



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES POPULATIONS ORGANISMES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master en science de la nature et de la vie

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biodiversité et Physiologie Végétale

Thème :

**Effet des biostimulateurs issus
des algues vertes sur les
plantes**

Présenté par :

ALILI Hadia

KERMICHE Hind

Soutenu devant le jury :

Président : Mr. GUEDIOURA. A

MCB.

Blida 1

Examineur : Mme BENSALAH

MAA.

Blida 1

Promotrice : M^{me} METIDJI H.

MCB.

Blida 1

Co-Promotrice : M^{me} KETFI S.

Ingénieure principale. Blida 1

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

*On tient à exprimer nos profond respect et remerciements à **Mr GUEDIOURA A** Maître de Conférence classe B de l'université de Blida 1 d'avoir accepté de présider notre soutenance.*

*On tient également nos remerciements à Mme **BENSALAH L.** Maître Assistante classe A de l'université de Blida 1 pour l'honneur qu'il nous a fait en accepter de lire, corriger et examiner ce mémoire.*

*Enfin nous tenons à remercier également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à mon encadreur Mme **METIDJI H.** pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'elle m'a accordé pour mon encadrement, sa compétence, son encadrement ont toujours suscité mon profond respect.*

*Nous remercions également notre co-promotrice Mme **KETFI** Sabrina pour avoir fourni les moyens et son aide au laboratoire.*

Dédicace

A mes très chers parents, aucune dédicace ne saurait témoigner de mon Affection et de ma reconnaissance éternelle pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon éducation, mes études et mon bien être.

Mon mari Mohamed lamine

Mes chers frères et sœurs

A toutes mes chères amies

Mon binôme Hind

A tous ceux qui me sont très chers et que ma réussite leur tient à cœur .

Hadia

Dédicace

A mes très chers parents, aucune dédicace ne saurait témoigner de mon Affection et de ma reconnaissance éternelle pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon éducation, mes études et mon bien être.

Mon mari karim

Mon frère Ali et mes sœurs Malek et Meriem,

A toutes mes chères amies

Mon binôme Hadia

A tous ceux qui me sont très chers et que ma réussite leur tient à cœur

Hind

Avant propres

Ce travail a été accompli sans aspect pratique en raison des circonstances exceptionnelles de cette année Covid-19.

Le sujet original est basé sur l'Effet des biostimulateurs issus des algues vertes sur les plantes.

La première étape réalisée est la récolte et identification de l'algue. La récolte de l'algue a été effectuée à la plage d'Ain Tagourait (wilaya de Tipaza). Alors que l'identification macroscopique et microscopique au niveau du laboratoire.

La deuxième étape était le séchage et extraction de principe actif. Après le séchage à l'ombre, la matière algale est réduite en poudre. Cette dernière est mise en macération afin d'extraire les métabolites secondaires qui ont été utilisé comme biostimulateur sur les graines de Radis. Et la dernière partie c'est le test de germination. Trois concentrations ont été choisi pour le test avec le témoin. Chaque test est répété trois fois. Après une semaine de début de travail, nous avons arrêté à cause de Covid-19

Résumé

Les travaux de recherche sur les produits biostimulants se multiplient ces dernières années car ils sont considérés en tant qu'une opportunité commerciale très attractive pour les agriculteurs en améliorant les performances naturelles des plantes, notamment les extraits des algues qui jouent un rôle clé dans ce développement. Cette étude est une collecte de certains résultats obtenus par des chercheurs sur l'effet des biostimulants issus des algues vertes sur les plantes. Ils sont largement connus comme des substances ayant la fonction d'améliorer la productivité des plantes et de stimuler leurs croissances. En plus, elles atténuent le stress abiotique en améliorant la tolérance aux stress hydrique, salin et au froid. Une augmentation du niveau de pigment surtout la chlorophylle, avec une protection trois fois plus grande contre les dommages est enregistrée. Et enfin, elles améliorent la défense des plantes contre les agents pathogènes grâce aux stimulateurs des défenses des plantes.

Mots clés : Biostimulant, algue vertes, extrait, croissance, plantes.

Abstract:

Research on biostimulant products has increased in recent years as they are seen as a very attractive business opportunity for farmers by improving the natural performance of plants, in particular the extracts of algae which play a key role in this development. This study is a collection of some of the results obtained by researchers on the effect of biostimulants from green algae on plants. They are widely known as substances that improve plant productivity and stimulate plant growth. In addition, they reduce abiotic stress by improving tolerance to water, saline and cold stress. An increase in the level of pigment especially chlorophyll, with three times greater protection against damage is recorded. And finally, they improve the defense of plants against pathogens thanks to the stimulators of plant defences.

Keywords: Biostimulant, green algae, extract, growth, plants.

الملخص

البحوث على المنتجات الحيوية قد تزايدت في السنوات الأخيرة كما ينظر إليها على أنها فرصة عمل جذابة للغاية للمزارعين، من خلال تحسين الأداء الطبيعي للنباتات، ويشمل ذلك مستخلصات الطحالب التي تلعب دوراً أساسياً في هذا التطور. هذه الدراسة هي جمع لبعض النتائج التي حصل عليها الباحثون عن تأثير المواد الحيوية التي تحتوي على مواد من الطحالب الخضراء على النباتات.

وهي معروفة على نطاق واسع بالمواد التي تعمل على تحسين إنتاجية النباتات وتحفيز نمو النبات. بالإضافة إلى ذلك، تقلل هذه العوامل من الإجهاد غير الحيوي عن طريق تحسين القدرة على تحمل الماء والملح والضغط البارد. كما تم تسجيل زيادة في مستوى الصبغ وخاصة الكلوروفيل، مع زيادة الحماية من التلف بمقدار ثلاثة أضعاف. وأخيراً، تعمل هذه العوامل على تحسين سبل الدفاع عن النباتات ضد مسببات الأمراض بفضل محفزات الدفاعات النباتية.

الكلمات الرئيسية : محفز حيوي ، الطحالب ، الخضراء ،النمو، النباتات.

Liste des figures

Figure 1 :	Image sur la répartition des algues en général.....	07
Figure 2:	Schéma de cycle de reproduction sexuée et asexuée d'une algue verte.....	10
Figure 3:	Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur.....	15
Figure 4 :	La localisation géographique du site d'échantillonnage suisse	16
Figure 5:	Effets des bactéries, de la levure, de l'extrait d'algue et de l'acide humique sur les pigments photosynthétiques du champ Vicia faba CV. Giza 3 haricots.....	30
Figure 6:	Effet bénéfique des extraits d'algues sous stress abiotique.....	32
Figure 7:	Illustration conceptuelle mettant en évidence l'effet de l'extrait d'algues sur la régulation ascendante et descendante de certains gènes clés en réponse au stress abiotique.....	33
Figure 8:	Illustration conceptuelle mettant en évidence les mécanismes d'action plausibles de l'extrait d'algues.....	36

Liste du tableau

Tableau 1 : Effets de l'extrait d'algue sur certains paramètres de croissance du champ <i>Vicia faba CV.Giza 3</i> haricots.....	26
Tableau 2 : Effets de l'extrait d'algue sur la concentration des nutriments du champ <i>Vicia faba CV.Giza 3</i> haricots.....	28
Tableau 3 : Effet des extraits d'algues sur l'absorption et la translocation des éléments nutritifs des plantes	28

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Algues	
I. Définition des algues marines.....	4
II. Critères de classification des algues.....	4
III. Classification des algues marines.....	4
1. Algues bleus : cyanobactéries.....	4
2. Algues vertes : Chlorophycées.....	5
3. Algues brunes : Phéophycées.....	5
4. Algues rouges : Rhodophycées.....	5
IV. Composition des algues marines.....	5
V. Répartition géographique des algues marines.....	6
VI. Utilisation des algues marines.....	7
VII. Algues vertes :(Chlorophycées).....	8
VII.1. Composition chimiques.....	9
VII.2. Cycle de reproduction.....	9
Chapitre II : Biostimulateurs	
II. 1. Définition.....	12
II. 2. Fonctionnement de biostimulants.....	12
II. 3. Mode d'action de biostimulants.....	12

II. 4. Modes d'utilisation des biostimulants.....	16
Chapitre III : Matériel et méthodes	
I. Matériel	18
I.1. Choix de site du prélèvement	18
I.2. Matériels biologique	19
II. Méthodes	19
II.1. Récolte des algues	19
II.2. Identification des espèces.....	19
II.3. Préparation des extraits (Extraction méthanolique).....	19
II.4. Germination des graines de Radis.....	20
II.5. Acclimatation.....	21
II.6. Dosage biochimique.....	21
II.6.1. Teneur en chlorophylles.....	21
II.6.2. Dosage des glucides.....	22
II.6.3. Dosage des protéines.....	22
II.6.4. Dosage des lipides.....	23
Chapitre IV: Résultats et discussion	
I. Paramètres de croissance.....	25
II. Variation de teneur en oligo-éléments	26
III. Teneur en pigments.....	29
IV. Résistances au stress.....	30
IV.1. Résistances au stress abiotique.....	30
IV.2. Résistances au stress biotique.....	34
V. Résistances aux maladies.....	36
V.1. Activité antibactérienne.....	36
V.2. Activité antifongique.....	37
V.3. Activité antivirale.....	39
V.4. Activité anti nématode.....	40

V.5. Activité bioinsecticide	41
Conclusion	43
Référence	45

Introduction

Introduction :

L'utilisation des algues comme engrais est très fréquente depuis l'antiquité en raison de nombreux avantages pour les cultures et les sols. Les algues présentent les effets de biostimulants prévus en fonction de leur teneur en polysaccharides complexes, en acides gras, en phénoliques, en vitamines et en phytohormones (**Battacharyya et al., 2015; Rengasamy et al., 2016**). Depuis le milieu du XXe siècle, l'utilisation des algues comme biostimulants reçoit une attention particulière dans l'agriculture moderne (**Battacharyya et al., 2015; Metting et al., 1990 ; McHugh, 2003**).

Les biostimulants sont des produits qui, lorsqu'ils sont appliqués à de faibles doses sur les semences, les cultures ou le sol, peuvent réguler et améliorer les processus physiologiques de la culture (**Zhang et al., 1997**). Les biostimulants agissent sur la physiologie des plantes par différentes voies, améliorant la croissance des cultures, les rendements, la qualité, l'absorption des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques et la durée de conservation des produits récoltés (**Dujardin et al., 2015 ;Yakhi et al.,2017**).

L'Algérie qui présente un littoral qui dépasse les 1200 km est marquée par une grande richesse de la flore et la faune marine. La flore algale présente une richesse très importante qui constitue une ceinture presque continue le long de la côte. Cependant, ces sources naturelles sont presque totalement non exploitées.

Dans ce contexte et en raison que les engrais chimiques sont administrés en vue d'augmenter le rendement des cultures mais ils sont responsables d'une pollution massive des sols, et surtout elles pourraient être la cause de nombreuses maladies soit pour la plante ou l'homme. (**Kawalekar et al., 2013**). Le présent travail, a pour objectif une synthèse bibliographique sur les biostimulants issus des algues vertes et leurs effets sur les plantes en termes de croissance, de composants et physiologie.

Nous réaliserons une synthèse bibliographique des travaux antérieurs que nous présenterons au sein de ce travail, divisée en trois chapitres : le premier chapitre concerne les recherches bibliographiques sur les algues en général et les chlorophycées (les algues vertes) en particulier. Le deuxième chapitre est consacré aux biostimulateurs. La dernière partie illustre une collecte

des résultats de quelques travaux de recherche récents qui font le même objet que notre mémoire.

Chapitre 1 : ALGUES

I. Définition des algues :

Les algues sont des eucaryotes qui font partie des cryptogames. Ce sont des thallophytes donc des plantes sans organes, au sens biologique du terme. Elles sont photosynthétiques, leurs habitats sont variés mais leur cycle de reproduction nécessite absolument de l'eau. Leur morphologie est très diversifiée et elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires (**Konig, 2015**).

Ainsi, du point de vue systématique, les algues sont réparties en onze groupes dont dix sont des eucaryotes qui sont eux-mêmes répartis en six ou sept grandes lignées évolutives (**Konig, 2015**). Mais la classification la plus courante et simplifiée est une classification rudimentaire en 4 groupes (**De Reviere, 2002**). Elles comprennent 20 000 à 30 000 espèces dans le monde, soit 18 % du règne végétal (**Ramade, 2009**).

II. Critères de classification des algues :

Actuellement, les bases de la classification des grandes lignées d'algues sont (**De Reviere, 2002**)

- Les pigments.
- Les glucanes de réserve.
- Le nombre de membranes plastidiales.
- La disposition des thylacoïdes.
- La forme des crêtes mitochondriales
- L'appareil flagellaire.
- L'appareil photorécepteur.
- Les grands types de structures péri-cellulaires.

III. Classification des différents groupes d'algues :

III.1. Algues bleues :

Les cyanobactéries ou les algues bleues sont constituées des colonies de taille, de forme et de couleur très variables. Comme les algues rouges, elles possèdent des pigments surnuméraires bleus (Phycocyanines) et rouges (Phycoérythrine) qui masquent la chlorophylle a. En dépit de leur nom ancien « algue bleue », elles sont rarement bleues mais plus souvent rouges, vertes avec des reflets bleutés, violets, bruns, jaunes ou orangés. La plupart d'entre elles ont

une consistance gélatineuse voire gluante en raison des mucilages qu'elles sécrètent (**Garon-Lardiere, 2004**).

III.2. Algues vertes (Chlorophycées) :

Elles ont des formes très variées, uni-ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquels sont associés des carotènes et des xanthophylles (**Konig, 2015**). La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures. Elles appartiennent au groupe des organismes verts, les chlorobionta embranchement des Chlorophycophytes (**Davis et al. 2003**)

III.3. Algues brunes (Phéophycées) :

Les phéophytes ou algues brunes, présentent de la chlorophylle a et c, et d'autres pigments. Elles sont en général marines. C'est un vaste ensemble contenant une dizaine de lignées, dont les diatomées, les chrysophycées et les xanthophycées (**Davis et al. 2003**).

III.4. Algues rouges (Rhodophycées) :

Elles présentent de la chlorophylle a seulement et des pigments comme les phycoérythrine, phycocyanine, β -carotène et plusieurs xanthophylles. On note aussi la présence d'un amidon extraplastidial appelé rhodamylon (**Konig, 2015**).

VI. Composition des algues marines :

Les algues marines ont une grande valeur biologique due à leurs richesses en :

- Fibres : de 33 à 61% (**Lahaye, 1991**).
- Calcium : les algues sont une source abondante de ce minéral qui peut être jusqu'à 34% de la matière sèche (**Frestedt et al., 2008**).
- Vitamines : surtout la vitamine B12 à des teneurs assez importantes contrairement aux plantes terrestres (**Watanabe et al., 1999**).
- Iode : la teneur en iode des algues brunes est exceptionnelle et peut atteindre jusqu'à 14296 mg/kg de matière sèche
- Protéines : Les phycobiliprotéines sont les principaux pigments des algues rouges (phycoérythrine) et bleues (phycocyanine), possèdent des propriétés antioxydantes utilisées dans les traitements de certains cancers et maladies inflammatoires liées au stress oxydatif (**González et al., 1999**).

- Polyphénols : appelés phlorotannins chez les algues, ils sont présents surtout dans les phéophycées et montrent une activité antioxydante dans les tests *in vitro* (**Shibata et al., 2008**).

V. Répartition des algues :

La répartition des algues est le résultat de la compétition qui s'exerce depuis 500 à 600 millions d'années entre les différents groupes. Deux facteurs jouent un rôle primordial dans cette répartition :

- ✓ l'eau, et plus précisément la durée de l'absence d'eau due au mouvement des marées,
- ✓ la quantité et la qualité (longueurs d'onde des radiations) de la lumière disponible.

En effet, l'eau de mer se comporte comme un filtre qui absorbe progressivement les radiations lumineuses dans l'ordre décroissant de leurs longueurs d'onde.

Les algues étant données photosynthétiques, elles sont dépendantes de la présence de la lumière. De plus, elles nécessitent d'être fixées sur un substrat. La texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont par conséquent, une importance sur la répartition spatiale des différents groupes des espèces (**Occhipinti Ambrogi, 2000; Ribera Siguan, 2002**)

L'adaptation de la nature des pigments assimilateurs a permis aux divers groupes d'algues la colonisation des différents niveaux du littoral marin (**Anonyme, 2017, figure 5**).

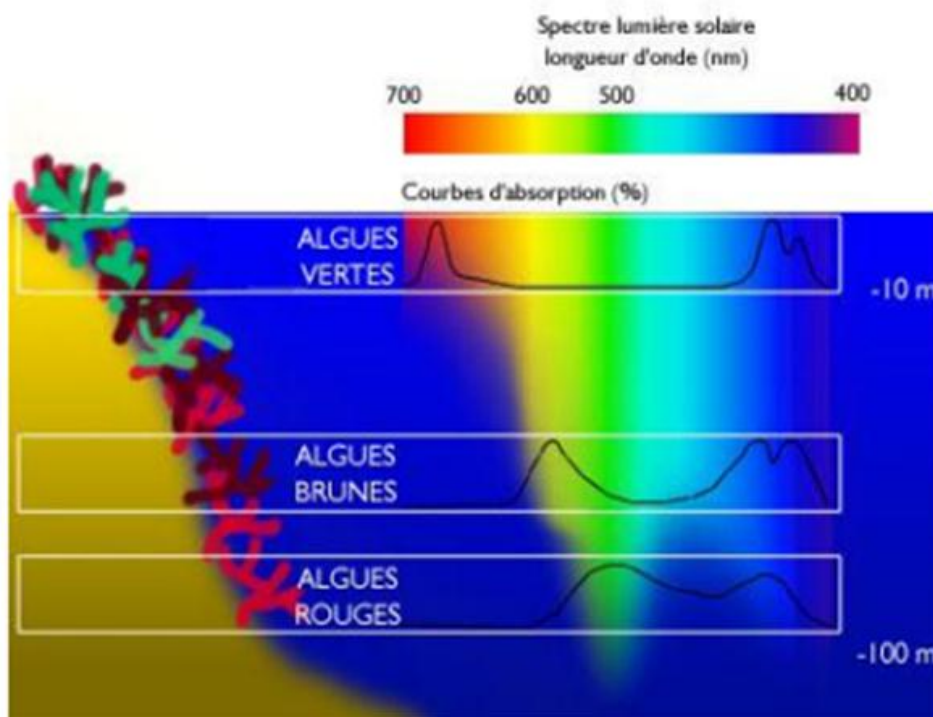


Figure 1 : Image sur la répartition des algues en général (**anonyme, 2017**)

IV. Utilisations des algues :

Les algues sont utilisées depuis la nuit des temps puisque l'on parle de certaines utilisations effectuées par les Egyptiens il y a plus de 3 500 ans. Actuellement les principales utilisations sont industrielles qui se font autour des substances gélifiantes. On utilise les phycocolloïdes extraits des algues telles que les alginates (algues brunes), les carraghénanes et l'agar (algues rouges) pour leur extraordinaire pouvoir gélifiant (**Goulard, 2017**).

Industrie textile : les alginates sont employés depuis le milieu des années 60 dans l'impression des tissus, pour former une pellicule brillante et protéger le tissu des rayons lumineux (**Goulard, 2017**).

Agriculture : les algues sont principalement utilisées comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliments pour le bétail (**Chouikhi, 2013**). Elles permettent de retenir l'eau dans le sol, d'améliorer sa texture, de maintenir et d'enrichir le sol par des traces de métaux, de fournir des éléments essentiels aux plantes, d'améliorer la germination, d'augmenter le rendement et d'assurer une défense contre certains pathogènes (**Pérez, 1997, Jolivet et al., 1991 ; Verkleij, 1992**). C'est le domaine d'utilisation

principal des phycocolloïdes : pouvoir gélifiant avec les produits laitiers, émulsionnant, stabilisant, épaississant (**Goulard, 2017**)

Cosmétique et thalassothérapie l'algothérapie : c'est l'utilisation des algues marines sous forme de bain d'algues ou d'enveloppements à cause de ses propriétés vivifiantes, hydratantes et anti-stress. Les extraits d'algues présentent également des propriétés anti-oxydantes (**Goulard, 2017**).

En médecine : de nombreuses spécialités pharmaceutiques intègrent dans leur formulation des colloïdes algaux comme excipients. L'usage des algues en tant que principe actif est plus restreint. Les algues représentent une source de substances polymériques actives, mise en évidence par de nombreux travaux de recherche. Les potentiels thérapeutiques de certaines de ces substances sont extrêmement prometteurs notamment comme agents antimicrobiens, agents antiviraux et pour leurs activités envers certaines pathologies ou même ces potentialités anticancéreuses. (**Nakajima, 2009 ; Boisson-Vidal, 2007**).

Alimentation humaine : Ils sont consommés en Asie depuis l'aube de l'humanité. En Occident, elles ont été récemment approuvées pour une consommation humaine (comme légumes et condiments), ouvrant ainsi de nouvelles opportunités pour l'industrie agro-alimentaire (**Burtin, 2003 ; Zitouni, 2015**).

Biotechnologie : Le processus biotechnologique des algues marines a trois éléments :

- ✓ La cellule et le développement de culture cellulaire,
- ✓ La conception de photobioréacteur
- ✓ L'identification des stratégies pour obtenir la biosynthèse de métabolites secondaires (synthèse biomimétique) (**Rorrer et Cheney, 2004 ; Fleurence, 1999**).

VIII. Algues vertes (Chlorophycées)

Les Chlorophycées ou algues vertes constituent la classe la plus importante par le nombre. Environ 7.000 espèces sont actuellement recensées dont un millier qui vit en milieu marin. En raison de leur équipement photosynthétique, plusieurs espèces de Chlorophycées vivent à une profondeur inférieure à 5 mètres. Les Chlorophycées ou algues vertes, jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux. Elles sont de formes très variées, unis ou pluricellulaires. La plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certaines espèces peuvent également se développer sur terre (**Pérez, 1997**).

VII. 1 Composition chimique :

La composition de base des algues vertes peut varier d'une espèce à l'autre, mais en moyenne elles présentent à l'état frais un taux d'humidité très élevé de l'ordre 90% d'eau. A l'état desséché on met en évidence : **(Leclerc et al., 2016 ; Zdanevitch et al., 2010)**.

- ✓ une large part de polysaccharides (entre 40 et 70% selon les espèces, de la masse sèche (MS))
- ✓ des matières minérales (entre 14 et 30 % MS) comprenant :
 - teneur importante en sel (dont chlorure de sodium) allant de 0,9 à 5,9 %
 - richesse en calcium (entre 0,9 et 5,6 %), en magnésium (de 2 à 3,7 %), ainsi qu'en potassium (5 %),
 - teneur en soufre non négligeable (2,8 à 10,3 %)
 - surtout une quantité importante d'iode, dont la concentration peut être 60.000 fois plus importante que dans l'eau de mer.
- ✓ un faible part de lipides (entre 2 et 4 % MS)
- ✓ Des protéines et des vitamines (entre 20 et 35% MS) avec notamment l'ensemble des acides aminés essentiels **(Leclerc et al., 2016 ; Zdanevitch et al., 2010)**.

VII. 2 Cycle de reproduction :

L'importante capacité de prolifération des algues vertes provient de leur faculté à se reproduire rapidement, et selon deux méthodes différentes. La première est la reproduction sexuée qui est biannuelle et courte du printemps à l'automne **(Alström-Rapaport , 2010)** . La deuxième méthode, peu courante chez les autres types d'algues, s'effectue par division ou fragmentation du thalle pouvant se faire sous la forme fixe ou dérivante, et se produisant toute l'année **(Gayral , 1962 ; Ifremer et al , 1994)**.

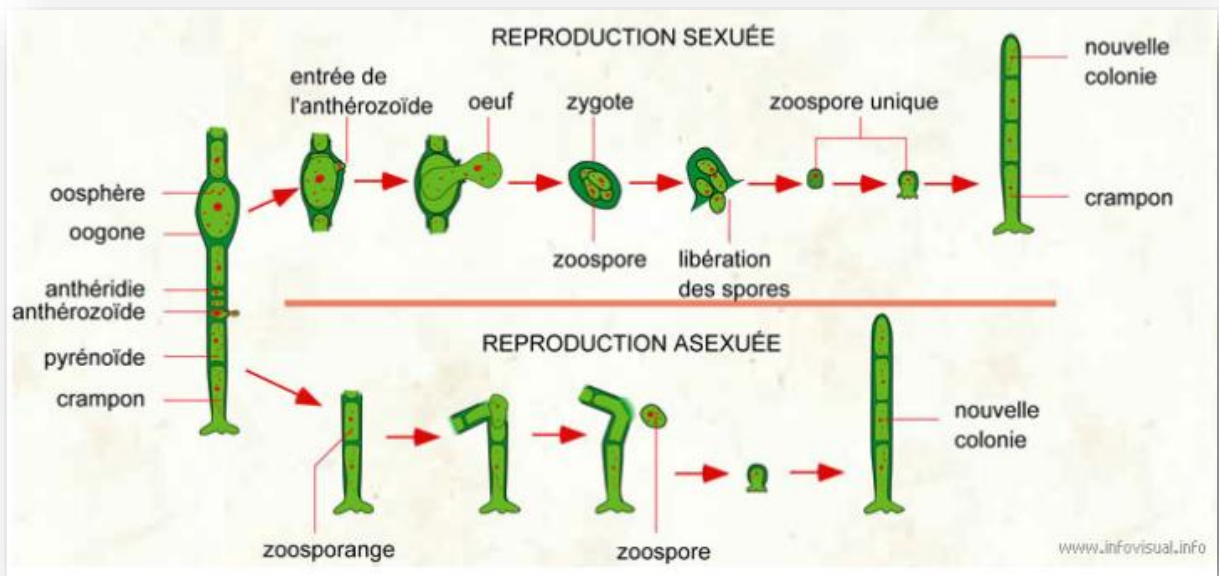


Figure 2 : cycle de reproduction sexuée et asexuée d'une algue verte (**site1**)

Chapitre 2 : BIOSTIMULATEURS

I. Définition :

Dans la littérature scientifique, le mot biostimulant a été utilisé pour la première fois par **Kauffman et al., (2007)**. Depuis, des réflexions ont été menées pour mieux définir ce nouveau concept polysémique, qui cible la plante, le sol et/ou les matières fertilisantes et les supports de culture pour favoriser la croissance et le développement des plantes. Selon **EBIC, (2014)** : « Les biostimulants contiennent des substances ou des microorganismes qui ont pour fonction de stimuler les processus naturels pour accroître l'absorption et l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques et la qualité des récoltes lorsqu'ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère (racines), indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant ». Afin d'intégrer divers aspects tels que l'origine naturelle des produits sources, la complexité du mélange des constituants dans le produit fini, la non connaissance des principes actifs, et la possibilité d'effets synergiques non connus entre les constituants,

Yakhin et al., (2017) proposent la nouvelle définition suivante : « Un biostimulant est un produit d'origine biologique qui améliore la productivité des plantes consécutives à des propriétés émergentes provoquées par les complexes de constituants, et non comme seule conséquence de la présence de nutriments essentiels, de régulateurs de croissance des plantes ou de composés protecteurs des plantes, connus ».

II. Fonctionnement de biostimulants :

Ces produits peuvent agir par différents mécanismes en stimulant la physiologie de la plante ou la graine, en modulant des activités enzymatiques ou des voies hormonales, en induisant la production de métabolites. Certains produits limitent la transpiration des feuilles. D'autres agissent au niveau du sol, sur la dégradation de la matière organique, la régulation de la microflore ou la structure du sol (**Calvo et al., 2014 ; Nardi et al., 2002**)

La revendication de ces produits est variée, de la stimulation de la germination des graines à l'amélioration de la qualité de la production ou la résistance aux stress abiotiques, et dépend de leur composition (**Yakhin et al., 2017 ; Faessel et al., 2014**).

III. Mode d'action de biostimulants :

III.1. Action des extraits d'algues sur les plantes cultivées :

Les algues ont été initialement employées entières, sous forme d'amendement organique. Mais actuellement, se sont de plus en plus utilisées sous forme d'extraits liquides. Divers effets

phytoactifs et bénéfiques des extraits d'algues marines ont pu être mis en évidence, tels que l'amélioration du taux de germination, l'augmentation des rendements, l'augmentation de la résistance au froid et à certaines maladies, l'intensification de l'absorption des éléments minéraux du sol ou encore la durée de conservation des fruits (**Jolivet et al., 1991**).

Bien que le mode d'action des extraits d'algues ne soit pas entièrement élucidé. Quelle que soit leur origine, ou leur mode de préparation, ces extraits sont très complexes et renferment de nombreux éléments minéraux et constituants organiques (**Bruneton, 1993 ; Xing et Rajashekar, 2001**). Les effets observés suite à l'application de ces produits proviendraient essentiellement des phytohormones et des polysaccharides. Les phytohormones présentes en faibles quantités (principalement cytokinines) agiraient au niveau du développement des organes, tandis que les polysaccharides seraient impliqués dans la stimulation des réactions de défenses naturelles des plantes. La présence de mannitol et d'acide alginique contribuerait également à l'absorption et à la translocation des éléments minéraux grâce à leur propriété chélatante.

Quant aux éléments minéraux présents dans les extraits d'algues, ils ne contribueraient que pour une portion insignifiante aux besoins de la plante traitée, vu la faible quantité de produit appliquée (**Jolivet et al., 1991**). Le déclenchement des modifications métaboliques au sein de la plante est expliqué, dans les conditions d'emploi préconisées, par la présence, au sein des extraits d'algues, de molécules signales reconnues par les plantes. Ces molécules signales, non toxiques par elles-mêmes, provoquent, sous conditions, une ou plusieurs réactions biochimiques qui modifient le métabolisme, les constituants et le comportement des plantes. Dans le cas de stress biotiques, les éliciteurs présents dans les extraits d'algues permettraient d'activer, séparément ou non, au moins trois types de chaînons métaboliques impliqués dans :

- La biosynthèse de petites molécules non peptidiques à activité antibiotique, telles que les composés phénoliques qui vont imprégner les pectines,
- La biosynthèse de peptides, protéines ou enzymes anti-microbiennes,
- La création de barrières cellulaires accroissant la résistance mécanique à la pénétration des agents pathogènes. On observe par exemple la formation de gel de pectate de calcium dans les espaces intercellulaires face à des attaques du tabac par *Phytophthora* (**Fardeau et Jonis, 2004**).

III.2. Amélioration de la germination des graines :

De nombreux exemples d'amélioration de la germination des graines par les extraits d'algues ont été décrits dans la littérature (**Button et Noyes, 1964; Bhosle et al., 1975; Rajeshwari et al., 1983; Venkataraman et al., 1993; Mohan et al., 1994; El-Sheekh et El-Saied, 2000; Sivasankari et al., 2006**). Ces derniers relèvent un pourcentage de germination supérieur lorsque des graines de *Vigna sinensis* sont semées sur un extrait d'algues vertes ou brunes (respectivement 98% et 100%), par rapport à un semis sur de l'eau (86%). Le plus fort taux de germination est observé pour des extraits concentrés à 20%. La germination est également favorisée lorsque les graines sont d'abord semées sur de l'eau pendant 24 heures, puis traitées avec les extraits d'algues, comparativement à un témoin eau.

III.3. Amélioration de la croissance des plantes et du rendement :

De nombreux avantages de l'utilisation d'extraits d'algues ont été signalés et ont permis d'augmenter le rendement des cultures, l'amélioration des structures racinaires, le développement des plantes (développement de la floraison et des feuilles) et l'établissement des fruits. Ils sont également en mesure d'améliorer la tolérance aux contraintes biotiques et abiotiques (**Arioli et al., 2015**). Auparavant, les cytokinines, les auxines et les polyamines étaient identifiées dans les extraits d'algues. Récemment, d'autres groupes de régulateurs de croissance des plantes tels que l'acide abscissique, de gibbérellines et de brassinosteroides ont été quantifiés et qui peuvent être responsables de l'amélioration de la croissance des plantes (**Stirk et al., 2014**). Des études ont montré que l'application des extraits d'algues par pulvérisation foliaire sur les plantes d'haricots, de tomate, de soja, de pois et de concombre entraîne une augmentation du rendement en grains et une augmentation des caractéristiques de croissance (**Nawar et Ibraheim, 2014 ; Nelson & van Staden, 1984b ; Beckett et Van Staden, 1989 ; Featonby-Smith et Van Staden, 1987 ; Abetz, 1980; Mooney et Van Staden, 1986; Jolivet et al., 1991; Verkleij, 1992**).

III.4. Amélioration de la qualité des produits récoltés :

Des pulvérisations foliaires répétées de substances marines sur des espèces fruitières ou maraichères avant la récolte se traduisent par un affermissement des fruits ou des légumes, qui se conservent alors d'autant mieux (**Povolny, 1976**). La pureté du jus et une augmentation de la production de sucre chez la betterave à sucre sont notamment

améliorées en réponse à un traitement algal (Yvin et al., 1989 ; Skelton & Senn, 1969; Povolny, 1966, 1969, 1972, 1974, 1977).

III.5. Amélioration de la résistance au stress :

Réduction ou amélioration des effets négatifs des facteurs de stress abiotiques (sécheresse, chaleur, froid, salinité, oxydation, stress mécaniques ou chimiques) (Yakhin et al., 2017 ; Faessel et al., 2014). Les mécanismes impliqués dans la mise en place d'une résistance induite porteraient sur 5 étapes clés que sont :

1. La reconnaissance des principes actifs sur des récepteurs spécifiques permettant la pénétration des molécules actives dans les cellules et tissus
2. La translocation et la transformation dans les plantes ;
3. L'expression de gènes de défense, de signaux et de régulation du statut hormonal permettant une résistance locale induite
4. L'activation du processus métabolique
5. La transmission de signaux et l'intégration de la résistance induite à la plante entière (Figure).

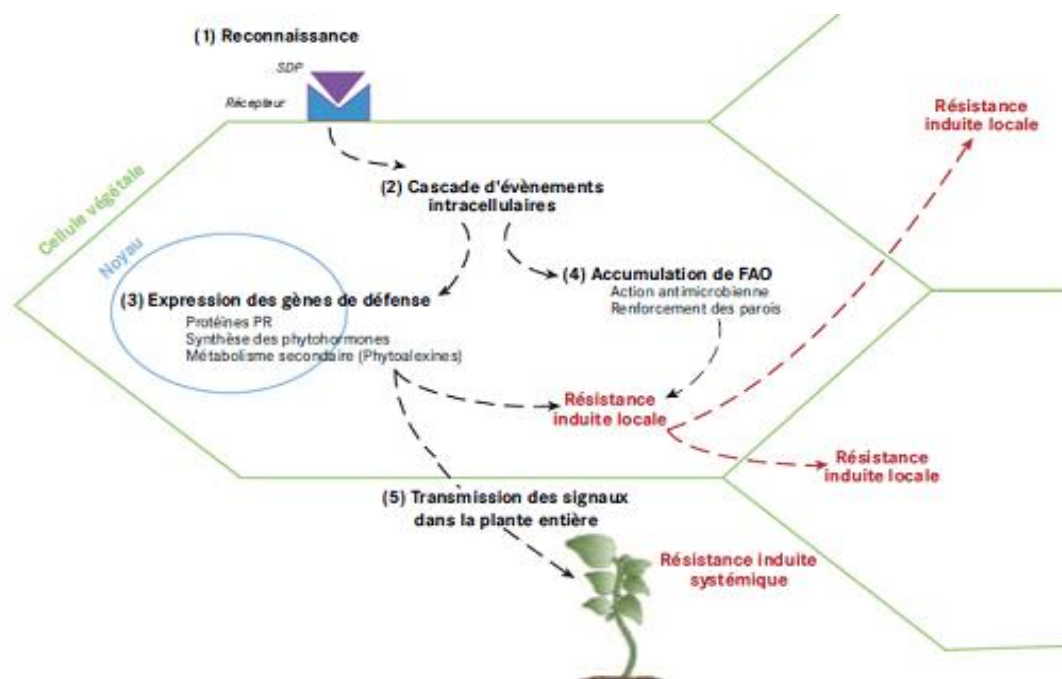


Figure 3 : Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur (Faessel et al., 2014)

IV. Modes d'utilisation des biostimulants:

De manière générale, il est important que l'utilisateur respecte les doses d'apport conseillées. En effet, l'efficacité peut fortement varier selon la dose apportée. Le fait d'apporter une dose plus importante ne va d'ailleurs pas forcément améliorer l'efficacité du produit de stimulation. Pour certains biostimulants, comme les extraits d'algues par exemple, il a été montré qu'une dose trop forte pouvait avoir un effet phytotoxique, baisser les rendements ou encore inhiber l'activité microbienne des sols (**Sivasangari et al., 2011 ; Ferreira et Lourens, 2002 ; Chen et al., 2002**).

Par ailleurs, il est souvent plus aisé de bien appliquer le produit sur l'ensemble de la surface foliaire, lors d'essais en laboratoire, sur un faible nombre de plantes, par rapport à l'utilisation en plein champ. Cette inégalité d'application pourrait expliquer en partie les différences d'efficacité observées en plein champ. Il est donc important de considérer que la dose apportée réellement à chaque plante peut être plus hétérogène lorsqu'on passe au champ. Ces paramètres devraient être pris en compte lors de l'évaluation de l'efficacité d'un produit et lors de l'évaluation de la dose d'apport recommandée en conditions réelles (**Centre d'Études et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), 2014**).

Chapitre 3 : MATERIEL ET METHODES

Le présent travail avait pour but de connaître l'effet de l'extrait méthanolique d'une algue verte *Ulva lactuca* sur la croissance des graines de Radis. La réalisation de l'expérimentation a été faite au niveau du laboratoire des sciences alimentaires, université de Blida1 durant 2 mois (février et mars 2020).

I. Matériel

I.1. Choix de site du prélèvement :

Le choix de site a été effectué selon les critères suivants :

- Facilité d'accès.
- Stock important d'algues.
- Diversification des espèces.

La position géographique a été déterminée à l'aide d'un GPS : 36° 36' 30" Nord, 2° 37' 15" Est.



Figure 4: La localisation géographique du site d'échantillonnage suisse (Ait Tagourait) (Google Earth, 2020).

I.2. Matériels biologique

La matière végétale utilisée dans la présente étude est :

- ✓ l'algue verte Chlorophycée *Ulva lactuca* récoltée
- ✓ les graines de Radis (*Raphanus sativus* vr. *radicicula*) produites par RACI sementi s.r. fabriquées en 2018 et expirera en 2022.

II. Méthodes

II.1. Récolte des algues

Le prélèvement a été effectué la fin de janvier de l'année 2020 à la plage d'Ait Tagourait en marchant sur le récif. Les algues ont été fraîchement prélevées à la main et conservés dans des sacs en plastique avec un peu d'eau de mer.

A chaque sac de récolte est attribuée la date de récolte puis transportée au laboratoire pour le traitement et l'identification.

Les algues prélevées sont transportées au laboratoire où elles sont lavées à l'eau douce, et étalées sur papier absorbant. Le séchage se fera à l'air libre et à l'ombre à une température ambiante pendant deux semaines.

Une partie d'échantillon est conservée dans le formol à 4% pour l'identification.

II.2. Identification des espèces

Les échantillons doivent être fraîchement prélevés sur le terrain avec leur base, celle-ci étant souvent un caractère fondamental de reconnaissance. Nous avons procédé à une :
Etude macroscopique: Les différentes parties ont été observés à la loupe binoculaire.
Etude microscopique (Etude Histologique) : des coupes transversales et longitudinales ont été réalisés au niveau des thalles à l'aide d'une lame puis observés au microscope photonique. L'espèce étudiée est photographié dans chaque étape de détermination

II.3. Préparation des extraits (Extraction méthanologique)

Le méthanol est recommandé et fréquemment employé pour l'extraction des composés phénoliques (Falleh *et al.*, 2008). Le méthanol aqueux 70% est deux fois plus efficace que le méthanol pur (Vuorela, 2005). 20g de poudre de l'algue séchée a été mis en macération à l'abri

de la lumière dans un mélange méthanol/eau (70/30%) pendant 48h. Cette macération a été effectuée à chaud (l'eau utilisée est bouillante). La même opération est refaite 3 fois avec le même matériel végétal, afin d'extraire le maximum de métabolites secondaires.

Après chaque macération le mélange est filtré sur papier wattman (N°111 et diamètre 15 cm), les trois filtrats sont récupérés, mélangés et évaporés à 40°C à sec dans un évaporateur rotatif résidu obtenu est soit :

- Repris dans un volume de méthanol dans le but d'obtenir un extrait avec une concentration de 10 mg /ml.

NB : La concentration a été fixée par une pesée de ballon avant et après vaporisation.

II.4. Germination des graines de Radis

Notre expérience est réalisée selon le protocole de **Turker et Camper, (2002)**. Elle est divisée en deux parties

Partie 1 :

Pour cette partie, on prépare des boîtes de Pétri contenant de papier filtre stérile imbibé avec 5 ml de l'eau distillée où 100 graines de Radis sont répartis. Les boîtes sont incubées à une température ambiante. Le taux de germination est enregistré quotidiennement durant 7 jours

Partie 2

Quatre concentrations d'extrait d'algue ont été utilisées avec trois répétitions de 20 graines par boîte de Pétri avec un contrôle sans extrait (eau seule).

Les concentrations ont été les suivantes :

- ✓ T1 contrôle sans extrait, les semences inoculées avec 5 ml de l'eau distillée.
- ✓ C1 semences inoculées avec 5 ml de l'extrait dans chaque boîte avec une concentration de 10 mg/ml.
- ✓ C2 semences inoculées avec 5 ml de l'extrait dans chaque boîte avec une concentration de 5 mg/ml.
- ✓ C3 semences inoculées avec 5 ml de l'extrait dans chaque boîte avec une concentration de 2,5 mg/ml.
- ✓ C4 semences inoculées avec avec 5 ml de l'extrait dans chaque boîte avec une concentration de 1 mg/ml.

Les boîtes de Pétri ont été incubées dans une faible lumière. La longueur des racines et des tiges est mesurée chaque 3 jours pendant les 15 jours d'incubation.

II.5. Acclimatation :

Il s'agit de la dernière étape qui consiste à acclimater progressivement les micro-plantules enracinées aux conditions externes.

Les pousses enracinées sont transplantées vers des gobelets contenant soit de la tourbe préalablement stérilisée à 120°C pendant 2 heures soit la tourbe avec la perlite.

II.6. Dosage biochimique :

Le dosage biochimique a été réalisé sur les plantules après 21 jours d'acclimatation lorsqu'elles dépassent une certaine longueur.

II.6.1. Teneur en chlorophylles :

les chlorophylles (Ch a, Chb, Chc) ont été dosées selon le protocole de **Francis et al., (1970)**.

L'extraction est réalisée par la méthode de macération à froid sur des feuilles découpées en petits morceaux et mises dans des tubes à essais fermes et couverts par papier aluminium pour éviter l'oxydation des chlorophylles par la lumière. Une quantité (0.1g) de feuilles est déposée dans un mélange de l'acétone (80%) et de l'éthanol (40%) à des volumes de 75 % et 25 % respectivement.

La lecture des densités optiques des solutions est réalisée après 48 heures par spectrophotomètre à trois longueurs d'ondes (645, 663 et 470) pour les chlorophylles Ch a, Ch b et Ch c respectivement. La détermination des teneurs des chlorophylles est calculée selon les formules suivantes :

$$\text{Ch a } (\mu\text{g/gMF}) = 12.7 \times \text{DO}(663) - 2.59 \times \text{DO}(645) \text{ V} / (1000 \times \text{W})$$

$$\text{Ch b } (\mu\text{g/gMF}) = 22.9 \times \text{DO}(645) - 4.68 \times \text{DO}(663) \text{ V} / (1000 \times \text{W})$$

$$\text{Ch c } (\mu\text{g/gMF}) = 1000 \text{ DO}(663) - [1.82 \text{ Cha} - 85.02 \text{ Chb}] / 100$$

Où:

V: volume de la solution extraite

W : poids de matière fraîche de l'échantillon

Ch : chlorophylle

DO : densité optique

II.6.2. Dosage des glucides

Le dosage des glucides est réalisé par la méthode colorimétrique avec le réactif de l'anthrone. Le dosage à l'anthrone mesure les fonctions carbonyles (C=O). Le protocole est basé sur la déshydratation intramoléculaire des oses, en milieu acide et chaud, qui donne naissance à des dérivés furfuraliques (5-hydroxyméthyl-furfural pour les hexoses). Ces derniers se condensent avec l'anthrone pour donner des produits colorés (vert pour les hexoses) dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des sucres (**Mottet, 2009**).

Mode opératoire

500µl des échantillons à analyser (10g de l'échantillon en poudre + 100 ml l'eau distillée) sont placés dans des tubes en verre, puis recouverts de 200µl de sulfate de sodium à 2%

Après centrifugation des tubes pour homogénéisation, 100µl de surnageant est transférée dans des nouveaux tubes. Ensuite, on ajoutant 2ml de solution anthrone (une solution acide d'anthrone-sulfurique à 2% : 12 ml d'anthrone sont dissous dans 5 ml d'acide sulfurique + 1ml d'eau distillée). Après l'agitation du mélange, les tubes sont chauffés à 100°C pendant 12min et transférés 2 min dans un bain de glace.

L'absorbance est mesurée à 625 nm contre un blanc. Le contenu de sucre est estimé par une courbe d'étalonnage en utilisant le glucose comme standard. Nous avons réalisé l'expérimentation en 3 répétitions successives.

II.6.3. Dosage des protéines

Le dosage des protéines par la méthode de Lowry rentre dans l'étude quantitative des protéines. Le dosage se fait à travers une gamme d'étalons, réalisé à l'aide d'une quantité connue de l'albumine de sérum bovin (SAB).

Mode opératoire

Dans des tubes à essai ajouter 800 µl de la solution Lowry finale à 250 µl de la solution à doser (10 mg de l'échantillon en poudre dans 100ml d'eau distillée). Agiter doucement et laisser incuber pendant 20 min. ensuite, ajouter 100 µl de Folin diluée, et après agitation, incuber les tubes pendant 1 h jusqu'à l'obtention d'une couleur bleue.

Lire la concentration en protéines à 560 nm. Nous avons réalisé l'expérimentation en 3 répétitions successives.

II.6.4. Dosage des lipides

Les lipides sont insolubles dans l'eau et très solubles dans les solvants organiques. **Frings et Dunn, (1970)** ont rapporté une méthode pratique de la détermination des lipides, basée sur la réaction sulfo-phospho-vanilline.

Mode opératoire

Après préparation des échantillons (10mg de l'échantillon en poudre + 100 ml de l'eau distillée) dans trois tubes à essai, on mélange 200µl de l'échantillon à analyser avec 750µl de Méthanol-chloroforme (1 : 2 CHCl₃/MeOH). Après, on additionne 250µl de chloroforme et puis 250µl d'eau distillée. Chaque étape est suivie par agitation sous vortex. Ensuite, une centrifugation pendant 5min et incubation durant une nuit sous hôte. 500 µl d'acide sulfurique sont ajoutés aux tubes qui sont chauffés par la suite à 100°C pendant 10 min puis transférés 2 min dans un bain de glace.

Enfin, 900µl de Phospho-Vanilline sont ajoutés sur 100µl de contenu de chaque tube à essai.

Les tubes sont couverts en aluminium, et agités 30 min jusqu'à changement de couleur. L'absorbance est mesurée à 624 nm contre un blanc, et la concentration en lipides est estimée par une courbe d'étalonnage en utilisant l'huile de Maïs à 0.1% comme standard. L'expérimentation a été répétée 3 fois successivement.

Chapitre 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Paramètres de croissance :

Un biostimulant est une substance organique lorsqu'elle est appliquée en petites quantités, améliore la croissance et le développement de la plante (FEMC, 2012). Des extraits de macroalgues ont été utilisés comme biostimulants agricoles (BA) (FEMC, 2012). Les BA comprennent diverses formulations de composés, de substances et d'autres produits, tels que des microorganismes, des oligo-éléments, des enzymes, des régulateurs de croissance végétale (GPR) et des extraits de macroalgues qui sont appliqués aux plantes ou aux sols pour organiser et améliorer les processus physiologiques de la culture, les rendant ainsi plus efficaces. L'utilisation de BA de macroalgues sur les plantes cultivées peut générer de nombreux avantages avec des effets signalés, notamment une amélioration de l'enracinement, une augmentation du rendement des cultures et des fruits, une augmentation de l'activité photosynthétique et de la résistance aux champignons, aux bactéries et aux virus (Sharma et al., 2014). Les BA agissent sur la physiologie de la plante par diverses voies pour améliorer la vigueur des cultures, les rendements, la qualité et l'après-récolte (FEMC, 2012). Il a été démontré que les ABs des macroalgues influent sur la respiration, la photosynthèse, la synthèse des acides nucléiques et l'absorption des ions (Crouch et Van Staden, 1993 ; Blunden et al., 1996; Rayorath et al., 2008a,b; Khan et al., 2009; Craigie, 2011).

Tableau 1 : Effets de l'extrait d'algue sur certains paramètres de croissance du champ *Vicia faba CV.Giza 3 haricots*. (Mohamed abbas, S. 2012)

Traitements	Longueur De la tige (cm)	Longueur de La racine (cm)	diamètre de la tige (mm)	Nombre de feuilles	Pois frais de racines (g)	Pois Sec des racines (g)	Poids frais des pousses (g)	Pois sec des pousses (g)
Contrôle	41.6 ± 1.65	19.80 ± 0.96	3.41 ± 0.41	15.20 ± 0.65	5.09 ± 0.41	0.38 ± 0.02	11.16 ± 0.36	0.89 ± 0.05
Extrait d'algue	42.4 ** ± 0.96	25.80** ± 0.76	4.52 ** ± 0.46	13.40** ± 0.81	5.12 ± 0.33	0.40** ± 0.01	15.84** ± 0.45	1.13** ± 0.04

*changement hautement significatif

Par conséquent, ces produits peuvent améliorer disponibilité de nutriments, capacité de rétention d'eau, augmentation des antioxydants, amélioration du métabolisme et augmentation de la production de chlorophylle chez les plantes (**Sanderson et al., 1987; Zhang, 1997; Khan et al., 2009**).

Les effets des extraits des algues sur les semis peuvent être dus aux les éléments nutritifs et les hormones de croissance qui ont augmenté la croissance des semis (**El-moniem et Abd-allah, 2008**).

Bien que les engrais fournissent clairement les nutriments nécessaires à la croissance normale des plantes mais les régulateurs de croissance ou les hormones des plantes diffèrent principalement des engrais en plusieurs points :

- ✓ Modifient et gèrent la division cellulaire,
- ✓ Contrôle de l'élongation des racines et des pousses
- ✓ Régule le début de la floraison et d'autres fonctions métaboliques. (**Allen et al., 2001**).

Les biostimulants peuvent altérer l'état hormonal d'une plante et exercer une influence sur sa croissance. Les résultats obtenus sur cette thématique peuvent être dus aux effets biostimulants potentiels, tout comme les effets hormones de nature végétales, en améliorant l'activité hormonale l'approvisionnement direct en hormones végétales (**Mady, 2009 ; Salle, 1973 ; Snedecor et Cochran, 1980**) . Les réactions des plantes à l'extrait d'algue ont été plus grandes que lorsque la cytokinine purifiée a été appliquée seule, elles ont été utilisées comme un régulateur de croissance sur les plantes (**Snedecor et Cochran, 1980**).

L'application exogène de l'extrait d'*A. nodosum* sur le gazon et les graminées fourragères a augmenté les métabolites antioxydants des plantes telles que l'a-tocophérol, l'acide ascorbique et le b-carotène dans les plantes testées ainsi que les activités enzymatiques antioxydantes telles que le superoxyde dismutase, GSH réductase et ascorbate peroxydase (**Allen et al., 2001**).

II. Variation de teneur en oligo-éléments :

Les oligo-éléments présents dans les extraits de macroalgues marines jouent un rôle important dans la nutrition et la physiologie des plantes, probablement comme activateurs d'enzymes (**Senn, 1987**).

Tableau 2: Effets de l'extrait d'algue sur la concentration des nutriments du champ *Vicia faba* CV.Giza 3 haricots. (**Mohamed abbas, S. 2012**)

Traitement	Potassium mg %		Azote mg%		Phosphore mg%		Calcium mg %		Magnésium mg %	
	Tiges	Racines	Tiges	Racines	Tiges	Racines	Tiges	Racines	Tiges	Racine
Contrôle	1.367 ± 0.03	0.653 ± 0.04	0.883 ± 0.08	1.751 ± 0.07	0.220 ± 0.02	0.173 ± 0.07	0.882 ± 0.08	0.348 ± 0.06	66.44 ± 1.45	75.190 ± 1.67
Extrait d'algue	1.745 ± 0.02	1.352 ± 0.07	1.241 ± 0.05	2.898 ± 0.09	0.296 ± 0.04	0.290 ± 0.03	0.827 ± 0.07	0.606 ± 0.02	79.38 ± 1.31	76.030 ± 1.32

*changement hautement significatif

Dans une étude menée pour évaluer l'effet de six extraits d'algues de *Laminaria spp* et *Ascophyllum nodosum* sur le maïs. Les analyses des feuilles ont montré que la capacité des plantes à absorber Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn et B ont été considérablement améliorés par rapport au témoin (Ertani et al., 2018). De plus, l'application d'un extrait d'algue à base d'*Ascophyllum nodosum* sur trois clones de peupliers a considérablement amélioré la teneur en K des feuilles des clones « okanese » et la teneur en N des tiges de clones « okanese » et « walker » (Fei et al., 2017). Dans une autre expérience consacrée à l'évaluation de l'effet de l'extrait d'*Ecklonia maxima* sur la croissance et la physiologie de *Brassica rapa* L. dans des conditions de stress nutritionnel (Distasio et al., 2017) ont signalé une augmentation de la composition des feuilles de P et de K de 30,5 % et de 20,7 %, respectivement. Saa et al., (2015) ont utilisé le rubidium comme traceur pour évaluer l'absorption de K lorsqu'il était traité avec différents types de biostimulants, et ont montré qu'un extrait d'algue d'*Ascophyllum nodosum* enrichi d'acides aminés et de sucres augmentait significativement la concentration de rubidium de feuilles des plantes poussant dans un milieu nutritif fourni avec 5 µg g⁻¹ de K, suggérant que cet extrait pourrait être impliqué dans l'augmentation de l'absorption de K. De plus, Layek et al., (2018) ont évalué les performances de deux extraits d'algues à base de *Kappaphycus alvarezii* et de *Gracilaria edulis* pour améliorer la productivité et la qualité du riz fournit avec une dose d'engrais recommandée à 100 %. Les résultats ont montré que des concentrations

élevées (10% et 15%) des deux extraits augmentaient significativement l'absorption de N et de P de riz, mais pas K. Cette amélioration de l'absorption des nutriments végétaux à l'aide d'extraits d'algues pourrait être attribué à leur effet sur la régulation de certains gènes codant pour les transporteurs de nutriments racinaires. Par exemple, **Jannin et al., (2013)** ont montré que l'amélioration significative de l'absorption de *Brassica napus* N et S traitée avec un extrait d'algues à base d'*Ascophyllum nodosum* était associée à une surexpression de (BnNRT1.1; BnNRT2.1) et de (BnSultr4.1; BnSultr4.2) qui sont des gènes codants respectivement pour les transporteurs radiculaires liés à l'absorption de N et de S. Dans le même contexte, trois substances bioactives (251,104, NA9158 et EXT116) extraites des laminaires, des fuciales et des ulvales ont été appliquées à la racine de la vigne pour étudier leur effet sur l'absorption des nutriments et la croissance des plantes. Les résultats ont montré que le EXT116 était le plus efficace pour améliorer l'afflux de NH_4^+ et de K^+ dans la partie racinaire à 0,8 et 1,7 mm de l'apex de la racine (**Mugnai et al., 2008**)

Tableau 3 : Effet des extraits d'algues sur l'absorption et la translocation des éléments nutritifs des plantes. (EL Boukhari, 2020)

Plante	Espèces d'algues	Technique d'extraction	Composition élémentaires	Conditions expérimentale	Mode d'application	Résultats	Source
Maïs	<i>Kappaphycus alvarezii</i> <i>Gracilaria edulis</i> (appliqué séparément)	Filtrat liquide à partir d'algues fraîches	K+ 33,654; 682.1, P3+ 17.45 Ca2+ 321; 352, Mg2+ 112; 311	Expérience sur le terrain	Vaporisateur foliaire	Amélioration de l'absorption N, P et K (grain + stover) pour les deux extraits	Basavaraja et al., 2018
Colza oléagineux	<i>Ecklonia maxima</i>	Repture de la cellule froide	N 3,6 g.kg 1, P 8,2 g.kg 1, .K 7,2 g.kg 1, Ca 0,8 g.kg 1, Mg 0,2 g.kg 1, Fe 13,6 mg.kg 1 Mn 8,4 mg.kg 1 B 0,24 mg.kg 1, Zn 4,2 mg.kg 1 et Cu 0,2 mg.kg 1	Expérience en pot	Application racine	Feuilles P et K améliorée	Di Stasio et al., 2017
Tomato	<i>Ecklonia maxima</i>	brosse à cellules Froides	N 3.6 g.kg-1 , P 8.2 g.kg-1 , K 7.2 g.kg-1 Ca 0.8 g.kg-1 , Mg 0.2 g.kg-1 Fe 13.6 mg.kg-1, Mn 8.4 mg.kg-1 B 0.24 mg.kg-1 , Zn 4.2 mg.kg-1 Cu 0.2 mg.kg-	Dans le sol sous serre	Vaporisateur foliaire	augmentation du Ca de fruit	Colla et al., 2017
Tomate	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Non mentionné	Fe 39,9 µg.mL 1 , Mn 20,9 µg.mL 1 Cu 3,0 µg.mL 1 Zn 4,1 µg.mL 1	Pots sous chambre de culture	Non mentionné	Augmentation de la concentration de Mn, Cu, et Zn à la racine et aux feuilles	Carrasco-Gil et al., 2018
Colza oléagineux	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Extraction acide	Ca 0,854, Cu 0,009, Fe 0,030, K 6, Mg 0,919, N non détecté Na 3,102, P 0,116, S 2,660, Si 0,027 Zn 0,002 % du poids sec	Hydroponique sous Serre	En solution D'éléments nutritifs	Augmentation des valeurs relatives Mn, Cu et Mg concentration dans la plante entière	Billard et al., 2014
		Extraction acide	K 4442, P 78, S 1782 N 0 (concentration de 67 g de DW dans 1 L d'eau)	Pots en serre	En solution nutritive	Stimulation des racines dissous et des pousses N et S	Jannin et al., 2013
Soya	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Filtrat liquide à partir d'algues fraîches	N 0,03 %, P 33,99 mg.L 1 , K 1,97 %, S 0,06 %, Ca 460,11 mg.L 1 Mg 581,2 mg.L 1 , Na 0,51 %, Cu 0,3 mg.L 1 Fe 10,59 mg.L 1 , Mn 2,5 mg.L 1 , Zn 0,62 mg.L 1	, Expérience sur le terrain	Vaporisateur foliaire	Amélioration de l'absorption	Billard et al., 2014
Blé	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Extraction acide	K 4442, P 78, S 1782, N 0 (concentration de 67 g de DW dissous dans 1 L d'eau)	Expérience en pot	Vaporisateur foliaire	Grain amélioré K	Stamatiadis et al., 2015

III. Teneur en pigments :

Le rôle important des biostimulants dans l'amélioration de la chlorophylle foliaire pourrait être attribué à leur action sur l'augmentation de la disponibilité de l'eau et des minéraux que la teneur élevée en chlorophylle pourrait avoir résulté de la croissance accrue des plantes (Mady, 2009). L'extrait de *Sargassum* a été efficace pour améliorer la synthèse de la chlorophylle chez *Zea mays* et *Phaseolus mungo* (Homme et al., 1992).

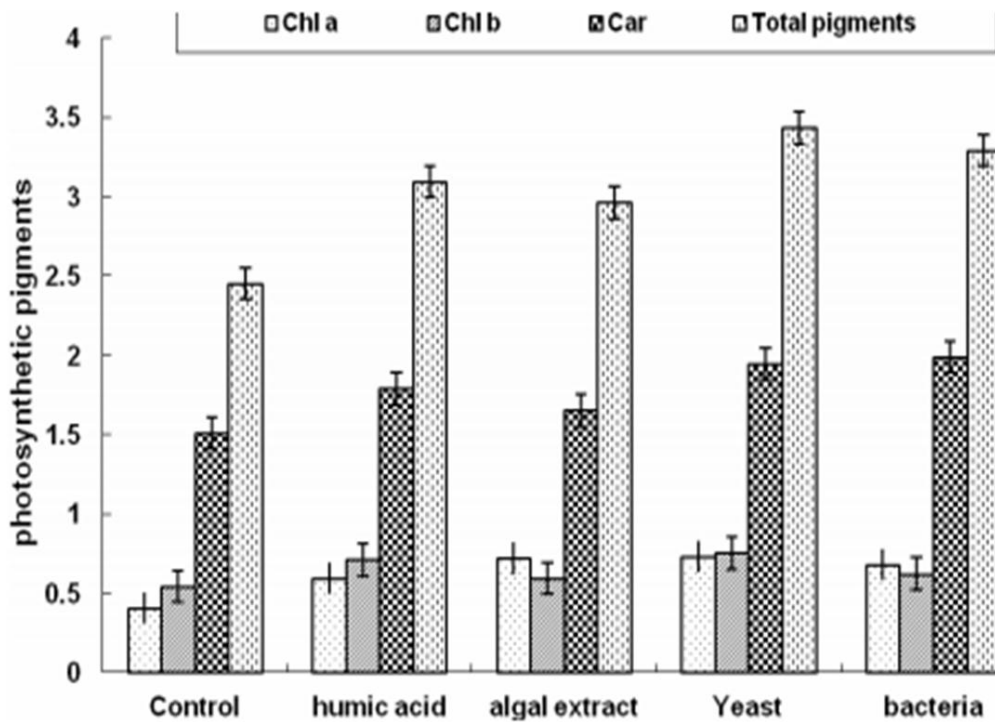


Figure 4: Effets des bactéries, de la levure, de l'extrait d'algue et de l'acide humique sur les pigments photosynthétiques du champ *Vicia faba* CV. Giza 3 haricots (Mohamed abbas, S. 2012).

Il a déjà été démontré que les biostimulants induisent des systèmes de défense photoprotecteurs pendant de courtes périodes de sécheresse sévère (Santaniello et al., 2017) ou améliorent la teneur en chlorophylle des feuilles de plantes issues de différentes cultures économiques (Blunden et al., 1996).

La teneur en chlorophylle des plants de blé traités avec des oligosaccharides d'alginate à chaîne courte, l'un des principaux glucides observés dans les extraits des algues brunes, a également augmenté de manière significative pendant une période de déficit hydrique. (Liu et al., 2013).

En outre, les caroténoïdes ont également des activités antibactériennes. On a supposé que les caroténoïdes pourraient protéger les cellules végétales contre les stress oxydatifs nocifs en réduisant au minimum les dommages causés par les espèces réactives de l'oxygène (ROS) au moyen de différents mécanismes de défense (**Christaki et al., 2013**).

Les résultats de (Figure 4) ont clairement montré que tous les traitements provoquaient une augmentation significative de la teneur totale en glucides par rapport au contrôle. Les meilleurs résultats ont été obtenus grâce au traitement par inoculation bactérienne. La concentration de sucres solubles totaux et de sucres réducteurs a augmenté à des concentrations plus élevées d'extraits (**Mady M. A., 2009**). L'extrait de levure a donné les meilleures valeurs de la teneur totale en sucre et son effet bénéfique sur l'accumulation de glucides dans les feuilles de fèves de grande culture (**Mady M. A., 2009**). Certaines études portant sur la croissance des plantes favorisant l'inoculation de rhizobactéries ont stimulé la biosynthèse des glucides.

IV. Résistances au stress.

IV.1. Résistance au stress abiotique :

La sécheresse, la salinité, les températures extrêmes et les carences en nutriments sont des exemples des principaux facteurs de stress abiotique, affectant ainsi négativement la productivité des cultures. Le stress abiotique implique des déséquilibres hyperosmotiques et ioniques conduisant à un stress oxydatif résultant de la surproduction des espèces réactives d'oxygène (ROS) et des mécanismes de défense antioxydants (**Deinlein et al., 2014**). La production de ROS est le résultat de la réduction ou de l'activation de l'O₂ impliquant la formation d'oxygène (O₂), de superoxyde (O₂⁻), de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et de radical hydroxyle (HO) (**Mittler, 2002**). On sait que les ROS altèrent les biomolécules comme l'ADN, les protéines et les lipides (**Das et Roychoudhury, 2014**). Pour atténuer ces effets nocifs, la plante a recours à plusieurs mécanismes de défense naturels. Plus précisément, les ROS sont récupérés grâce à un système d'antioxydants enzymatiques et non enzymatiques tels que la superoxyde dismutase (SOD), la peroxydase de guaiacol (GPX), la catalase (CAT), acide ascorbique (AsA), composés phénoliques, glutathion et tocophérol, etc (**Das et Roychoudhury, 2014 ; Yadav et al., 2019**). Les dernières études menées pour étudier l'effet des extraits d'algues pour atténuer le stress abiotique ont donné des résultats importants (figure3)

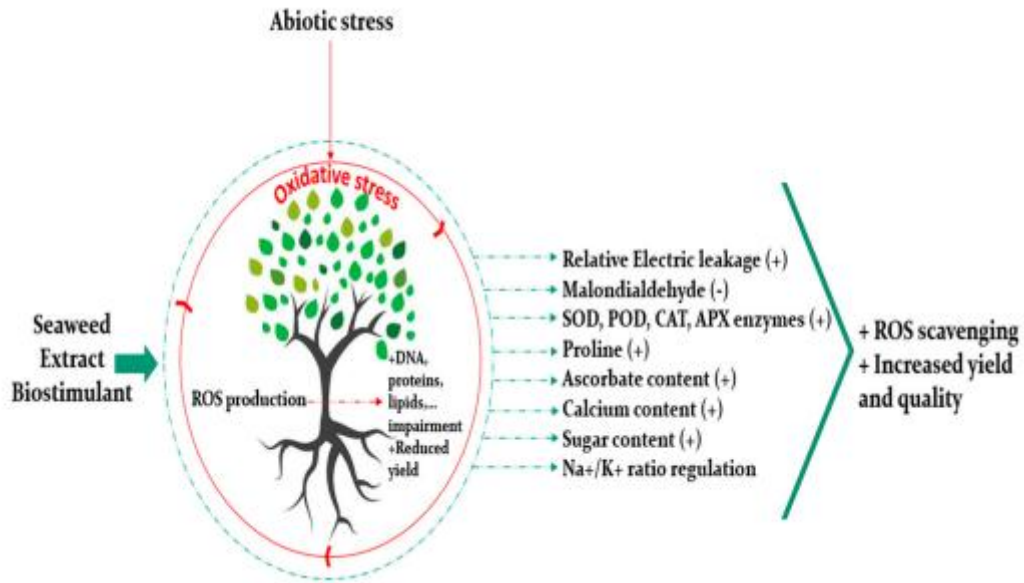


Figure 5. Effet bénéfique des extraits d’algues sous stress abiotique (**EL Boukhari, 2020**).

Les extraits d’algues jouent un rôle important dans la récupération réactive des espèces d’oxygène (ROS) en déclenchant plusieurs mécanismes impliquant la stimulation des antioxydants et l’inhibition de la peroxydation lipidique. Superoxyde dismutase (SOD), peroxydase (POD), catalase (CAT), peroxydase d’ascorbate (APX). (**EL Boukhari, 2020**)

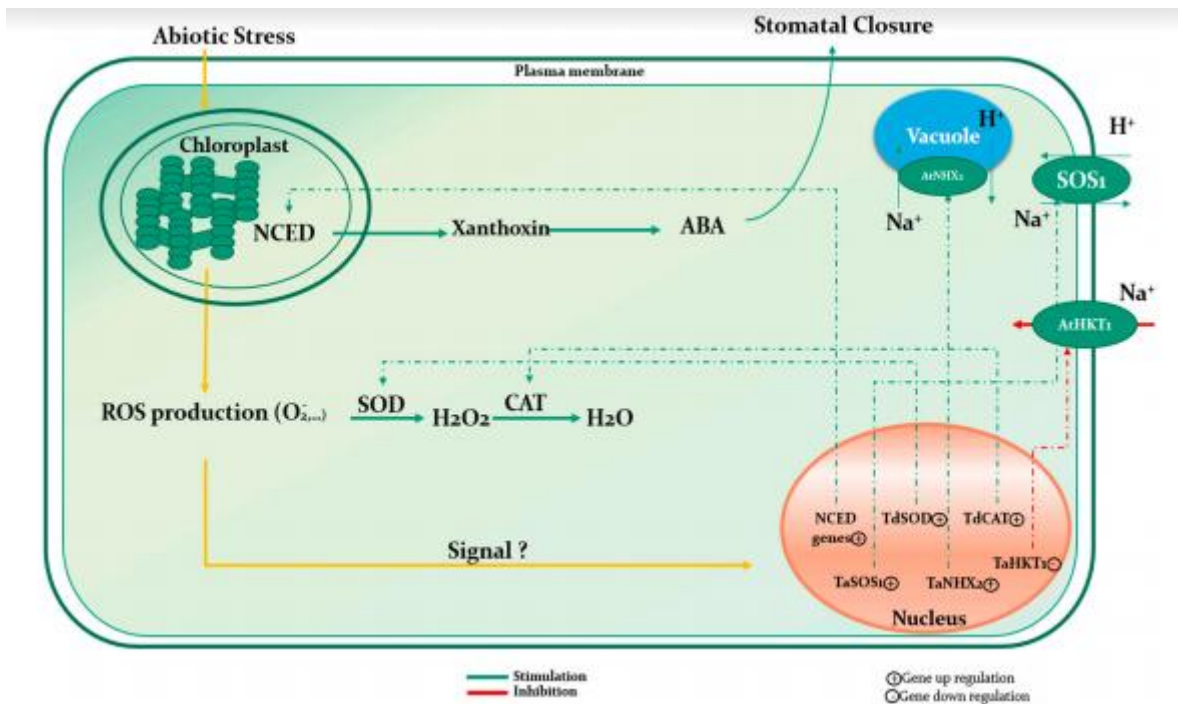


Figure 6. Illustration conceptuelle mettant en évidence l'effet de l'extrait d'algues sur la régulation ascendante et descendante de certains gènes clés en réponse au stress abiotique (EL Boukhari, 2020).

(TdSOD et TdCAT), les gènes NCED (9-cis-époxy-caroténoïde dioxygénase), les gènes Na⁺ transporteur (TaHKT1) et antiporters (TaSOS1 et TaNHX2). Superoxyde dismutase (SOD), catalase (CAT), acide abscisique (ABA) (EL Boukhari, 2020)

Les travaux de Zou et al., (2019), étudient le potentiel des polysaccharides extraits de *Lessonia nigrescens*, une macroalgue brune, pour améliorer l'adaptabilité au stress salin des semis de blé. Les polysaccharides ont amélioré considérablement la longueur des tiges et des racines et les matières sèches et fraîches du blé sous pression. Ils ont atténué les dommages oxydatifs des plantes soumises à la salinité en diminuant la teneur relative en fuites électriques (REL) et en malondialdéhyde (MDA), deux paramètres permettant d'évaluer la perméabilité des membranes et la peroxydation lipidique, respectivement, et en augmentant l'activité antioxydante des enzymes SOD, POD et CAT impliquées dans la recherche des espèces ROS. Le stress du NaCl n'a pas diminué la teneur en chlorophylle des plantes par rapport au témoin, mais il a augmenté de façon significative lorsque les polysaccharides ont été appliqués aux plantes stressées. De plus, les traitements aux polysaccharides ont maintenu le statut osmotique des semis de blé stressés en augmentant leur teneur en sucre et en proline et en régulant le ratio Na⁺/K⁺. De même, Liu et al., (2019) ont étudié l'effet des polysaccharides de *Grateloupia filicina* sur le stress salin du riz au stade de germination des grains et ont montré qu'ils avaient stimulé le développement des grains de riz soumises à la salinité. De plus, un extrait d'*Ascophyllum nodosum* a réduit la teneur en H₂O₂ des plants de *Salam turfgrass* et augmenté l'activité du CAT et de l'APX et sa teneur en ascorbate par rapport au témoin (Elansary et al., 2017). Dans le même ordre d'idées, Patel et al., (2018) ont évalué le potentiel de la sève de *Kappaphycus alvarezii* (sève K, algue rouge) pour atténuer le stress salin et la sécheresse de trois variétés de blés durs au cours des stades végétatif et reproductif. La sève K a amélioré les paramètres morphologiques du blé dur (longueur et poids des tiges et des racines) par rapport aux plantes stressées. Il a résulté aussi une augmentation de la teneur totale en chlorophylle, en caroténoïdes et en eau des tissus, et une réduction de la fuite d'électrolytes et la peroxydation lipidique (MDA). Sous tension, la sève K a réduit le déséquilibre ionique en diminuant le rapport Na⁺/K⁺ et en augmentant la teneur en calcium, et l'accumulation d'osmoprotectants, de proline, de protéines totales et d'acides aminés. La détermination in vivo des espèces ROS

a montré un impact moindre sur les plantes traitées avec de la sève K sous tension, mais aucune différence n'a été observée entre les plantes témoins et les plantes traitées dans des conditions optimales. Le potentiel antioxydant a été amélioré par l'augmentation de la teneur en phénolique et des antioxydants non enzymatiques. En outre, l'acide abscisique (ABA) et les hormones zéétanes ont augmenté à la fois sous stress et dans des conditions optimales lorsque la sève K a été appliquée. Dans un travail récent, **Sharma et al., (2019)** ont signalé une augmentation de la biomasse et du rendement du blé de 57 % et de 70 % respectivement lorsqu'un extrait de *Gracilaria dura* a été appliqué sur des plantes soumises au stress de la sécheresse. Par contre, **Trivedi et al., (2018)** a étudié l'effet d'un extrait d'algue à base de *Kappaphycus alvarezii* sur la réduction du stress hydrique dans le maïs et a conclu que même si le niveau de certains antioxydants était amélioré comme l'APX, le rendement n'est renforcé. Algafect, extrait commercial d'algues à base d'*Ascophyllum nodosum*, *Fucus spp.* et *Laminaria spp.*, réduit la nécrose des feuilles et augmente la densité des racines des plants de maïs soumis à de basses températures de la zone racinaire (12-14 C) pendant deux semaines. (**Bradacova et al., 2016 ; Chrysargyris et al., 2018**). Les extraits de macroalgues à base d'*Ascophyllum nodosum* ont réussi à augmenter le poids frais de la biomasse de la laitue (**Chrysargyris et al., 2018**), ainsi que la superficie et la longueur des pousses et des feuilles et la somme des branches des amandes lorsque les plantes ont été soumises à une carence en potassium (**Saa et al., 2015**)

De plus, l'apprêt des graines à l'aide d'extraits d'algues pourrait être une autre approche pour atténuer le stress abiotique soumis aux plantes pendant la germination et les premiers stades de croissance. Par exemple, l'application d'un extrait d'algue commerciale (Kelpack) par amorçage, a amélioré le taux de germination des graines de *Ceratotheca triloba* à de basses températures oscillant entre 10 C et 15 C, et à faible osmotique était pas amélioré de façon significative. potentiel (0,15 MPa) par rapport au témoin(**Masondo et al., 2018**).

Dans l'ensemble, bien que plusieurs études aient clairement démontré la capacité des extraits des algues à atténuer le stress abiotique, ces effets dépendent fortement des espèces d'algues et de la méthode d'extraction. De plus, il semble que l'espèce végétale soit également un aspect important à prendre en considération car la réponse physiologique des plantes soumises à un stress environnemental donné pourrait changer radicalement d'une espèce à l'autre ou même entre différentes lignées de la même espèce (**Kasim et al., 2016 ; Paparella,et al., 2015 ; Ashraf, 2005**)

IV.2. Résistance au stress biotique:

Les traits de contrôle de la maladie sont souvent associés à l'application d'extraits à partir des plantes (**Sultana et al., 2012**). Par exemple, les extraits de chloroforme et de benzène issus de l'algue brune *Padina pavonica* ont démontré une activité nymphicide et la capacité de réduire ou d'augmenter considérablement la période de développement de la nymphe, en interférant avec la physiologie de *Dysdercus cingulatus* (Cotton pest). Cet effet a été attribué à la teneur hormonale anti-juvénile, qui entrave le développement des organismes nuisibles au stade des germes ou des blastokineis. (**Sahayaraj et Kalidas, 2011**). De plus la poudre *Ulva lactuca* appliquée comme traitement du sol à raison de 5 g/kg diminue de façon significative les infections par le nématode à noeuds radiculaires chez les bananiers, en réduisant le nombre de galles (76 %) et la population finale de nématodes, qui était directement corrélée avec les teneurs des composées phénoliques (**El-Ansary et Hamouda 2014**).

L'analyse des extraits de certaines algues par CG-SM a montré que l'effet antifongique le plus élevé était corrélé avec la présence de terpènes halogénés, d'acides gras (acides hexadécanoïque et octadécanoïque) et de quercétine (**Machado et al., 2014**). En outre, les extraits des algues peuvent également jouer un rôle d'excitation en déclenchant des réponses spécifiques contre les pathogènes. En effet, **Cluzet et al., (2004)** ont démontré que l'extrait d'*Ulva spp.* pulvérisé à seulement 5 µg/mL, sur *Medicago truncatula* la protégée contre l'*Aletotrichum trifolii*. L'analyse des données à la suite de l'extraction d'ARN de matériel végétal et des gènes de ciblage liés aux mécanismes de défense a révélé que les gènes codants pour les enzymes critiques impliqués dans la biosynthèse de la phytoalexine et du phénylpropanoïde et les gènes analogues de la pathogénie clés étaient nettement régulés (p. ex., phénylalanine ammoniac-lyase, chalcone synthase, isoflavone réductase, chitinase, etc.) (**Rojas et al., 2014**).

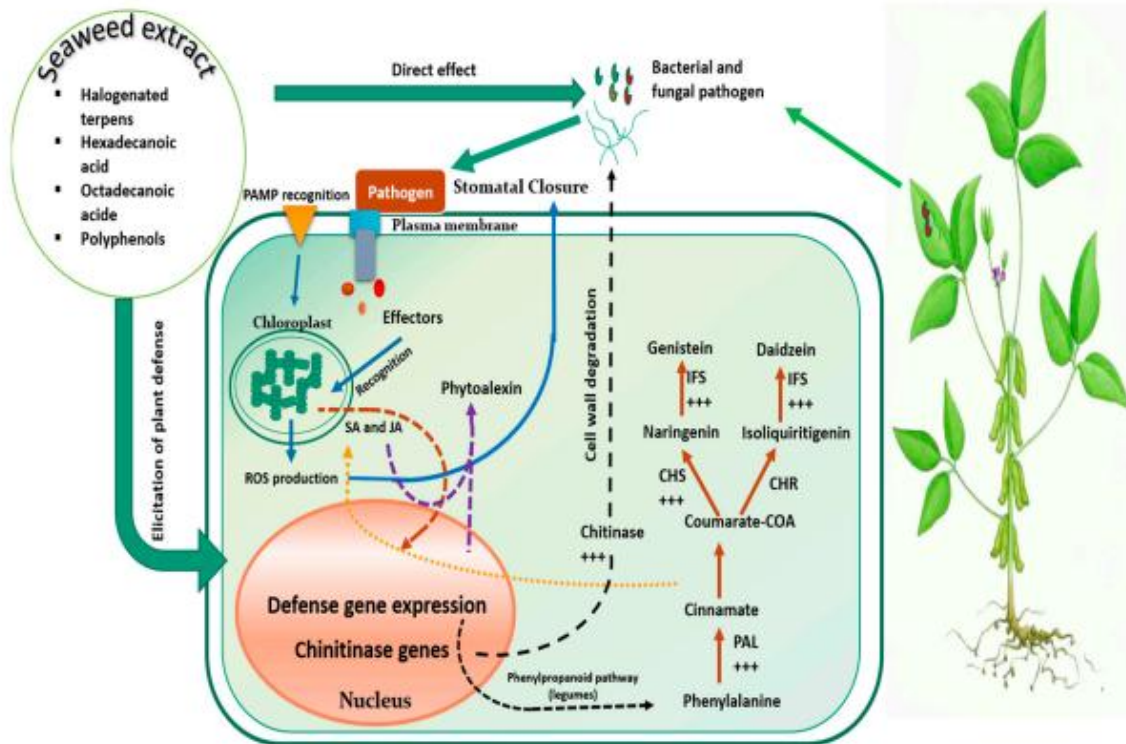


Figure 7 : Illustration conceptuelle mettant en évidence les mécanismes d'action plausibles de l'extrait d'algues en ce qui concerne la lutte contre les maladies fongiques et bactériennes (EL Boukhari, 2020).

l'extrait d'algue peut affecter directement les agents pathogènes ou indirectement par l'obtention de la machinerie de défense des plantes.

Cette élicitation se produit par la régulation de plusieurs gènes de défense, affectant ainsi positivement des voies métaboliques spécifiques, à savoir la voie phénylpropanoïde, qui induisent la biosynthèse de plusieurs métabolites secondaires impliqués dans la suppression des maladies. JA : Acide jasmonique, SA : Acide salicylique, PAL : Phénylalanine ammoniac-lyase, CHS : Chalcone synthase, CHR : Chalcone reductase, IFS : Isoflavone synthase, IFR : Isoflavone reductase. (EL Boukhari, 2020)

V. Résistances aux maladies

V.1. Activité antibactérienne :

Les macroalgues marines produisent un large spectre de métabolites chimiquement actifs, notamment des alcaloïdes, des polycétides, des peptides cycliques, des polysaccharides, des

phlorotannines, des diterpénoïdes, des stérols, les quinones, les lipides et les glycérols qui ont un large éventail d'activités biologiques contre d'autres organismes dans leur environnement (Al-Saif et al., 2014; Abdel-Raouf et al., 2015). Les macroalgues marines ont reçu beaucoup d'attention en raison de leur potentiel en tant qu'antioxydants naturels, propriétés antibactériennes et cytotoxiques (Mayalen et al., 2007; Kayalvizhi et al., 2012; Kosanic et al., 2015; Moubayed et al., 2017). Par conséquent, il est nécessaire de tester différents solvants organiques des extraits d'algues. Cette façon de procéder pourrait fournir un outil potentiel pour explorer les composés bioactifs responsables des effets positifs sur les agents pathogènes des plantes et les mécanismes de leur action (Michalak et Chojnacka, 2015). Par exemple, l'extrait méthanolique de *Sargassum wightii*, actuellement identifié comme *S. swartzii* C. Agardh, a présenté la plus forte activité contre la bactérie phytopathogène *Pseudomonas syringae* qui provoque la maladie des taches foliaires sur la précieuse plante médicinale *Gymnema sylvestre* (Kumar et al., 2008). Toutefois, L'extrait d'acétate d'éthyle a montré moins d'effet. Certains autres taxons étudiés, comme *Chaetomorpha antennina*, *Laurencia obtusa*, *Gracilaria corticata*, *G. verrucosa* (aujourd'hui *Gracilariopsis longissima*), *Grateloupia lithophila*, *Padina boergesenii*, *Turbinaria conoidea*, *Halimeda* et *Ulva lactuca* ont montré une activité bactéricide moins efficace sur *P. syringae*. Néanmoins, les extraits acétoniques de la macro-algue brune *Sargassum polyceratium* (Phaeophyceae) ont également montré une activité efficace contre différents types de bactéries comme *Staphylococcus aureus*, *Erwinia carotovora* et *Escherichia coli* par diffusion discale (Kumar et al., 2008). Par ailleurs, les extraits éthanoliques de *S. polyceratium*, *Caulerpa racemosa* et *Gracilaria cervicornis* ont des effets actifs sur *Staphylococcus aureus* (Borbón et al., 2012). L'extrait méthanolique de *S. swartzii* a été identifié pour inhiber la croissance de *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* qui cause la brûlure bactérienne du riz (Arunkumar et al., 2005). De plus, des extraits éthanoliques de *Cystoseira stricta* ont été signalés pour minimiser la croissance de diverses bactéries (Pesando et Caram, 1984). Dans le cadre d'une expérience à la maison verte, l'application par pulvérisation d'extraits aqueux de macro-algues marines de *Cystoseira myriophylloides* et de *Fucus spiralis* a permis de réduire de façon significative les maladies de la galle de la couronne causées par la bactérie pathogène *Agrobacterium tumefaciens* dans la tomate (Esserti et al., 2017). Rosell et Srivastava, (1987) ; Barbosa et al., (2007) ; Oh et al., (2008) ; Gerasimenko et al., (2014) et Ibraheem et al., (2017) ont souligné que les graisses et les acides gras extraits des algues marines avaient des activités antibactériennes. Arunkumar et al., (2001) ont constaté que les acides gras prédominants (acides palmitiques) isolés de l'algue verte *Enteromorpha flexuosa* présentait une activité antibactérienne contre la bactérie phytopathogène *Xanthomonas oryzae*

pv. oryzae. On a découvert que les extraits antibactériens actifs de différentes algues brunes étaient constitués d'acides gras saturés et insaturés avec une prédominance d'acides myristiques, palmitiques, oléiques et eicosapentaénoïques (**Benkendorff et al., 2005, Bazes et al., 2009; Ibraheem et al., 2017**).

En outre, les composés phénoliques présents dans les algues brunes jouent un rôle primordial dans la structure des parois cellulaires et sont généralement considérés comme un protecteur chimique contre les bactéries (**Rao et Parekh, 1981; Le Lann et al., 2008; Plouguerne et al., 2006; Lee et Jeon, 2013**).

Les polysaccharides extraits par les macroalgues, en particulier les ulvanes des algues vertes (Chlorophyta), les alginates, les fucanes et les laminarines, forment des algues brunes (Phaeophyta) et les carraghénanes et porphyrines des algues rouges (Rhodophyta) et de leurs oligosaccharides dérivés, Il a été constaté que ces produits stimulent les réactions de défense des plantes et les protections contre un large spectre de pathogènes infectant les plantes (**Vera et al., 2011; Kraan, 2012**).

V.2. Activité antifongique :

Les extraits d'algues naturelles sont aujourd'hui plus applicables, au lieu de fongicides synthétiques, dans la lutte contre les champignons infectants pour les plantes en raison de leur innocuité plus élevée et de leur impact relativement négligeable sur l'environnement (**Haroun et al., 1995; Brimmer et Boland, 2003; Galal et al., 2011**). Un nombre considérable d'études récentes ont montré que les préparations algales brutes et purifiées sont en mesure de protéger les plantes contre plusieurs champignons pathogènes (**Cluzet et al., 2004; Paulert et al., 2009, 2010**).

Les études de **Baloch et al., (2013)** ont révélé que l'application de la poudre de macroalgues marines non seulement protège les cultures contre l'infection par les champignons pourrissants des racines dans les sols naturellement infestés, mais améliore également la croissance des plantes, c'est-à-dire la longueur des vignes de la pastèque, On a constaté que la longueur des pousses d'aubergines et le poids des pousses fraîches étaient plus élevés chez les plantes traitées aux macroalgues que celles traitées au fongicide chimique. Les plantes traitées aux macroalgues marines présentaient également un processus de fructification plus précoce. Des résultats similaires ont également été observés en utilisant différents extraits de l'algue brune *Stoechosporium marginatum* et de l'algue verte *Codium iyengaraii* pour contrôler la croissance du champignon infectant les racines *F. solani* (**Ara et al., 1998**). **Tuney et al., (2006)** ont

également observé des activités antifongiques positives utilisant divers extraits méthanoliques, acétone, éther diéthylique et éthanoliques de *Cystoseira mediterranea* et d'*Ulva rigida*. *Codium fragile* a une forte activité fongicide contre *Alternaria alternata*, *A. brassicicola*, *Fusarium oxysporium*, *Ulocladium botrytis* et *Botryotricum piluliferum* (Galal et al., 2011). Différentes concentrations d'extraits acétoniques de *S. polyceratium* inhibent sensiblement la croissance du champignon pathogène *Geotrichum candidum* (Borbón et al., 2012). Des résultats similaires ont également été obtenus en utilisant des extraits d'*Ascophyllum nodosum* pour améliorer la résistance foliaire contre *Phytophthora capsici* sur le poivre (Lizzi et al., 1998, Jaulneau et al., 2011)

Une contribution récente d'Ibraheem et al., (2017) a révélé que l'application in vivo de *Padina gymnospora*, *Sargassum latifolium* et *Hydroclathratus clathratus* en poudre, à mesure que le sol s'amendait, diminuait le pourcentage de pourriture des racines causées par le *Fusarium solani* chez *Solanum melongena* L. (aubergine). Raj et al., (2016) et Ammar et al., (2017) ont indiqué que les composants bioactifs des acides phénoliques et des flavonoïdes contenus dans l'extrait méthanolique de *Sargassum vulgare* pouvaient agir comme des agents antifongiques puissants. En outre, les extraits d'algues macroalgues enrichies en polysaccharides obtenus à partir d'*Ulva lactuca* et *Caulerpa sertularioides* ont induit la protection des plantes contre le champignon nécrophore *Alternaria solani* sur la tomate (*Solanum lycopersicum*) (Hernández-Herrera et al., 2014). En plus, des extraits de *Laminaria digitata*, *Undaria pinnatifida* et *Porphyra umbilicalis* ont été documentés pour supprimer fortement la moisissure grise qui pousse sur les fraises, la maladie de la pourriture brune sur les pêches et la moisissure verte sur les citrons (Stoop et al., 1996; Bohnert et Jensen, 1996; Prabhavathi et Rajam, 2007). De plus, l'inhibition de la pourriture des fruits et la réduction de la gravité de la maladie ont été augmentées positivement en réponse à la concentration de la dose appliquée (Corato et al., 2017). Dans ce contexte, il a été démontré que les plantes traitées à l'extrait de macroalgues marines augmentent la surexpression de certains gènes spécifiques pour les voies de signalisation de défense. Par exemple, les extraits de *Gelidium serrulatum*, de *Sargassum filipendula* et d'*Ulva lactuca* ont montré des systèmes de défense de signalisation induits par jasmonate (Ramkissoon et al., 2017). De plus, la voie de signalisation de l'acide salicylique induite séquentiellement par *G. serrulatum*. En conclusion, les macroalgues marines constituent une ressource naturelle importante qui pourrait être utilisée à grande échelle pour lutter contre les champignons qui infectent les plantes.

V.3. Activité antivirale :

Les maladies à virus des plantes, aussi appelées « cancer des plantes », sont les deuxièmes maladies des plantes en importance et sont le responsable principal d'une grande perte dans l'industrie agricole. Bien que la chimiothérapie soit une méthode directe et efficace pour contrôler ces virus, elle provoque une série d'effets secondaires, y compris l'amélioration de la résistance des agents pathogènes à ces médicaments avec le temps et l'accumulation de résidus de pesticides excessives dans le sol. De grands progrès ont été réalisés pour la découverte de nouvelles substances biogéniques anti-virus. Les structures de ces composants actifs comprennent principalement des protéines, des polysaccharides, des alcaloïdes, des flavonoïdes, des polyphénols et des huiles des plantes, des protéines et des polysaccharides de micro-organismes, ainsi que des microalgues et des macroalgues (Zhao et al., 2017). Les études de Pulz et Gross, 2004 ; El Gamal, 2010 ; Mohamed et al., 2012 et Zaid et al., 2016 sur les macroalgues marines ont mis en évidence un large spectre de leurs effets antiviraux. Cependant, quelques études ont porté sur leurs applications dans le domaine de l'agriculture (Manzo et al., 2009). Les polysaccharides, en particulier les sulfates séparés des algues brunes, ont des activités antivirales efficaces en bloquant l'adsorption virale à la membrane cellulaire de la plante (Sano, 1999; Pardee et al., 2004; Jiao et al., 2011). De plus, on a constaté que les alginates (certains polysaccharides dans les algues brunes) inhibaient le virus X (PVX) de la pomme de terre avec un pourcentage de 95 % à une concentration de 10 mg/ml (Pardee et al., 2004). Les mécanismes de ces interactions entre les virus et les extraits des algues ont été expliqués en fonction de l'inhibition de l'adsorption du virus sur les cellules hôtes par la compétition avec la liaison du virus (Duarte et al., 2004), ou par une combinaison synergique entre les polysaccharides et la cellule hôte cible pour bloquer l'entrée virale (Feldman et al., 1999). Des bêtaines, des dictyodies, des dictyols C et des dicytols H ont également été isolés de l'algue brune marine *Dictyota ciliolata* et on a signalé des activités cytotoxiques et antivirales contre certains virus végétaux (Manzo et al., 2009).

En plus, des quantités importantes de vitamine C, d'acides aminés, de peptides, d'acides gras oméga-3 et de protéines ont été décelées dans des macroalgues marines rouges ayant des activités antivirales notables (Dawczynski et al., 2007; MacArtain et al., 2007; Nagorskaia et al., 2008 ; Matanjun et al., 2009). Des études de Wang et al., (2004) et de Liu et al., 2005 ont également réussi à isoler les protéines liantes aux glucides (lectines) de l'algue verte marine *Ulva pertusa* ayant une activité anti-VMC. Pardee et al., (2004) ont étudié les effets anti-PVX

en utilisant des extraits de méthanol de 30 espèces différentes d'algues marines, dont seules 6 espèces (*Fucus gardneri* Silva, *Alaria mar-ginata* Postels & Ruprecht, *Ralfsia* sp. (Berkeley), *Codium fragile* (Suringar) Hariot, *Fragilaria oceanica* Cleve, et *Egregia menziesii* (Turner) J.E. Areschoug) ont montré des taux d'inhibition de plus de 80 % à une concentration de 10 mg/ml.

V.4. Activité antinématode :

Les macroalgues marines sont une source importante de composés bioactifs anti-nématodes. **Baloch et al., (2013)** ont montré que le mélange du sol avec des poudres de macroalgues marines de *Spatoglossum variable*, *Polycladia indica* et *Melanothamnus afaqhusainii* a considérablement diminué l'infection due au nématode *Meloidogyne incognita* qui attaque la pastèque et l'aubergine. L'observation de **Sultana et al., (2011)** confirme bien la conclusion précédente et indique que les poudres sèches des trois macroalgues marines ont des effets plus ou moins similaires contre *M. incognita* par rapport au nématicide chimique qui est toxique (carbofurane) en serre et sur le terrain. Des résultats similaires ont également été démontrés sur les plants de tomates et de tournesol en réduisant les galles de nématode sur les racines et la pénétration du nématode dans les systèmes racinaires (**Featonby-Smith et Van Staden, 1983**). **Wu et al., (1998)** ont démontré que l'inoculation dans le sol avec les biostimulants algaux agricoles pouvait réduire l'invasion des racines de tomates par les juvéniles du deuxième stade des nématodes *M. javanica* et *M. incognita*.

En outre, les cytokinines et l'acide 1-aminocyclopropane-1-carboxylique, précurseur de la biosynthèse de l'éthylène, sont présents dans les macroalgues et pourraient améliorer la résistance/la susceptibilité des plantes aux nématodes à noeuds radiculaires (**Kochba et Samish, 1971, 1972; Sawhney et Webster, 1975; Glazer et al., 1985**). La récente contribution de **Ngala et al., (2016)** sur les essais in vivo contre les nématodes de *Meloidogyne chitwoodi* et *M. hapla* a révélé que les extraits d'algues disponibles commercialement dérivés des macroalgues brunes, *Ascophyllum nodosum* et *Ecklonia maxima* ont la capacité d'affecter négativement leurs œufs éclosion et les perceptions sensorielles. Ils ont également confirmé que l'exposition continue des masses d'œufs de *M. chitwoodi* à 50 et 100 % d'extraits alcalins aqueux d'*A. nodosum* réduisait considérablement le pourcentage final d'éclosion.

V.5. Activité bio-insecticide :

Il est bien connu que les macroalgues marines ont des propriétés insecticides (**Cetin et al., 2010; Sahayaraj et Kalidas, 2011; Asha et al., 2012; Sahayaraj et MaryJeeva, 2012;**

Sahayaraj et al., 2012; Ali et al., 2013; Bantoto et Danilo, 2013). Leurs différents extraits préconisent une nouvelle approche de la lutte antiparasitaire intégrée (**Manilal et al., 2009; Rajesh et al., 2011; Sahayaraj et Kalidas, 2011; Asha et al., 2012**). Les macroalgues marines sont des ressources naturelles pour la dissémination de substances écologiques, environnementales et botaniques nouvelles (**Isman, 1995**). Les extraits brutes des algues *Caulerpa scalpelliformis* (**Rajesh et al., 2011; Kombiah et Sahayaraj, 2012**), *Padina pavonica* (**Sahayaraj et Kalidas, 2011**), *Sargassum tenerrimum* (**Sahayaraj et MaryJeeva, 2012**), *Ulva fasciata* (**Asha et al., 2012; Sahayaraj et al., 2012**) et *U. lactuca* (**Asha et al., 2012; Sahayaraj et al., 2012**) ont montré une activité insecticide contre les insectes ravageurs du coton *Dysdercus spp.* qui cause une perte importante de cultures. De plus, les extraits chloroformes de *Sargassum swartzii* et de *P. pavonica* pourraient causer la mortalité nymphale de *Dysdercus cingulatus* après 96 h. De plus, les extraits chloroformes et aqueux de *S. swartzii* pourraient raccourcir la longévité masculine et féminine de *D. cingulatus* (**Asharaja et Sahayaraj, 2013**). En plus, on également souligné que la fécondité et l'éclosion du *D. cingulatus* sont réduites par l'extrait d'hexane. Les effets latents des extraits de chloroforme de *S. swartzii* et de *P. pavonica* ont été signalés pour causer la mortalité des nymphes du 3e stade du *D. cingulatus* en raison de la présence de stigmastan-6, 22-diène, 3,5-dedihydro et de l'ester méthylique de l'acide hexadecanoïque chez *S. swartzii* et *P. pavonica*, respectivement (**Asharaja et Sahayaraj, 2013**).

CONCLUSION

Conclusion :

La comparaison des connaissances actuelles sur les biostimulants montre l'intérêt du développement de telles méthodes pour des intérêts économiques, agricoles et même de santé. Les biostimulants sont une alternative pertinente à explorer et à développer pour faire face aux problèmes d'agriculture.

D'après les résultats susmentionnés, on peut conclure que l'application des biostimulants en petites quantités a été influencée sur plusieurs processus métaboliques, améliorent la croissance et le développement des plantes par l'augmentation de la photosynthèse, des hormones endogènes, de l'absorption d'ions, et la synthèse des protéines ainsi qu'une capacité relativement plus élevée d'augmenter les micronutriments disponibles dans le sol.

L'effet bénéfique et les avantages de ces produits comme matière organique en raison de leurs utilisations pour l'agriculture, réduisent l'utilisation et la dépendance à l'égard des engrais chimiques.

Certaines études ont discuté des activités antimicrobiennes des macroalgues marines (extraits/biomasse) contre différents agents pathogènes infectant les plantes. Toutefois, la plupart de ces études ont été effectuées de façon générale dans des conditions de laboratoire expérimentales, c'est-à-dire sur une plage étroite.

Les macroalgues marines sont principalement caractérisées par la présence de composants particuliers présentant un intérêt biotechnologique dans la lutte intégrée contre les bactéries, les virus, les champignons, les parasites, les nématodes et les insectes.

Toutes ces substances sont considérées comme respectueuses de l'environnement pour les pratiques d'agriculture biologique. Cependant, de nombreuses études approfondies sur cette tendance sont encore nécessaires pour découvrir de nouvelles substances. Enfin, les macroalgues marines et leurs extraits pourraient fournir une chance d'augmenter le pourcentage de culture de plantes dans des habitats difficiles et sont des bioinoculants importants dans les tendances récentes pour atteindre le développement durable de l'agriculture .

REFERENCES

Liste de références :

➤ A

Abetz P., 1980 Seaweed extracts: Have they a place in Australian agriculture or horticulture? J. Aust. Inst. Agric. Sci. 46, 23–29.

Abdel-Raouf, N., Al-Enazi, N.M., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem, I.B.M., Al-Othman, M. R., Hatamleh, A.A., 2015. Antibacterial b-amyryn isolated from Laurencia microcladia. Arab. J. Chem. 8, 32–37.

Al-Ghamdi, A.A.; Elansary, H.O., 2018. Synergetic effects of 5-aminolevulinic acid and Ascophyllum nodosum seaweed extracts on Asparagus phenolics and stress related genes under saline irrigation. Plant Physiol. Biochem. 129, 273–284. [CrossRef].

Ali, S.M.Y., Ravikumar, S., Beula, J.M., 2013. Mosquito larvicidal activity of seaweeds extracts against Anopheles stephensi, Aedes aegypti and Culex quinquefasciatus. Asian Pac. J. Trop. Dis. 3, 196–201.

Allen, V.G., Pond, K.R., Saker, K.E., Fontenot, J.P., Bagley, C.P., Ivy, R.L., Evans, R.R., Schmidt, R.E., Fike, J.H., Zhang, X., Ayad, J.Y., Brown, C.P., Miller, M.F., Montgomery, J.L., Mahan, J., Wester, D.B., Melton, C., 2001. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock-A review. J. Anim. Sci. 79, 21–31.

Alström-Rapaport C, Leskinen E, Pamilo P., 2010. Seasonal variation in the mode of reproduction of *Ulva intestinalis* in a brackish water environment. Aquat Bot. nov ;93(4):244- 9.

Anonyme, 2017: http://uel.unisciel.fr/biologie/module1/module1_ch01/co/apprendre_ch1_07.html

Ammar, N., Jabnoun-Khiareddine, H., Mejdoub-Trabelsibi, B., Nefzi, A., Mahjoub, M. A., Daami-Remadi, M., 2017. Pythium leak control in potato using aqueous and organic extracts from the brown alga *Sargassum vulgare* (C. Agardh, 1820). Postharvest Biol. Technol. 130, 81–93.

Ara, J., Sultana, V., Ehteshamul-Haque, S., Qureshi, S.A., Ahmed, V.U., 1998. Bioactivity of seaweeds against soil borne plant pathogens. *Phytologia* 85, 292–299.

Arioli, T., Mattner, S. W., Winberg, P. C., 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture : past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 27(5) : 2007-2015.

Arunkumar, K., Selvapalam, N., Rengasamy, R., 2005. The antibacterial compound sulphoglycerolipid 1–0 palmitoyl-3-0(6-sulpho-aquinoxipyranosyl)-glycerol from *Sargassum wightii* Greville (Phaeophyceae). *Botanica Mar.* 40, 441–445.

Asharaja, A., Sahayaraj, K., 2013. Screening of insecticidal activity of brown macroalgal extracts against *Dysdercus cingulatus* (Fab.) (Hemiptera: Pyrrhocoridae). *J. Biopest.* 6, 193–203.

Asha, A., Rathi, J.M., Patric Raja, D., Sahayaraj, K., 2012. Biocidal activity of two marine green algal extracts against third instar nymph of *Dysdercus cingulatus* (Fab.) (Hemiptera: Pyrrhocoridae). *J. Biopest.* 5 (Suppl.), 129–134.

Ashraf, M.; Foolad, M.R. ,2005. Pre-Sowing Seed Treatment—A Shotgun Approach to Improve Germination, Plant Growth, and Crop Yield Under Saline and Non-Saline Conditions. *Adv. Agron.* 88, 223–271.

➤ B

Baloch, G.N., Tariq, S., Ehteshamul-Haque, S., Athar, M., Sultana, V., Ara, J., 2013. Management of root diseases of eggplant and watermelon with the application of asafoetida and seaweeds. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 86, 138–142.

Bantoto, V., Danilo, D.Y., 2013. The larvicidal activity of brown algae *Padina minor* (Yamada) and *Dicyota linearis* (Greville) against the dengue vector, *Aedes aegypti* (Linn) (Diptera: Culicidae). *J. Vector Borne Dis.* 50, 68–70.

Barbosa, J.P., Fleury, B.G., de-Gama, B.A.P., Teixeira, V.L., Pereira, R.C., 2007. Natural products as antifoulants in the Brazilian brown alga *Dictyota paffii* (Phaeophyta, Dictyotales). *Biochem. Syst. Ecol.* 35, 549–553.

Battacharyya, D., MahbobehZamani Babgohari, Pramod Rathor, Balakrishnan Prithiviraj ,2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Edited by Giuseppe Colla, Youssef Roupael Volume 196, Pages 1-134

- Basavaraja, P.K.; Yogendra, N.D.; Zodape, S.T.; Prakash, R.; Ghosh, A. .,2018.** Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize. *J. Plant Nutr.* 41, 1851–1861.
- Bazes, A., Silkina, A., Douzenel, P., Fay, F., Kervarec, N., Morin, D., Berge, J.P., Bourgougnon, N., 2009.** Investigation of the antifouling constituents from the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *J. Appl. Phycol.* 21, 395–403.
- Beckett, R.P., van Staden, J., 1989.** The effect of seaweed concentrate on the growth and yield of potassium stressed wheat. *Plant Soil* 116, 29–36
- Benkendorff, K., Davis, A.R., Rogers, C.N., Bremner, J.B., 2005.** Free fatty acids and steroids in the benthic spawn of aquatic molluscs, and their associated antimicrobial properties. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 316, 29–44.
- Bhosle, N.B., A.G. Untawale and V.K.Dhargalkar., 1975.** Effects of seaweed extract on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. *Indian Journal of Marine Science*; 4: 208-210
- Blunden, G., Jenkins, T., Liu, Y.W., 1996.** Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 8, 535–543.
- Bohnert, H.J., Jensen, R.G., 1996.** Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends Biotechnol.* 14, 89–97.
- Billard, V.; Etienne, P.; Jannin, L.; Garnica, M.; Cruz, F.; Garcia-Mina, J.-M.; Yvin, J.-C.; Ourry, A. ,2014.** Two Biostimulants Derived from Algae or Humic Acid Induce Similar Responses in the Mineral Content and Gene Expression of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *J. Plant Growth Regul.* 33, 305–316.
- Boisson-Vidal, C.; Zemani, F.; Caligiuri, G.; Galy-Fauroux, I.; Collic-Jouault, S.; Helley, D.; Fischer, A.-M. 2007.** Neoangiogenesis Induced by Progenitor Endothelial Cells: Effect of Fucoidan from Marine Algae **Volume 5, Number 1,**
- Borbón, H., Herrera, J.M., Calvo, M., Trimino, H., Sierra, L., Soto, R., Vega, I., 2012.** Antimicrobial activity of most abundant marine macroalgae of the caribbean coast of costa rica. *J. Asian Sci. Res.* 2, 292–299.
- Bradacova, K.; Weber, N.F.; Morad-Talab, N.; Asim, M.; Imran, M.; Weinmann, M.; Neumann, G. ,2016.** Micronutrients(Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants in maize. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 3, 19. [CrossRef]
- Brimmer, T., Boland, G.J., 2003.** A review of the non-target effects of fungi used to biologically control plant diseases. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100, 3–16.

Burtin, P. (2003) Nutritional Value of Seaweeds. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2, 498-503.

Burton, W. G., Wigginton, M. J., 1970. The effect of a film of water upon the oxygen status of a potato tuber. *Potato. Res.* 13 : 150-186.

Button E. F., Noyes C. F., 1964. Effect of a Seaweed Extract upon Emergence and Survival of Seedlings of Creeping Red Fescue. *Agronomy Journal* Volume 56, Issue 4

➤ C

Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383, 3–41. 10.1007/s11104-014-2131-8

Carrasco-Gil, S.; Hernandez-Apaolaza, L.; Lucena, J.J. ,.2018. Effect of several commercial seaweed extracts in the mitigation of iron chlorosis of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Growth Regul.* 86, 401–411.

Cetin, H., Gokoglu, M., Oz, E., 2010. Larvicidal activity of the extract of seaweed, *Caulerpa scalpelliformis*, against *Culex pipiens*. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 26, 433–435.

Chen, Y.-H., J.A. Francis, and J.R. Miller, 2002: Surface temperature of the Arctic: Comparison of TOVS satellite retrievals with surface observations. *J. Climate*, 15, 3698-3708,

Chouikhi, A. (2013). Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites: Revue. In USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities-Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems "CIPCA4" TAGHIT (Bechar)Algeria. 19-21 November, 2013

Christaki, E., Bonos, E., Giannenas, I., Florou-Paneri, P., 2013. Functional properties of carotenoids originating from algae. *J. Sci. Food. Agric.* 93, 5–11

Chrysargyris, A.; Xylia, P.; Anastasiou, M.; Pantelides, I.; Tzortzakis N. ,.2018. Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *J. Sci. Food Agric.* 98, 5861–5872. [CrossRef]

Cluzet, S.; Torregrosa, C.; Jacquet, C.; Lafitte, C.; Fournier, J.; Mercier, L.; Salamagne, S.; Briand, X.; Esquerré-Tugayé, M.-T.; Dumas, B. ,.2004. Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp. *Plant. Cell Environ.* 27, 917–928. [CrossRef]

Colla, G.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Rouphael, Y. ,2017. Foliar Applications of Protein Hydrolysate, Plant and Seaweed Extracts Increase Yield but Differentially Modulate Fruit Quality of Greenhouse Tomato. *Hortscience* 52, 1214–1220.

Crouch, I.J., Van Staden, J., 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regul.* 13, 21–29

Craigie, J.S., 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23, 371–393.

➤ **D**

Davis, A. J. ; Dale, N. M. ; Ferreira, F. J., 2003. Pearl millet as an alternative feed ingredient in broiler diets. *J. Appl. Poult. Res.*, 12 (2): 137-144

Das, K.; Roychoudhury, A. ,2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Front. Environ. Sci.* 2, 53.

Dawczynski, C., Schubert, R., Jahreis, G., 2007. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chem.* 103

Debnath, M.; Pandey, M.; Bisen, P.S. ,2011. An Omics Approach to Understand the Plant Abiotic Stress. *Omi. J. Integr. Biol.* 15, 739–762.
, 891–899.

De Corato, U., Salimbeni, R., de Pretis, A., Avella, N., Patruno, G., 2017. Antifungal activity of crude extracts from brown and red seaweeds by a supercritical carbon dioxide technique against fruit postharvest fungal diseases. *Postharvest Biol. Technol.* 131, 16–30.

Deinlein, U.; Stephan, A.B.; Horie, T.; Luo, W.; Xu, G. 2014; Schroeder, J.I. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends Plant Sci.*, 19, 371–379

De Reviere B., 2002, BIOLOGIE ET PHYLOGENIE DES ALGUES, Tome 1 : BIOLOGIE , ed. Belin Sup., 352p.

Di Stasio, E.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Raimondi, G.; Giordano, M.; Pannico, A.; El-

DU JARDIN, P., 2015. Plant biostimulants : Definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hort.*196(30) : 3-14.

Duarte, M.E., Cauduro, J.P., Nosedá, D.G., Nosedá, M.D., Gonçalves, A.G., Pujol, C.A., Damonte, E.B., Cerezo, A.S., 2004. The structure of the agaran sulfate from *Acanthophora spicifera* (Rhodomelaceae, Ceramiales) and its antiviral activity. Relation between structure and antiviral activity in agarans. *Carbohydr. Res.* 339, 335–347.

➤ E

EBIC, 2014. (European Biostimulant Industry Council)
<http://www.biostimulants.eu/2014/07/new-ebic-leadership-announced/>

El-Ansary, M.S.M.; Hamouda, R.A. Biocontrol of root knot nematode infected banana plants by some marine algae. *Russ. J. Mar. Biol.* 2014, 40, 140-146.

El-bassiony, A. M. Z. F. Fawzy, M. M. H. Abdel-baky, R. M. Asmaa, 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *J. Agric. and Biol. Sci. Res.*, 6(2), 169-175

El Gamal, A.A., 2010. Biological importance of marine algae. *Saudi Pharm. J.* 18, 125.

El Moniem et Abd, Abd-Allah ASE. 2008. Effect of green alga cells extract as foliar spray on vegetative growth, yield and berries quality of superior grapevines. *J. Amer. Eur. Agric. and Environ. Sci.* 4 (4), 427-433

El-Sheekh MM, el-Saied A el-D., 2000. Effect of crude seaweed extracts on seed germination, seedling growth and some metabolic processes of *Vicia faba* L. *Cytobios.* 101(396):23-35

Elmehdi M, Elboukhari I, Barakate M, Bouhia Y, Lyamlouli K., 2020. Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems [*Plants J* (9) 330-359]

Elansary, H.O.; Yessoufou, K.; Abdel-Hamid, A.M.E.; El-Esawi, M.A.; Ali, H.M.; Elshikh, , 2017. M.S. Seaweed Extracts Enhance Salam Turfgrass Performance during Prolonged Irrigation Intervals and Saline Shock. *Front. Plant Sci.* 8, 830. [CrossRef]

Ertani¹ A, Ornella Francioso, Anna Tinti, Michela Schiavon¹, Diego Pizzeghello¹ and Serenella Nardi¹ , 2018. Evaluation of Seaweed Extracts From *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as Biostimulants in *Zea mays* L. Using a Combination of Chemical, Biochemical and Morphological Approaches <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>

Esserti, S., Smaili, A., Rifai, L.A., Koussa, T., Makroum, K., Belfaiza, M., Kabil, E., Faize, L., Burgos, L., Albuquerque, N., Faize, M., 2017. Protective effect of three brown seaweed extracts against fungal and bacterial diseases of tomato. *J. Appl. Phycol.* 29, 1081–1093.

Étude commanditée par le Centre d'Études et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF) 2014 et financée par le MAAF dans le cadre du programme 215 (Marché n° SSP-2013-094).

➤ F

Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C., Dechanteloup A., 2014. Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Bio by Deloitte et RITTMO Agroenvironnement, 148 p.

Falleh H, Ksouri R, Chaib K, Karray-Bouraoui N, Trabelsi N, Boulaaba M, Abdelly C, 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs and their biological activities. C.R. Biologies. 331:372-379

Fardeau J. C., Jonis, M., 2004. Phytostimulants et éliciteurs pour végétaux : propriétés et garanties réglementaires. Alter. Agri. 65 : 21-24

Featonby-Smith, B.C., Van Staden, J., 1983. The effect of seaweed concentrates on the growth of tomato plants in nematode-infested soil. Sci. Hortic. 20, 137–146.

Featonby-Smith B C and van Staden J 1987 Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. S. Afr. J. Bot. 52, 125–128.

Feldman, S.C., Reynaldi, S., Stortz, C.A., Cerezo, A.S., Damont, E.B., 1999. Antiviral properties of fucoidan fractions from *Leathesia difformis*. Phytomed. 6, 335–340. Gajc-Wolska, J., Spizewski, T., Grabowska, A., 2013. The effect of seaweed extracts on the yield and quality parameters of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *cymosa* L.) in open field production. Acta Hortic. 1009, 83–89.

FEMC 2012 (Formerly the VERMONT MONITORING COOPERATIVE)
<https://www.uvm.edu/femc/>

Fleurence, J. (1999) Seaweed Proteins: Biochemical, Nutritional Aspects and Potential Uses. Trends in Food Science and Technology, 10, 25-28.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00015-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00015-1)

Frestedt JL, Walsh M, Kuskowski MA, Zenk JL. 2008. A natural mineral supplement provides relief from knee osteoarthritis symptoms: a randomized controlled pilot trial. Nutr J./1475-2891-7-9

Francis G. W., Upadhyay R. R. & Liaen-Jensen S., 1970. Animal carotenoids--4. The carotenoids of *Asterias rubens*. Asterins~iure. Acta chem. Scand. 24, 3050-3052.

Fei, H.; Crouse, M.; Papadopoulos, Y.; Vessey, J.K. ,2017. Enhancing the productivity of hybrid poplar (*Populus x hybrid*) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.) by the application of beneficial soil microbes and a seaweed extract. Biomass Bioenergy 107, 122–134. [CrossRef]

Ferreira L et Lourens N. 2002, The efficacy of liquid seaweed extract on the yield of canola plants . South African Journal of Plant and Soil 19(3):159-161

Frings, C. S., Dunn, R. T., 1970. Colori- metric method for determination of total serum lipids based on the sulfo-phospho-vanillin reaction. Amer. J. Clin. Pathol. 53, 89-91.

➤ **G**

Galal, H.R.M., Salem, W.M., Naser F., El-Deen, 2011. Biological control of some pathogenic fungi using Marine Algae Extracts. Res. J. Microbiol. 6, 645–657.

Garon-lardiere, S., 2004. Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonne maisoniales). Thèse de doctorat en chimie. Fac. Université de bertagne occidentale ecole doctorale des sciences de la matière, de l'information et du vivant .

Gayral P. 1962. Reproduction et développement de *Monostroma obscurum* (Kütz.) J. Agardh. Bull Société Bot Fr. ;109(3- 4):53- 9.

Gerasimenko, N.I., Martyyas, E.A., Logvinov, S.V., Busarova, N.G., 2014. Biological activity of lipids and photosynthetic pigments of *Sargassum pallidum* C. Agardh. Appl. Biochem. Microbiol. 50, 73–81.

Glazer, I., Apelbaum, A., Orion, D., 1985. Effect of inhibitors and stimulators of ethylene production on gall development in *Meloidogyne javanica*-infected tomato roots. J Nematol. 17, 145–149.

Gonzalez I, 1999 ASH1 mRNA localization in yeast involves multiple secondary structural elements and Ash1 protein translation. Curr Biol 9(6):337-40.

➤ **H**

Haroun, B.M., Sharaf, A.M., Ibraheem, B., 1995. Evaluation of natural productions in some common Egyptian marine algae. J. Union Arab. Biol. B Botany 2, 137–153.

Homme P.M, . Gonzalez B, Billard, J. 1992. Carbohydrate content, frutane and sucrose enzyme activities in roots, stubble and leaves of rye grass (*Lolium perenne* L.) as affected by sources/link modification after cutting. J.Plant Physiol., 140,282-291.

Hernández-Herrera, R.M., Virgen-Calleros, G., Ruiz-López, M., Zañudo-Hernández, J., Délano-Frier, J.P., Sánchez-Hernández, C., 2014. Extracts from green and brown seaweeds protect tomato (*Solanum lycopersicum*) against the necrotrophic fungus *Alternaria solani*. J. Appl. Phycol. 26, 1607–1614.

➤ I

Ibraheem, B.M.I., Hamed, S.M., Abd elrhman, A.A., Farag, F.M., Abdel-Raouf, N., 2017. Antimicrobial activities of some brown macroalgae against some soil borne plant pathogens and in vivo management of *Solanum melongena* root diseases. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 11, 157–168.

Ifremer (Arcachon), Auby I, Manaud F, Maurer D, Trut G. 1994. Etude de la prolifération des algues vertes dans le Bassin d’Arcachon. Ifremer; 1994 Laboratoire Environnement littoral d’Arcachon

Isman, M.B., 1995. Leads and prospects for the development of new insecticides. *Review of Pesticide Toxicology*, 1–20.

➤ J

Jannin, L.; Arkoun, M.; Etienne, P.; Laîn é, P.; Goux, D.; Garnica, M.; Fuentes, M.;Francisco, S.S.; Baigorri, R.; Cruz, F.; et al. ,.2013. Brassica napus Growth is Promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed Extract: Microarray Analysis and Physiological Characterization of N, C, and S Metabolisms. *J. Plant Growth Regul.* 32, 31–52

Jaulneau, V., Lafitte, C., Corio-Costet, M.F., Stadnik, M.J., Salamagne, S., Briand, X., Esquerré-Tugayé, M.T., Dumas, B., 2011. An *Ulva armoricana* extract protects plants against three powdery mildew pathogens. *Eur. J. Plant Pathol.* 131, 393401.

Jiao, G., Yu, G., Zhang, J., Ewart, H.S., 2011. Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae. *Mar. Drugs* 9, 196–223.

Jolivet, E., Langlais-jeannin, I., Morot-Gaudry, J. F., 1991. Les extraits d’algues marines : propriétés phytoactives et intérêt agronomique. *Annee. Biol.* 30 : 109-126.

➤ K

Kauffman G.L., Kneivel D.P., Watschke T.L., 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *CropSci.* 47,261–267.

Kasim, W.A.E.-A.; Saad-Allah, K.M.; Hamouda, M. ,.2016. Seed Priming with Extracts of two Seaweeds Alleviates the Physiological and Molecular Impacts of Salinity Stress on Radish (*Raphanussativus*). *Int. J.Agric. Biol.* 18, 653–660. [CrossRef]

Kawalekar SJ (2013) Role of biofertilizers and biopesticides for sustainable agriculture. *J Biol Innov* 2:73–78

Khan, W., Rayorath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth..* 28, 386-399.

Kochba, J., Samish, R.M., 1971. Effects of kinetin and 1-naphthylacetic acid on rootknot nematodes in resistant and susceptible peach root stocks. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 96, 458–461.

Kochba, J., Samish, R.M., 1972. Level of endogenous cytokinins and auxin in roots of nematode resistant and susceptible peach root stocks. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 97, 115–119

Kombiah, P., Sahayaraj, K., 2012. Repellent activity of *Caulerpa scalpelliformis* extracts and its formulations against *Spodoptera litura* and *Dysdercus cingulatus* (Fab.). *J. Biopest.* 5, 145–150

Konig C, 2015. Classification des algues: algues rouges, algues bleues..... <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-vegetaux-aquatiques-523/page/7/>.

Kosanic´, M., Rankovic´, B., Stanojkovic, T., 2015. Biological activities of two macroalgae from Adriatic coast of Montenegro. *Saudi J. Biol. Sci.* 22, 390–397.

Kraan, S., 2012. Algal polysaccharides, novel applications and outlook. In: Chang, C.-. F. (Ed.), *Carbohydrates-Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology*. In Tech, Croatia Rijeka, pp. 489–532.

Kumar, C.S., Raju, D., Sarada, V.L., Rengasamy, R., 2008. Seaweed extracts control the leaf spot disease of the medicinal plant *Gymnema sylvestre*. *Indian J. Sci. Technol.* 1, 93–94.

➤ L

Lahaye A, 1991. a DNA helicase in yeast mitochondria. *EMBO J* 10(4):997-1007

Layek, J.; Das, A.; Idapuganti, R.G.; Sarkar, D.; Ghosh, A.; Zodape, S.T.; Lal, R.; Yadav, G.S.; Panwar, A.S.; Ngachan, S.; et al. ,.2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *J. Appl. Phycol.* 30, 547–558.

Lee, S.H., Jeon, Y.J., 2013. Anti-diabetic effects of brown algae derived phlorotannins, marine polyphenols through diverse mechanisms. *Fitoterapia* 86, 129–136.

Leclerc V, Floe'h JY. 2010. Le secret des algues. Editions Quae. Editions Quae; . (Carnets de Sciences).Disponible. sur: <https://merlin.u-picardie.fr/login?url=http://couperin.cyberlibris.fr/book/45006151>.

Le Lann, K., Jegou, C., Stiger-Pouvreau, V., 2008. Effect of different conditioning treatments on total phenolic content and antioxidant activities in two Sargassacean species: comparison of the frondose *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt and the cylindrical *Bifurcaria bifurcata* R. Ross. Phycol. Res. 56, 238245.

Liu, Z.Y., Xie, L.Y., Wu, Z.J., Lin, Q.Y., Xie, L.H., 2005. Purification and characterization of anti-TMV protein from a marine algae *Ulva pertusa*. Acta Phytopathol. Sin. 35, 256–261.

Liu, H.; Chen, X.; Song, L.; Li, K.; Zhang, X.; Liu, S.; Qin, Y.; Li, P. ,2019. Polysaccharides from *Grateloupia filicina* enhance tolerance of rice seeds (*Oryza sativa* L.) under salt stress. Int. J. Biol. Macromol. 124, 1197–1204. [CrossRef].

Lizzi, Y., Coulomb, C., Polian, C., Coulomb, P.J., Coulomb, P.O., 1998. Seaweed and mildew: what does the future hold ? Encouraging laboratory results. Phytoma. 508, 29–30.

➤ M

Machado,L.P.;Matsumoto,S.T.;Jamal,C.M.;daSilva,M.B.;daCruzCenteno,D.;Neto,P.C.; deCarvalho,L.R.;Yokoya,N.S.,2014.Chemicalanalysisandtoxicityofseaweedextractswithinhibitoryactivityagainsttropicalfruit anthracnose fungi. J. Sci. Food Agric., 94, 1739–1744.

MacArtain, P., Gill, C.I., Brooks, M., Campbell, R., Rowland, I.R., 2007. Nutritional value of edible seaweeds. Nutr. Rev. 65, 535–543.

Mady M. A., 2009. Effect of foliar application with yeast extract and zink on fruit setting Faba bean (*Vicia faba* L). J. Biol. Chem. Environ. Sci., 4(2), 109-127.

Manilal, A., Sujith, S., Kiran, G.S., Selvin, J., Shakir, C., Gandhimathi, R., Natarajapanikkar, M.V., 2009. Biopotentials of seaweeds collected from south west coast of India. J. Mar. Sci. Technol. 17, 67–73.

Manzo, E., Ciavatta, M.L., Bakkas, S., Villani, G., Varcamonti, M., Zanfardino, A., Gavagnin, M., 2009. Diterpene content of the alga *Dictyota ciliolata* from a Moroccan lagoon. Phytoch. Lett. 2, 211–215.

Maro , Hebert , R. Gandon et L. Solier, 1999 Dosage par spectrométrie gamma de l'iode 129 dans les échantillons biologiques marins et terrestres Application à des algues prélevées le long des côtes de la Manche : fucus serratus et laminaria digitata. pp. 13-24

- Masondo, N.A.; Kulkarni, M.G.; Finnie, J.F.; Van Staden, J. ,2018.** Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 147, 43–48. [CrossRef]
- Matanjan, P., Mohamed, S., Mustapha, N.M., Muhammad, K., 2009.** Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *J. Appl. Phycol.* 21, 75–80.
- Mayalen, Z., Daniel, R., Yolanda, F., 2007.** Antioxidant activities in tropical marine macroalgae from the Yucatan Peninsula. Mexico. *J. Appl. Phycol.* 19, 449–458
- McHugh, D., 2003.** A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries, Technical Paper N° 441. FAO, Rome, Italy
- Metting, B., W. J. Zimmerman, I. J. Crouch and J. Van Staden, 1990.** Agronomic Uses of Seaweeds and Microalgae. In: I. Akatsuka (Editor), *Introduction to Applied Phycology*, The Hague, the Netherlands, pp. 589-627
- Michalak, I., Chojnacka, K., 2015.** Production of seaweed extracts by biological and chemical methods. In: Kim, S.-K., Chojnacka, K. (Eds.), *Marine Algae Extracts: Processes, Products, Applications*. WILEY–VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim in press.
- Mittler, R. ,2002.** Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405–410.
- Mohammed ELMehdi ELBoukharil , Mustapha Barakate, Youness Bouhia and Karim Lyamlouli. ,2020.** Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Chapitre Algues Effect on Soil-Plant Systems [Received: 22 January 2020; Accepted: 10 February 2020; Published: 12 March 2020] *Plants* 9, 359; doi:10.3390/plants9030359 www.mdpi.com/journal/plants.
- Moubayed, N.M.S., Al Hour, H.J., AlKhulaifi, M.M., Al Farraj, D.A., 2017.** Antimicrobial, antioxidant properties and chemical composition of seaweeds collected from Saudi Arabia (Red Sea and Arabian Gulf). *Saudi J. Biol. Sci.* 24, 162–169.
- Mohamed, S., Hashim, S.N., Rahman, H.A., 2012.** Seaweeds: a sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends Food Sci. Technol.* 23, 83–96.
- Mooney PA, Van Staden J (1986)** Algae and cytokinins. *J. Plant Physiol.* 123: 1–21.
- Mohan, L. ; Reddy, C. V. ; Rao, P. V. ; Siddiqui, S. M., 1983.** Comparative evaluation of the nutritive value of cakes of groundnut, niger and safflower for poultry. *Indian J. Anim. Sci.*, 53 (7): 746-749

Mugnai, S., Azzarello, E., Pandolfi, C., Salamagne, S., Briand, X., and Mancuso, S. (2008). Enhancement of ammonium and potassium root influxes by the application of marine bioactive substances positively affects *Vitis vinifera* plant growth. *J. Appl. Phycol.* 20, 177–182. doi: 10.1007/s10811-007-9203-6

➤ N

Nagorskaia, V.P., Reunov, A.V., Lapshina, L.A., Ermak, I.M., Barabanova, A.O., 2008. Influence of kappa/beta-carrageenan from red alga *Tichocarpus crinitus* on development of local infection induced by tobacco mosaic virus in Xanthi-nc tobacco leaves. *Biol. Bull.* 35, 310–314.

Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1527–1536.

Nakajima Y, et al. (2009) . A Borealin/Dasra/CSC-1-like protein essential for Aurora/Ipl1 complex function and integrity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Biol Cell* 20(6):1772-84

Nakhel, C.; ,2017. De Pascale, S.The influence of *Ecklonia maxima* seaweed extract on growth, photosynthetic activity and mineral composition of *Brassica rapa* L. subsp *sylvestris* under nutrient stress conditions. *Eur. J. Hortic. Sci.* 82, 286–293.

Nawar, D. A. S., Ibraheim, S. K. A., 2014. Effect of algae extract and nitrogen fertilizer rates on growth and productivity of peas. *Middle. East. J. Agric. Res.* 3(4) : 1232-1241.

Ngala, B.M., Valdes, Y., dos Santos, G., Perry, R.N., Wesemael, W.M.L., 2016. Seaweed-based products from *Ecklonia maxima* and *Ascophyllum nodosum* as control agents for the root-knot nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne hapla* on tomato plants. *J. Appl. Phycol.* 28, 2073–2082.

Nelson, W.R. & Van staden, J. 1984. The effect of seaweed concentrate on growth of nutrient-stressed greenhouse cucumbers. *HortScience* 19: 81- 82.

➤ O

Occhipinti A. 2000 , Biotic Invasions in a Mediterranean Lagoon, *Biological Invasions* 2(2):165-176.

Oh, K.B., Lee, J.H., Chung, S.C., Shin, J., Shin, H.J., Kim, H.K., Lee, H.S., 2008. Antimicrobial activities of the bromophenols from the red alga *Odonthaliacorymbifera* and some synthetic derivatives. *Bio. Org. Med. Chem. Lett.* 18, 104–108.

Ozkutlu F., Torun B., Cakmak I. 2006. Effect of Zinc Humate on Growth of Soybean and Wheat in Zinc-Deficient Calcareous Soil. *Soil Science and Plant Nutrition* . 2769-2778

➤ P

Paparella, S.; Araújo, S.S.; Rossi, G.; Wijayasinghe, M.; Carbonera, D.; Balestrazzi, A., 2015. Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep.* 34, 1281–1293. [CrossRef]

Patel, K.; Agarwal, P.; Agarwal, P.K., 2018. *Kappaphycus alvarezii* sap mitigates abiotic-induced stress in *Triticum durum* by modulating metabolic coordination and improves growth and yield. *J. Appl. Phycol.* 30, 2659–2673. [CrossRef]

Pardee, K.I., Ellis, P., Bouthillier, M., Towers, G.H.N., French, C.J., 2004. Plant virus inhibitors from marine algae. *Can. J. Bot.* 82, 304–309.

Paulert, R., Ebbinghaus, D., Urllass, C., Moerschbacher, M., 2010. Priming of the oxidative burst in rice and wheat cell cultures by ulvan, a polysaccharide from green macroalgae, and enhanced resistance against powdery mildew in wheat and barley plants. *Plant Pathol.* 59, 634–642.

Prabhavathi, V., Rajam, M.V., 2007. Mannitol-accumulating transgenic eggplants exhibit enhanced resistance to fungal wilts. *Plant Sci.* 173, 50–54

Perez, R., 1997. Ces algues qui nous entourent. *Ifremer.* 272pp

Pesando, D., Caram, B., 1984. Screening of marine algae from the French Mediterranean coast for antimicrobial and antifungal activity. *Bot. Mar.* 27, 381–386.

Plouguerne, E., Le Lann, K., Connan, S., Jechoux, G., Deslandes, E., Stiger-Pouvreau, V., 2006. Spatial and seasonal variation in density, reproductive status, length and phenolic content of the invasive brown macroalga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt along the coast of Western Brittany (France). *Aquat. Bot.* 85, 337–344.

Pulz, O., Gross, W., 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 65, 635–648.

Povolny, M., 1976. The effect of an extract from sea algae on the yield, ripening, and storage of tomatoes. *Sbornik UVTIZ Zahradnictvi (Praha)*. 3 : 133-144.

Paulert, R., Ebbinghaus, D., Urlass, C., Moerschbacher, M., 2010. Priming of the oxidative burst in rice and wheat cell cultures by ulvan, a polysaccharide from green macroalgae, and enhanced resistance against powdery mildew in wheat and barley plants. *Plant Pathol.* 59, 634–642.

➤ R

Rajesh, S., Asha, A., Kombiah, P., Sahayaraj, K., 2011. Biocidal activity of algal seaweeds on insect pest and fungal plant pathogen. In: *Proceedings of the National seminar on Harmful/beneficial insects of agricultural importance with special reference to the nuisance pest *Luprops tristis* in rubber plantations*, pp. 86–91. ISBN 978-81-921589-0-7.

Ramade, A., 2009. *Eléments d'écologie appliquée*, 4ème édition, Edition Dunod, 689 p.

Ramkisson, A., Ramsubhag, A., Jayaraman, J., 2017. Phytoelicitor activity of three Caribbean seaweed species on suppression of pathogenic infections in tomato plants. *J. Appl. Phycol.* (17), 1160-1178

Rengasamy P., Tavakkoli E., McDonald G. K. (2016). Exchangeable cations and clay dispersion: net dispersive charge, a new concept for dispersive soil. *Eur. J. Soil Sci.* 67, 659–665. 10.1111/ejss.12369 [CrossRef] [Google Scholar]

Rao, P.S., Parekh, K.S., 1981. Antibacterial Activity of Indian Seaweed Extracts". *Botánica Marina.* 24, 577–582.

Rayorath, P., Jithes, M.N., Farid, A., Khan, W., Palanisamy, R., Hankins, S.D., Critchley, A.T., Prithiviraj, B., 2008a. Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *J. Appl. Phycol.* 20, 423–429.

Raj, T.S., Graff, K.H., Suji, H.A., 2016. Bio Chemical Characterization of a Brown Seaweed Algae and its Efficacy on Control of Rice Sheath Blight Caused by *Rhizoctonia Solani* Kuhn. *Int. J. Trop. Agric.* 34, 429–439.

Rajeshwari, R., Iizuka, N., Nolt, B.L. and Reddy, D.V.R. (1983). *Pl. Path.* 32: 197

Ribera Siguan MA, (2002). Review of non-native marine plants in the Mediterranean Sea. In: Leppakoski E, Gollasch S, Olenin S (eds), *Invasive aquatic species in Europe. Distribution, Impacts*

Rorrer GL, Cheney DP. 2004. Bioprocess engineering of cell and tissue cultures for marine seaweeds. *Aquacultural Engineering*; 32(1):11-41. Florence,

Rojas, C.; Senthil-Kumar, M.; Tzin, V.; Mysore, K. ,2014. Regulation of primary plant metabolism during plant-pathogen interactions and its contribution to plant defense. *Front. Plant Sci.* 5, 17. [CrossRef].

Rosell, K.G., Srivastava, L.M., 1987. Fatty acids as antimicrobial substances in brown-algae. *Hydrobiologia* 151, 471–475.

➤ S

Saa,S.;OlivosDelRio,A.;Castro,S.;Brown,P.H.,2015.Foliarapplicationofmicrobialandplantbiostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb). *Front. Plant Sci.* 2015, 6, 87.

Sahayaraj, K., Kalidas, S., 2011. Evaluation of nymphicidal and ovicidal effect of seaweed, *Padinapavonica* (Linn.)(Pheophyceae) on cotton pest, *Dysdercus cingulatus* (Fab.). *Indian J. Geo Mar. Sci.* 40, 125–129.

Sahayaraj, K., MaryJeeva, Y., 2012. Nymphicidal and ovipositional efficacy of seaweed *Sargassum tenerrimum* (J. Agardh) against *Dysdercus cingulatus* (Fab.) (Pyrrhocoridae). *Chilean J. Agric. Res.* 72, 152–156.

Sahayaraj, K., Rajesh, S., Asha, A., Rathi, J.M., 2012. Marine algae for the cotton pest and disease management. *Proc. Int. Conf. Agric. Sci. Eng., Nigeria* 1, 49–62.

Salle A.J., 1973. *Laboratory Manual on Fundamental Principles of Bacteriology.* McGraw. Book Company, New York, USA.

Sanderson, K.J., Jameson, P.E., Zabkiewicz, J.A., 1987. Auxin in a seaweed extract: identification and quantitation of indole-3-acetic acid by gas chromatography-mass spectrometry. *J. Plant Physiol.* 129, 363–367

Sano, Y., 1999. Antiviral activity of alginate against infection by tobacco mosaic virus. *Carbohydr. Polym.* 38, 183–186.

Santaniello A, Andrea Scartazza, Francesco Gresta, Elena Loreti, Alessandro Biasone, Donatella Di Tommaso, Alberto Piaggese, Pierdomenico Perata.,2017. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression *Frontiers in plant science* 8, 1362, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01362>

Sawhney, R., Webster, J.M., 1975. The role of plant growth hormones in determining the resistance of tomato plants to the root knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Nematologica* 21, 95–103.

Sharma, S.; Chen, C.; Khatri, K.; Rathore, M.S.; Pandey, S.P.,2019. Gracilaria dura extract confers drought tolerance in wheat by modulating abscisic acid homeostasis. *Plant Physiol. Biochem.* 136, 143–154. [CrossRef]

Sharma, H.S.S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J.R., Martin, T., 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *J. Appl. Phycol.* 26, 465–490.

Shibata T, Ishimaru K , Kawaguchi S, Yoshikaw H , Hama Y, 2008. Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae. *J Appl Phycol* (2008) 20:705–711

Sivasankari S, Venkatesalu V, Anantharaj M, Chandrasekaran M. 2006. Effect of seaweed extract on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. *Biores Technol* 97: 1745-1751

Sivasangari Ramya , C. Kalidass,S. Jayarani,M. 2010. Effect of seaweed liquid fertilizers on growth and biochemical constituents of *Brassica nigra* (L.). *Technol* 62: 945-951

Skelton, BJ; TL Senn ,.1969.Effect of seaweed sprays on quality and shelf life of peaches, *Proc. int. Seaweed Symp,*

Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. (1980). *Statistical methods.* 7th ed. Iowa State Univ. Press., Ames., Iowa, U.S.A.

Stamatiadis, S.; Evangelou, L.; Yvin, J.-C.; Tsadilas,2015. C.; Mina, J.M.G.; Cruz, F. Responses of winter wheat to *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract application under the effect of N fertilization and water supply. *J. Appl. Phycol.*, 27, 589–600.

Staudt M, Grodd W, Gerloff C, et al. ,.2002. Two types of ipsilateral reorganization in congenital hemiparesis: a TMS and fMRI study. *Brain.* a;125:2222–2237. [PubMed] [Google Scholar]

Stirk, W. A., Tarkowaska´, D., Turecova´, V., Sstrnad, M., Van staden, J., 2014. Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak, a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*. *J. Appl. Phycol.* 26 : 561-567

Stoop, J.M.H., Williamson, J.D., Pharr, D.M., 1996. Mannitol metabolism in plants: a method for coping with stress. *Trends Plant. Sci.* 1, 139–144.

Site1: <https://infovisual.info/fr/biologie-vegetale/reproduction-sexuee-et-asexuee-dune-algue-verte>

Sultana, V.; Baloch, G.N.; Ara, J.; Ehteshamul-Haque, S.; Tariq, R.M.; Athar, M. Seaweeds as an alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 2012, 84, 162.

➤ **T**

Trivedi, K.; Vijay Anand, K.G.; Vaghela, P.; Ghosh, A., 2018. Differential growth, yield and biochemical responses of maize to the exogenous application of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract, at grain-filling stage under normal and drought conditions. *Algal Res.*, 35, 236–244.

Tuney, I., Cadirci, B.H., Unal, D., Sukatar, A., 2006. Antimicrobial activities of the extracts of marine algae from the coast of Urla (Izmir, Turkey). *Turkish J. Biol.* 30, 171–175.

Turker, A.U., Camper, N.D., 2002. Biological activity of common mullein, a medicinal plant. *J. Ethnopharmacol.* 82, 117-125.

➤ **V**

Venkataraman Kumar, Mohan, V.R., Murugeswari, R and Muthusamy, M. 1993. EFFECT OF SEAWEED LIQUID FERTILIZER OF *SARGASSUM WIGHTII* ON THE GROWTH AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *ABELMOSCHUS ESCULENTUS* (L.) *MEDIKUS*. *Recent Research in Science and Technology* , 1(4): 155–158

Vera, J., Castro, J., Gonzalez, A., Moenne, A., 2011. Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants. *Mar. Drugs.* 9, 2514–2525.

Verkleij F. N. 2012, *Seaweed Extracts in Agriculture and Horticulture: Volume*, Wageningen Agricultural University , (8) 333-358

Vuorela S., 2005. *Analysis, isolation and bioactivities of rapessed phenolics.* Helsinki, Academic dissertation. 75 pages

➤ **W**

Wang, S., Zhong, F.D., Zhang, Y.J., Wu, Z.J., Lin, Q.Y., Xie, L.H., 2004. Molecular characterization of a new lectin from the marine algae *Ulva pertusa*. *Acta Biochim. Biophys. Sin.* 36, 111–117.

Watanabe N, Kato T, Fujita A, Ishizaki T, Narumiya S., 1999. Cooperation between mDia1 and ROCK in Rho-induced actin reorganization. *Nat Cell Biol.*;1(3):136-143.

Wu, Y., Jenkins, T., Blunden, G., von Mende, N., Hankins, S.D., 1998. Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *J. Appl. Phycol.* 10, 91–94

➤ **X**

Xing, W., Rajashekar, C., 2001. Glycine betaine involvement in freezing tolerance and water stress in *Arabidopsis thaliana*. *Environ. Exp. Bot.* 46 : 21-28.

➤ **Y**

Yadav, D.S.; Rai, R.; Mishra, A.K.; Chaudhary, N.; Mukherjee, A.; Agrawal, S.B.; Agrawal, M.,2019. ROS production and its detoxification in early and late sown cultivars of wheat under future O₃ concentration. *Sci. Total Environ*, 659, 200–210. [CrossRef]

Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H., 2017. Biostimulants in Plant Science: A global Perspective. *Frontiers in Plant Science* 7, p.1-32.

YVIN, J. C., CHABOT, R., SAVARY, P., 1989. Les algues en agriculture. Influence sur les plantes cultivées et approche moléculaire des mécanismes d'action. *Perspect. Agric.* 134 : 74-80.

➤ **Z**

Zaid, S.A.A., Abdel-Wahab, K.S.D., Abed, N.N., Abo El-Magd, E.K., Salah El-Din, R.A., 2016. Screening For Antiviral Activities of Aqueous Extracts of Some Egyptian Seaweeds. *Egypt. J. Hosp. Med.* 64, 430–435.

Zdanevitch I, Adam K, Clincke A-S., 2010 Algues vertes Description des phénomènes et procédés et enjeux de maîtrise des risques. Report No.: DRC-10, 3094-05297

Zhang, X., 1997. Influence of Plant Growth Regulators on Turf Grass Growth, Antioxidant Status, and Drought Tolerance PhD thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, pp. 1–144.

Zhao, L., Feng, C., Wu, K., Chen, W., Chen, Y., Hao, X., Wu, Y., 2017. Advances and prospects in biogenic substances against plant virus: a review. *Pest. Biochem. Physiol.* 135, 15–26.

Zou, P.; Lu, X.; Zhao, H.; Yuan, Y.; Meng, L.; Zhang, C.; Li, Y., 2019. Polysaccharides Derived From the Brown Algae *Lessonia nigrescens* Enhance Salt Stress Tolerance to Wheat Seedlings by Enhancing the Antioxidant System and Modulating Intracellular Ion Concentration. *Front. Plant Sci*, 10, 48. [CrossRef]

Zitouni H, 2015. Valorisation nutritionnelle d'algues marines du littoral Algérien chez le ruminant via des méthodes chimiques, biologiques et moléculaires, Thèse doctorat LMD Université des Frères Mentouri Constantine.