



LES STIMULATEURS DE DEFENSE

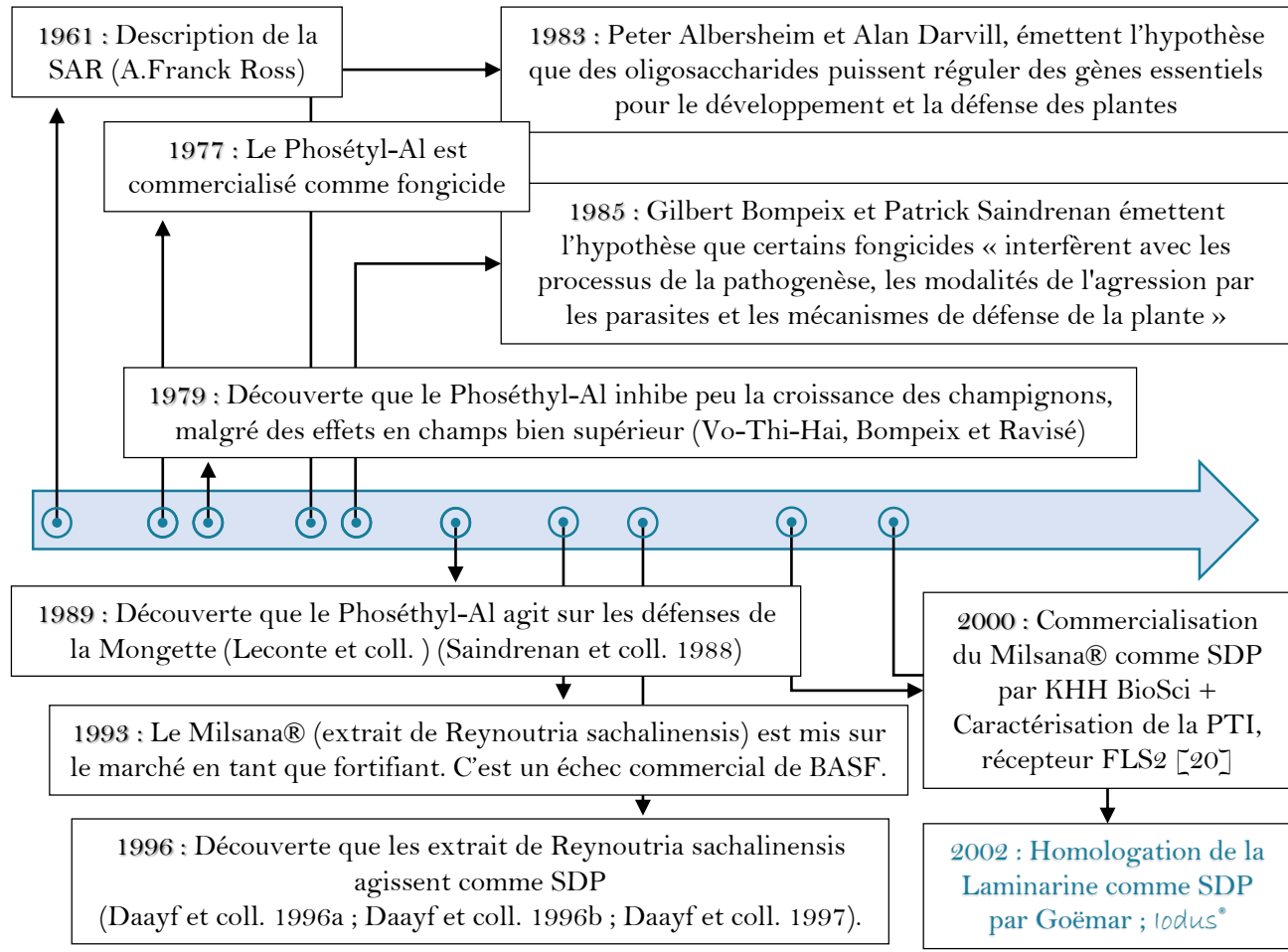
Une innovation de Biocontrôle

Historique et intérêt pour la protection des cultures

Les stimulateurs de défense des plantes (SDP) :

Les Stimulateurs de défenses de la plante sont des substances ou produits capables d'**induire** ou de **préparer l'induction des résistances** de la plante. On confère le terme SDP à un produit si ce produit induit une réponse physiologique de la plante en cascade amenant à l'**activation** de ses **défenses naturelles**. Les SDP peuvent être d'origines naturelles ou non. On parle bien ici d'une **réponse indirecte** au stress car la molécule n'a en général pas d'action directe sur le bio-agresseur [1].

Les origines du concept de SDP :



[1][2][3]

Intérêt de la stimulation :

Tous les végétaux possèdent des mécanismes **immunitaires** pour se défendre contre les bio-agresseurs. Certains de ces mécanismes sont très **généraux** et confèrent donc une résistance contre un large spectre de bio-agresseurs, d'autres sont **spécifiques**.

Au champ c'est le contact avec l'agent pathogène qui déclenche les mécanismes de défense. Ici l'intérêt est de **mimer l'attaque par un pathogène** afin que le végétal **active ses défenses** alors que la pression est nulle [3][9].

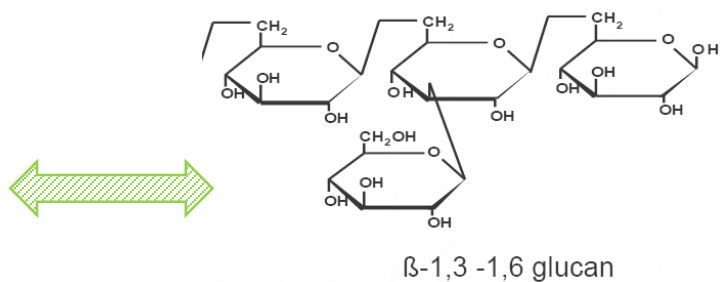
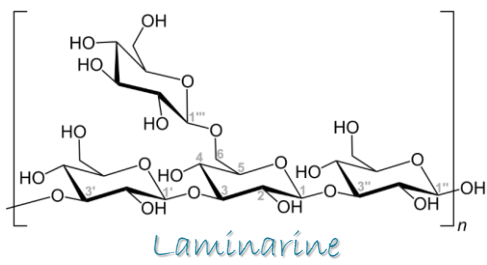


LA LAMINARINE

Carte d'identité et mode d'action

Algue Brune : *Laminaria digitata*

Matière active :



Oligo glucanes issus de la paroi des champignons

La laminarine est un **polysaccharide** de résidus de glucose ramifié, sa structure est similaire au β -glucane un polysaccharide de D-glucose liés par des liaisons $\beta(1\rightarrow3)$, $\beta(1\rightarrow4)$ ou $\beta(1\rightarrow6)$. Le β -glucane est un **composé pariétal** de certains **champignons et bactéries** ainsi que dans les parois cellulaires de la plante sous forme de fragments de **callose** [2][4][Goëmar*].

Mode d'action :

Définition d'un éliciteur

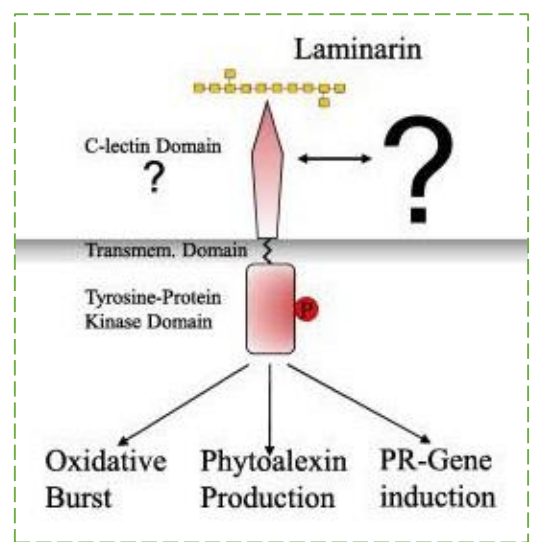
« Molécule produite par un agent pathogène ou un ravageur, qui induit chez une plante une réaction de défense par la production de phytoalexines ; par extension, toute molécule qui déclenche un mécanisme de défense avec production de substances défensives. » Selon la CEB**

Ce mode d'action est caractéristique des substances dites **Elicitrices**.

Du fait de la **ressemblance de structure** de la laminarine avec des composés pouvant témoigner d'une attaque, les récepteurs de la plante ont une affinité avec la laminarine ce qui déclenche la **réponse induite** de la plante [4]. On suppose que la plante reconnaît la laminarine comme si elle était réellement attaquée par un pathogène, dans ce cas la laminarine est reconnu comme étant un Pathogen Associated Molecular Pattern (**PAMP**). Il se pourrait également que la laminarine mime des molécules produites lors de la destruction des cellules végétales > Damaged Associated Molecular Pattern (**DAMP**).

Mécanisme de reconnaissance :

La stimulation de la plante se fait via des **processus biochimiques**. Le mécanisme de reconnaissance met en jeu un ou plusieurs récepteurs de la plante possiblement insérés dans la membrane plasmique. Ce mécanisme de reconnaissance est **non spécifique**, le spectre de reconnaissance est donc large. Ce mécanisme est donc commun à un grand nombre d'espèces (blé, orge, vigne, pommier, fraise, laitue, tabac, tomates...). L'application de laminarine peut donc théoriquement déclencher une réponse chez toutes ces espèces. Voir les exemples d'efficacité du produit sur différentes espèces végétales en termes de diminution de fréquence et d'intensité de la maladie :



Maladie : Feu Bactérien
Efficacité : 63 %
Nbr d'essais : 9



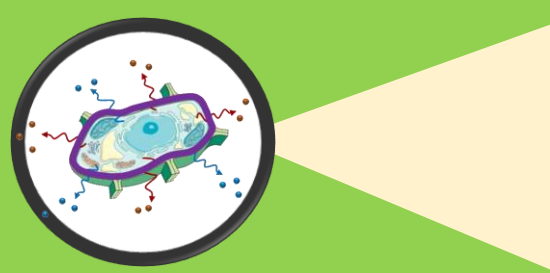
Maladie : Oïdium
Efficacité : 66 %
Nbr d'essais : 12



Maladie : Bremia
Efficacité : 60 %
Nbr d'essais : 15



Maladie : Feu Bactérien
Efficacité : 62 %
Nbr d'essais : 8



LA RÉPONSE INDUITE

Une cascade de réactions

Le mécanisme de défense basale des plantes

3

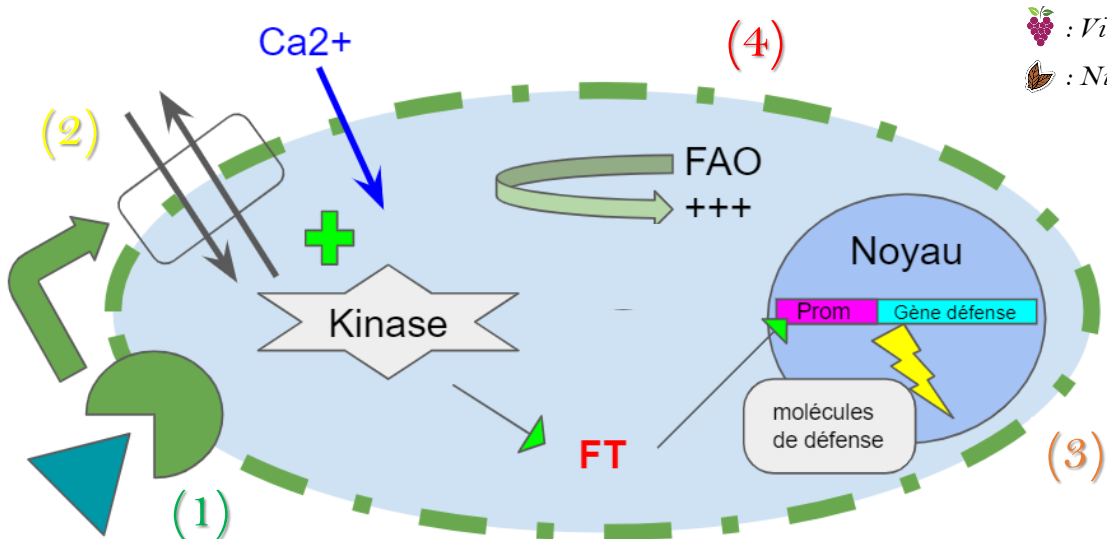
Après avoir reconnu un pathogène ou bien après avoir été stimulé par un éliciteur la plante déclenche la **réponse induite** [6] ou **réponse basale** qui constitue sa première ligne de défense [7]. Cette réponse diffère selon l'espèce considérée [4 > Tabac][7 > Vigne].

(1) **Reconnaissance** : Le récepteur membranaire de la plante reconnaît la laminarine comme un **PAMP** ou un **DAMP** dépendant du contexte.

(2) **Cascade d'évènements intracellulaires** 🍇 🌿 : L'interaction récepteur/laminarine active des processus cellulaires menant à la résistance induite. On peut en particulier citer une **dépolarisation membranaire**, l'entrée importante d'ions **Ca²⁺** dans la cellule, et l'activation de protéines kinases une étape essentielle pour la transmission du signal à l'intérieur de la cellule.

(3) **Expression des gènes de défense** : Les kinases activent des facteurs de transcription spécifiques des gènes de défense qui entrent ensuite dans le noyau pour se fixer sur des séquences promotrices en amont, ce qui permet la synthèse des **molécules de défense** (protéines PR 🌿, phytohormones, acide salicylique 🌿, métabolites secondaires, phytoalexines 🍇)

(4) **Accumulation de Formes Actives de l'Oxygène (FAO)** 🍇 🌿, telles que H₂O₂ et l'oxyde nitrique : Ces molécules ont des actions **antimicrobiennes** directes et sont aussi impliquées dans le renforcement des parois cellulaires et dans la réaction d'hypersensibilité.



🍇 : *Vitis vinifera*

🌿 : *Nicotiana tabacum*

Schéma bilan montrant la succession d'évènements au cœur de la cellule qui conduisent à la mise en place de ses défenses.

En bref

Limiter l'infection en :

Empêchant le développement du pathogène : **Phytoalexines**

Evitant de nouveaux foyers infectieux :

-Via le renforcement pariétal : **FAO**

-Via la dégradation des parois du pathogène : **Protéines PR**





LIMITES D'UTILISATION

Mécanismes de résistance et points faibles

Questionnement de l'efficacité produit

4

Ensemble de facteurs limitants :

Eléments à prendre en compte pour éviter l'échec d'un produit de biocontrôle à base de laminarine en champ

PLANTE :

- Absence ou changement des récepteurs (relié à l'effet génotype-variété)
- Coût physiologique de l'induction des défenses par les SDP (auto-toxicité, allocation des ressources) [10]
- Stade physiologique d'application [11]
- Effet variété-génotype sur la réponse basale déclenchée par des SDP [8][19]

SUBSTANCES ELICITRICES :

- *Pathogène capable d'outrepasser la réponse basale [5]
- Sourcing de la laminarine, différente qualité d'algue en fonction du moment de la récolte (facteurs biotiques et abiotiques sur la teneur en polysaccharides) [13]
- Pénétration de la laminarine par les stomates [12]
- Surdose = effet phytotoxique et/ou inhibition de l'activité microbienne [14][15][16]

ENVIRONNEMENT :

- Modalités d'applications
- Conditions météorologiques à l'application du produit, en particulier température et lumière [8]
- Fertilisation du sol, effet positif ou négatif de la nutrition azotée [9]

*Certains pathogènes sont capables de contourner la PTI :

En effet, ils peuvent produire différents effecteurs afin d'inhiber ou de réduire la défense basale :

- Détoxification des FAOs
- Dissimulation de la chitine
- Tolérance/Inactivation des phytoalexines





DURABILITÉ DU SYSTEME

Pistes d'améliorations

Mise en commun des données

5

Pistes hiérarchisées d'amélioration du pouvoir protecteur

① – Contrôler/diversifier le **sourcing** de la matière active. Garantir un dosage de la molécule active dans le filtrat final, ainsi qu'une étude de **stabilité** de celle-ci dans différentes conditions environnementale [Goëmar].



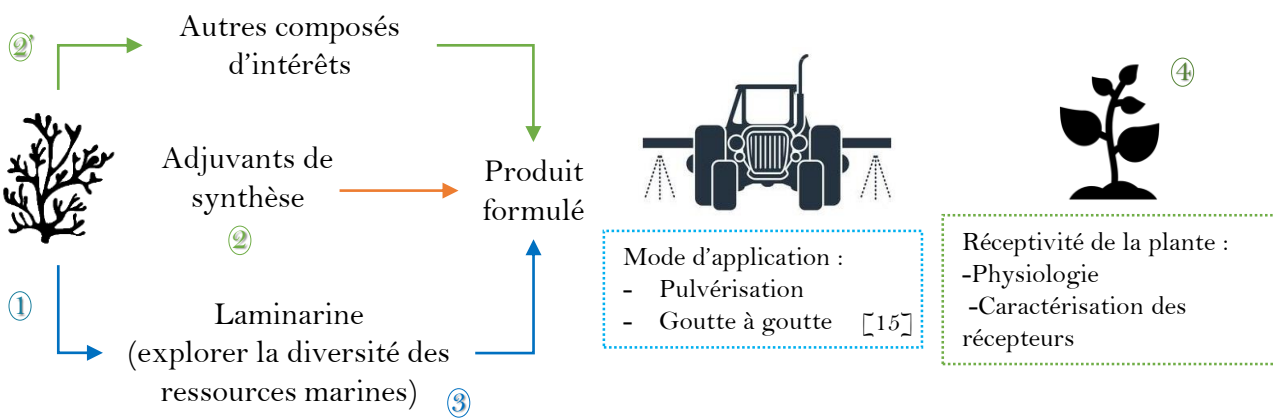
② – Améliorer la **formulation** pour faciliter l'application, en ajoutant des **adjuvants**. Il existe différents agents mouillants ou encore des réducteurs de tensions superficielles qui permettent une meilleur captation de la molécule active par la plante et ainsi une meilleur efficacité du produit. [17][18]

② - Par exemple, l'adjuvant AGROTONIC à base d'huiles minérales et d'algues *Laminaria digitata*, utilise déjà ce principe, car il améliore la pénétration des produits herbicides [Agrocéan]

③ - Nous avons pu voir que les récepteur de ce type de molécules pouvaient présenter des spécificités, nous pourrions donc envisager des **hémisynthèses**, à partir de la laminarine afin de modifier une partie de la molécule pour adapter celle-ci aux récepteurs des plantes.



④ - Etude de la réceptivité de la plante, physiologie, présence de récepteurs → Amélioration de la réponse des plantes au SDP via la **sélection variétale**. On peut imaginer la sélection et la multiplication de plante répondant positivement à l'application de SDP [Groupe INRA BiBioS].



Augmenter les synergies entre différents domaines d'activité
une autre voie à explorer... La laminarine comme **biostimulant** ? En effet beaucoup d'extraits d'algues ont déjà été commercialisées pour leurs effets biostimulants, que ce soit pour la rétention de l'eau dans le sol grâce aux alginates qu'elles contiennent mais aussi comme engrais riche en minéraux (Van Oosten 2017; Dhargolkar and Pereira 2015). De plus la laminarine est une **algue brune** comme *Ascophyllum nodosum*, une algue déjà commercialisée en tant que biostimulant.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Historique SDP et Laminarine :

- [1] A. BLANCHARD : Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDP), histoire d'une innovation phytosanitaire (1977-2007). Cahiers COSTECH, 2018. hal-01633345v2
- [2] A. BLANCHARD et F. LIMACHE : Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDP)
- [3] O. KLARZYNSKI et B. FRITIG : Stimulation des défenses naturelles des plantes. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie, 324:953-963, 2001.
- [4] O. KLARZYNSKI et B. PLESSE : Linear β -1,3 Glucans are elicitors of defense responses in tobacco
- [20] L. Gomez et T. Boller : FLS2: An LRR receptor-like Kinase involved in the perception of the bacterial elicitor flagellin in *Arabidopsis*

Mécanisme de reconnaissance et Réponse Induite:

* : Goëmar ou (Laboratoire Goëmar) est une entreprise bretonne créée en 1971 et basée à Saint-Malo, spécialisée dans les technologies durables pour l'agriculture, qui propose des produits phytosanitaires pour la protection des plantes sur la base d'algues.

** : Définition Eliciteur par la Commission d'essai biologique de l'Association Française de Protection des Plantes

- [5] Andrea Sánchez-Vallet, Jeroen R. Mesters, Bart P.H.J. Thomma The battle for chitin recognition in plant-microbe interactions FEMS Microbiology Reviews, Volume 39, Issue 2, March 2015,
- [6] N. Benhamou et K. Picard : La résistance induite : une nouvelle stratégie de défense des plantes contre les agents pathogènes. Phytoprotection 80 – p. 137-168.
- [7] A. Aziz et al : Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*.

Limites et Durabilité :

- [8] Walters D., Walsh D., Newton A. et Lyon G., 2005, « Induced Resistance for Plant Disease Control: Maximizing the Efficacy of Resistance Elicitors », *Phytopathology*, 95(12), pp. 1368-1373.
- [9] Dietrich R., Ploss K. et Heil M., 2004, « Constitutive and induced resistance to pathogens in *Arabidopsis thaliana* depends on nitrogen supply », *Plant, Cell and Environment*, volume 27.
- [10] Heil M., 2001, « The ecological concept of costs of induced systemic resistance (ISR) », *European Journal of Plant Pathology*, volume 107.
- [11] Steimetz E. et al., 2012, « Influence of leaf age on induced resistance in grapevine against *Plasmopara viticola* », *Physiological and Molecular Plant Pathology*, volume 79.
- [12] Paris, F. 2015, Modification chimique de la laminarine en vue d'améliorer son efficacité d'inducteur de résistance contre le mildiou de la vigne. Importance et caractérisation de la biodisponibilité foliaire (Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, FRA).
- [13] Burlot Anne-Sophie. Étude de la macroalgue rouge *Solieria chordalis* : aspects écophysio-logiques, production d'extraits et perspectives d'applications. Biodiversité et Ecologie. Université Bretagne Loire, 2016.
- [14] Sivasangari Ramya S., Nagaraj, S. et Vijayana, N., 2011, « Influence of Seaweed Liquid Extracts on Growth, Biochemical and Yield Characteristics of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub », *Journal of phytology*, 3(9).
- [15] Ferreira M. et Lourens A., 2002, « The efficacy of liquid seaweed extract on the yield of canola plants », *South African Journal of Plant and Soil*, 19(3).
- [16] Chen S.-K., Subler S. et Edwards C. A., 2002, « Effects of agricultural biostimulants on soil microbial activity and nitrogen dynamics », *Applied Soil Ecology*, 19(3).
- [17] N. BENHAMOU et P. REY : Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable.
- [18] Intérêt des SDP en protection des cultures. *Phytoprotection* 92, 2012, p. 24-35.
- [19] Réseau d'expert ELICITRA