0,3 ml, témoin, 1 ml selon un ordre croissant. Au 3^{ème} jour, le témoin mentionne le taux de

germination le plus élevé et se stabilise à une valeur inférieure à la concentration 0,2 ml au 4^{ème} jour.

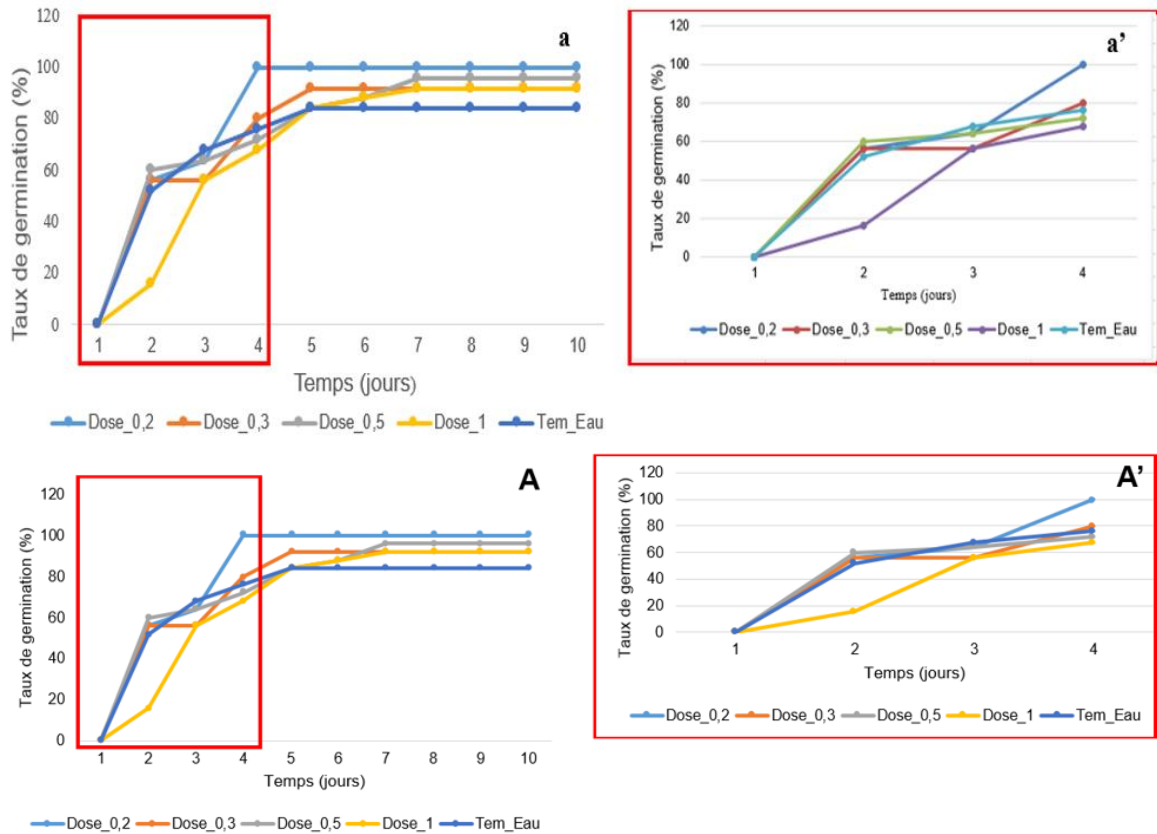


Figure III. 3: Fluctuations temporelles des taux de germination

a: période de l'essai (10 jours) sous *Ulva rigida*, a' :4 premiers jours de l'essai sous *Ulva rigida*
A: période de l'essai (10 jours) sous *Dictyota dichotoma*, A' :4 premiers jours de l'essai sous *Dictyota dichotoma*

Nous nous proposons de comparer les taux de germination selon les concentrations d'amorçage utilisées. Si on fait référence au test de Khi^2 , les valeurs signalées ainsi que les probabilités associées (Tableau III.3), démontrent clairement que l'hypothèse de différence d'effet est confirmée. L'effet stimulateur de germination par amorçage des graines par l'extrait aqueux d'*U. rigida* à la concentration 0,2 ml enregistre une différence significative par comparaison aux différents traitements. Par ailleurs, les concentrations d'amorçage 0,3 ml et 0,5 ml ne signalent aucune différence significative en termes de stimulation de la germination des graines ($\text{Khi}^2=2,94$, $p=0,404$, $p>5\%$). D'un autre point de vue, lesdites concentrations d'amorçage 0,3 ml ($\text{Khi}^2=3,39$, $p=0,334$, $p>5\%$) et 0,5 ml ($\text{Khi}^2=1,67$, $p=0,642$, $p>5\%$) ne signalent aucune différence significative avec le témoin (imprégnation dans l'eau). En revanche, pour la

concentration d'amorçage 1ml, le test affiche la présence d'une différence hautement significative par rapport aux concentrations utilisées et par rapport au témoin.

L'effet stimulateur de germination par amorçage des graines à la concentration 1 ml enregistre une différence significative par comparaison aux différents traitements par l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma*, Par ailleurs, les concentrations d'amorçage 0,3 ml ($\text{Khi}^2=2,63$, $p=0,2676$, $p>5\%$) et 0,5 ml ($\text{Khi}^2=2,61$, $p=0,4324$, $p>5\%$) ne signalent aucune différence significative en termes de stimulation de la germination des graines (Tableau III.3).

Tableau III. 3: Effet comparé des concentrations l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'algue brune *Dictyota dichotoma* sur le taux de germination des graines de blé (Test Khi^2 /probabilités associées)

		Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	-	0,0227*	0,0026**	$1,11 \times 10^{-25***}$	0,0108*
	Dose_0,3	16,83	-	0,404 ^{NS}	$8,22 \times 10^{-7***}$	0,334 ^{NS}
	Dose_0,5	14,2	2,94	-	$2,37 \times 10^{-26***}$	0,642 ^{NS}
	Dose_1	119,25	31,06	122,38	-	$3,84 \times 10^{-6***}$
	Tem_Eau	11,17	3,39	1,67	27,88	-
Algue brune <i>Dictyota dichotoma</i>	Dose_0,2	-	0,0463*	0,0172*	$5,84 \times 10^{-26***}$	0,0429*
	Dose_0,3	6,14	-	0,340 ^{NS}	$2,54 \times 10^{-7***}$	0,2676 ^{NS}
	Dose_0,5	8,12	2,15	-	$2,66 \times 10^{-27***}$	0,4324 ^{NS}
	Dose_1	116,2	30,37	124,81	-	$8,81 \times 10^{-7***}$
	Tem_Eau	6,29	2,63	2,61	23,03	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

III.2.1.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines

Le graphique (Fig.III.5 b) montre les fluctuations du taux d'inhibition de germination sous l'effet de 4 concentrations ainsi que le témoin. Au bout du 4^{ème} jour, la concentration 0,2 mL atteint son niveau minimal par rapport aux autres concentrations et marque le taux d'inhibition 0%. Dès le 4^{ème} jour et jusqu'au 10^{ème} jour, les valeurs restent constantes, ce qui confirme sa capacité à booster le taux de germination (Fig.III.4). Par ailleurs, la concentration 0,2 ml a exhibé le taux d'inhibition le plus faible, suivie par les concentrations 0,3 ml et 0,5 ml, selon un ordre décroissant qui marque un taux d'inhibition de plus en plus faible. La concentration 1mL, en revanche, a montré le taux le plus élevé pendant 10jours. La Figure B' indique les fluctuations les plus explicites du taux d'inhibition pendant les quatre premiers jours de la germination. Au

bout du 2^{ème} jour, la concentration 1mL de l'extrait aqueux indique le taux d'inhibition le plus élevé estimé de 80%, affichant un écart par rapport au témoin et aux concentrations 0,3 ml, 0,2 ml.

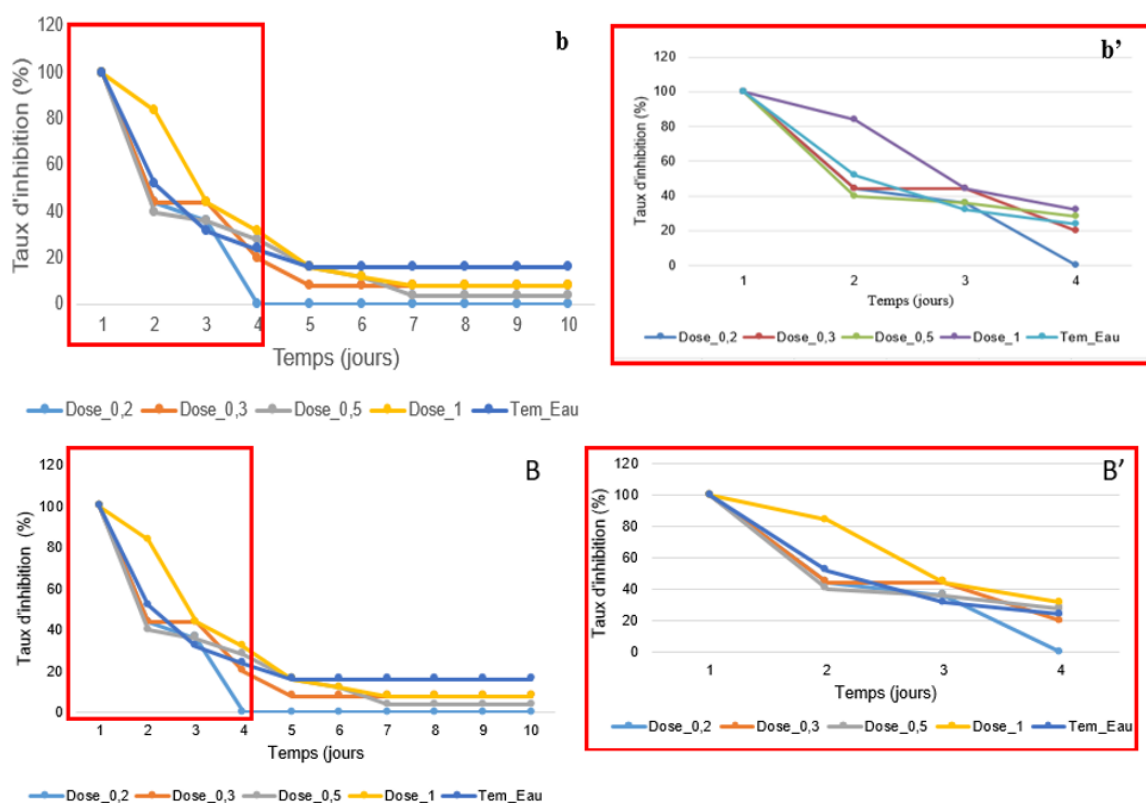


Figure III. 4: Fluctuations temporelles des taux d'Inhibition

b: période de l'essai (10 jours) sous *Ulva rigida*, b' :4 premiers jours de l'essai sous *Ulva rigida*
 B: période de l'essai (10 jours) sous *Dictyota dichotoma*, B' :4 premiers jours de l'essai sous *Dictyota dichotoma*

Les résultats relatifs aux valeurs du test de Khi^2 , montrent la présence de différence d'effet d'inhibition selon les concentrations d'amorçage (Tableau III.4). Ainsi, pour la concentration d'amorçage 0,2 mL, elle ne signale aucune différence d'effet par rapport au témoin traité à l'eau ($\text{Khi}^2=2,73$, $p=0,137$, $p>5\%$). Concernant les concentrations d'amorçage 0,3 ml et 0,5 ml testées sur les graines du blé, les Khi^2 types sont les plus fortes par rapport au témoin et à la concentration 0,2 ml. Les concentrations 0,3 ml et 0,5 ml, semblent, avoir plutôt un effet inhibiteur sur la germination des graines. Il est plus visible pour la concentration d'amorçage 1mL, en tenant compte des valeurs de Khi^2 et leurs probabilités associées.

Tableau III. 4: Effet comparé des concentrations de l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'algue brune *Dictyota dichotoma* sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

		Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	-	$2,36 \times 10^{-11***}$	$2,99 \times 10^{-6***}$	$3,10 \times 10^{-5***}$	$0,137^{NS}$
	Dose_0,3	27,73	-	$0,1704^{NS}$	$2,99 \times 10^{-6***}$	$2,99 \times 10^{-6***}$
	Dose_0,5	28,4	5,01	-	$5,53 \times 10^{-11***}$	$3,684 \times 10^{-8***}$
	Dose_1	38,14	23,54	50,74	-	$6,30 \times 10^{-6***}$
	Tem_Eau	2,73	9,52	7,93	26,85	-
Algue brune <i>Dictyota dichotoma</i>	Dose_0,2	-	$2,36 \times 10^{-7***}$	$2,34 \times 10^{-6***}$	$4,63 \times 10^{-30***}$	$0,0937^{NS}$
	Dose_0,3	1,77	-	$0,1740^{NS}$	$3,10 \times 10^{-5***}$	$1,08 \times 10^{-5***}$
	Dose_0,5	26,5	5,18	-	$1,54 \times 10^{-5***}$	$0,2268^{NS}$
	Dose_1	33,41	21,52	25,02	-	$5,57 \times 10^{-4***}$
	Tem_Eau	6,39	25,73	3,93	17,46	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

III.2.1.3. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur la vitesse de croissance

Dans la mesure où il existe des corrélations entre les concentrations d'amorçage et la vitesse de germination, nous pouvons tester si cette dernière a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport aux concentrations. Nous avons donc comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements par le test One-way ANOVA. La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative (Fig.III.6 A). Le test Post hoc de Tukey, indique que les graines du blé exprimant la vitesse de germination la plus élevée (20,08%) sont celles amorcées par la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*. Elles appartiennent par conséquent au groupe homogène (a). Les concentrations 0,5 ml et 0,3 ml de l'extrait aqueux expriment la vitesse de croissance intermédiaire (20,032 et 20,057%), le test Post hoc, les classent dans le groupe homogène (ab). Les graines témoin affichent une vitesse modérée de l'ordre de 19,989%, occupant ainsi le groupe homogène (b). Les graines exprimant la vitesse de germination la plus faible (19,331%), sont celles amorcées par la concentration de 1ml (groupe homogène c). Par ailleurs, avec le même test One-way ANOVA, nous avons comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements sous extraits *Dictyota dichotoma* (Fig.III.6 B). La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative. Le test Post hoc de Tukey, indique que les deux concentrations 0,3 ml 0,2 ml exprimant la vitesse de germination la plus élevée

appartenant au même groupe homogène (a), en revanche les concentrations les plus faible appartiennent au groupe homogène (c) exprimant la vitesse de germination la plus faible (12,42%) sont celles amorcées par la concentration 1ml et 0,5 ml de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma*. Le témoin exprime une vitesse de croissance intermédiaire existe dans la classe de groupe homogène (b).

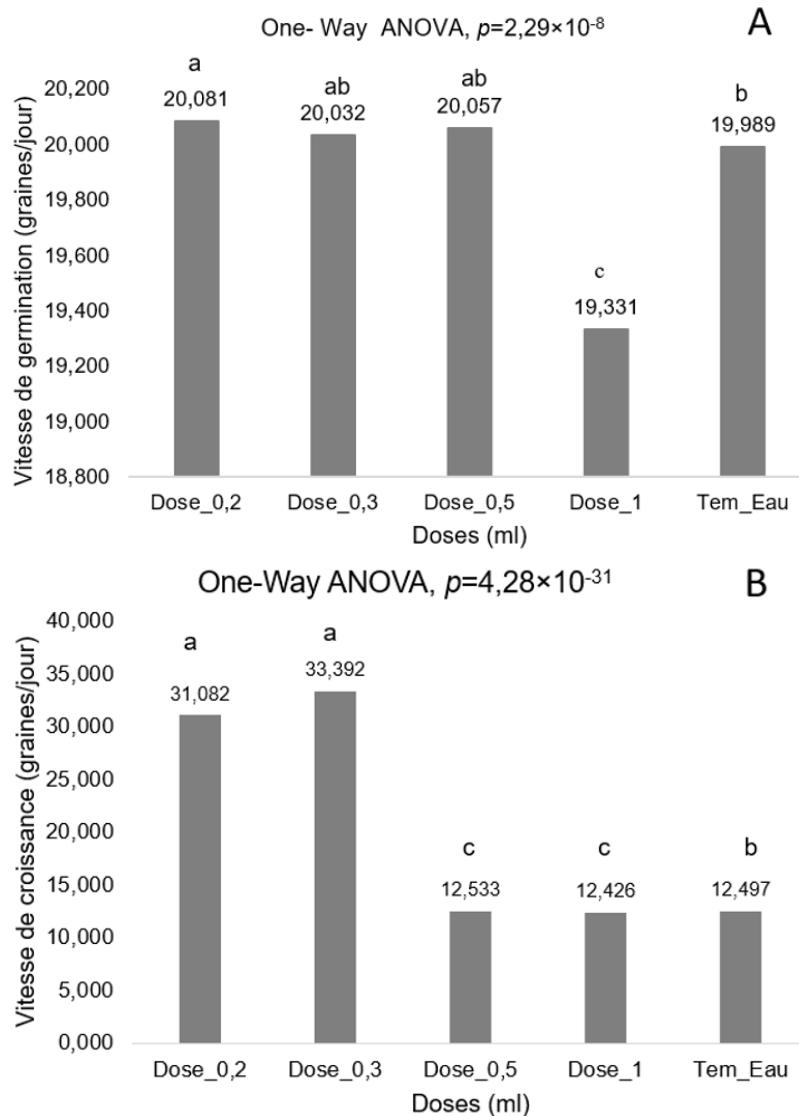


Figure III.4: Effet des concentrations des extraits des deux algues sur la vitesse de croissance

A: *Ulva rigida*, B: *Dictyota dichotoma*

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.2.1.4. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur l'index de germination

Le test One-way ANOVA réconforté par le test Post hoc de Tukey (Fig.III.7 A), annoncent que la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux *U. rigida* exprime l'indice de

germination le plus élevé (81,8%) ($p < 0,1\%$). Les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml et le témoin, affichent le deuxième palier en termes de valeur de l'indice de germination (groupe homogène b). L'indice de germination le plus faible (65,73%), est enregistré sous l'effet de la concentration 1ml, de même pour le graphe (Fig.III.7 B) montre que la plus faible concentration 0,2 ml de l'extrait *Dictyota dichotoma* exprime l'indice de germination le plus élevé 64,5% (groupe homogène a) alors que l'indice de germination le plus faible (65,73%), est enregistré sous l'effet de la concentration 1ml et les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml et le témoin, affichent le deuxième palier (groupe homogène b).

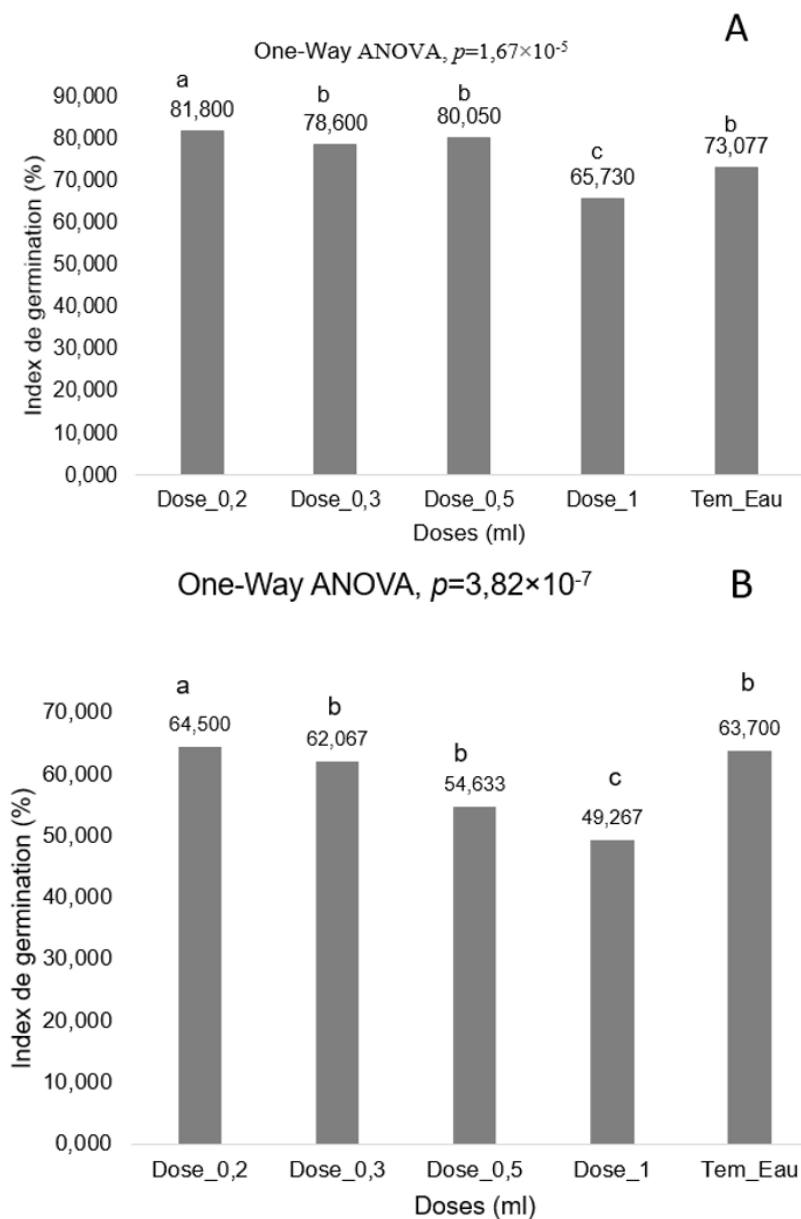


Figure III.5: Effet des concentrations des extraits des deux algues sur l'index de germination

A: *Ulva rigida*, B: *Dictyota dichotoma*

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey a> b>c

III.2.1.5. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les paramètres morphologiques

Une analyse de la variance a été conduite sur la variation du poids frais et poids sec des graines de blé amorcées (extraits aqueux d'*U. rigida*) (Tableau III.5). L'analyse a permis de conclure que le facteur traitement n'influence pas le poids des graines ($p > 5\%$). Concernant la longueur de la partie aérienne des plantules de blé dur, l'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des concentrations sur la longueur de la partie aérienne. Sous l'effet des deux concentrations 0,2 et 0,3 ml nous signalons les valeurs les plus élevées de la partie aérienne (Tableau III.5). Cependant, la concentration 0,2 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, conduit à la plus importante élévation de la partie racinaire des plantules de blé dur. Les concentrations 0,3 ml, 0,5 ml et 1 ml, enregistrent des croissances racinaires intermédiaires par comparaison à la concentration 0,2 ml et au témoin (Tableau III.5).

Tableau III. 5: Variation des paramètres morpho-physiologique sous l'effet de la concentration des extraits des deux algues

		PF	PS	PA	PR	Poly
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	0,0904 (0,0404)	0,0768 (0,0954)	11,6904a (0,1326)	4,7140a (0,0536)	0,1712a (0,0296)
	Dose_0,3	0,0852 (0,0899)	0,044 (0,0742)	13,3584a (0,0975)	2,9430b (0,0839)	0,1604a (0,0200)
	Dose_0,5	0,0843 (0,0955)	0,0444 (0,1070)	1,3587b (0,1322)	2,1982b (0,0102)	0,1503a (0,0661)
	Dose_1	0,0876 (0,0212)	0,0448 (0,0414)	1,3273b (0,0779)	0,6343d (0,1285)	0,1479b (0,0544)
	Tem_Eau	0,0812 (0,0959)	0,0381 (0,0706)	1,0275c (0,0906)	1,6311c (0,0740)	0,1429b (0,0403)
	<i>f</i>	0,1189	0,8076	18,53	4,128	2,73
	<i>p</i>	0,9742 ^{NS}	0,5349 ^{NS}	3,43×10 ^{-7***}	6,81×10 ^{-3**}	0,0478*
Algue brune <i>Dictyota dichotoma</i>	Dose_0,2	0,0850 (0,0305)	0,0520 (0,1005)	0,8351c (0,0934)	0,5233c (0,0754)	0,5042 b (0,0773)
	Dose_0,3	0,0928 (0,0954)	0,0492 (0,0654)	0,2638c (0,1404)	0,5720c (0,0785)	0,5248 b (0,0715)
	Dose_0,5	0,0783 (0,1186)	0,0484 (0,0786)	4,4050a (0,1713)	2,8450b (0,1256)	0,1346 c (0,0311)
	Dose_1	0,0805 (0,1370)	0,0480 (0,0864)	5,5683a (0,1727)	2,0876b (0,1524)	1,4450 a (0,0252)
	Tem_Eau	0,0978 (0,1125)	0,0510 (0,0825)	4,1210 b (0,1535)	4,3118a (0,1320)	1,4070 a (0,0217)
	<i>f</i>	0,8574	0,1770	44,84	61,34	213,91
	<i>p</i>	0,4858 ^{NS}	0,9104 ^{NS}	2,62×10 ^{-9***}	3,96×10 ^{-11**}	4,05×10 ^{-13**}

Les résultats sont exprimés en Moyenne arithmétique+ Coefficient de variation) (nombre de répétitions n = 5).
 PF : Poids frais, PS : Poids sec, PA : Partie aérienne, PR : Partie racinaire, Poly : Polyphénols totaux
 Pour chaque colonne, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

La même analyse montre un effet non significatif sur la variation du poids frais et du poids sec des graines de blé amorcées dans l'extrait aqueux de *Dictyota dichotoma* (Tableau III.5). Ce qui permet de conclure que le facteur traitement n'influence pas le poids des graines ($p > 5\%$). Concernant la longueur de la partie aérienne des plantules de blé dur l'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des concentrations sur la longueur de la partie aérienne. Sous l'effet des deux concentrations 1 et 0,5 ml nous signalons les valeurs les plus élevées de la partie aérienne (Tableau III.5). Cependant, aucunes concentrations de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma*, conduit à une élongation importante de la partie racinaire des plantules de blé dur. Le témoin enregistre les croissances racinaires les plus longues par comparaison aux différentes concentrations (Tableau III.5).

III.2.1.6. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les polyphénols totaux

Le test One-way ANOVA, signale la présence d'une différence significative en terme de capacité d'accumulation des polyphénols totaux sous l'effet des concentrations de l'extrait aqueux d'*U. rigida*. Les groupes homogènes définis par le test Post hoc, annoncent que les concentrations 0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml, engendrent les taux d'accumulations les plus élevés en polyphénols totaux par comparaison à la concentration 1ml et au témoin (Tableau 3). En revanche l'analyse de variance signale une différence significative en terme de capacité d'accumulation des polyphénols totaux sous l'effet de différentes concentration d'extrait aqueux *Dictyota dichotoma*, un taux de polyphénols très élevé chez le témoin et concentration 1ml (même groupe homogène a). Cette richesse en polyphénols inhibe la germination ce qui permet de confirmer le taux faible de germination des graines sous effets de concentration 1ml et témoin.

III.2.2. Évaluation de l'amorçage des graines par les extraits végétaux (smoke)

III.2.2.1. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux de germination des graines

Selon la figure III.8, l'évolution temporelle des taux de germination observée chez les graines de blé dur sous l'effet de l'extrait aqueux smoke, montre un effet stimulateur contrasté selon le degré de concentration des traitements ou S_1 représente la concentration 1ml d'extrait smoke ; S_0,5 ml : 0,5 ml d'extrait smoke ; TH_2 : 2ml du thé de smoke ; S_0,2 : 0,2 ml d'extrait smoke (Fig.III.8).

Les taux de germination signalé sous l'effet des différents traitements se détache du taux de germination signalé chez le témoin. La concentration S_1 se distingue des autres concentrations dès 3^{ème} jour et atteint son niveau maximum par rapport aux autres concentrations en fonction du temps et marque 60 % par rapport au témoin qui marque 25% du taux de germination. A cet effet, les graines de blé amorcées par l'extrait smoke dans la concentration 1 ml d'extrait aqueux enregistrent le taux de germination le plus élevé, secondé par les concentrations S_0,5 ; TH_2. La concentration S_0,7 et le témoin marquent le taux de germination de plus en plus faible.

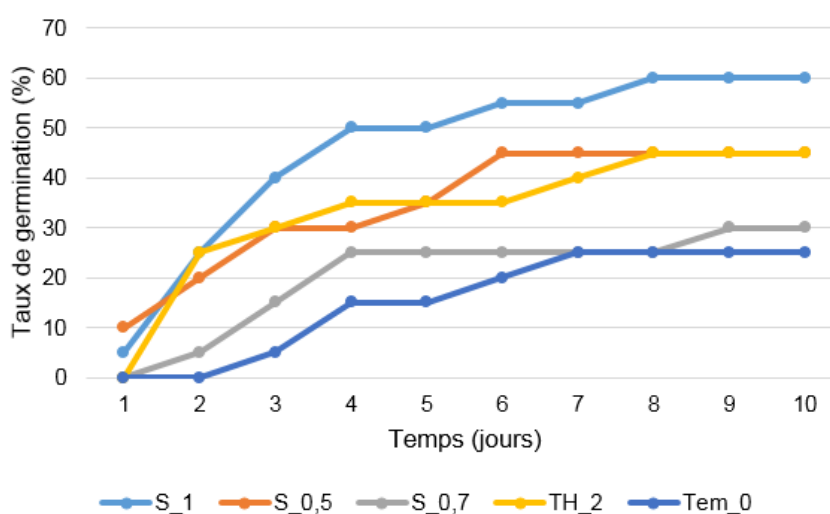


Figure III.6: Fluctuations temporelles des taux de germination sous l'effet des extraits végétaux (smoke)

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

Les valeurs du Test χ^2 et ses probabilités associées (Tableau III.6), montrent que les concentrations de l'extrait végétal Smoke de 0,5 ml et 1 ml se rapprochent à la concentration de 2ml relative à l'extrait du thé Smoke en matière de stimulation du taux de germination. En revanche, la concentration 0,7 ml de l'extrait végétal Smoke ne désigne aucune différence significative avec le témoin eau.

Tableau III. 6: Effet comparé des concentrations des extraits végétaux smoke sur le taux de germination des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

	S_1	S_0,5	S_0,7	TH_2	Tem_0
S_1	-	0,3641 ^{NS}	0,0027 ^{**}	0,5184 ^{NS}	2,94×10 ^{-8***}
S_0,5	4,16	-	1,33×10 ^{-5***}	0,440 ^{NS}	6,27×10 ^{-6***}
S_0,7	26,19	52,17	-	6,16×10 ^{-4**}	0,2433 ^{NS}
TH_2	2,92	6,37	44,18	-	5,18×10 ^{-5***}
Tem_0	96,21	27,34	1,43	37,28	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%
S: Smoke; TH: Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

III.2.2.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines

Le graphique (Fig.III.9) montre les fluctuations du taux d'inhibition de germination sous l'effet de 4 concentrations ainsi que le témoin. La concentration S_1 mL atteint son niveau minimal par rapport aux autres concentrations et marque le taux d'inhibition le plus faible pendant 10jours estimé de 40%, ce qui confirme sa capacité à booster le taux de germination (Fig.III.9). Par ailleurs, Le témoin et la concentration S_0,7 ml ont exhibé le taux d'inhibition le plus élevé, suivie par les concentrations TH 2 ml et S_0,5 ml, selon un ordre croissant, affichant un écart par rapport au témoin et aux concentrations S_07, témoin, TH_2 et S_0,5.

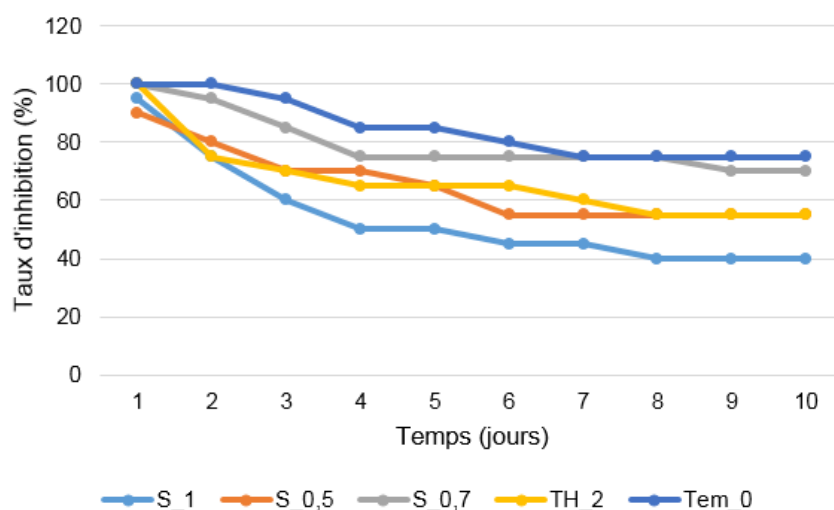


Figure III.7: Fluctuations temporelles des taux d'inhibition sous l'effet des extraits végétaux (smoke)

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

Dans la mesure où les valeurs du Test χ^2 et ses probabilités associées sont considérées dans le paramètre d'évaluation du taux d'inhibition des extraits végétaux Smoke, nous constatons que la concentration 0,7 ml affecte significativement la germination des graines de Blé (Tableau III.7).

Tableau III. 7: Effet comparé des concentrations des extraits végétaux smoke sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

	S_1	S_0,5	S_0,7	TH_2	Tem_0
S_1	-	0,2367 ^{NS}	9,14×10 ^{-7***}	0,3176 ^{NS}	3,57×10 ^{-4***}
S_0,5	7,36	-	3,64×10 ^{-4***}	0,5041 ^{NS}	2,34×10 ^{-5***}
S_0,7	28,39	43,13	-	1,76×10 ^{-6**}	0,4123 ^{NS}
TH_2	5,25	7,73	51,07	-	8,51×10 ^{-5***}
Tem_0	67,19	19,73	3,24	41,45	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

III.2.2.3. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur la vitesse de germination

Dans la mesure où il existe des corrélations entre les concentrations d'amorçage et la vitesse de germination, nous pouvons tester si cette dernière a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport aux concentrations. Nous avons donc comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements par le test One-way ANOVA. La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination

est très hautement significative (Fig.III.10). Le test Post hoc de Tukey, indique que les graines du blé exprimant la vitesse de germination la plus élevée sont celles amorcées par les concentrations S_0,5, S_1 et TH_2 de l'extrait smoke . Elles appartiennent par conséquent au groupe homogène (a). Les concentrations S_0,7 et témoin de l'extrait smoke expriment vitesse de croissance la plus faible, le test Post hoc, les classent dans le groupe homogène (b).

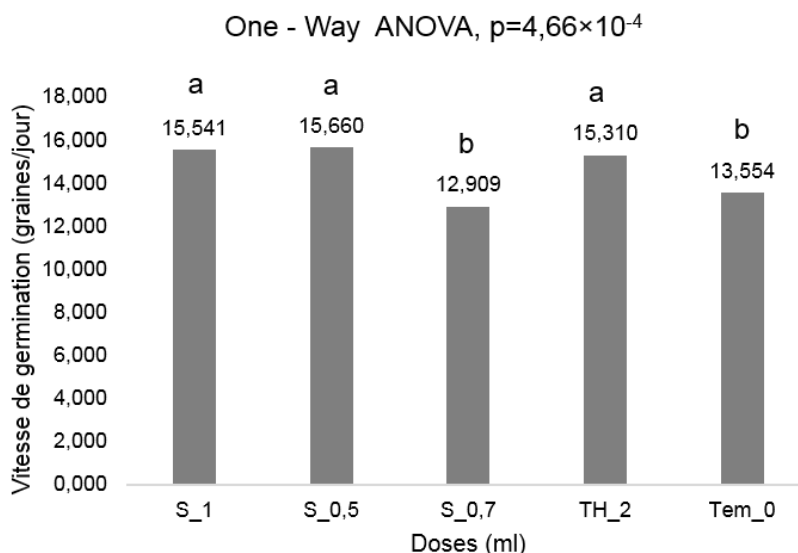


Figure III.8: Effet des concentrations des extraits végétaux smoke sur la vitesse de croissance

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.2.2.4. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur l'index de germination

Le test One-way ANOVA réconforté par le test Post hoc de Tukey (Fig.III.11), annoncent que les concentrations S_1 S_0,5 de l'extrait smoke exprime l'indice de germination le plus élevé (23,95%) ($p < 0,1\%$). Suivis par TH_2 S_0,7 et témoin selon un ordre décroissant en termes de valeur de l'indice de germination . L'indice de germination le plus faible (5,71%), est enregistré sous l'effet d'eau (témoin).

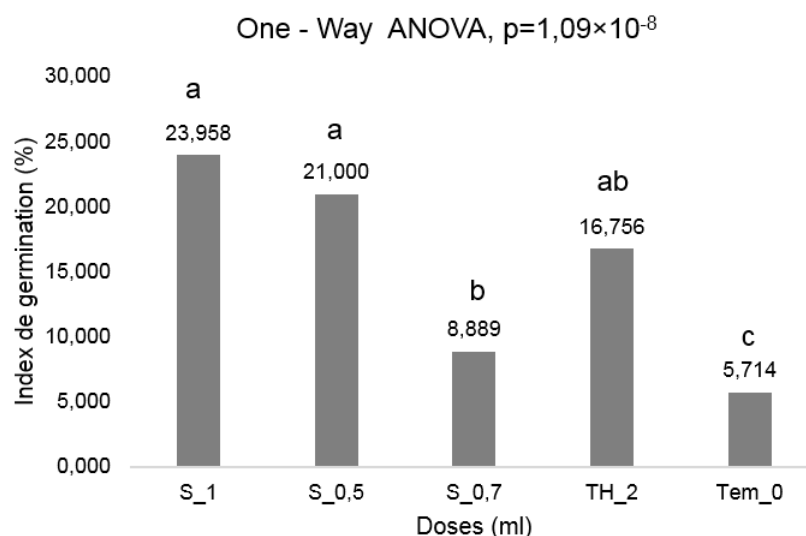


Figure III.9 : Effet des concentrations des extraits végétaux smoke sur l'index de germination

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.2.2.5. Effet de différentes concentrations d'amorçage sur les paramètres morphologiques

L'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des concentrations sur la longueur de la partie aérienne ainsi que pour la partie racinaire sous l'effet des différentes concentrations. Le tableau III.8, nous signale que les mêmes traitements qui stimulent la partie aérienne, stimulent également la partie racinaire ou les valeurs les plus élevées appartiennent aux concentrations S_1 ; S_0,5 ; TH_2 dans les deux paramètres (Tableau III.8). Cependant, la concentration S_0,7 et témoin appartiennent au groupe homogène (b) enregistrent des croissances racinaires et aériennes moins faibles des plantules de blé dur.

Tableau III. 8: Variation des paramètres morphologique sous l'effet de la concentration des extraits végétaux smoke

	PR	PA
S_1	4,9188 (0,1088) a	5,4229(0,0649) a
S_0,5	4,9354(0,1693) a	4,2388(0,1084) a
S_0,7	2,2057(0,1889) b	2,6303(0,1386) b
TH_2	4,8356(0,0800) a	4,4432(0,1690) a
Tem_0	1,2349(0,0521) b	1,8811(0,0849) b
<i>f</i>	5,10	4,128
<i>p</i>	$1,07 \times 10^{-2*}$	$6,81 \times 10^{-3**}$

Les résultats sont exprimés en Moyenne arithmétique+ Coefficient de variation)

(nombre de répétitions $n = 5$). PA : Partie aérienne, PR : Partie racinaire, S :

Smoke; TH : Thé smoke; Tem_0: Sans traitement

Pour chaque colonne, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes

à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.3. Évaluation de la performance de la technique micro-encapsulation par application des extraits algaux et végétaux

III.3.1. Évaluation de la micro-encapsulation des graines par les extraits algaux

III.3.1.1. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur le taux de germination des graines

Selon la figure III.12, l'évolution temporelle des taux de germination observée chez les graines de blé dur sous l'effet de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, montre un effet stimulateur contrasté selon le degré de concentration des traitements, obéissant à un gradient positif $1\text{ml} < 0,5\text{ ml} < 0,3\text{ ml} < 0,2\text{ ml}$ (Fig. III.12a).

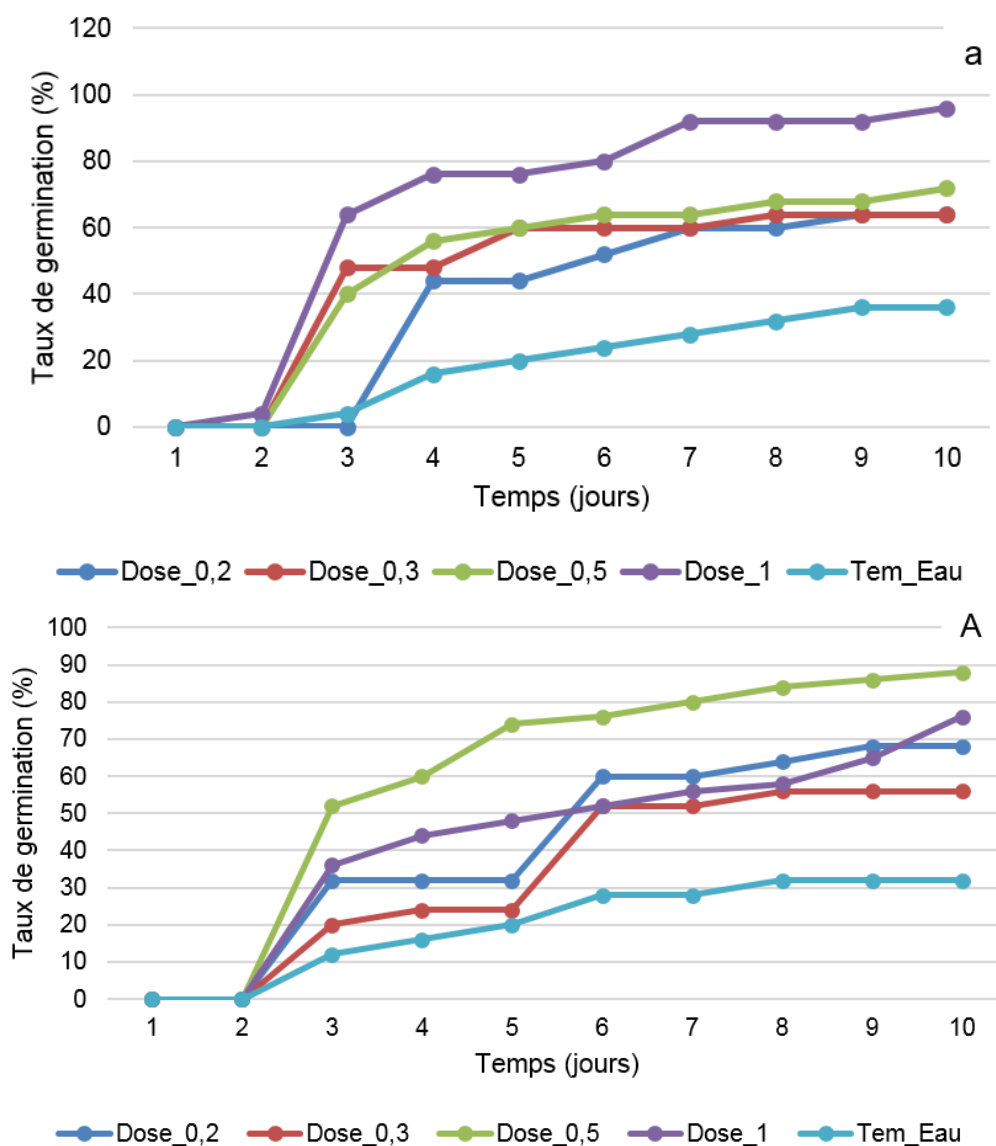


Figure III.10: Fluctuations temporelles des taux de germination
a: période de l'essai (10 jours) sous *Ulva rigida*, A: période de l'essai (10 jours) sous *Dictyota dichotoma*,

Le taux de germination signalé sous l'effet des différents se détache du taux de germination signalé chez le témoin. Les différentes concentrations augmentent en fonction de temps et marque une forme de stabilité à partir de 8^{ème} jours. A cet effet, La dose 1ml atteint son niveau maximum par rapport aux autres concentrations et marque le taux de germination le plus élevé. Secondé par la concentration 0,5ml d'extrait aqueux enregistrent 70% de taux de germination, les concentrations 0,3 ml, 0,2 ml, suivie par le témoin marquent le taux de germination de plus en plus faible. Les graines encapsulé dans l'eau (témoin) marquent de taux de germination le plus faible pendant 10 jours affichant un taux de 39% par rapport aux concentrations d'extrait aqueux d'*U. rigida*. Dans la mesure où les résultats d'encapsulation des graines de blé par l'extrait aqueux d'*U. rigida* ont signalé des rapprochements en termes de taux de germination, nous avons cherché des rapprochements ou des divergences entre les différentes concentrations et visualiser cet effet dans l'extrait aqueux d'*Dictyota dichotoma*. La Figure (III.12 A), indique les fluctuations les plus détaillées du taux de germination pendant 10 jours de la germination de blé sous effets de 4 différentes concentrations et leur témoin. la concentration 0,5mL de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma* en augmentation croissante en fonction du temps pour indiquer le taux de germination le plus élevé estimé à 90% au 10^{ème} jour suivie par les concentrations 1 ml, 0,2 ml, 0,3ml, témoin selon un ordre croissant. Au 10^{ème} jour, le témoin mentionne le taux de germination le plus faible et se stabilise à une valeur estimée à 30% au 10^{ème} jour.

Le Test χ^2 a travers les probabilités associées (Tableau III.9), montre que les faibles concentrations l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'algue brune *Dictyota dichotoma*, notamment 0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml stimulent significativement la germination

Tableau III. 9: Effet comparé des concentrations l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'algue brune *Dictyota dichotoma* sur le taux de germination des graines de blé (Test Khi^2 /probabilités associées)

		Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	-	$1,02 \times 10^{-43***}$	$1,70 \times 10^{-36***}$	$4,55 \times 10^{-13***}$	$8,44 \times 10^{-33***}$
	Dose_0,3	219,09	-	$2,72 \times 10^{-7***}$	$1,21 \times 10^{-27***}$	$2,44 \times 10^{-9***}$
	Dose_0,5	185,01	33,26	-	$1,77 \times 10^{-8***}$	$7,08 \times 10^{-6***}$
	Dose_1	143,7	146,21	51,87	-	$2,36 \times 10^{-14***}$
	Tem_Eau	167,5	53,91	54,6	78,31	-
Algue brune <i>Dictyota</i>	Dose_0,2	-	$6,34 \times 10^{-8***}$	$7,79 \times 10^{-9***}$	$5,22 \times 10^{-11***}$	$4,88 \times 10^{-22***}$
	Dose_0,3	84,12	-	$4,74 \times 10^{-5***}$	$3,29 \times 10^{-12***}$	$4,04 \times 10^{-8***}$
	Dose_0,5	75,65	53,66	-	$3,24 \times 10^{-8***}$	$1,58 \times 10^{-5***}$
	Dose_1	33,26	96,44	66,13	-	$3,86 \times 10^{-17***}$
	Tem_Eau	79,56	53,43	24,09	50,22	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

III.3.1.2. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur le taux d'inhibition des graines

Le graphique (Fig III.13. b) montre les fluctuations du taux d'inhibition de germination sous l'effet de 4 concentrations ainsi que le témoin sous l'extrait d'*U.rigida*. La dose 1 ml atteint son niveau minimal par rapport aux autres concentrations et marque le taux d'inhibition 0%, ce qui confirme sa capacité à booster le taux de germination (Fig.III.13 b).

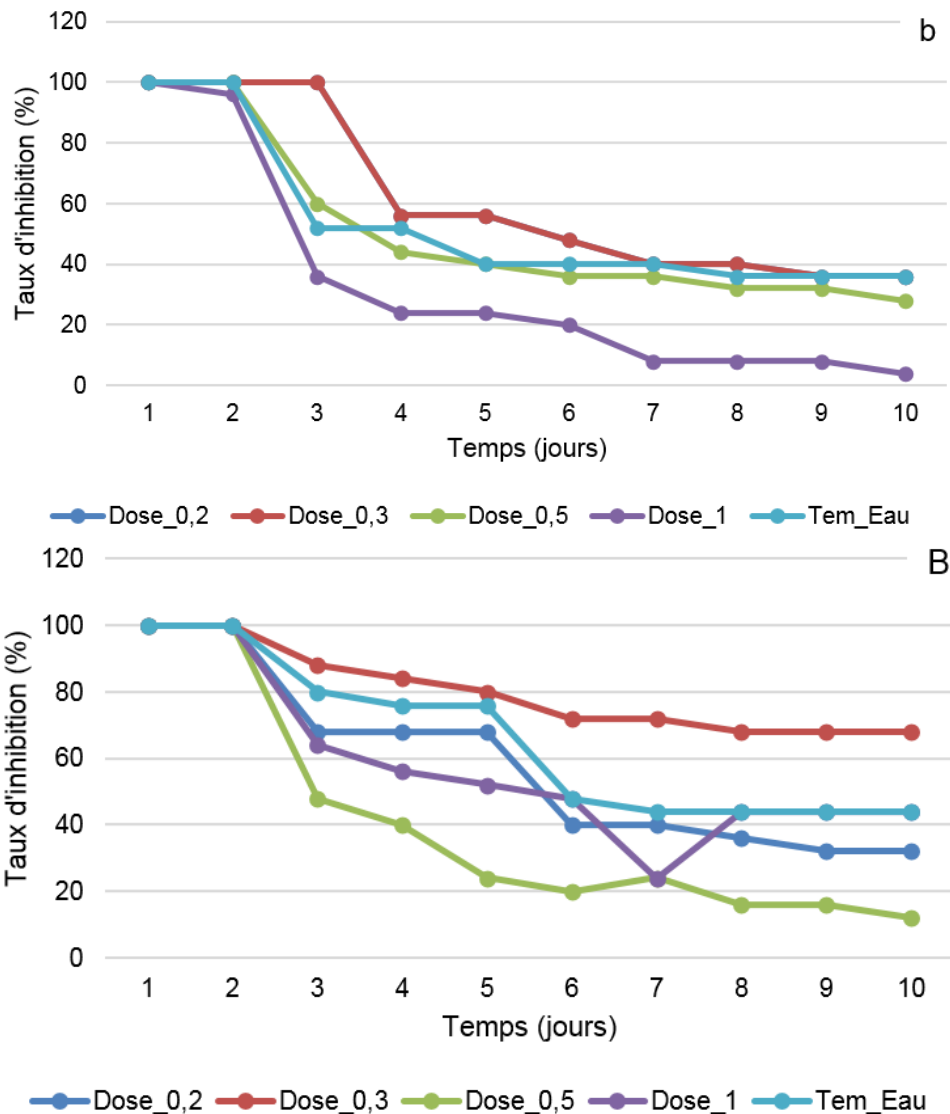


Figure III.11: Fluctuations temporelles des taux d'inhibition

b: période de l'essai (10 jours) sous *Ulva rigida*, B: période de l'essai (10 jours) sous *Dictyota dichotoma*

Par ailleurs, selon un ordre croissant la concentration 0,3 ml, témoin ont exhibé le taux d'inhibition le plus élevé, suivie par les concentrations 1 ml, qui marque un taux d'inhibition plus en plus faible. La concentration 0,5 mL, en revanche, a montré le taux le plus faible pendant 10 jours. La (Fig III.13.B) indique les fluctuations les plus explicites du taux d'inhibition des graines encapsulé. La Figure B indique les fluctuations les plus explicites du taux d'inhibition en fonction du temps. La concentration 0,3 mL de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma* indique le taux d'inhibition le plus élevé estimé de 70%, affichant un écart par rapport au témoin et aux concentrations 1 ml, 0,2 ml, tandis que la dose 0,5 ml affiche le taux le plus faible d'inhibition ce qui montre son pouvoir germinatif dans la Fig.III.13 B.

Le Test χ^2 a travers les probabilités associées (Tableau III.10), estime que la concentration 1ml de l'extraits d'algue d'*Ulva rigida* et la concentration 0,5 ml de l'extraits d'algue de *Dictyota dichotoma*, affectent grandement la germination

Tableau III. 10: Effet comparé des concentrations de l'extrait aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'algue brune *Dictyota dichotoma* sur le taux d'inhibition des graines de blé (Test χ^2 /probabilités associées)

		Dose_0,2	Dose_0,3	Dose_0,5	Dose_1	Tem_Eau
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	-	$3,09 \times 10^{-5***}$	$7,23 \times 10^{-7***}$	$2,98 \times 10^{-37***}$	$5,06 \times 10^{-4***}$
	Dose_0,3	7,11	-	$3,80 \times 10^{-4***}$	$7,76 \times 10^{-77***}$	$2,84 \times 10^{-8***}$
	Dose_0,5	45,54	30,36	-	$1,26 \times 10^{-89***}$	0,6681 ^{NS}
	Dose_1	195,06	848,48	442,2	-	$2,84 \times 10^{-86***}$
	Tem_Eau	29,63	53,06	6,69	650,68	-
Algue brune <i>Dictyota dichotoma</i>	Dose_0,2	-	$1,15 \times 10^{-3***}$	$5,09 \times 10^{-5***}$	$7,18 \times 10^{-8***}$	$6,3 \times 10^{-4***}$
	Dose_0,3	13,07	-	$1,82 \times 10^{-4***}$	$6,16 \times 10^{-6***}$	$2,22 \times 10^{-6***}$
	Dose_0,5	33,24	22,32	-	$6,27 \times 10^{-8***}$	$6,01 \times 10^{-3***}$
	Dose_1	47,12	84,11	61,32	-	$7,14 \times 10^{-8***}$
	Tem_Eau	17,34	44,76	12,49	58,89	-

NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,1%

III.3.1.3. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur la vitesse de croissance

Dans la mesure où il existe des corrélations entre les concentrations utilisées en micro-encapsulation et la vitesse de germination, nous pouvons tester si cette dernière a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport aux concentrations. Nous avons donc comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements par le test One-way ANOVA. La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative (Fig.III.14 A). Le test Post hoc de Tukey, indique que les graines du blé exprimant la vitesse de germination la plus élevée (49,29%) sont celles micro-encapsulées par la concentration 1 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*. Elles appartiennent par conséquent au groupe homogène (a), suivie par la concentration 0,5 ml appartenant au groupe homogène b. Les graines exprimant la vitesse de germination la plus faible (10,95%), sont celles micro-encapsulées par la concentration de 0,2 et le témoin (groupe homogène d). Pour accélérer la vitesse de germination dans les graines de blé micro-encapsulé par *U.rigida*, il faut utilisé la concentration la plus élevé 1 ml.

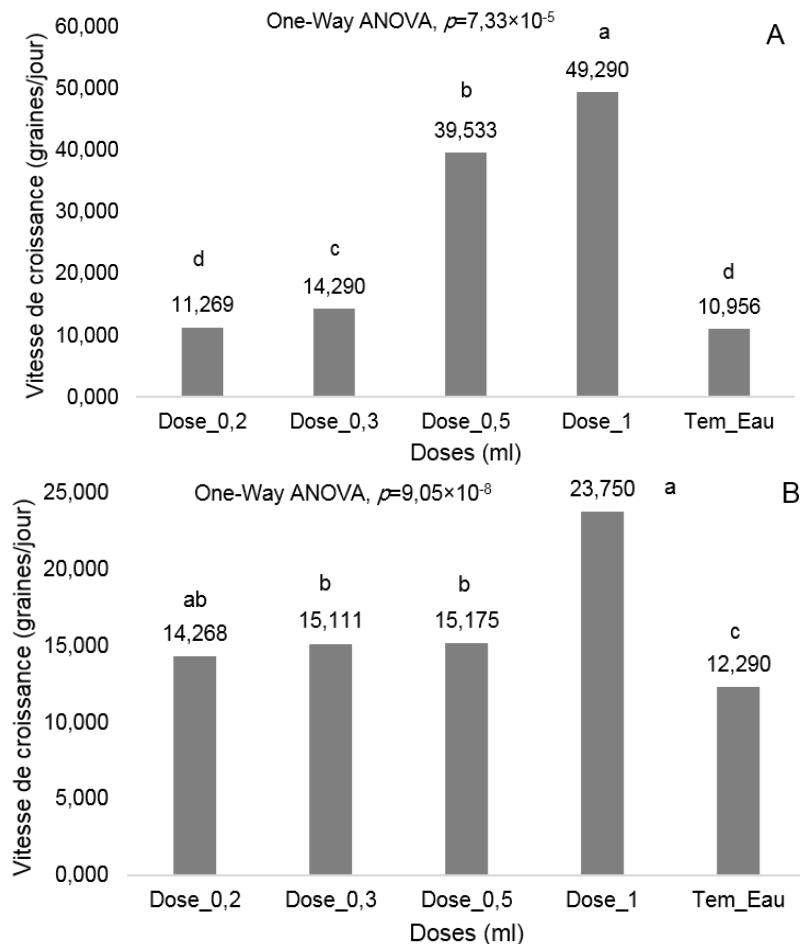


Figure III.12: Effet des concentrations des extraits des deux algues sur la vitesse de croissance

A: *Ulva rigida*, B: *Dictyota dichotoma*

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Par ailleurs, avec le même test One-way ANOVA, nous avons comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 5 traitements sous extraits *Dictyota dichotoma* (Fig.III.14 B). La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative. Le test Post hoc de Tukey, indique que la concentration 1ml exprime la vitesse de germination la plus élevée également pour les graines traité par *Dictyota dichotoma* appartenant au groupe homogène (a) suivie par les deux concentrations 0,3 ml 0,5 ml appartiennent au même groupe homogène (b), en revanche la vitesse de germination la plus faible revient au témoin groupe homogène (c) (12,29%).

III.3.1.4. Effet des différentes concentrations de micro-encapsulation sur l'index de germination

Le test One-way ANOVA réconforté par le test Post hoc de Tukey (Fig.III.15 A), annoncent que la concentration 1 ml de l'extrait aqueux *U. rigida* exprime l'indice de germination le plus élevé (66,66%) ($p < 0,1\%$). Les concentrations 0,3 ml et le témoin, affichent le palier intermédiaire en termes de valeur de l'indice de germination (groupe homogène ab).

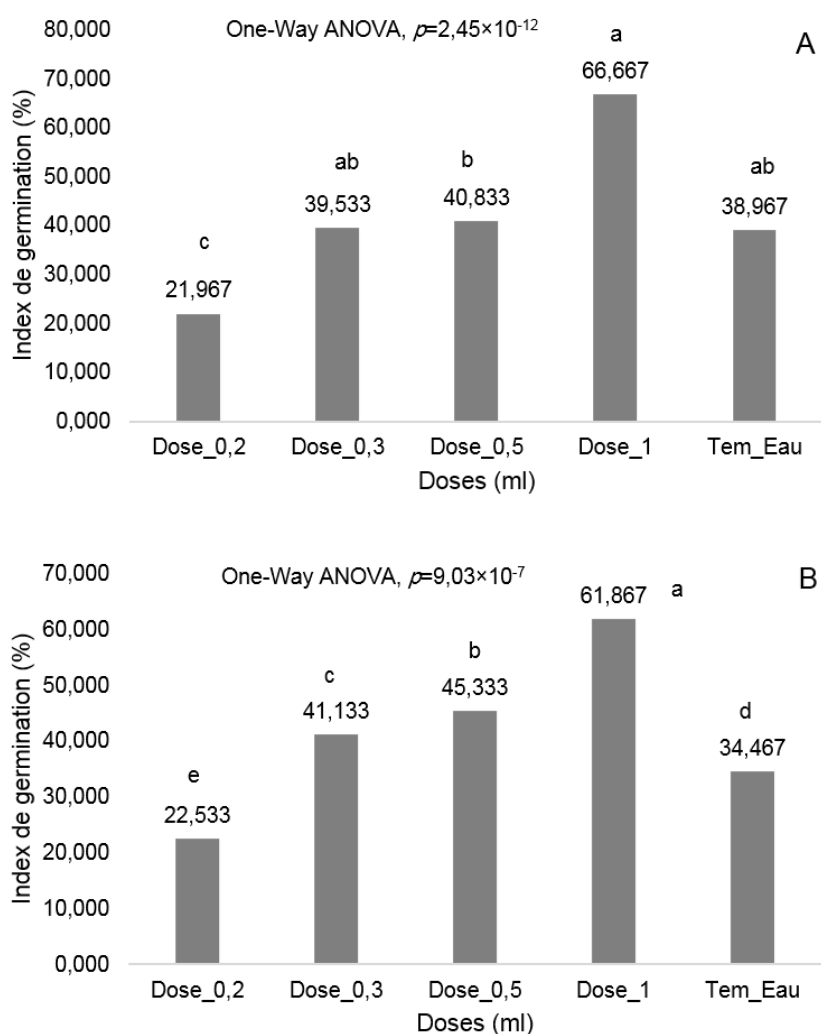


Figure III.13: Effet des concentrations des extraits des deux algues sur l'index de germination A: *Ulva rigida*, B: *Dictyota dichotoma*, Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

L'indice de germination le plus faible est enregistré sous l'effet de la concentration 0,2 ml attribué au groupe homogène c, de même pour le graphe (Fig.III.15 B) montre que la plus grande concentration 1 ml de l'extrait *Dictyota dichotoma* exprime l'indice de germination le plus élevé 61,86% (groupe homogène a). Une large différence démontré

entre l'efficacité des concentrations sur l'index de germination ou l'indice de germination le plus faible (22,53%) appartient au groupe homogène (e), est enregistré sous l'effet de la concentration 0,2 ml .

III.3.1.5. Effet de différentes concentrations de micro-encapsulation sur les paramètres morphologiques

Une analyse de la variance a été conduite sur la variation du poids frais et poids sec des graines de blé micro-encapsulées (extraits aqueux d'*U. rigida*) (Tableau III.11).

Tableau III. 11: Variation des paramètres morpho-physiologique sous l'effet de la concentration des extraits des deux algues

		PF	PS	PA	PR	Poly
Algue verte <i>Ulva rigida</i>	Dose_0,2	0,1092 (0,0557)	0,0576 (0,0553)	0,0380c (0,0421)	0,0936c (0,0925)	0,1350b (0,0317)
	Dose_0,3	0,0908 (0,0449)	0,0512 (0,0234)	0,1153b (0,1311)	0,1852c (0,1225)	0,1346b (0,0311)
	Dose_0,5	0,1184 (0,1130)	0,0496 (0,0370)	0,8746a (0,1224)	0,5497b (0,1370)	1,4450a (0,0252)
	Dose_1	0,1076 (0,1211)	0,0472 (0,0623)	0,4945a (0,1315)	0,5633a (0,0857)	1,4070a (0,0217)
	Tem_Eau	0,1064 (0,0333)	0,0572 (0,0422)	0,1008b (0,1574)	0,1186c (0,1040)	0,5772c (0,0470)
	<i>f</i>	0,3909	0,3663	10,45	9,56	700,9
	<i>p</i>	0,8126 ^{NS}	0,2014	1,84×10 ^{-4***}	8,98×10 ^{-5***}	3,47×10 ^{-21***}
Algue brune <i>Diclyota dichotoma</i>	Dose_0,2	0,0936 (0,1171)	0,0588 (0,0651)	0,8338 (0,1321)	0,7313 (0,1590)	1,6362 (0,0915)
	Dose_0,3	0,1004 (0,0525)	0,0596 (0,0535)	0,7242 (0,1278)	0,9105 (0,0702)	1,7986 (0,0805)
	Dose_0,5	0,1038 (0,1303)	0,0470 (0,0624)	0,9251 (0,1436)	0,7837 (0,0416)	1,4266 (0,1414)
	Dose_1	0,1098 (0,0947)	0,0460 (0,0962)	1,3793 (0,0980)	0,9475 (0,1344)	1,4552 (0,1208)
	Tem_Eau	0,1024 (0,0643)	0,0596 (0,0535)	1,4665 (0,1126)	0,6590 (0,0896)	1,4586 (0,1435)
	<i>f</i>	0,0588	0,9342	1,678	0,4399	0,8003
	<i>p</i>	0,9930 ^{NS}	0,1636 ^{NS}	0,1864 ^{NS}	0,7787 ^{NS}	0,5392 ^{NS}

Les résultats sont exprimés en Moyenne arithmétique+ Coefficient de variation) (nombre de répétitions n = 5).

PF : Poids frais, PS : Poids sec, PA : Partie aérienne, PR : Partie racinaire, Poly : Polyphénols totaux

Pour chaque colonne, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey a> b> c

L'analyse a permis de conclure que le facteur traitement n'influence pas le poids des graines ($p > 5\%$). Concernant la longueur de la partie aérienne des plantules de blé dur, l'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des concentrations sur la longueur de la partie aérienne. Sous l'effet des deux concentrations 1 et 0,5 ml nous

signalons les valeurs les plus élevées de la partie aérienne (Tableau III.11). Cependant, la concentration 1 ml de l'extrait aqueux d'*Ulva rigida*, conduit à la plus importante élongation de la partie racinaire des plantules de blé dur. Les concentrations 0,3 ml, 0,2 ml et témoin, enregistrent des croissances racinaires très faibles par comparaison à la concentration 1 ml. L'analyse One-way ANOVA montre un effet non significatif sur la variation du poids frais et sec des graines de blé amorcées dans l'autre extraits aqueux *Dictyota dichotoma* (Tableau III.11) pareillement sur la variation de la longueur des deux parties aériennes et racinaires. Ce qui permet de conclure que le facteur traitement n'influence pas les paramètres de croissance des graines de blé micro-encapsulées ($p>5\%$).

III.3.1.6. Effet de différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur les polyphénols totaux

Le test One-way ANOVA, signale la présence d'une différence significative en terme de capacité d'accumulation des polyphénols totaux sous l'effet des concentrations de l'extrait aqueux d'*U. rigida*, sur des graines micro-encapsulées.

Les groupes homogènes définis par le test Post hoc, annoncent que les concentrations 1 ml, 0,5 ml et l'eau, génèrent les taux d'accumulations les plus élevés en polyphénols totaux par comparaison à la concentration 0,2 ml et au 0,3 ml (Tableau III.11).

En revanche l'analyse de variance ne signale aucune différence significative en terme de capacité d'accumulation des polyphénols totaux sous l'effet des concentrations de l'extrait aqueux *Dictyota dichotoma*. Ce qui permet de conclure que le facteur traitement n'influence pas l'accumulation des polyphénols totaux des graines micro-encapsulées par l'extrait *Dictyota dichotoma* ($p>5\%$).

III.3.2. Évaluation de la micro-encapsulation des graines par les extraits végétaux (smoke)

III.3.2.1. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur le taux de germination des graines

Le test ANOVA démontre l'existence de différence significative ($p=0,0173$, $p<5\%$) le témoin et la concentration S_1 ou elle marque le taux de germination le plus faible .

La figure III.16, rapporte l'évolution temporelle des taux de germination chez les graines sous les différentes concentrations d'extrait smoke ou le témoin (eau) représente le taux de germination le plus élevé. Aucun traitement n'a agit sur la stimulation de taux de germination.

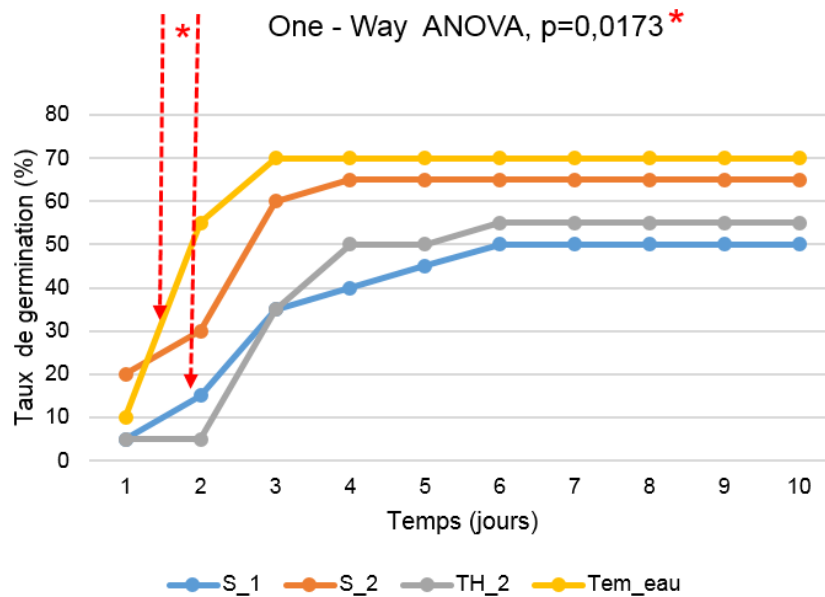


Figure III.14: Fluctuations temporelles des taux de germination sous l'effet des extraits végétaux (smoke)

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_eau: encapsulation à l'eau, 1: 1ml, 2: 2ml

III.3.2.2. Effet des différentes concentrations d'amorçage sur le taux d'inhibition des graines

La figure III.17, annonce l'évolution temporelle des taux de germination observés chez les graines sous différentes concentrations d'extrait smoke en fonction du temps. La concentration S_1 représente le taux d'inhibition le plus élevé, ce qui confirme le taux de germination le plus faible (Fig.III.16) en revanche l'eau représente le taux le plus faible estimé à 30%.

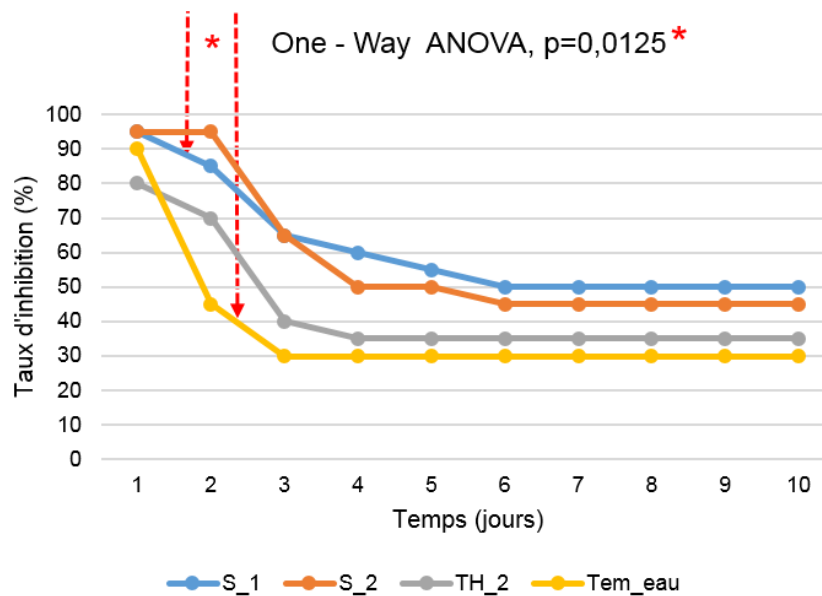


Figure III.15: Fluctuations temporelles des taux d'inhibition sous l'effet des extraits végétaux (smoke)

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_eau: encapsulation à l'eau, 1: 1ml, 2: 2ml

III.3.2.3. Effet des différentes concentrations utilisées en micro-encapsulation sur la vitesse de germination

Dans la mesure où il existe des corrélations entre les concentrations utilisées en micro-encapsulation et la vitesse de germination, nous pouvons tester si cette dernière a varié dans le sens d'un rapprochement ou d'un éloignement par rapport aux concentrations. Nous avons donc comparé les valeurs de la vitesse de germination entre les 4 traitements par le test One-way ANOVA. La différence d'effet - concentrations sur la vitesse de germination est très hautement significative (Fig.III.18). Le test Post hoc de Tukey, indique que les graines du blé exprimant la vitesse de germination la plus élevée (16,62%) sont celles micro-encapsulées par la concentration S_2 de l'extrait smoke et le témoin, elles appartiennent par conséquent au groupe homogène (a), suivie par la concentration S_1 et TH_2 appartenant au groupe homogène (b), exprimant la vitesse de germination la plus faible (15,16%).

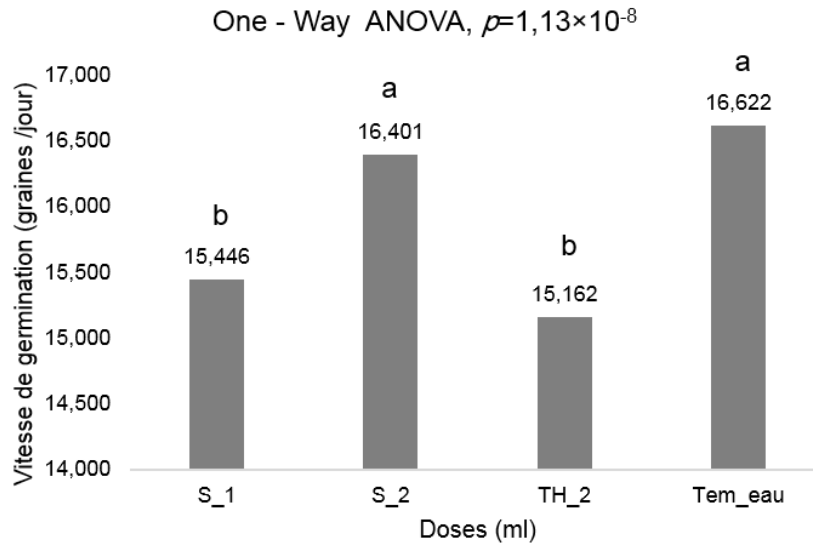


Figure III.16 : Effet des concentrations des extraits végétaux smoke sur la vitesse de croissance

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_eau: encapsulation à l'eau, 1: 1ml, 2: 2ml
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.3.2.4. Effet des différentes concentrations utilisées en microencapsulation sur l'index de germination

Le test One-way ANOVA réconforté par le test Post hoc de Tukey (Fig.III.19), annoncent que l'eau et S_2 expriment l'indice de germination le plus élevé (37,50%) ($p < 0,1\%$). Les concentrations S_1 et TH_2, affichent le palier le plus faible en termes de valeur de l'indice de germination (groupe homogène b).

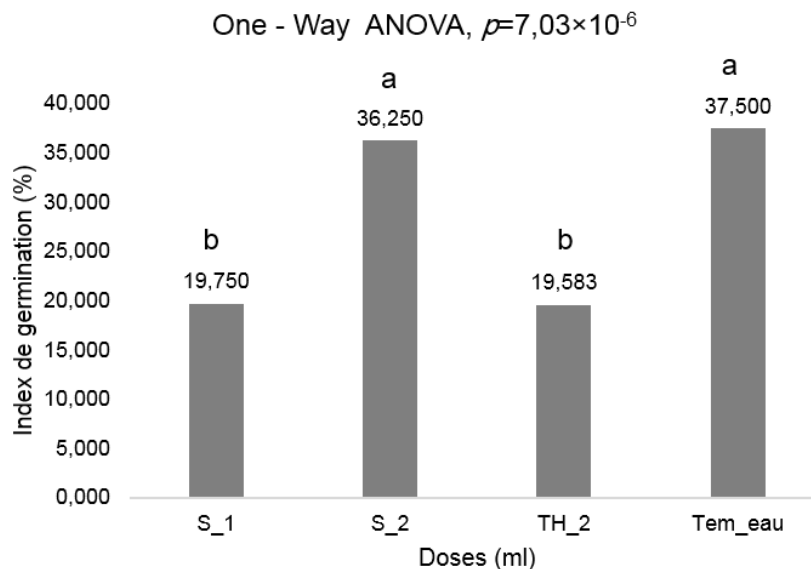


Figure III. 5: Effet des concentrations des extraits végétaux smoke sur l'index de germination

S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_eau: encapsulation à l'eau, 1: 1ml, 2: 2ml
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.3.2.5. Effet de différentes concentrations utilisée en micro encapsulation sur les paramètres morphologiques

Une analyse de la variance a été conduite sur la variation de la longueur des parties aériennes et racinaires des plantules de blé dur (Tableau III.12). ($p > 5\%$), l'analyse One-way ANOVA, montre un effet significatif des concentrations sur la longueur de la partie aérienne. Sous l'effet des deux concentrations TH_2 et S_2, nous signalons les valeurs les plus élevées de la partie aérienne. Cependant, sous les mêmes concentrations les plus importantes élongations de la partie racinaire des plantules de blé dur sont annoncées, (Tableau III.12). En revanche les deux traitements eau et S_1 marquent des valeurs de plus en plus faible des deux parties aériennes et racinaires.

Tableau III. 12: Variation des paramètres morphologique sous l'effet de la concentration des extraits végétaux smoke

	PR	PA
S_1	1,1180 (0,1172) b	4,2176 (0,2929) b
S_2	2,3657 (0,0917) a	7,7653 (0,1014) a
TH_2	2,4868 (0,0856) a	6,9742 (0,1225) a
Tem_Eau	1,9525 (0,0930) b	4,5743 (0,0954) b
<i>f</i>	5,62	6,07
<i>p</i>	0,0043*	0,0121*

Les résultats sont exprimés en Moyenne arithmétique+ Coefficient de variation) (nombre de répétitions $n = 5$). PA : Partie aérienne, PR : Partie racinaire, S : Smoke; TH : Thé smoke; Tem_eau: encapsulation à l'eau, 1: 1ml, 2: 2ml, Pour chaque colonne, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.4. Effets de la séquestration des principes actif sur la germination et la croissance des graines

L'utilisation de matières premières renouvelables d'origine agricole (végétale) et algale pour la fabrication de bioproduits dans le domaine de la chimie verte correspond à une double nécessité : d'une part, offrir une alternative aux ressources fossiles et d'autre part, répondre aux défis environnementaux actuels : lutte contre l'effet de serre, réduction de pollutions, innocuité et biodégradabilité des produits.

Cette exploitation du potentiel chimique des extraits algaux et végétaux passe obligatoirement par la sécurisation des molécules à forte valeur ajoutée existant dans les extraits, mais parfois en faibles quantités. De nouveaux procédés de formulation doivent donc être utilisés de façon à séquestrer ces constituants dans une fraction de

concentration maximale, et dans un état chimique le plus proche possible de leur structure native.

Nous avons donc envisagé d'utiliser les techniques du **Priming** et d'**Encapsulation**, pour séquestrer les principes actifs des extraits aqueux de l'algue verte *Ulva rigida* et de l'extrait végétale Smoke à travers une formulation « liquide/ liquide » d'origine végétale avec application dans l'industrie phytopharmaceutique. La formulation développée sera confrontée à l'effet d'un bioengrais homologué afin d'estimer l'efficacité des bioengrais

III.4.1. Effets des techniques de séquestration sur la germination des graines

Les bioessais réalisés sur la germination ont été classés en 3 catégories (facteurs) : le type d'extrait, la technique de séquestration et les formulations. Les résultats montrent que le taux de germination réagit significativement aux différents facteurs à présence du criquet migrateur ne varie pas significativement selon les 3 catégories de considérés (Test GLM, $p < 1\%$) (Fig. III.20). Cette tendance est favorisée par la formulation de l'extrait d'algue verte appliqué par la technique d'encapsulation. (Fig. III.20).

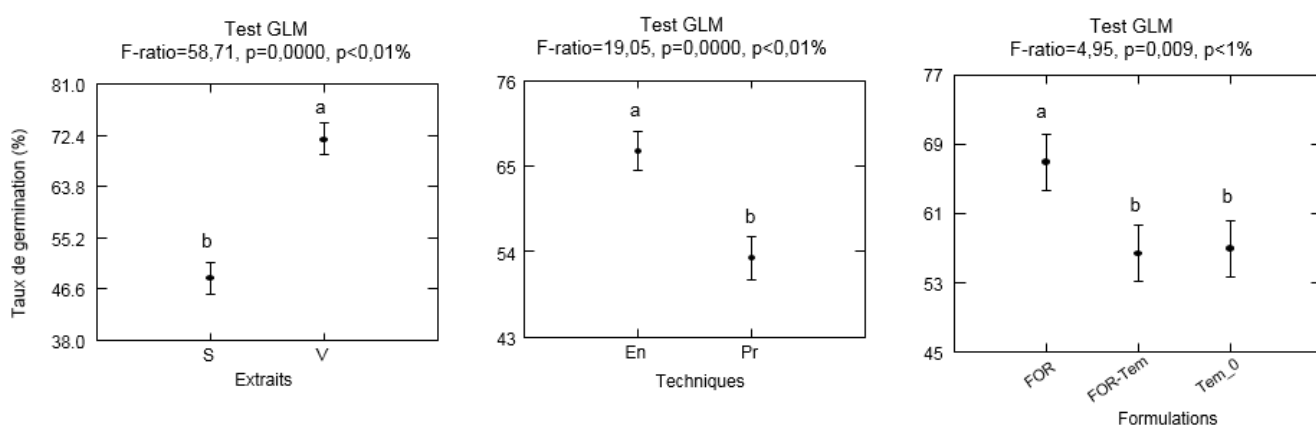


Figure III. 6: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal sur le taux de germination

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke; Pr: Priming, En: Encapsulation, FOR : Formulation, FOR-Tem: Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau,

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Pour des raisons purement pratiques, nous avons préféré utiliser l'approche du **Priming** pour confronter les bioengrais développés (extrait d'algue verte et smoke) au

bioengrais homologué. Plus précisément, nous avons cherché des liaisons entre les différents bioengrais avec le taux de germination. Les résultats, nous indiquent que la formulation développée à base de l'extrait d'algue verte est significativement performante que les deux autres bioengrais (Test GLM, $p < 1\%$) (Fig. III.21).

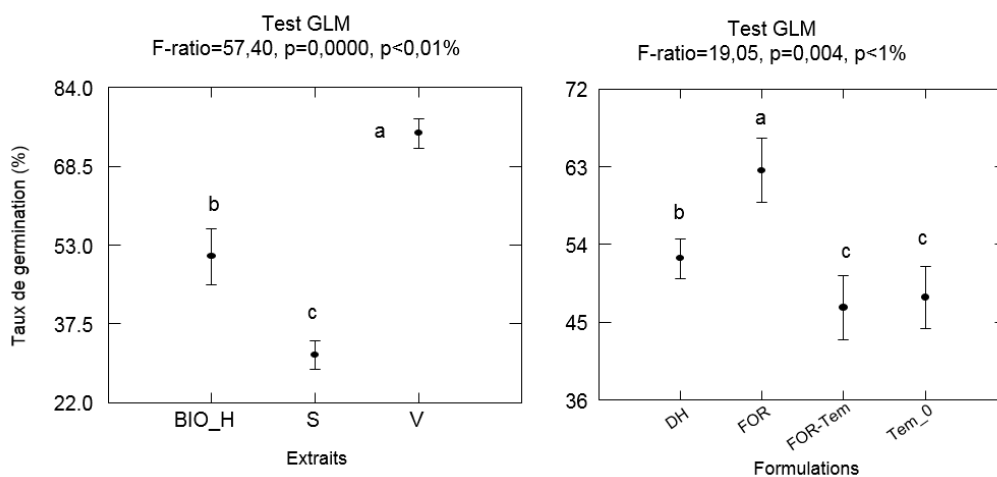


Figure III. 7: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extraits algal et végétal sur le taux de germination par comparaison a un bioengrais homologué

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke ; BIO_H : Bioengrais homologué, DH : Dose homologuée, FOR : Formulation, FOR-Tem : Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau, Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Nous nous proposons de comparer la vitesse et l'index de germination sous l'effet des bioengrais selon la technique de séquestration de Priming. Si on trace dans un même graphe les résultats de l'incidence des différentes formulations, l'hypothèse d'une performance significative des extraits algal et végétal sur la vitesse et l'index de germination s'installe par comparaison au bioengrais homologué. La technique de séquestration par Priming s'avère très efficace (Fig. III.22).

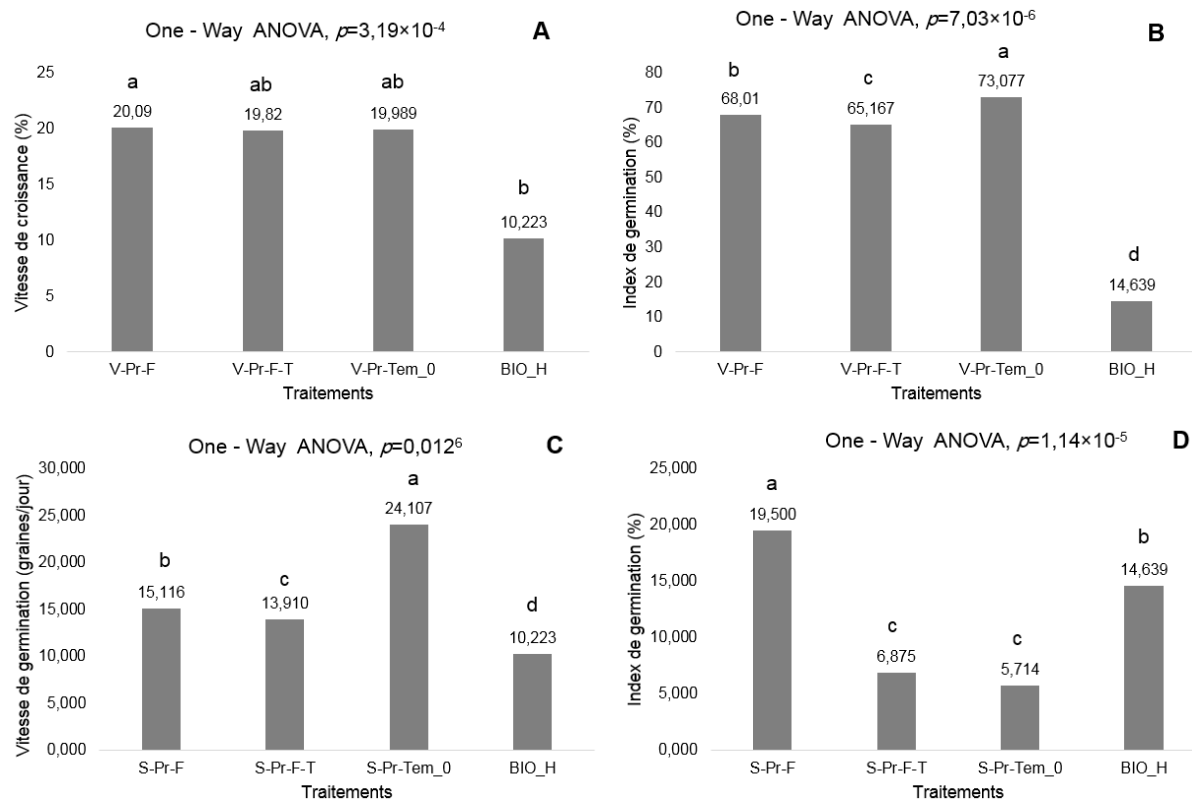


Figure III. 8: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal par la technique du Priming sur la vitesse et l'index de germination

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke; Pr: Priming, F-T: Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau, BIO_H : Bioengrais homologué

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

En revanche, la séquestration par la technique d'Encapsulation, fait apparaitre que l'extrait végétal smoke formulé, exprime la vitesse de germination la plus importante (Fig. III.23c) et l'index de germination le plus élevé (Fig. III.23d) par comparaison à l'extrait d'algue verte formulé (Fig. III.23a et b).

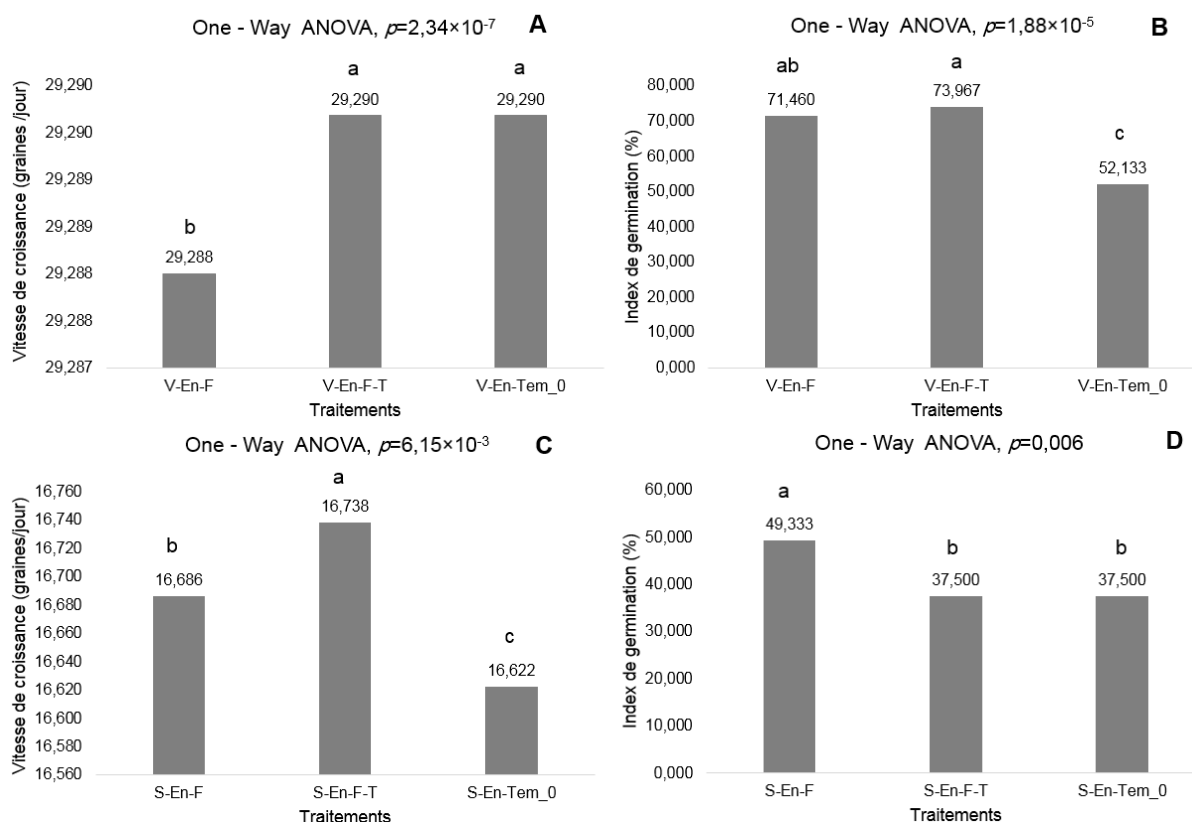


Figure III. 9: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal par la technique d'Encapsulation sur la vitesse et l'index de germination

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke; En: Encapsulation, F-T: Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau, BIO_H : Bioengrais homologué

Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.4.2. Effets des techniques de séquestration sur la croissance des parties aérienne et racinaires des graines

L'évolution de la partie aérienne est fonction des techniques de séquestration et des types de formulations. La formulation proposée demeure significativement importante, dans la mesure où elle est appliquée par la technique d'encapsulation (Test GLM, $p < 5\%$) (Fig. III.24). L'écart des mesures enregistré au niveau de la partie aérienne entre l'extrait végétal Smoke et l'extrait de l'algue verte est non significatif (Fig. III.24).

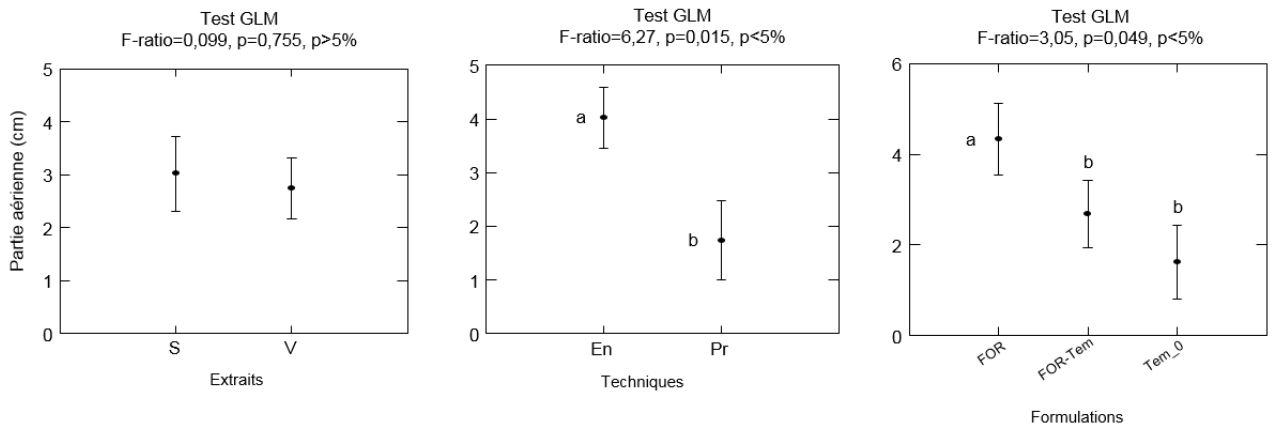


Figure III. 10: Effet de la séquestration des extraits algal et végétal sur la croissance de la partie aérienne

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke; Pr: Priming, En: Encapsulation, FOR : Formulation, FOR-Tem: Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau,
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Grâce aux valeurs enregistrées au niveau de la partie aérienne par la technique du Priming, nous avons considéré le bioengrais homologué et les bioengrais formulés comme facteurs non distinctifs à leurs effet sur l'évolution de la partie aérienne. Nous remarquons que le bioengrais homologué prédomine l'effet des extraits formulé, néanmoins, la stabilistaion des formulation se rapprochent clairement (Fig. III.25).

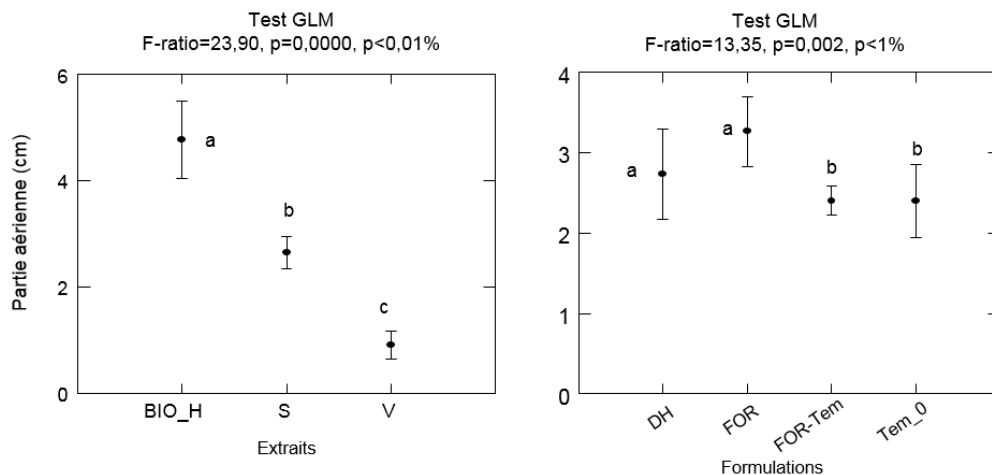


Figure III. 11: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extraits algal et végétal sur la croissance de la partie aérienne par comparaison a un bioengrais homologué

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke ; BIO_H : Bioengrais homologué, DH : Dose homologuée, FOR : Formulation, FOR-Tem : Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau,
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Nous avons mis en évidence la variation de la croissance de la partie racinaire, selon les extraits formulés et les techniques de séquestration (Test GLM, $p < 5\%$) (Fig. III.26), ce qui montre que l'extrait végétal Smoke formulé appliqué par la technique du priming influence significativement la croissance racinaire (Fig. III.26).

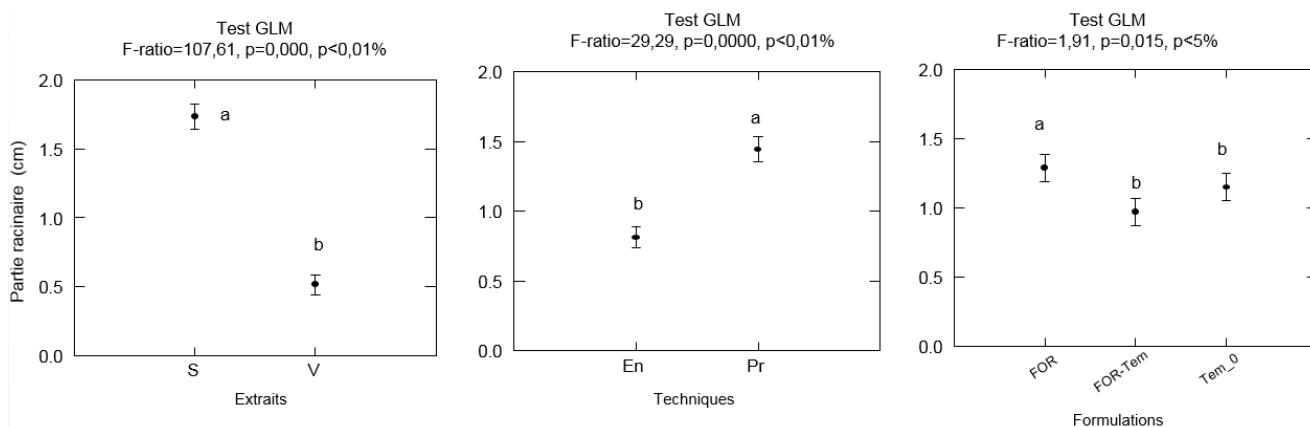


Figure III. 12: Effet de la séquestration des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie racinaire

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke; Pr: Priming, En: Encapsulation, FOR : Formulation, FOR-Tem: Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau,
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

Le résultat de l'application des traitements par la technique du Priming par comparaison au bioengrais homologué, va dans le sens des conclusions issues plus haut, où nous avons montré que le bioengrais homologué prédomine l'effet des extraits formulé, néanmoins, la stabilisation des formulation se rapprochent clairement (Fig. III.25)..

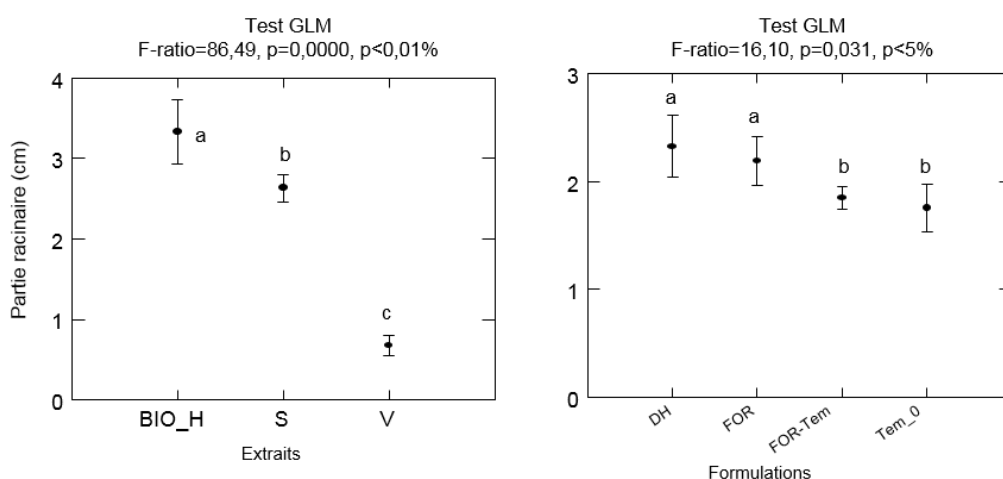


Figure III. 13: Effet de la séquestration par la technique du Priming des extrais algal et végétal sur la croissance de la partie racinaire par comparaison a un bioengrais homologué

V : Extrait d'algue verte, S : Smoke ; BIO_H : Bioengrais homologué, DH : Dose homologuée, FOR : Formulation, FOR-Tem : Formulation témoin, Tem_0: encapsulation à l'eau,
 Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey $a > b > c$

III.5. Effet de la formulation sur l'expression végétative des plants de vigne

La présente partie de la thèse vise l'estimation des potentialités phytofortifiantes de phytopréparations formulées à base d'extrait aqueux d'algue marine *Ulva rigida* par évaluation de la vigueur et de l'expression végétative de la vigne *Vitis vinifera* dans les conditions semi contrôlées (Abstraction de l'effet sol).

La réaction des traits de vigueur et de l'expression végétative de la vigne *Vitis vinifera* a été étudiée sous l'effet de deux formulations à base d'extrait aqueux d'algue marine d'*Ulva rigida*. Nous avons considéré la surface foliaire, la surface foliaire spécifique, la teneur en eau des feuilles et enfin l'activité photosynthétique comme paramètres ayant la capacité de dévoiler l'aptitude des extraits d'algues marines de contribuer à la couverture des besoins de la vigne.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la surface foliaire est significativement tributaire de la nature de l'extrait aqueux ($p < 0,1\%$) (Tableau III.13). Les résultats du test de Tukey montrent la présence de 2 groupes homogènes relatif à l'expansion foliaire (a et ab), dont la surface foliaire la plus marquée est allouée à la formulation F2 formant ainsi le groupe homogène (a), par conséquent le groupe homogène (b) renferme la formulation F1. Enfin, la plus faible surface foliaire est signalée sous l'application de l'eau et de l'extrait brut d'*Ulva rigida* (groupe homogène c).

Tableau III. 13: Variation des expressions végétative et physiologique de la vigne sous l'effet des phytoformulations à base d'extrait aqueux d'*Ulva rigida* (My \pm SE)

TRT	Expression végétative		T_H ₂ O	Activité photosynthétique			
	S_f	S_f_s		Chla	Chlb	ChIT	Carot
E	18,33 \pm 2,16 c	205,69 \pm 46,56	0,34 \pm 0,04 b	9,42 \pm 0,90 b	11,78 \pm 1,57 b	21,21 \pm 2,25 b	2,92 \pm 0,31 c
EBV	18,53 \pm 1,70 c	166,43 \pm 19,35	0,30 \pm 0,02 b	13,78 \pm 0,61 a	21,41 \pm 1,57 a	35,19 \pm 1,65 a	3,23 \pm 0,34 b
F1	15,44 \pm 1,4 b	162,02 \pm 15,26	0,54 \pm 0,27 b	12,27 \pm 0,51 ab	15,29 \pm 1,38 b	22,09 \pm 2,15 b	8,83 \pm 1,74 a
F2	23,72 \pm 2,43 a	192,09 \pm 17,84	2,91 \pm 2,58 a	13,50 \pm 1,25 a	16,07 \pm 1,50 b	29,58 \pm 2,04 a	3,75 \pm 0,38 b
<i>F-ratio</i>	5,64	0,45	0,66	8,40	8,94	9,53	5,37
<i>p</i>	0,00**	0,72 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,024*	0,02*	0,04*	0,00**

TRT : Traitements, E : Eau de ville, EBV : Extrait brut d'algue verte, F1 : Formulation 1, F2 : Formulation 2, S_f : Surface foliaire, S_f_s : Surface foliaire spécifique, T_H₂O : Teneur en eau, Chla : Chlorophylle a, Chlb : Chlorophylle b, ChIT : Chlorophylle totale, Carot : Caroténoïdes, NS : Non significative à 5%, * : Significative à 5%, ** : Significative à 0,1%, Les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 0,1\%$, selon le test de Tukey a > b > c

Les résultats obtenus par le modèle GLM, montrent que les différents traitements n'influent pas les variations de la surface foliaire spécifique, ni celle de la teneur en eau des feuilles ($p > 5\%$) (Tableau III.13).

Concernant, la chlorophylle a, l'analyse de la variance annonce que son expression est significativement dépendante de la nature de l'extrait aqueux ($p < 5\%$) (Tableau III. 14). Les résultats du test de Tukey montrent la présence de 3 groupes homogènes (a, ab et b). L'effet des phytopréparations, qui désigne l'expression de la chlorophylle a la plus importance est signalé chez la formulation F2 et l'extrait brut EBV (le groupe homogènes a). La formulation F1 exprime les quantités aussi importance que le témoin (le groupe homogènes ab).

Les résultats du test de Tukey montrent la présence de 2 groupes homogènes relatifs à la quantité de la chlorophylle b et à la chlorophylle totale présente dans les feuilles de vigne (a et b), dont la quantité chlorophyllienne la plus marquée est allouée à la formulation F2 et l'extrait brut EBV d'*Ulva rigida* formant ainsi le groupe homogène (a), par conséquent le groupe homogène (ab). Enfin, la plus faible quantité est signalée sous l'application de l'eau et de la formulation F1 (groupe homogène b) (Tableau III. 15).

À propos des potentialités des phytopréparations sur l'expression des caroténoïdes, le test de Tukey fait constater une différence significative, exprimant les valeurs les plus importantes sous l'effet des deux formulation F1 et F2 (Tableau III. 16).

Chapitre VI : Discussion

La stimulation de la germination des graines sous les contraintes climatiques et l'amélioration de ses qualités sont considérées comme un challenge pour les chercheurs, car ils représentent un enjeu de haute importance agro-économique. Les algues marines (*Ulva rigida*, *Dictyota dichotoma*) et l'extrait smoke (paille de blé) sont des déchets de mer et de terre recyclés qui renferment des propriétés intéressantes, dans la mesure d'innover un bioproduit comme usage, où ce-ci sera inclinée vers cette hypothèse. Cette étude œuvre pour démontrer que l'utilisation des algues marines et leurs dérivés comme agent de priming permettront une augmentation du potentiel de germination des semences. Nombreuses études et dans différentes espèces végétales ont été démontrées que les algues marines [50, 111, 156, 157] et l'extrait smoke [102] améliorent la germination des graines. Accompagné avec la technique de priming, elle ajoute une valeur remarquable. Par référence à nos résultats, les graines amorcées par les trois extraits aqueux d'*Ulva rigida*, *Dictyota dichotoma* et l'extrait smoke marquent les valeurs les plus élevées en terme de stimulation de semence, nous dénotons que les graines de blé amorcées dans l'eau comme témoin (type hydropriming) ont enregistrées les plus faibles valeurs pour l'ensemble des paramètres étudiés (taux, vitesse et index de germination, longueur des parties aériennes et racinaire des graines et polyphénols). Cet état de fait, nous emmène à prendre en considération, le type d'amorçage appropriés aux graines qui booste la germination et stimule son développement [151, 158]. Ainsi, Dezfuli et al. [159], ont révélé que les différents types d'amorçage peuvent avoir divers effets sur la germination des semences de maïs, dans son cas, la plupart des paramètres de germination évalués ont montré que l'hydropriming était plus efficace que l'osmopriming. Nos résultats ont montré que le priming était un bon moyen d'hydratation pour les graines de blé, dont il a ouvert le champ à l'absorption de divers éléments présents dans les trois différents extraits aqueux *Ulva rigida*, *Dictyota dichotoma* et l'extrait smoke, qui est en rapport avec leurs compositions. Les algues sont riches en micro et macroéléments, vitamines, polysaccharides et hormones de croissance [160] tandis que le smoke se caractérise par la présence Karrikin (KAR1) comme nouvelle molécule qui agit sur la stimulation de germination [161]. Cette capacité d'absorption, a permis aux graines amorcées dans les extraits de recevoir une stimulation germinative très élevée, dont

le taux de germination été estimé à (100%) par *U.rigida* et *D.dichotoma* , comme annoncé par Demir *et al*, (2019) dans son étude à travers l'utilisation d'un extrait d'algue verte *Codium tomentosum* comme agent de priming marquant ainsi, un taux de germination élevé pour des graines de poivron (68%) et d'aubergine (91%) [162]. Muthu-Pandian Chanthini *et al*, [163], rajoutent que l'algue verte *Chaetomorpha antennina* stimule la germination des graines de tomate à un taux de (98,52%). L'amorçage avec l'extrait smoke peut être utilisé comme un traitement améliorant la culture des graines de poivron et même pour les graines immatures [100] agir sur la graine d'une manière non spécialisée, par exemple comme un agent de scarification qui affaiblit les couches de l'enveloppe du fruit et de la graine, par conséquent une meilleure et plus efficace absorption de l'eau et de l'oxygène [164] qui peut être expliqué par le fait que son effet est similaire à celui des régulateurs de croissance des plantes. Il a été démontré que KAR1 peut entraîner des effets similaires à ceux des gibbérellines et/ou des cytokinines [165], dans notre étude l'extrait smoke a un effet significatif et stimule tous les paramètres (le taux, vitesse, l'index de germination et les deux parties aériennes et racinaires), confirmé par une autre étude, son utilisation comme agent de priming sur les graines et avec de faibles concentrations peut augmenter la longueur des semis [166] également son application augmente l'enracinement et la longueur des racines d'autres espèces [167] indiqué par Nelson *et al*, que cet extrait a un effet similaire sur la longueur des racines et la surface des cotylédons dans les semis d'*Arabidopsis* [168] ainsi pour le riz [169] . Peut lever la dormance d'une espèce étroitement apparentée, *A. sterilis ssp. Ludoviciana* [170]. En revanche dans notre étude l'introduction de l'extrait brun brut *Dictyota dichotoma* comme agent de priming ne stimule pas la partie racinaire, peut être due à sa constitution d'un nombre important de métabolites secondaires [171] dont nombreuses études les exploitantes dans la régulations du stress biotique et abiotique plutôt que dans la croissance végétative, Les extraits de *D.dichotoma* peuvent améliorer et atténuer le stress de la salinité sur la germination des graines de riz [172], le traitement d'*Arabidopsis thaliana* stressée par le sel avec des extraits de l'algue brune *Ascophyllum nodosum* ont amélioré la croissance de la plante via la modulation l'expression d'un certain nombre de gènes impliqués dans la réponse au du métabolisme des glucides et des phénylpropanoïdes [173]. Mais à une concentration plus faible (0,2ml) les graines ont été significativement stimulées ou elles marquent les valeurs les plus élevés en taux et vitesse de germination par rapport au témoin, cette

corrélation négative corrobore avec les conclusions d'El-Katony [174], qui annonce que le taux de germination a été nettement réduit avec l'augmentation de concentration d'extrait d'algue *Dictyota dichotoma*, atteignant un minimum à 10 g.L⁻¹, avec une augmentation relativement faible à des concentrations plus élevées, les graines traitées par des concentrations d'extrait brun plus élevées diminuent le taux de germination en dessous du témoin, et les extraits d'algues dilués plus efficaces que les concentrés [175]. La présente étude, suggère qu'*Ulva rigida* est un excellent agent de priming incliné dans la stimulation des graines de blé, à faible concentration 0,2 mL, elle peut augmenter le taux, la vitesse et l'index de germination, à forte concentration (1 mL), le taux d'inhibition est plus élevé et par conséquent, le taux de germination sera le plus faible.

Notre étude démontre que la forte concentration (1 ml) d'extrait aqueux d'*U. rigida*, est considérée comme une concentration contraignante à la germination et prend un pouvoir inhibiteur, qui pourra être l'exploité en cas de nécessité comme herbicide. En revanche, les graines de blé amorcées dans la concentration la plus faible (0,2 ml) de l'extrait aqueux d'*U. rigida* mentionne l'efficacité la plus élevés. Cette divergence d'effet en matière de concentration, rejoint les conclusions de Sivritepe et Sivritepe [176] qui stipulent que la concentration 1: 500 de la solution d'extrait d'algues assure les meilleurs effets positifs pour la germination des graines du poivron. Nos résultats informent aussi que la division et l'élongation cellulaire des deux parties aériennes et racinaires et dans la stimulation germinative (taux de germination, vitesse de germination et index de germination) sont corrélés positivement avec la faible concentration de l'extrait aqueux d'*U. rigida*. Nos remarquent sont en accord avec les résultats publiés par Kavipriya [177], sur l'efficacité d'extraits d'algues vertes d'*Ulva lactuca* et de *Caulerpa scalpelliformis* sur des graines de graminées vertes, qui augmentaient les paramètres de croissance. A propos de son pouvoir germinatif, l'extrait aqueux d'algue verte *U. rigida*, en tant qu'agent de priming, il contribue à une amélioration des paramètres physiologiques des graines de blé où les trois traitements (0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml), stimulent l'expression des polyphénols totaux. Ces derniers sont des antioxydants, qui sont sécrétés suite à un stress oxydatif causé par la surproduction des ROS élevées, afin d'atténuer les dommages causés dans les tissus. Ces composés pourraient neutraliser l'effet néfaste et toxique des hydroxyles, superoxydes et des radicaux peroxydes dans les tissus [178, 179] de ce fait, les faibles concentrations protège les graines des différents stress biotique et abiotique et

assurent une germination dans les lieux ou les conditions climatique où les contraintes peuvent subsister.

Pour une étude plus large et une meilleure valorisation des potentialités des différents extraits *U.rigida* *D.dichotoma* et le smoke sur le comportement de germination des semences, on a eu recours à une technique autre que le priming « micro-encapsulation » dans le but de tester différents effets d'incorporation de la matière actif et leurs assimilation par les graines. Peu d'étude qui ont été réalisé sur la micro encapsulation des graines par les extraits *U.rigida*, *D.dichotoma* et aucune sur le smoke . Par références à nos résultats les extraits agissent sous différentes concentration et paramètres. L'extrait brun *D. dichotoma* micro encapsulé stimule le taux, vitesse et l'index de germination sous la plus forte concentration 1ml mais qui porte aucun effet significatif sur les autres paramètres morpho physiologiques. L'extrait smoke révèle aucune efficacité ou amélioration sur le taux de germination, ces effets inhibiteurs de smoke sont dus au fait que les solutions concentrées sont acides et contiennent de nombreuses substances organiques qui peuvent agir comme des retardateurs de croissance et de développement dans certain cas [180], en revanche la plus grande concentration (2ml) a amélioré la vitesse et l'index de germination et qui a agi positivement sur la longueur des parties racinaires et aériennes, une similarité trouvé par Abu *et al* , la pré germination des graines dans une solution smoke avant les semis au champ ne modifie pas la levée totale mais elle accroît l'importance du peuplement [181] l'efficacité qu'elle donne cette concentration se contredit avec les travaux de Kulkari *et al*, des concentrations élevées de solutions de smoke réduisent la germination totale du trèfle et la germination des graines d'Acacia robusta [182] alors que dans notre cas, c'est cette concentration élevée qui a pu stimuler les graines. L'extrait smoke beaucoup utilisée en priming mais dans aucune étude jusqu'à maintenant était micro-encapsulé donc c'est peut-être dû à cette technique qui consiste à sécuriser la matière active dans une matière enrobante et libérer ce dernier dans un milieux donné.[138] également pour l'encapsulation d'extrait *Ulva rigida* ,c'est la plus grande dose (1ml) qui marque le taux de stimulation le plus élevé sur tous les paramètres (taux, vitesse, index de germination la longueurs des deux parties aériennes et racinaires et les polyphénols totaux) contrairement à la technique de priming ou il faut diminuer les concentrations [151] Dans le cas de la majorité des applications de la micro encapsulation, les substances actives sont dans un premier temps maintenues et protéger dans le cœur des microcapsules durant une période de

temps définie, puis libérer progressivement à travers la membrane selon une certaine vitesse de libération [183].

De ce fait étudier l'algue verte *Ulva rigida* à part rend le travail plus intéressant, ses capacités a stimulé tous les paramètres morpho-physiologiques dans les deux techniques projette la lumière sur une manière pour sécuriser cette matière première (les formulations) et le tester sur une plante modèle vigne *Vitis vinifera*, pour une meilleure exploitation dans le domaine agronomique.

Comprendre l'effet des extraits d'algues sur le profil de croissance de la vigne *Vitis vinifera*. L., est d'une importance capitale.

Les premiers résultats de cette étude ont indiqué que les applications foliaires de l'extrait brut d'*Ulva rigida* et les deux formulations ont un effet significatif sur le stade phénologique (11 BBCH) de vigne jeune, ce qui n'est pas le cas avec *Ascophyllum nodosum*, la vigne n'a pas été affectée par les traitements à ce stade selon de nombreuses recherches [184-189], ce qui n'est pas en accord avec Sabir et al., qui ont testé sur *Vitis vinifera* l'application de l'extrait d'une algue brune d'*Ascophyllum nodosum* seul n'a pas d'effet significatif sur la croissance générale (de la feuille, poids frais, sec et surface de la feuille).le même résultat trouvé par Anli *et al*, consiste sur l'application d'une algue seule et qui rapporte aucun effet significatif sur la croissance du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Ces différences sont attribuées à l'espèce d'algue appliquée, cependant quelques articles ont étudié les algues vertes qui ont rapporté le même effet en améliorant de manière significative la croissance du stade de la vigne comme constaté avec *Chlorella vulgaris* [190].

Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé que l'application de tous les traitements a base d'*Ulva rigida* ont augmenté significativement les paramètres de croissance des feuilles, (Tableau III.13 et 14) de la vigne par rapport au témoin, l'algue *Ulva rigida* a un effet positif sur les feuilles émises de la vigne. Des résultats similaires sur l'utilisation des algues vertes qui ont augmenté le nombre de branches et de feuilles de tomate [163] et de niébé avec des algues brunes et rouges [191], elles ont amélioré également la croissance des feuilles même sous stress abiotique avec les épinards [120] et que les applications foliaires d'algues en combinaison ou non, augmente la hauteur de la plante et sa croissance [192].

Nos traitements à base d'*Ulva rigida* ont remarquablement augmenté le poids sec et la surface foliaire, nos résultats sont en accord avec l'étude de Wang *et al.*, qui a indiqué que l'utilisation d'algues augmente la hauteur de la plante et son poids sec [193], mêmes résultats observés avec Mahmoud *et al.*, [194]. Cet effet positif de notre résultat pourrait être attribué à la synthèse du concentré d'algues, par exemple, la présence de molécules bioactives solubles dans l'eau [195, 196] comme les hormones (auxines et cytokinines) qui font progresser le développement des plantes par l'expansion de divers événements métaboliques, ce qui peut entraîner l'expansion des feuilles des plantes, comme Hamed *et al* l'expliquent : les régulateurs de croissance des plantes changent et traitent la division cellulaire, contrôlent l'extension des racines et la croissance des feuilles des plantes et d'autres capacités métaboliques [197].

La présente étude met en évidence l'efficacité de F2, qui a la valeur la plus élevée sur presque tous les paramètres de croissance des feuilles par rapport à l'extrait brut, F1 et aux vignes non traitées, ce qui peut être attribué à la composition de la formulation **F2** (60% d'algues brutes +40% de bio adjuvants) ; le bio adjuvant sécurise l'ingrédient actif (extrait brut d'*Ulva rigida*) d'une manière à assurer la pénétration de tous les éléments présents dans l'extrait dans les feuilles par pulvérisation foliaire, qui permis par la suite une bonne pénétration de l'ingrédient biologique dans les cellules végétales, en raison de la rétention et l'adhésion des gouttelettes qui font un contact élevé entre l'eau - feuilles ce qui participe à augmenter l'activité biologique [198, 199].

Tous les traitements d'algues (extrait brut, F1, F2) ont eu une efficacité significative sur la quantité des pigments photosynthétiques (chlorophylle a, b, chlorophylle a/b, caroténoïde) par rapport à celui non traité, ce qui est en accord avec cette recherche qui a trouvé que les algues augmentent le taux de photosynthèse de la vigne avec une valeur de 40,6 mg kg⁻¹ [188], tandis que la valeur de nos résultats est de 40,37 mg kg⁻¹. Des résultats similaires avec *Ascophyllum nodosum* qui augmente la photosynthèse et la conductance stomatique [187], et la quantité de chlorophylle a, chlorophylle b et caroténoïdes dans les deux plantes testées [187]. Une combinaison d'algues peuvent également augmenter la chlorophylle a, b et les caroténoïdes par une pulvérisation foliaire [200]. Selvam et Sivakumar, ont montré que l'algue verte *Ulva reticulata* a amélioré la chlorophylle a, b à 2% que les plantes non traitées [201]. Cette augmentation du contenu photosynthétique est due aux différentes compositions des

algues comme la bétaine, il semble probable que l'action des bétaines ralentisse la dégradation de la chlorophylle des feuilles au lieu d'en augmenter le contenu [118], d'autre part la chlorophylle (a et b) est présente dans les algues vertes [197] .qui peut enrichir les plantes avec des chloroplastes, en outre l'extrait brut de *Ulva rigida* contient divers éléments responsable sur l' augmentation de l'interception de la lumière, qui à son tour améliore la photosynthèse comme le "Zn" qui augmente la concentration de la chlorophylle [202].

Nous avons remarqué que l'extrait brut et F2 avaient approximativement la même valeur dans les deux expériences (tableau III.13, III.14). On peut suggérer F2 comme meilleur traitement pour augmenter la pigmentation photosynthétique, d'un côté l'indice d'activité (algue) est optimisé à 60% dans la formulation, contrairement à l'utilisation de l'extrait brut qui garde la matière première à 100%, et d'un autre coté on peut obtenir un produit sûr écologiquement avec une efficacité élevée [198].

CONCLUSION

Compte tenu des résultats importantes, *Ulva rigida* utilisée comme agent de priming comparé à *Dictyota dichotoma* est meilleure sur l'ensemble des paramètres traités, *Ulva rigida* est un composé promoteur pour améliorer la germination des graines de blé. Ses effets reposent sur des concentrations à double finalité, d'une part stimulatrice, à faible concentration participant ainsi à la germination et assure le développement de la graine, d'autre part, inhibitrice à forte concentration où il peut servir comme herbicide pour des adventices.

L'extrait smoke comme agent de priming améliore la germination sous deux concentrations 0,5 ml et 1ml et de même efficacité sur l'ensemble des paramètres, dans ce cas d'étude on suggère l'utilisation la concentration la plus faible pour des raisons économiques.

La micro-encapsulation de l'extrait d'algue verte *U. rigida* est plus performante que les deux autres extraits : smoke et *Dictyota dichotoma* et qui booste la germination des graines et améliore leurs développements à une concentration de 1ml. C'est une technique qui sécurise la matière active et contrôle sa libération d'où la nécessité de choisir la matière active adéquate.

Pour une meilleure valorisation des potentialités de l'extrait *U.rigida* , et pour des raisons écoenvironnementales , on a adopté le principe des formulations dans le but d'un côté, de réduire la quantité de la matière première et protéger l'espèce de l'érosion génétique , et d'un autre d'assurer la pénétration de la molécule bioactif à l'aide de pénétrant au fond de la cellule ce qui permet d'augmenter l'efficacité du produit appliqué, ce qui est remarquable dans nos résultats lors la comparaison des produits formulés avec le produit homologué une similarité d'effet , d'où la nécessité d'exploiter les extraits sous forme de formulation.

La formulation F2 sur vigne améliore les paramètres traités par rapport au témoin. Ces résultats donnent la possibilité d'étendre les contributions biologiques au développement des cultures. L'application de telles formulations peut aider à développer des systèmes d'agriculture écologiquement durables dans le monde entier, généralement dans des endroits où l'utilisation d'engrais est une variable financièrement restrictive.

Les différentes formulations extraites (*Ulva rigida* et paille de blé) peuvent être recommandé aux producteurs pour obtenir une meilleure germination, croissance et rendement des plantes cultivables.

Bien que les résultats de la présente étude semblent encourageante, le présent travail comporte quelques limites relatives à l'étendue des effets de l'extrait d'algue brun *Dictyota dichotoma* sur le pouvoir germinatif, d'autres techniques analytiques semblent être nécessaires afin d'explorer le mécanisme d'action des molécules bioactives contenues de ce dernier.

Références bibliographiques

1. Cork, A., et al., *Development of PVC-resin-controlled release formulation for pheromones and use in mating disruption of yellow rice stem borer, Scirpophaga incertulas*. Crop protection, 2008. **27**(2): p. 248-255.
2. Fenner, K., et al., *Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities*. science, 2013. **341**(6147): p. 752-758.
3. Chiaiese, P., et al., *Renewable Sources of Plant Biostimulation: Microalgae as a Sustainable Means to Improve Crop Performance*. Front Plant Sci, 2018. **9**: p. 1782.
4. Sokhi, R.S., et al., *A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions*. Environ Int, 2021. **157**: p. 106818.
5. Pomponi, F., et al., *A Novel Method for Estimating Emissions Reductions Caused by the Restriction of Mobility: The Case of the COVID-19 Pandemic*. Environmental Science & Technology Letters, 2020. **8**(1): p. 46-52.
6. Huybers, P. and W. Curry, *Links between annual, Milankovitch and continuum temperature variability*. Nature, 2006. **441**(7091): p. 329-32.
7. Ghil, M., et al., *Extreme events: dynamics, statistics and prediction*. Nonlinear Processes in Geophysics, 2011. **18**(3): p. 295-350.
8. Smith, M.D., *An ecological perspective on extreme climatic events: a synthetic definition and framework to guide future research*. Journal of Ecology, 2011. **99**(3): p. 656-663.
9. Barriopedro, D., et al., *The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe*. Science, 2011. **332**(6026): p. 220-4.
10. Pacifici, M., et al., *Assessing species vulnerability to climate change*. Nature Climate Change, 2015. **5**(3): p. 215-224.
11. Trenberth, K.E., et al., *Global warming and changes in drought*. Nature Climate Change, 2013. **4**(1): p. 17-22.
12. Lotsch, A., *Response of terrestrial ecosystems to recent Northern Hemispheric drought*. Geophysical Research Letters, 2005. **32**(6).
13. van Gorsel, E., et al., *Carbon uptake and water use in woodlands and forests in southern Australia during an extreme heat wave event in the 'Angry 2 Summer' of 2012/2013*. 3. ecosystems. **60**: p. 61.
14. Teskey, R., et al., *Responses of tree species to heat waves and extreme heat events*. Plant, cell & environment, 2015. **38**(9): p. 1699-1712.
15. Ciais, P., et al., *Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003*. Nature, 2005. **437**(7058): p. 529-533.
16. Allen, C.D., et al., *A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests*. Forest ecology and management, 2010. **259**(4): p. 660-684.
17. Allen, C., D. Breshears, and N. McDowell, *On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene*. Ecosphere **6** (8), 129 (2015).
18. O'sullivan, O.S., et al., *Thermal limits of leaf metabolism across biomes*. Global Change Biology, 2017. **23**(1): p. 209-223.
19. Sippel, S., et al., *Drought, Heat, and the Carbon Cycle: a Review*. Current Climate Change Reports, 2018. **4**(3): p. 266-286.
20. Benniou, R. and F. Bahlouli, *Climate Change and Agriculture Conservation in Semi-Arid Environment*. Energy Procedia, 2015. **74**: p. 25-31.
21. Medlyn, B.E., et al., *Reconciling the optimal and empirical approaches to modelling stomatal conductance*. Global Change Biology, 2011. **17**(6): p. 2134-2144.
22. Drake, J.E., et al., *Trees tolerate an extreme heatwave via sustained transpirational cooling and increased leaf thermal tolerance*. Glob Chang Biol, 2018. **24**(6): p. 2390-2402.

23. Teskey, R., et al., *Responses of tree species to heat waves and extreme heat events*. Plant Cell Environ, 2015. **38**(9): p. 1699-712.
24. von Buttlar, J., et al., *Impacts of droughts and extreme-temperature events on gross primary production and ecosystem respiration: a systematic assessment across ecosystems and climate zones*. Biogeosciences, 2018. **15**(5): p. 1293-1318.
25. Possell, M., C. Nicholas Hewitt, and D.J. Beerling, *The effects of glacial atmospheric CO2 concentrations and climate on isoprene emissions by vascular plants*. Global Change Biology, 2005. **11**(1): p. 60-69.
26. Clara, L., et al., *CARBONE ORGANIQUE DU SOL richesse invisible*. partenariat mondiale sur les sols ed. 2017, Rome, Italy: Organisation des Nations Unis pour l'Alimentaion et l'Agriculture FAO.
27. Hönisch, B., et al., *Atmospheric carbon dioxide concentration across the mid-Pleistocene transition*. Science, 2009. **324**(5934): p. 1551-1554.
28. Schmidt, M.W., et al., *Persistence of soil organic matter as an ecosystem property*. Nature, 2011. **478**(7367): p. 49-56.
29. Van Groenigen, K.J., et al., *Faster decomposition under increased atmospheric CO2 limits soil carbon storage*. Science, 2014. **344**(6183): p. 508-509.
30. Schuur, E.A., et al., *Climate change and the permafrost carbon feedback*. Nature, 2015. **520**(7546): p. 171-179.
31. van der Wal, A. and W. De Boer, *Dinner in the dark: illuminating drivers of soil organic matter decomposition*. Soil Biology and Biochemistry, 2017. **105**: p. 45-48.
32. Salvatore, M., et al., *2.6 Transformational change and NAMAs in the agriculture, forestry and other land use sector*. NAMA Guidebook, 2015: p. 72.
33. Huang, J., et al., *Accelerated dryland expansion under climate change*. Nature Climate Change, 2016. **6**(2): p. 166-171.
34. Raich, J.W. and C.S. Potter, *Global patterns of carbon dioxide emissions from soils*. Global biogeochemical cycles, 1995. **9**(1): p. 23-36.
35. Fearnside, P.M. and R.I. Barbosa, *Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia*. Forest ecology and management, 1998. **108**(1-2): p. 147-166.
36. Chaplot, V., *Evidences of plants' impact on land degradation and climate change: An urgent call for new multidisciplinary research*. Geoderma, 2021. **392**.
37. Burghelca, C., et al., *Mineral nutrient mobilization by plants from rock: influence of rock type and arbuscular mycorrhiza*. Biogeochemistry, 2015. **124**(1): p. 187-203.
38. Reeves, D., *The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems*. Soil and Tillage Research, 1997. **43**(1-2): p. 131-167.
39. Tauler, M. and E. Baraza, *Improving the acclimatization and establishment of Arundo donax L. plantlets, a promising energy crop, using a mycorrhiza-based biofertilizer*. Industrial Crops and Products, 2015. **66**: p. 299-304.
40. Tahami, M.K., et al., *Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (Ocimum basilicum L.) essential oil production*. Industrial Crops and Products, 2017. **107**: p. 97-104.
41. Puntel, L.A., et al., *Modeling long-term corn yield response to nitrogen rate and crop rotation*. Frontiers in plant science, 2016. **7**: p. 1630.
42. Bulgari, R., et al., *Biostimulants and crop responses: a review*. Biological Agriculture & Horticulture, 2015. **31**(1): p. 1-17.
43. Chiaiese, P., et al., *Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance*. Frontiers in plant science, 2018. **9**: p. 1782.
44. Yakhin, O.I., et al., *Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective*. Front Plant Sci, 2016. **7**: p. 2049.
45. Hamed, S.M., et al., *Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology*. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2018. **7**(1): p. 104-110.

46. Du Jardin, P., *Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation*. Scientia Horticulturae, 2015. **196**: p. 3-14.
47. Zhang, X. and R. Schmidt, *Biostimulating turfgrasses*. Grounds maintenance., 1999.
48. Michalak, I. and K. Chojnacka, *Algal extracts: Technology and advances*. Engineering in Life Sciences, 2014. **14**(6): p. 581-591.
49. Traon, D., et al., *A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU-Report to the European Commission, DG Enterprise & Industry*. 2014.
50. Craigie, J.S., *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture*. Journal of applied phycology, 2011. **23**(3): p. 371-393.
51. Cáceres, R. and O. Marfà, *Diagnosis of the fertility of compost-based growing media: Method comparison and monitoring in pot plant cultivation*. Scientia Horticulturae, 2013. **164**: p. 213-220.
52. Herrera, F., et al., *Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants*. Bioresour Technol, 2008. **99**(2): p. 287-96.
53. McConnell, D.B., A. Shiralipour, and W.H. Smith, *Compost application improves soil properties*. Biocycle, 1993. **34**(4): p. 61-63.
54. Shafique, I., et al., *Efficiency of cow dung based vermi-compost on seed germination and plant growth parameters of Tagetes erectus (Marigold)*. Heliyon, 2021. **7**(1): p. e05895.
55. Ahmad, R., et al., *Effectiveness of Organic-/Bio-Fertilizer Supplemented with Chemical Fertilizers for Improving Soil Water Retention, Aggregate Stability, Growth and Nutrient Uptake of Maize(Zea maysL.)*. Journal of Sustainable Agriculture, 2008. **31**(4): p. 57-77.
56. Devi, J. and M. Prakash, *Microbial Population dynamics during vermicomposting of three different substrates amended with cowdung*. Int J Curr Microbiol Appl Sci, 2015. **4**(2): p. 1086-1092.
57. Adhikary, S., *Vermicompost, the story of organic gold: A review*. 2012.
58. Tomati, U., A. Grappelli, and E. Galli, *The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth*. Biology and fertility of soils, 1988. **5**(4): p. 288-294.
59. Aremu, A.O., et al., *Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant*. Plant growth regulation, 2015. **75**(2): p. 483-492.
60. Atiyeh, R., et al., *The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth*. Bioresource technology, 2002. **84**(1): p. 7-14.
61. Arancon, N., et al., *Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields*. Bioresource technology, 2004. **93**(2): p. 145-153.
62. Levinsh, G., *Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species*. Plant growth regulation, 2011. **65**(1): p. 169-181.
63. Amorim, M.M., et al., *Effects of the humic acid extracted from vermicompost on the germination and initial growth of Brachiaria brizantha cv. MG5*. African Journal of Biotechnology, 2015. **14**(18): p. 1576-1583.
64. Benazzouk, S., Z.-E. Djazouli, and S. Lutts, *Vermicompost Leachate as a Promising Agent for Priming and Rejuvenation of Salt-Treated Germinating Seeds in Brassica Napus*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2019. **50**(11): p. 1344-1357.
65. Duplessis, J. and N. Envirocom, *Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique*. 2002: NOVA Envirocom.
66. Petit, J. and P. Jobin, *La fertilisation organique des cultures: les bases*. 2005: Fédération d'agriculture biologique du Québec.
67. Oyewusi, T.F., et al., *Investigation into physico-chemical properties of compost extract as affected by processing parameters*. Environmental Challenges, 2021: p. 100370.
68. Haupt, R., et al., *Survey on storage, application and incorporation practices for organic fertilizers in Germany*. J Environ Manage, 2021. **296**: p. 113380.

69. Walker, T.S., et al., *Root exudation and rhizosphere biology*. Plant physiology, 2003. **132**(1): p. 44-51.
70. Figueiredo, M.d.V.B., et al., *Plant growth promoting rhizobacteria: fundamentals and applications*, in *Plant growth and health promoting bacteria*. 2010, Springer. p. 21-43.
71. BhattacharyyaPN, J., *Plantgrowth-promotingrhizobacteria (PGPR): Emergencein agriculture*. World J. Microbiol. Biotechnol, 2012. **28**: p. 1327-1350.
72. Adedeji, A.A., M.M. Häggblom, and O.O. Babalola, *Sustainable agriculture in Africa: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to the rescue*. Scientific African, 2020. **9**.
73. Kumari, B., et al., *Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): modern prospects for sustainable agriculture*, in *Plant health under biotic stress*. 2019, Springer. p. 109-127.
74. Di Salvo, L.P., et al., *Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (Zea mays L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities*. Applied Soil Ecology, 2018. **126**: p. 113-120.
75. Zhou, C., et al., *Paenibacillus polymyxa BFKC01 enhances plant iron absorption via improved root systems and activated iron acquisition mechanisms*. Plant Physiology and Biochemistry, 2016. **105**: p. 162-173.
76. Pii, Y., et al., *Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review*. Biology and fertility of soils, 2015. **51**(4): p. 403-415.
77. Rahimi, S., et al., *The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in improving iron acquisition by altering physiological and molecular responses in quince seedlings*. Plant Physiol Biochem, 2020. **155**: p. 406-415.
78. Posmyk, M.M. and K. Szafrńska, *Biostimulators: a new trend towards solving an old problem*. Frontiers in plant science, 2016. **7**: p. 748.
79. Shakir, M. and W. Al-Rawi, *Effect of garlic and licorice root extract on leaves mineral and hormonal content of pear transplants*. The Iraqi Journal of Agricultural Science, 2017. **48**: p. 138.
80. Elzaawely, A.A., et al., *Growth traits, physiological parameters and hormonal status of snap bean (Phaseolus vulgaris L.) sprayed with garlic cloves extract*. Archives of Agronomy and Soil Science, 2018. **64**(8): p. 1068-1082.
81. Abbas, S.M. and S.A. Akladios, *Application of carrot root extract induced salinity tolerance in cowpea (Vigna sinensis L.) seedlings*. Pak. J. Bot, 2013. **45**(3): p. 795-806.
82. Zulfikar, F., et al., *An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts*. Plant Sci, 2020. **295**: p. 110194.
83. Ertani, A., et al., *Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed Zea mays L. plants*. Plant and soil, 2013. **364**(1): p. 145-158.
84. Minorsky, P.V., *The hot and the classic*. Plant Physiology, 2002. **128**(4): p. 1167-1168.
85. Baxter, B., et al., *Plant-derived smoke and smoke extracts stimulate seed germination of the fire-climax grass Themeda triandra*. Environmental and Experimental Botany, 1994. **34**(2): p. 217-223.
86. Van Staden, J., et al., *Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke*. 2004.
87. van Staden, J., et al., *Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke*. South African Journal of Botany, 2004. **70**(4): p. 654-659.
88. Jäger, A., M. Light, and J. Van Staden, *Effects of source of plant material and temperature on the production of smoke extracts that promote germination of light-sensitive lettuce seeds*. Environmental and Experimental Botany, 1996. **36**(4): p. 421-429.
89. Kulkarni, M.G., et al., *Bioactive molecules derived from smoke and seaweed Ecklonia maxima showing phytohormone-like activity in Spinacia oleracea L.* N Biotechnol, 2019. **48**: p. 83-89.
90. Baldrianova, J., et al., *Arabidopsis proteome responses to the smoke-derived growth regulator karrikin*. J Proteomics, 2015. **120**: p. 7-20.

91. Dixon, K., et al., *Karrikinolide—a phytoactive compound derived from smoke with applications in horticulture, ecological restoration and agriculture*. Acta Horticulturae, 2009. **813**: p. 155-170.
92. Flematti, G.R., et al., *Germination Stimulant in Smoke: Isolation and Identification*, in *Bioactive Natural Products*. 2007, CRC Press. p. 545-568.
93. Flematti, G.R., et al., *Synthesis of the seed germination stimulant 3-methyl-2H-furo [2, 3-c] pyran-2-one*. Tetrahedron Letters, 2005. **46**(34): p. 5719-5721.
94. Chiwocha, S.D., et al., *Karrikins: a new family of plant growth regulators in smoke*. Plant science, 2009. **177**(4): p. 252-256.
95. Flematti, G.R., et al., *A compound from smoke that promotes seed germination*. Science, 2004. **305**(5686): p. 977-977.
96. Chiwocha, S.D.S., et al., *Karrikins: A new family of plant growth regulators in smoke*. Plant Science, 2009. **177**(4): p. 252-256.
97. Gardner, M., et al., *Does smoke substitute for red light in the germination of light-sensitive lettuce seeds by affecting gibberellin metabolism?* South African Journal of Botany, 2001. **67**(4): p. 636-640.
98. Drewes, F., M. Smith, and J. Van Staden, *The effect of a plant-derived smoke extract on the germination of light-sensitive lettuce seed*. Plant Growth Regulation, 1995. **16**(2): p. 205-209.
99. Keeley, J.E. and C. Fotheringham, *Trace gas emissions and smoke-induced seed germination*. Science, 1997. **276**(5316): p. 1248-1250.
100. Demir, I., et al., *Priming with smoke-derived karrikinolide enhances germination and transplant quality of immature and mature pepper seed lots*. South African Journal of Botany, 2018. **115**: p. 264-268.
101. van Staden, J., et al., *Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one, and its potential as a preconditioning agent*. Field Crops Research, 2006. **98**(2-3): p. 98-105.
102. Light, M.E., M.I. Daws, and J. Van Staden, *Smoke-derived butenolide: Towards understanding its biological effects*. South African Journal of Botany, 2009. **75**(1): p. 1-7.
103. Burger, B.V., et al., *More butenolides from plant-derived smoke with germination inhibitory activity against karrikinolide*. South African Journal of Botany, 2018. **115**: p. 256-263.
104. Ibraheem, I.B.M., et al., *Contributions to the study of the marine algae inhabiting Umluj Seashore, Red Sea*. Beni-suef university journal of basic and applied sciences, 2014. **3**(4): p. 278-285.
105. Abad, M., L. Bedoya, and P. Bermejo, *Marine compounds and their antimicrobial activities*. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances, 2011. **51**: p. 1293-1306.
106. Ugarte, R.A., G. Sharp, and B. Moore. *Changes in the brown seaweed Ascophyllum nodosum (L.) Le Jol. Plant morphology and biomass produced by cutter rake harvests in southern New Brunswick, Canada*. in *Eighteenth International Seaweed Symposium*. 2006. Springer.
107. Van Arendonk, J., et al., *Effects of nitrogen supply on the anatomy and chemical composition of leaves of four grass species belonging to the genus Poa, as determined by image-processing analysis and pyrolysis–mass spectrometry*. Plant, Cell & Environment, 1997. **20**(7): p. 881-897.
108. Garcia-Pichel, F. and R.W. Castenholz, *Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment 1*. Journal of Phycology, 1991. **27**(3): p. 395-409.
109. Eyra, M.C., G.E. Defossé, and F. Dellatorre, *Seaweed Compost as an Amendment for Horticultural Soils in Patagonia, Argentina*. Compost Science & Utilization, 2008. **16**(2): p. 119-124.
110. Basavaraja, P., et al., *Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize*. Journal of Plant Nutrition, 2018. **41**(14): p. 1851-1861.
111. Khan, W., et al., *Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development*. Journal of Plant Growth Regulation, 2009. **28**(4): p. 386-399.

112. Ben Salah, I., et al., *Seaweed polysaccharides as bio-elicitors of natural defenses in olive trees against verticillium wilt of olive*. Journal of Plant Interactions, 2018. **13**(1): p. 248-255.
113. Gorka, B. and P.P. Wiecezorek, *Simultaneous determination of nine phytohormones in seaweed and algae extracts by HPLC-PDA*. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2017. **1057**: p. 32-39.
114. Craigie, J.S., *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture*. Journal of Applied Phycology, 2010. **23**(3): p. 371-393.
115. Cardozo, K.H., et al., *Metabolites from algae with economical impact*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2007. **146**(1-2): p. 60-78.
116. Moore, K.K., *FORUMS-COMPOST USERS-USING SEAWEED COMPOST TO GROW BEDDING PLANTS-University of Florida trials evaluate substrate characteristics and impact on containerized plants using varied percentages of*. BioCycle-Journal of Composting and Recycling, 2004. **45**(6): p. 43-45.
117. Chatterjee, A., et al., *Role of Algae as a Biofertilizer*, in *Algal Green Chemistry*. 2017. p. 189-200.
118. Blunden, G., T. Jenkins, and Y.-W. Liu, *Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract*. Journal of applied phycology, 1996. **8**(6): p. 535-543.
119. Zhang, X. and E. Ervin, *Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance*. Crop science, 2004. **44**(5): p. 1737-1745.
120. Xu, C. and D.I. Leskovar, *Effects of A. nodosum seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress*. Scientia Horticulturae, 2015. **183**: p. 39-47.
121. Zhang, X. and E. Ervin, *Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance*. Crop Science, 2008. **48**(1): p. 364-370.
122. Zhang, X., K. Wang, and E. Ervin, *Optimizing Dosages of Seaweed Extract-Based Cytokinins and Zeatin Riboside for Improving Creeping Bentgrass Heat Tolerance*. Crop Science, 2010. **50**(1): p. 316-320.
123. Rathore, S., et al., *Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions*. South African Journal of Botany, 2009. **75**(2): p. 351-355.
124. Crouch, I. and J. Van Staden, *Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants*. Journal of Applied Phycology, 1992. **4**(4): p. 291-296.
125. Wang, Y., et al., *Effects of seaweed fertilizer on the Malus hupehensis Rehd. seedlings growth and soil microbial numbers under continue cropping*. Acta Ecologica Sinica, 2017. **37**(3): p. 180-186.
126. Muthu-Pandian Chanthini, K., et al., *Chaetomorpha antennina (Bory) Kützing derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for Lycopersicon esculentum (Mill)*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019. **20**.
127. Pise, N.M. and A. Sabale, *Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of Trigonella foenum-graecum L*. Journal of Phytology, 2010. **2**(4): p. 50-56.
128. Abbas, M., et al., *Effect of Seaweed Extract on Productivity and Quality Attributes of Four Onion Cultivars*. Horticulturae, 2020. **6**(2).
129. AUBRY, J.-M. and G. SCHORSCH, *FORMULACION Presentación general*. 2004, Recuperado de: [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos ...](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos...)
130. Ortiz-Cantú, S.J. and Á.R. Pedroza-Zapata, *Sources of information for technology intelligence in chemical formulation*. 2011.
131. Laura-Isabel Tolosa, A.F., Paul Moreno, and Jean-Louis Salager, *Combined Effects of Formulation and Stirring on Emulsion Drop Size in the Vicinity of Three-Phase Behavior of Surfactant-Oil Water Systems*. Ind. Eng. Chem. Res, 2006. **45**: p. 3810-3814.

132. McClements, D.J. and J. Rao, *Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity*. Crit Rev Food Sci Nutr, 2011. **51**(4): p. 285-330.
133. Hoffmann, M., et al., *Surfactin from Bacillus subtilis displays promising characteristics as O/W-emulsifier for food formulations*. Colloids Surf B Biointerfaces, 2021. **203**: p. 111749.
134. Kralova, I. and J. Sjöblom, *Surfactants used in food industry: a review*. Journal of Dispersion Science and Technology, 2009. **30**(9): p. 1363-1383.
135. Miguel Rondo'n, P.B., Jean Lachaise, *Breaking of Water-in-Crude Oil Emulsions. 1. Physicochemical Phenomenology of Demulsifier Action*. Energy & Fuels, 2006. **20**: p. 1600-1604.
136. McClements, D.J., *Theoretical analysis of factors affecting the formation and stability of multilayered colloidal dispersions*. Langmuir, 2005. **21**(21): p. 9777-9785.
137. Mohammadi, A., et al., *Nano-encapsulation of olive leaf phenolic compounds through WPC-pectin complexes and evaluating their release rate*. Int J Biol Macromol, 2016. **82**: p. 816-22.
138. Augustin, M.A. and Y. Hemar, *Nano-and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients*. Chemical society reviews, 2009. **38**(4): p. 902-912.
139. Katia GINDRO, D.T., Eric REMOLIF, Jean-Pierre DE JOFFREY, Susete ULLIEL, Corinne JULMI-MOREILLON,, *Bioencapsulation de la vigne pour la production et la conservation de semences miniaturisées*. Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture, 2013. **45**(6): p. 380–382.
140. Bergeron, V., J.-Y. Martin, and L. Vovelle, *Use of polymers as sticking agents*. 2003, Google Patents.
141. Humble, G.D., M.W. Kennedy, and J. Simpelkamp, *Use of non-spreading silicone surfactants in agrochemical compositions*. 2004, Google Patents.
142. Penner, D., et al., *Biologically active in-tank formulation of acid herbicides*, in *Pesticide Formulations and Application Systems: 23rd Volume*. 2003, ASTM International.
143. Seitz, M. and R. Brinker, *Microcapsules with amine adjusted release rates*. 2004, Google Patents.
144. Anderson, C.W., T.D. Birthisel, and J.R. Lynch, *Development of a Dry Applied Dispersible Granular Pesticide Carrier*. Journal of ASTM International, 2005. **3**(2): p. 1-5.
145. Woznica, Z.J., C. Messersmith, and J. Nalewaja, *High-pH oil based adjuvant blend for enhancing efficacy of pesticides*. 2004, Google Patents.
146. Roberts, J., J. Thomas, and G. Volgas, *Composition used as herbicide comprises glyphosate in free acid form and acid component eg phosphoric acid and/or neutralized organic acid*. US patent Appl, 2002(039970).
147. Hamel, G., *Phéophycées de France. Fasc. V*. 1939, Paris.
148. Cabioc'h, J., *Guide des algues des mers d'Europe*. 2006: Delachaux et Niestlé.
149. Roy, S., M. Werner-Washburne, and T. Lane, *A multiple network learning approach to capture system-wide condition-specific responses*. Bioinformatics, 2011. **27**(13): p. 1832-1838.
150. Chaichi, W., et al., *Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield*. Compost Science & Utilization, 2018. **26**(4): p. 279-285.
151. Lutts, S., et al., *Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique*. New challenges in seed biology-basic and translational research driving seed technology, 2016: p. 1-46.
152. Cherif, R., et al., *Activités biologiques des extraits aqueux de Pergularia tomentosa L. (Asclepiadaceae)*. Lebanese Science Journal, 2016. **17**(1): p. 25-35.
153. Shao, P., et al., *Antibacterial activities of R-(+)-Limonene emulsion stabilized by Ulva fasciata polysaccharide for fruit preservation*. International journal of biological macromolecules, 2018. **111**: p. 1273-1280.

154. Merah, O., et al., *Productivity and carbon isotope discrimination in durum wheat organs under a Mediterranean climate*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie, 2001. **324**(1): p. 51-57.
155. Lichtenthaler, H.K., [34] *Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes*. Methods in enzymology, 1987. **148**: p. 350-382.
156. Hernández-Herrera, R.M., et al., *Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (Solanum lycopersicum L.)*. Journal of applied phycology, 2014. **26**(1): p. 619-628.
157. Supraja, K., B. Behera, and P. Balasubramanian, *Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation*. Industrial Crops and Products, 2020. **151**: p. 112453.
158. Jisha, K., K. Vijayakumari, and J.T. Puthur, *Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview*. Acta Physiologiae Plantarum, 2013. **35**(5): p. 1381-1396.
159. Dezfuli, P.M., F. Sharif-Zadeh, and M. Janmohammadi, *Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (Zea mays L.)*. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 2008. **3**(3): p. 22-25.
160. Gao, G., et al., *Effects of ocean warming and acidification, combined with nutrient enrichment, on chemical composition and functional properties of Ulva rigida*. Food chemistry, 2018. **258**: p. 71-78.
161. Burger, M., et al., *Structural Basis of Karrikin and Non-natural Strigolactone Perception in Physcomitrella patens*. Cell Rep, 2019. **26**(4): p. 855-865 e5.
162. Demir, I. and K. Mavi, *The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum and Nakai) seeds*. Scientia horticulturae, 2004. **102**(4): p. 467-473.
163. Chanthini, K.M.-P., et al., *Chaetomorpha antennina (Bory) Kützing derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for Lycopersicon esculentum (Mill)*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019. **20**: p. 101190.
164. Egerton-Warburton, L.M., *A smoke-induced alteration of the sub-testa cuticle in seeds of the post-fire recruiter, Emmenanthe penduliflora Benth.(Hydrophyllaceae)*. Journal of Experimental Botany, 1998. **49**(325): p. 1317-1327.
165. Gavin R. Flematti, E.L.G., 1 Kingsley W. Dixon, and R.D. Trengove, *A Compound from Smoke That Promotes Seed Germination*. SCIENCE, 2014. **305** (5686): p. 977-977.
166. Light, M., et al., *Dual regulation of seed germination by smoke solutions*. Plant Growth Regulation, 2002. **37**(2): p. 135-141.
167. Salomon, M.V., et al., *Bacteria and smoke-water extract improve growth and induce the synthesis of volatile defense mechanisms in Vitis vinifera L.* Plant Physiol Biochem, 2017. **120**: p. 1-9.
168. Nelson, D.C., et al., *Karrikins enhance light responses during germination and seedling development in Arabidopsis thaliana*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010. **107**(15): p. 7095-7100.
169. Kulkarni, M., et al., *Stimulation of rice (Oryza sativa L.) seedling vigour by smoke-water and butenolide*. Journal of agronomy and crop science, 2006. **192**(5): p. 395-398.
170. Adkins, S., et al. *Smoke and germination of arable and rangeland weeds*. in *Seed biology: advances and applications. Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds, Merida, Mexico, 1999*. 2000. CABI Publishing.
171. Siamopoulou, P., et al., *Diterpenes from the brown algae Dictyota dichotoma and Dictyota linearis*. Phytochemistry, 2004. **65**(14): p. 2025-30.
172. El-Katony, T.M., et al., *Extracts of the Brown Alga Dictyota dichotoma (Hudson) J.V. Lamouroux Alleviate Salt Stress in Rice (Oryza sativa L.) During Germination*. Journal of Plant Growth Regulation, 2020. **40**(3): p. 986-999.

173. Jithesh, M., et al., *Physiological and transcriptomics analyses reveal that Ascophyllum nodosum extracts induce salinity tolerance in Arabidopsis by regulating the expression of stress responsive genes*. Journal of Plant Growth Regulation, 2019. **38**(2): p. 463-478.
174. El-Katony, T.M., et al., *Extracts of the Brown Alga Dictyota dichotoma (Hudson) JV Lamouroux Alleviate Salt Stress in Rice (Oryza sativa L.) During Germination*. Journal of Plant Growth Regulation, 2021. **40**(3): p. 986-999.
175. MM, E.-S., M. Ismail, and M. Hamouda, *Influence of Some Brown Seaweed Extracts on Germination and Cytological Responses of Trigonella foenum-graecum L.* 2016.
176. Sivritepe, N., *Organic priming with seaweed extract (Ascophyllum nodosum) affects viability of pepper seeds*. Asian Journal of Chemistry, 2008. **20**(7): p. 5689.
177. Kavipriya, R., et al., *Seaweed extract as a biostimulant for legume crop, green gram*. Journal of Ecobiotechnology, 2011. **3**(8).
178. Mittler, R., *Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance*. Trends in plant science, 2002. **7**(9): p. 405-410.
179. Vickers, N.J., *Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?* Current biology, 2017. **27**(14): p. R713-R715.
180. Baldwin, I.T., L. Staszak-Kozinski, and R. Davidson, *Up in smoke: I. Smoke-derived germination cues for postfire annual, Nicotiana attenuata torr. Ex. Watson*. Journal of Chemical Ecology, 1994. **20**(9): p. 2345-2371.
181. Abu, Y., et al., *Priming seeds in aqueous smoke solutions to improve seed germination and biomass production of perennial forage species*. Canadian Journal of Plant Science, 2016: p. 551-563.
182. Kulkarni, M., S. Sparg, and J. Van Staden, *Germination and post-germination response of Acacia seeds to smoke-water and butenolide, a smoke-derived compound*. Journal of Arid Environments, 2007. **69**(1): p. 177-187.
183. Nesterenko, A., *Etude et Fonctionnalisation de Protéines Végétales en vue de leur Application en Microencapsulation*. 2012.
184. Gutiérrez-Gamboa, G., et al., *Phenolic composition of Tempranillo Blanco (Vitis vinifera L.) grapes and wines after biostimulation via a foliar seaweed application*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020. **100**(2): p. 825-835.
185. Frioni, T., et al., *Metabolic and transcriptional changes associated with the use of Ascophyllum nodosum extracts as tools to improve the quality of wine grapes (Vitis vinifera cv. Sangiovese) and their tolerance to biotic stress*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019. **99**(14): p. 6350-6363.
186. Gutiérrez-Gamboa, G., et al., *Study of must and wine amino acids composition after seaweed applications to Tempranillo blanco grapevines*. Food chemistry, 2020. **308**: p. 125605.
187. Salvi, L., et al., *Effects of Ascophyllum nodosum extract on Vitis vinifera: Consequences on plant physiology, grape quality and secondary metabolism*. Plant Physiology and Biochemistry, 2019. **139**: p. 21-32.
188. Sabir, A., et al., *Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (Ascophyllum nodosum) and nanosize fertilizer pulverizations*. Scientia Horticulturae, 2014. **175**: p. 1-8.
189. Anli, M., et al., *Seaweed extract application and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation: a tool for promoting growth and development of date palm (Phoenix dactylifera L.) cv «Boufgous»*. South African Journal of Botany, 2020. **132**: p. 15-21.
190. Nagy, P.T. and T. Pintér, *Effects of foliar biofertilizer sprays on nutrient uptake, yield, and quality parameters of Blaufrankish (Vitis vinifera L.) Grapes*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2015. **46**(sup1): p. 219-227.
191. Vasantharaja, R., et al., *Influence of seaweed extracts on growth, phytochemical contents and antioxidant capacity of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp)*. Biocatalysis and agricultural biotechnology, 2019. **17**: p. 589-594.

192. Khan, R.I., et al., *Effect of pre-harvest foliar application of amino acids and seaweed (Ascophyllum nodosum) extract on growth, yield, and storage life of different bell pepper (Capsicum annuum L.) cultivars grown under hydroponic conditions.* Journal of Plant Nutrition, 2018. **41**(18): p. 2309-2319.
193. Wang, Y., et al., *Effects of seaweed fertilizer on the growth of Malus hupehensis Rehd. seedlings, soil enzyme activities and fungal communities under replant condition.* European Journal of Soil Biology, 2016. **75**: p. 1-7.
194. Mahmoud, S.H., et al., *Utilization of seaweed (Sargassum vulgare) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants.* Annals of Agricultural Sciences, 2019. **64**(2): p. 167-175.
195. Prasad, K., et al., *Detection and quantification of some plant growth regulators in a seaweed-based foliar spray employing a mass spectrometric technique sans chromatographic separation.* Journal of Agricultural and Food chemistry, 2010. **58**(8): p. 4594-4601.
196. Górká, B. and P.P. Wiczorek, *Simultaneous determination of nine phytohormones in seaweed and algae extracts by HPLC-PDA.* Journal of Chromatography B, 2017. **1057**: p. 32-39.
197. Hamed, S.M., et al., *Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology.* Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2018. **7**(1): p. 104-110.
198. Knowles, A., *Recent developments of safer formulations of agrochemicals.* The Environmentalist, 2008. **28**(1): p. 35-44.
199. Mulqueen, P., *Recent advances in agrochemical formulation.* Advances in colloid and interface science, 2003. **106**(1-3): p. 83-107.
200. Sarkar, G., et al., *Combination of different marine algal extracts as biostimulant and biofungicide.* Journal of Plant Nutrition, 2018. **41**(9): p. 1163-1171.
201. Selvam, G.G. and K. Sivakumar, *Effect of foliar spray from seaweed liquid fertilizer of Ulva reticulata (Forsk.) on Vigna mungo L. and their elemental composition using SEM–energy dispersive spectroscopic analysis.* Asian Pacific Journal of Reproduction, 2013. **2**(2): p. 119-125.
202. Gross, L., M. Kirschbaum, and R. Pearcy, *A dynamic model of photosynthesis in varying light taking account of stomatal conductance, C3-cycle intermediates, photorespiration and Rubisco activation.* Plant, cell & environment, 1991. **14**(9): p. 881-893.