



Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes – Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques

Rapport final – Décembre 2014

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

Le présent rapport n'engage que ses auteurs et ne saurait être considéré comme la position du MAAF.

Informations sur le projet

Client	<p>Cette étude a été coordonnée conjointement par le Centre d'Etudes et de Prospective (CEP) et la Sous-Direction de la Qualité et de la Protection des Végétaux (SDQPV).</p> <p>Cette étude a été financée par le Programme 215 du MAAF.</p>				
Nom du marché	<p>Marché n° SSP-2013-094 – Substances alternatives en agriculture (activateurs du sol, stimulateurs de défense naturelle, etc.) visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes</p>				
Equipe de projet	<p>BIO by Deloitte (BIO) et RITTMO Agroenvironnement (RITTMO)</p>				
Date	<p>Décembre 2014</p>				
Auteurs	<p>Ludovic FAESSEL, RITTMO Catherine GOMY, BIO Najat NASSR, RITTMO Clément TOSTIVINT, BIO Clémence HIPPER, RITTMO Agnès DECHANTELOUP, BIO</p>				
Contacts clés	<table><tr><td>Catherine GOMY cgomy@bio.deloitte.fr</td><td>Ludovic FAESSEL Ludovic.FAESSEL@rittmo.com</td></tr><tr><td>Clément TOSTIVINT ctostivin@bio.deloitte.fr</td><td>Najat NASSR Najat.NASSR@rittmo.com</td></tr></table>	Catherine GOMY cgomy@bio.deloitte.fr	Ludovic FAESSEL Ludovic.FAESSEL@rittmo.com	Clément TOSTIVINT ctostivin@bio.deloitte.fr	Najat NASSR Najat.NASSR@rittmo.com
Catherine GOMY cgomy@bio.deloitte.fr	Ludovic FAESSEL Ludovic.FAESSEL@rittmo.com				
Clément TOSTIVINT ctostivin@bio.deloitte.fr	Najat NASSR Najat.NASSR@rittmo.com				
Remerciements	<p>Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des acteurs ayant participé aux différentes réunions du comité de pilotage de l'étude.</p> <p>Les auteurs tiennent également à remercier l'ensemble des entreprises et des personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude.</p>				
Avertissements	<p>Les auteurs de cette étude déchargent toute responsabilité concernant tout dommage direct ou indirect faisant suite à l'utilisation de ce rapport. Ce rapport contient le résultat de recherches menées par les auteurs sur la base d'entretiens avec les acteurs clés des filières et de recherches bibliographiques. Ce rapport ne peut en aucun cas être interprété comme l'opinion du MAAF.</p>				

Résumé

Contexte et objectifs

Ces dernières années ont vu se développer, au sein du marché des intrants agricoles, divers produits et substances qui visent à **améliorer le fonctionnement du sol, de la plante ou les interactions entre sol et plante**. Il s'agit d'une catégorie très large de produits et substances qui apportent des solutions souvent innovantes dans le domaine de la fertilisation et de la protection des cultures. Ces solutions ont pour caractéristique commune de reposer sur un mode d'action passant par la **stimulation de processus biologiques** au niveau du sol ou de la plante. Ainsi, plutôt que d'agir « directement » sur un facteur externe affectant la production agricole (par exemple : attaque par un bioagresseur ou problème de disponibilité des éléments nutritifs), ces solutions permettent d'agir sur la **capacité des systèmes biologiques à s'adapter** (par exemple : stimulation des défenses naturelles de la plante ou meilleure absorption des nutriments, respectivement).

De par leurs modes d'action originaux, ces « **produits de stimulation** » sont parfois qualifiés « d'alternatifs » dans la mesure où ils se différencient d'autres solutions à action directe (action biocide sur un bioagresseur, apport d'engrais, etc.) considérées comme plus « conventionnelles ».

Les produits de stimulation suscitent un intérêt grandissant auprès des différents acteurs du monde agricole :

- La stimulation des défenses naturelles des plantes peut constituer une option pour aller vers la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques « conventionnels », un objectif poursuivi par le plan Ecophyto ;
- Les biostimulants peuvent quant à eux être un moyen pour limiter les apports en engrais minéraux.

Dans ce contexte, et dans le cadre du projet agroécologique pour la France et du plan Ecophyto, le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt (MAAF) a souhaité avoir une vision plus précise de la situation et des connaissances autour de ces produits de stimulation et a donc mandaté Bio by Deloitte¹ et RITTIMO Agroenvironnement² pour réaliser une étude consistant en premier lieu à :

- **Réaliser un panorama** de cette catégorie de produits afin d'en définir les contours et les caractéristiques.
- **Faire le point sur les connaissances scientifiques** en particulier sur les modes d'actions de ces produits, leur efficacité et les risques (éco) toxicologiques liés à leur usage.
- **Décrire le positionnement** de ces produits dans les cadres réglementaires existants et les évolutions à venir.
- **Etudier la dynamique de marché** et les perspectives de développement, en détaillant notamment les acteurs engagés sur le marché et leurs parts de marchés.
- **Analyser la pertinence agronomique** et le positionnement de ces produits dans des systèmes agroécologiques.

Dans un second temps, les enseignements de l'étude ont permis de **dresser des perspectives** à moyen terme et de **formuler des recommandations** à destination du MAAF.

¹ www.bio.deloitte.fr

² <http://www.rittmo.com/>

Périmètre et méthodologie

L'appellation générique de « produit de stimulation » a été utilisée pour qualifier les deux types de produits sur lesquels l'étude a porté :

- Les « **stimulateurs de(s) défense(s)** » qui sont communément appelés Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) et qui sont utilisés dans le cadre de la phytoprotection ;
- Les « **biostimulants** » qui regroupent des appellations telles que « biofertilisant », « activateur de sol », « stimulateur de croissance et/ou de développement », « phytostimulant », etc., et qui sont utilisés dans le domaine de la fertilisation.

Les informations restituées dans le rapport de l'étude s'appuient sur une **revue bibliographique approfondie** et **36 entretiens** effectués auprès de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur : metteurs sur le marché, organisations professionnelles, scientifiques, expérimentateurs, autorités/évaluateurs, utilisateurs et presse spécialisée.

Les principaux enseignements

La terminologie associée aux produits de stimulation

La terminologie relative aux produits de stimulation est complexe et diversifiée, elle peut en outre varier de manière significative en fonction du registre : articles scientifiques, textes réglementaires ou documents commerciaux. Voici quelques exemples de termes identifiés dans le cadre de l'étude :

- **SDP** – Eliciteur, Inducteur de résistance, SDN, SDP, Stimulateur de vitalité, Vaccin pour plantes, etc.
- **Biostimulant** – Activateur de sol, Additif agronomique, Agent nutritionnel, Biofertilisant, Conditionneur de plantes, Nutriciteur, Phytostimulant, Physioactivateur, etc.
- **Concepts associés aux produits de stimulation en général** – Bioinquant, Bionutrition, Bouclier naturel PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), PGPF (Plant Growth Promoting Fungi)

Il faut souligner que nombre de termes ne possèdent pas de définition réglementaire ou à caractère officiel. Des définitions sont parfois proposées dans la littérature scientifique ou par des groupes de travail dédiés.

Les définitions retenues pour cette étude sont :

- **Stimulateur de Défense des Plantes (SDP)** : « Toute substance ou micro-organisme vivant non pathogène capables **d'induire (ou de préparer à l'induction) des réponses de défense** chez une plante qui conduisent à une meilleure résistance de la plante **face à des stress biotiques**. ». (*RMT Elicitra, 2013*)
- **Biostimulant** : « Un matériel qui contient une (des) substance(s) et/ou micro-organisme(s) dont la fonction, quand appliqué aux plantes ou à la rhizosphère, est **de stimuler les processus naturels pour améliorer/avantager l'absorption des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures**, indépendamment du contenu en nutriments du biostimulant. ». (*EBIC, 2014*)

Origine et nature des produits de stimulation

Le foisonnement terminologique est en partie dû à la diversité d'origine et de nature des produits. De fait, les produits de stimulation sont définis par « ce qu'ils font » plus que par « ce qu'ils sont ». Ce n'est au final pas l'origine et la nature qui importent, mais bien le mode d'action « stimulation ». Le tableau ci-après dresse une liste synthétique des principales origines des produits de stimulation. Il faut souligner que certains d'entre eux peuvent être considérées à la fois comme SDP et biostimulant et que certaines substances SDP

ont aussi un mode d'action biocide (produit détruisant les bioagresseurs) ou antagoniste (micro-organisme compétiteur pour l'espace ou les nutriments des pathogènes).

Origine / nature	Produits de stimulation
Substances issues du vivant	Bactéries, Spores et mycélium de champignons, Virus atténué, Extraits complexes/purifiés d'algues, Extraits complexes/purifiés de plantes, Extraits purifiés de macro-organismes
Substances de synthèse d'origine non xénobiotique	Protéines, Peptides et Dérivés d'Acides aminés, Lipides et dérivés lipidiques, Autres substances non xénobiotiques
Substances de synthèse d'origine xénobiotique	Analogues fonctionnels de l'acide salicylique Autres substances xénobiotiques
Substances organo-minérales	Extraits minéraux

La grande diversité de substances actives, commercialisées ou en cours de développement, et présentant un effet « de stimulation » s'explique par :

- Un intérêt marketing – L'intérêt fort des industriels dans les vingt dernières années, notamment les Petites et Moyennes Entreprises (PME), qui ont financé des projets de recherche afin de découvrir et tester des molécules nouvelles.
- Un intérêt scientifique – L'étude de ces substances permet d'avoir de meilleures connaissances fondamentales sur la nutrition des plantes ou sur les interactions entre la plante et les bioagresseurs.

L'étude a néanmoins mis en évidence la faible proportion de produits de type SDP commercialisés en France en comparaison du nombre de substances étudiées en laboratoire. Ce constat s'explique notamment par les décalages entre efficacité au laboratoire et au champ et par la complexité de la procédure d'homologation en tant que produits phytopharmaceutiques.

Du côté des biostimulants, un recensement non exhaustif permet d'estimer le nombre de produits biostimulants sur le marché français à plus de 300.

Principales revendications agronomiques

L'étude a permis de dresser une typologie des revendications mises en avant par les metteurs en marché de produit de stimulation. Sept grandes catégories de revendication ont ainsi été identifiées :

- Résistance aux stress biotiques
- Résistance aux stress abiotiques
- Amélioration de la croissance et du développement
- Meilleure absorption des nutriments
- Meilleure qualité des récoltes
- Gain économique (dont augmentation des rendements)
- Gain environnemental (faible impact sur l'environnement)

Ces revendications permettent de distinguer de façon plus aisée les biostimulants et les SDP. En effet, en complément des gains économiques et environnementaux revendiqués par les deux catégories de produits, les biostimulants et les SDP mettent en avant des allégations spécifiques : **résistance aux stress biotiques pour les SDP, résistance aux stress abiotiques et autres revendications pour les biostimulants.**

Positionnement réglementaire des produits de stimulation

Du point de vue réglementaire, les biostimulants (qui sont mis en marché uniquement en tant que MFSC³) ne devraient jamais être associés à une revendication de type « résistance aux stress biotiques », tandis que les SDP (mis en marché suivant la réglementation PPP⁴) ne peuvent pas faire des revendications de type « stimulation de croissance ». Cependant cette distinction **n'est pas forcément pertinente sur le plan biologique**, certaines substances pouvant avoir un caractère mixte du fait de leur mode d'action. Les produits contenant ces substances actives pourraient donc revendiquer à la fois une résistance à un stress biotique et une stimulation de la croissance racinaire.

L'exemple des micro-organismes PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) illustre cette mixité. Dans la grande majorité des cas, ces bactéries sont mises en marché en tant que MFSC, les produits correspondants revendiquent alors une amélioration de la nutrition des plantes ou de la résistance aux stress abiotiques. Pourtant, il a été démontré que certaines de ces mêmes bactéries peuvent également avoir des effets de stimulation des défenses des plantes et pourraient de ce fait être mises sur le marché en tant que PPP après homologation adéquate (l'autorisation des produits phytopharmaceutiques se fait via une double procédure : l'approbation de substances actives au niveau européen ; puis l'autorisation de mise sur le marché pour les produits phytopharmaceutiques au niveau national).

La réglementation des MFSC étant moins contraignante, la grande majorité des substances à caractère mixte sont mises sur le marché en tant que MFSC et revendiquent uniquement des effets de stimulation de croissance et/ou de résistance aux stress abiotiques.

Actuellement en Europe, il existe quatre systèmes d'homologation des MFSC : système déclaratif, autorisation avec dossier évalué, notification simple, et reconnaissance mutuelle. Il y a plusieurs niveaux d'exigences en fonction des pays ; la France étant au niveau européen un des pays pour lesquels la mise en marché d'un produit biostimulant requiert le plus de données (composition, efficacité, innocuité).

En 2009, lors de sa présidence de la Commission Européenne, la France a engagé une réflexion sur l'harmonisation des législations européennes pour les MFSC. Depuis cette date, différents groupes de travail au sein de la CE (dont le *Fertilisers Working Group*⁵) ont réfléchi à un projet de réglementation harmonisée. Ayant pour objectifs d'assurer la libre circulation de tous les MFSC dans l'UE et de soutenir la compétitivité des différentes industries (tout en assurant la maîtrise des risques pour la santé humaine et l'environnement). A ce jour, aucun projet de texte n'est disponible, néanmoins les discussions s'orientent vers une coexistence de deux systèmes réglementaires :

- Un **système déclaratif** pour :
 - Les engrais minéraux, organiques et organo-minéraux
 - Les amendements minéraux basiques, organiques et inorganiques
 - Les supports de culture

- Un **système de notification avec dossier détaillé potentiellement évalué après le démarrage de la mise en marché** pour :
 - Les biostimulants
 - Les additifs agronomiques (chélatants/complexants, inhibiteurs d'uréase et de nitrification)

³ Matières Fertilisantes et Supports de Culture

⁴ Produits Phytopharmaceutiques

⁵ Rapports disponibles sur le site :

<http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=1320>

Effacité

En raison de la complexité des substances actives et de leurs modes d'action particuliers, l'efficacité des produits de stimulation, que ce soient les biostimulants ou les SDP, est parfois difficile à démontrer, en particulier lors des essais réalisés en plein champ. En effet, les tests d'efficacité des produits de stimulation nécessitent généralement de nombreuses répétitions, car l'efficacité est souvent trop erratique avec des variations au sein d'un même essai ou entre essais.

Pour les produits de type SDP, on compare dans la plupart des cas leur efficacité à celle des produits « classiques » qui sont souvent plus efficaces. Il est pourtant nécessaire de ne pas écarter une substance dont l'efficacité serait certes plus faible mais qui pourrait s'avérer utile si elle permet de faire « mieux que rien », par exemple en permettant une résistance même faible contre un bioagresseur ou en améliorant un processus physiologique de la plante qui ne serait pas stimulé en l'absence du produit. Une telle efficacité, même « partielle », pourrait en effet réduire ou retarder l'application d'un produit phytosanitaire plus classique. Cette efficacité « partielle » est également pertinente dans le cas des impasses techniques : quand un SDP permet de pallier l'absence de PPP « classique » autorisé pour un usage spécifique (cas des usages orphelins).

On touche ici à la notion d'**efficacité globale** d'un produit, qui prend en compte l'ensemble des effets résultant de l'application d'un produit dans un système agricole. Elle peut ainsi être considérée comme un équilibre entre plusieurs aspects, notamment les effets positifs (diminution de l'impact des bioagresseurs visés, etc.), les effets négatifs (dégâts infligés aux auxiliaires, etc.) et la dimension économique (coût d'un produit vs. augmentation des rendements par exemple). Dans certains cas (absence de produit efficace, apparition de résistance d'un bioagresseur à une molécule chimique, volonté de réduire les intrants, biocontrôle, agriculture biologique, etc.), il est nécessaire de ne pas écarter une substance dont l'efficacité serait certes plus faible, mais dont l'efficacité globale (utilité) serait tout de même un atout.

Plusieurs phénomènes présentés ci-après et recensés via la revue des publications scientifiques et des interviews réalisées permettent d'expliquer, ou du moins d'émettre des hypothèses, quant aux différences parfois identifiées entre les effets observés en laboratoire et l'efficacité au champ :

- **Type de culture et variétés** – Importance du génotype (espèces et variétés végétales considérées) pour les SDP et les biostimulants de type substances et micro-organismes.
- **Conditions environnementales** – grande importance pour les micro-organismes (SDP ou biostimulants) et de façon plus générale plus grande sensibilité des SDP.
- **Coût physiologique des SDP** – Les défenses induites sont bénéfiques pour la plante en présence de pathogènes mais elles entraînent un coût pour le développement de la plante en l'absence de pathogènes.
- **Stade de développement de la plante** – Effet sur la pénétration et l'absorption du produit, influence sur la capacité à répondre à la stimulation
- **Niveau de pression des bioagresseurs pour les SDP** – Diminution de l'efficacité dans le cas d'une forte pression
- **Modalités d'application des produits** – Grande importance du respect des doses, des dates d'apport, nécessité d'application sur toute la surface foliaire, etc.
- **Formulation et conservation des produits** – Constance de la formulation pour les micro-organismes, détermination et communication des dates limites d'utilisation et des conditions de stockage permettant de conserver les propriétés du produit.

Ainsi, la controverse liée à l'efficacité des produits de stimulation vient principalement du fait que certains produits mis en marché ont une efficacité variable en raison de la forte influence de facteurs (environnementaux, physiologiques, etc.) qui sont soit mal connus (besoins de travaux de recherche complémentaires), soit non communiquées de façon claire par les metteurs sur le marché, soit mal pris en compte lors de l'application par les utilisateurs (besoin de formation). De plus, il existe parfois un décalage

entre des revendications « marketing » fortes, des attentes importantes des utilisateurs, et les effets réellement observés.

Toutefois, certains produits de stimulation ont réellement démontré une efficacité en plein champ lors d'essais réalisés en conditions réelles d'utilisation. Il est donc essentiel de ne pas généraliser les problèmes d'efficacité de ces substances et par ailleurs de favoriser des approches leurs permettant d'être intégrés dans des programmes de protection des cultures, et non pas en substitution totale de produits « conventionnels ». A terme, une intégration optimisée de ces produits dans un programme de protection des cultures semblerait être une stratégie prometteuse.

Produits de stimulation et composantes d'un itinéraire technique

Les biostimulants peuvent être mobilisés dans la presque totalité des composantes d'un itinéraire technique (semis et germination, propriétés du sol, fertilisation, gestion de l'eau, lutte contre les adventices, protection contre les pathogènes et les ravageurs, récolte et stockage). Les SDP sont quant à eux centrés sur la lutte contre les pathogènes et les ravageurs et ont de ce fait moins de possibilités d'actions à date sur les autres composantes. Concernant la gestion des adventices, les produits de stimulation ne peuvent pas directement jouer un rôle. Ce constat peut être élargi à l'ensemble des produits de biocontrôle.

Produits de stimulation et agroécologie

L'agroécologie vise à (re)concevoir des systèmes de production agricole en tirant le meilleur parti des fonctionnalités offertes par les agroécosystèmes afin de concilier durablement performances socio-économiques, environnementales et sanitaires.

Les liens entre modes d'action/effets/revendications des produits de stimulation et les trois « piliers » de l'agroécologie sont présentés dans le tableau ci-après :

Stimulateur de défense des plantes	Biostimulants
Accroissement de la biodiversité	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'action biocide directe des SDP stricts et par conséquent pas d'effet négatif sur les auxiliaires des cultures ▪ La résistance induite pourrait attirer des insectes auxiliaires 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modification qualitative des communautés microbiennes du sol (nouveaux équilibres), augmentation de l'activité microbiologique des sols
Renforcement des interactions et régulations biologiques	
<p>La résistance induite replace la plante dans le système d'interaction au sein de l'agroécosystème (cf. Figure 12) alors que pour les produits « conventionnels », le système est « binaire » (par exemple pathogène-fongicide)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation des mécanismes de défenses de la plante ▪ Compatibilité voire synergie des SDP avec les autres moyens de biocontrôle ▪ Modification ou "déplacement" des cortèges de bioagresseurs (phénomène connu avec les pesticides et toute stratégie de lutte) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Renforcement des interactions plantes-micro-organismes : <ul style="list-style-type: none"> > Formation de symbioses de type mycorhizes > Formation de symbioses de type rhizobiacées-fabacées > Sécrétion de substances mimétiques d'hormones végétales ▪ Régulation de très nombreux mécanismes de la physiologie végétale (croissance, développement, métabolisme, etc.)
Bouclage des cycles biogéochimiques	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien identifié 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration de l'absorption des éléments nutritifs par la plante ▪ Amélioration de la biodisponibilité des éléments nutritifs dans le sol ▪ Stimulation de la dégradation de la matière organique

Perspectives et recommandations

Perspectives de développement

Face à l'accroissement de la population mondiale, la demande en produits issus de l'agriculture augmente également. Les pressions sur les ressources et les impacts sur l'environnement s'accroissent. Dans ce contexte, de nouvelles formes d'agriculture sont nécessaires pour continuer à produire plus avec moins de terres cultivables, d'eau, d'énergie et d'engrais ou de produits phytopharmaceutiques.

Face à cette demande de nouveaux moyens pour l'agriculture, les produits de stimulation peuvent être une réponse. Bien qu'encore de taille limitée, le marché des produits de stimulation est en plein essor, porteur d'enjeux, et les perspectives de développement sont forcément très intéressantes.

- **SDP** – Il n'existe pas de données spécifiques sur la taille actuelle du marché des SDP mais des données sont disponibles pour le marché du biocontrôle. Au sein du biocontrôle, on retrouve des produits SDP dans les catégories micro-organismes et substances naturelles (toutefois certaines substances présentant des effets SDP ne rentrent pas dans la définition actuelle du biocontrôle). Selon l'IBMA, le marché français du biocontrôle représente 100 millions d'euros (environ 5% du marché des PPP) et le marché européen 550 millions d'euros.
- **Biostimulants** – En Europe, le marché des biostimulants est estimé par l'EBIC à environ 500 millions d'euros, avec près de 3 millions d'hectares traités⁶. Le marché mondial des intrants utilisés en production végétale est estimé à 150 milliards d'euros. Les biostimulants représentent environ 0,6% de ce marché.

Principaux metteurs en marché en France et évolution du paysage

En ce qui concerne les SDP, à l'exception de l'extrait de fenugrec mis en marché par une PME (SOFT, Société Occitane de Fabrication et de Technologies), les autres SDP sont mis en marché en France par des firmes multinationales de l'agrochimie (Syngenta, Bayer, BASF, De Sangosse, Arysta-Goëmar).

Les metteurs en marché de biostimulants sont au niveau Européen en majorité des PME (environ 90%). Ce secteur employait environ 2 000 personnes en Europe en 2013. Ces entreprises investissent entre 3 et 8 % de leur chiffre d'affaire annuel dans des activités de R&D et entretiennent environ 150 collaborations avec des universités ou instituts de recherche publics dans le monde.

A noter que le paysage des metteurs en marché de biostimulants et de SDP est en train d'évoluer : il s'agissait à l'origine de petites structures qui tendent à être absorbées par de grands groupes multinationaux. Parmi les acquéreurs de sociétés développant des biostimulants ou des SDP, on retrouve :

- Des firmes issues de l'industrie phytopharmaceutique (Bayer, BASF, Arysta Lifescience, Monsanto, etc.) qui cherchent à renouveler leurs portefeuilles de produits, tout en diversifiant leurs activités vers de nouveaux secteurs en pleine croissance.
- Des firmes issues du domaine de l'agroalimentaire (Lallemand, Lesaffre) qui cherchent à valoriser les technologies développées dans leurs autres secteurs d'activités (agroalimentaire, probiotiques, etc.).

L'acquisition de sociétés spécialisées dans le domaine des produits de stimulation devraient se poursuivre à l'avenir. Par ailleurs, des alliances se sont formées ces dernières années afin de combiner les savoirs respectifs de chaque firme pour la recherche et le développement de nouvelles substances. Ces alliances sont néanmoins non pérennes, comme le démontrent les exemples d'AgraQuest (alliance avec BASF en

⁶ Surface réelle (certains chiffres sont parfois donnés en surface développée)

2009 puis avec DuPont en 2011) et de Novozymes (alliance avec Syngenta en 2012 puis avec Monsanto en 2013).

Positionnement des produits de stimulation dans les démarches d'innovation

Les produits de stimulation s'inscrivent dans des démarches d'innovation en lien notamment avec la réduction des intrants « conventionnels ». Le modèle « Efficience-Substitution et Reconception » (ESR) permet d'analyser dans quelle mesure l'utilisation de ces produits va affecter les pratiques en place au niveau d'une exploitation :

- **Efficience** – Les changements au sein d'un système visent à réduire la consommation et le gaspillage de ressources rares et coûteuses. Les changements sont donc d'ampleur limitée.
- **Substitution** – Certains produits ou composantes du système sont remplacés par d'autres pour permettre un moindre impact environnemental. Les changements sont donc plus importants et plus complexes à mettre en œuvre que dans une approche « efficience ».
- **Reconception** – Consiste à repenser l'intégralité du fonctionnement du système, afin de répondre aux nouvelles exigences qui lui sont adressées. Les changements sont beaucoup plus importants et plus longs à mettre en œuvre.

Les biostimulants participent actuellement plutôt de l'efficience en améliorant l'efficience des engrais ou en optimisant l'utilisation de l'eau. Les Stimulateurs de Défenses des Plantes permettent une substitution, généralement partielle, aux PPP « conventionnels ». Leur utilisation est souvent préconisée en combinaison, que soit dans le cadre d'un programme de traitement alternant application d'un SDP et d'un PPP « conventionnel » ou bien par l'application de spécialités commerciales dont la formulation associe directement un SDP et un PPP « conventionnel ». Cependant, l'utilisation de ces produits entraîne tout de même certains bouleversements culturels, et notamment en protection des cultures, avec le passage d'une logique curative à une logique préventive.

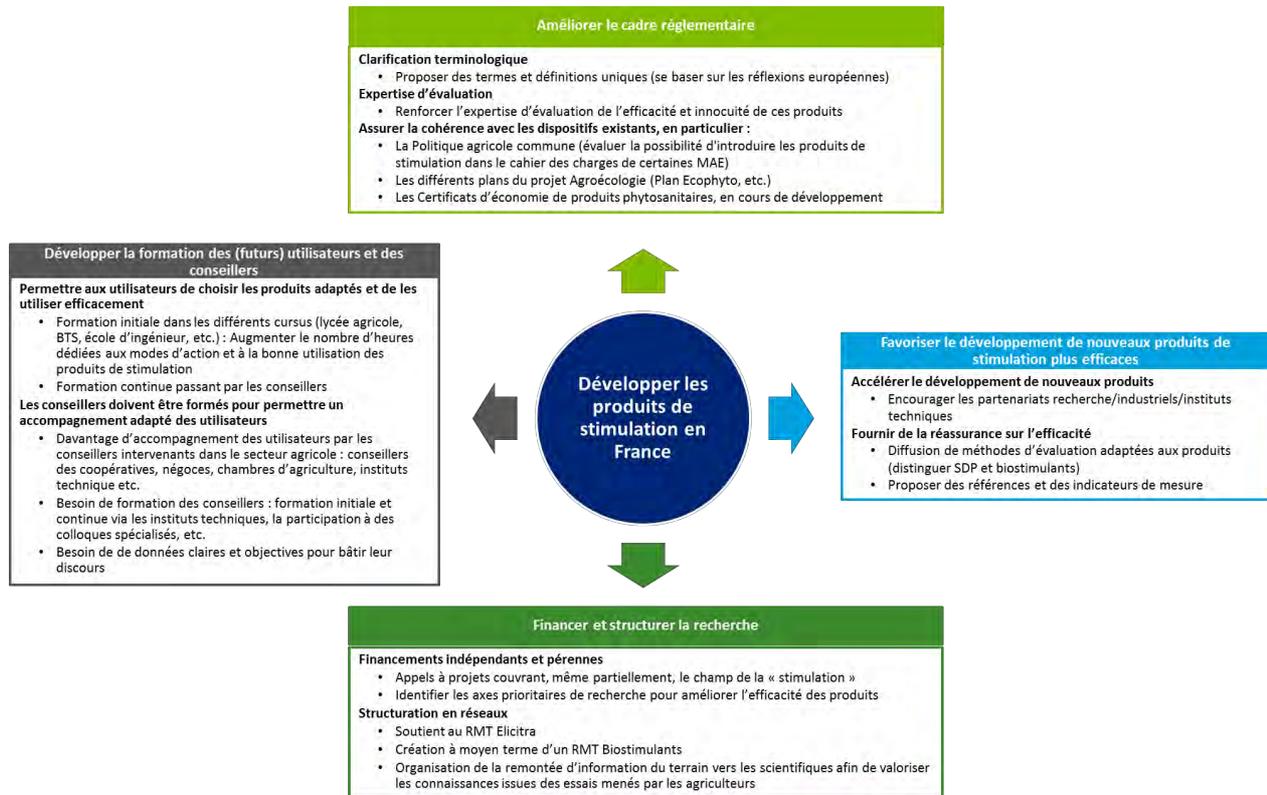
A terme, les produits de stimulation pourraient être intégrés à des stratégies de reconception. Pour les insérer de manière optimale dans les systèmes de culture et faire progresser leur efficacité, il faudra travailler sur de nombreux facteurs agronomiques et bâtir de nouveaux itinéraires techniques en s'écartant si besoin des pratiques « conventionnelles » (penser conjointement le choix des variétés, associer à d'autres pratiques, etc.).

Enjeux clés pour le développement de l'utilisation de ces produits

L'étude et notamment les entretiens avec les acteurs ont permis de mettre en avant **trois enjeux clés** :

- **Cadre réglementaire** – La prise en compte des spécificités des produits de stimulation dans la réglementation apparaît un préalable aux autres actions.
- **La formation** – Une sensibilisation des agriculteurs aux potentialités des produits de stimulation, la mise en place de programmes de formations et d'accompagnement permettrait d'optimiser leur utilisation. Par ailleurs, les conseillers techniques, qui ont un rôle important à jouer dans la diffusion des solutions innovantes doivent donc être formés en conséquence. Enfin, l'enseignement agricole, doit être mobilisé, les étudiants étant potentiellement de futurs utilisateurs ou de futurs prescripteurs.
- **La recherche et le développement** – Il apparaît nécessaire de poursuivre la recherche pour faire progresser l'efficacité des substances. Au niveau du développement des spécialités commerciales, un travail sur la formulation et le mode d'application apparaît également nécessaire. Des liens renforcés entre recherche fondamentale et industriels permettraient par ailleurs d'accélérer le passage du laboratoire au champ, mais également une meilleure remontée d'informations du terrain vers les scientifiques.

Le MAAF pourrait ainsi favoriser le développement du secteur en menant des actions à plusieurs niveaux, comme présenté dans le schéma ci-après :



Sommaire

Liste des sigles et abréviations utilisés dans cette étude.....	14
Liste des tableaux.....	16
Liste des figures.....	17
1. Introduction générale.....	18
1.1 Contexte de l'étude.....	18
1.2 Objectifs.....	19
1.3 Méthodologie.....	20
2. Présentation des produits de stimulation : terminologie associée, origine, nature, et effets revendiqués	22
2.1 Point sur le vocabulaire.....	23
2.1.1 Un foisonnement terminologique.....	23
2.1.2 Principales définitions identifiées.....	26
2.1.3 Liens entre produits de stimulation et d'autres notions : NODU « vert » biocontrôle, agriculture biologique et biointrait.....	32
2.1.4 Synthèse.....	35
2.2 Origine et nature des produits.....	37
2.2.1 Clarification des notions.....	37
2.2.2 Classification des produits en fonction de leur origine et de leur nature.....	37
2.2.3 Synthèse.....	43
2.3 Principales revendications agronomiques et positionnement réglementaire.....	44
2.3.1 Effets revendiqués des produits de stimulation.....	44
2.3.2 Positionnement réglementaire des produits de stimulation.....	46
3. État des connaissances scientifiques.....	47
3.1 Présentation des modes d'action.....	48
3.1.1 Clarification des notions.....	48
3.1.2 Modes d'action des substances de type SDP.....	48
3.1.3 Modes d'action des substances de type biostimulants.....	52
3.1.4 Synthèse des exemples de modes d'action.....	58
3.2 L'efficacité des produits de stimulation.....	62
3.2.1 La notion d'efficacité.....	62
3.2.2 Evaluation de l'efficacité.....	63
3.2.3 Quelle efficacité pour ces substances ?.....	64

3.2.4	Les facteurs influençant l'efficacité	65
3.2.5	Exemples concrets de l'efficacité de certains SDP	69
3.2.6	Point sur la controverse liée à l'efficacité de ces substances	72
3.3	Les perspectives de recherche	73
3.3.1	Historique de la recherche	73
3.3.2	Les axes de recherches actuels	74
3.3.3	Les besoins prioritaires pour la recherche identifiés lors de nos interviews	76
3.4	Les risques liés aux produits de stimulation	77
3.4.1	Notions sur l'innocuité des produits utilisés en agriculture	77
3.4.2	Evaluation du risque des SDP	79
3.4.3	Evaluation du risque des biostimulants	80
3.4.4	Evaluation du risque des produits de stimulation (SDP et biostimulant) de type micro-organismes	81
4.	Réglementation	84
4.1	Point sur la situation réglementaire actuelle	84
4.1.1	Produits de type SDP : réglementation sur les produits phytopharmaceutiques (PPP).....	84
4.1.2	Produits de type biostimulants : réglementation sur les MFSC	88
4.2	Evolutions réglementaires à venir	93
4.2.1	Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt	93
4.2.2	Le projet d'harmonisation européenne de la réglementation des MFSC	94
5.	Poids économique et stratégie de développement	96
5.1	Présentation du marché.....	96
5.2	Dynamique actuelle du marché	103
5.3	Perspectives de développement	105
6.	Pertinence agronomique et agroécologique des produits de stimulation	108
6.1	Pertinence agronomique des produits de stimulation	108
6.2	Produits de stimulation et agroécologie.....	114
6.3	Atouts et limites des produits de stimulation	127
7.	Vision des acteurs du secteur et recommandations à destination du MAAF	129
7.1	La vision des acteurs interrogés	129
7.2	Recommandations pour accompagner le développement des produits de stimulation	134
7.3	Synthèse des attentes des acteurs et des recommandations : axes envisageables pour développer les produits de stimulation en France	138
	Références	139
	Annexes	150

Liste des sigles et abbréviations utilisés dans cette étude

Sigles

- ABA *Abscisic acid* (Acide abscissique)
- AFSCA Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (Belgique)
- ANSES Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- ASM Acibenzolar-S-Methyl
- BBCH Echelle des stades de développement des végétaux
- CAS Chambre Syndicale des fabricants d'Améliorants organiques et supports de culture
- CAS *Chemical Abstracts Service* (pour numéro CAS)
- CE Commission Européenne
- CEB Commission des Essais Biologiques de l'AFPP
- CLP *Classification, Labelling, and Packaging*
- CMFSC Commission des Matières Fertilisantes et des Supports de Culture
- CPCASA Comité Permanent de la Chaîne Alimentaire et la Santé Animale
En anglais : *Standing Committee on the Food Chain and Animal Health (SCoFAH)*
- DGAL Direction Générale de l'Alimentation du MAAF
- DPR Direction des Produits Réglementés de l'ANSES
- EBIC *European Biostimulant Industry Council*
- ECHA *European Chemicals Agency*
- EFSA *European Food Safety Authority*
Autorité Européenne de Sécurité des Aliments
- EN *English* (définition présente en anglais en Annexe 4)
- EPPO *European and mediterranean Plant Protection Organization*
- ETM Eléments Traces Métalliques
- FAO Formes Actives de l'Oxygène
- FR France
- HR *Hypersensitive Response* (Réaction d'Hypersensibilité)
- IAO Institut National de l'Origine et de la qualité
- IBMA *International Biocontrol Manufacturers Association*
- IFV Institut Français de la Vigne et du Vin
- INRA Institut National de la Recherche Agronomique
- ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique
- JA *Jasmonic Acid* (Acide Jasmonique)
- MAAF Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
- MeJA Méthyljasmonate
- MFSC Matières Fertilisantes et Supports de Culture
- NF Norme Française
- NODU Nombre de Doses Unités
- OGM Organisme Génétiquement Modifié

- PCD *Programmed Cell Death*
- PGPF *Plant Growth Promoting Fungi*
- PGPR *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*
- PME Petites et Moyennes Entreprises
- PNPP Préparations Naturelles Peu Préoccupantes
- PPP Produits Phytopharmaceutiques
- PR *Pathogenesis-Related (Protéines PR)*
- RCE Règlement de la Commission Européenne
- REACH *Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*
- RMT Réseau Mixte Technologique
- SA *Salicylic Acid (Acide Salicylique)*
- SDN Stimulateur de Défenses Naturelles
- SDP Stimulateur des Défenses des Plantes
- UAB Utilisable en Agriculture Biologique
- UE Union Européenne
- UIPP Union des Industries de la Protection des Plantes
- UNIFA Union des Industries de la Fertilisation
- ZNA Zones Non Agricoles

Abréviations

- Ca Calcium
- NPK Azote/Phosphore/Potassium
- R&D Recherche et Développement
- sp. *Species (espèce)*

Liste des tableaux

Tableau 1 – Terminologie et domaines d'usage	25
Tableau 2 – Origine et nature des produits de stimulation.....	39
Tableau 3 – Détail des revendications agronomiques associées aux produits de stimulation	45
Tableau 4 – Exemples de modes d'action possibles de différentes substances de type SDP	59
Tableau 5 – Exemples de modes d'action possibles de différentes substances de type biostimulants	60
Tableau 6 – Exemples d'efficacité publiés dans la littérature scientifique : traitement à l'ASM	70
Tableau 7 – Exemples d'efficacité publiés dans la littérature scientifique : traitements avec différents SDP.	71
Tableau 8 – Mise en marché des biostimulants en France.....	90
Tableau 9 – Résumé des réglementations et décrets concernant la mise en marché des produits fertilisants utilisés dans plusieurs pays européens.....	93
Tableau 10 – Liste des produits SDP disponibles sur le marché français en 2014	98
Tableau 11 – Adhérents France de l'IBMA et d'EBIC	100
Tableau 12 – Principales acquisitions de sociétés produisant des produits de stimulation par des firmes multinationales	104
Tableau 13 – Temps et Coûts moyens de développement des intrants agricoles	107
Tableau 14 – Principaux liens possibles entre produits de stimulation et composantes d'un itinéraire technique	109
Tableau 15 – Liens entre les 3 piliers de l'agroécologie et les principales caractéristiques des produits de stimulation.....	115
Tableau 16 – Liens entre pratiques agroécologiques et produit de stimulation	117
Tableau 17 – Vision synthétique des liens entre les produits de stimulation et les 7 plans du « Projet agroécologique »	123
Tableau 18 – Chantiers du plan d'action global dans lesquels la thématique « produits de stimulation » peut trouver une place.....	126
Tableau 19 – Synthèse des atouts et limites des produits de stimulation.....	127

Liste des figures

Figure 1 – Cartographie des cibles des principales terminologies identifiées pour les produits de stimulation des plantes	36
Figure 2 – Cartographie des principales revendications pour les produits de stimulation.....	44
Figure 3 – Evènements de mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur.....	50
Figure 4 – Procédures d'approbation d'une substance active (au niveau UE) et d'AMM (au niveau français)	87
Figure 5 – Investissements en R&D en % du chiffre d'affaire	101
Figure 6 – Marché mondial des intrants utilisés en production végétale	103
Figure 7 – Evolution du marché des biostimulants.....	106
Figure 8 – Les stress causent d'importantes pertes de rendement	107
Figure 9 – Exemple de biostimulation dans un itinéraire technique : Service Solactiv® BAIA de la société Agronutrition sur blé d'hiver.....	112
Figure 10 – Exemple de préconisation d'utilisation de la Laminarine (produit Vacciplant – Fruits et Légumes) dans un programme de traitement de l'oïdium sur fraisier	113
Figure 11 – Exemple d'un plan d'essai d'intégration d'un SDP (= SDN) dans un programme fongicide sur vigne	113
Figure 12 – Système d'interaction au sein de l'agroécosystème	116
Figure 13 – Le besoin de prise en compte des spécificités des produits de stimulation : vision de l'EBIC ..	130
Figure 14 – Axes envisageables pour développer les produits de stimulation en France	138

1. Introduction générale

1.1 Contexte de l'étude

Ces dernières années ont vu se développer, au sein du marché des intrants agricoles, divers produits et substances qui visent à améliorer le fonctionnement du sol, de la plante ou les interactions entre sol et plante. Il s'agit d'une catégorie très large de produits et substances qui apportent des solutions souvent innovantes dans le domaine de la fertilisation et de la protection des cultures. Ces solutions ont pour caractéristique commune de reposer sur un mode d'action passant par la stimulation de processus biologiques au niveau du sol ou de la plante. Ainsi, plutôt que d'agir « directement » sur un facteur externe affectant la production agricole (par exemple : attaque par un bioagresseur ou problème de disponibilité des éléments nutritifs) le but de ces produits est d'agir sur la capacité des systèmes biologiques à s'adapter (par exemple : stimulation des défenses naturelles de la plante ou meilleure absorption des nutriments, respectivement).

De par leurs modes d'action originaux, ces « produits de stimulation » sont parfois qualifiés « d'alternatifs »⁷ dans la mesure où ils se différencient, par leur action indirecte via la plante ou le sol, d'autres solutions à action directe (par exemple une action biocide sur un bioagresseur ou un apport d'engrais) considérées comme plus « conventionnelles » car actuellement plus répandues.

Dans un contexte où les attentes sociétales sur la durabilité des systèmes agricoles, et les contraintes réglementaires et techniques sont de plus en plus fortes, les produits de stimulation suscitent un intérêt grandissant auprès des différents acteurs du monde agricole. Ainsi, la stimulation des défenses naturelles des plantes est vue comme une option pour aller vers la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques « traditionnels » et les biostimulants sont quant à eux un moyen pour aller vers une fertilisation raisonnée, limitant les apports en engrais minéraux.

Les potentialités offertes par ces produits sont considérées avec attention par :

- Les scientifiques qui se structurent en réseaux et mettent en place des programmes de recherche, afin de développer les connaissances dans ce domaine ;
- Les industriels qui proposent de nouvelles gammes de produits et investissent en R&D dans ce secteur où l'on observe de nombreux mouvements (fusions, acquisitions et créations d'entreprises) ;
- Les agriculteurs qui sont demandeurs de solutions pour répondre à des contraintes techniques (apparition de résistances) et réglementaires (interdiction de produits phytosanitaires existants, contraintes sur les pratiques de fertilisation) pouvant les mener dans des impasses. Plus largement, les agriculteurs sont en phase avec les attentes sociétales sur la santé et l'environnement. En tant qu'applicateurs, ils sont en première ligne face aux effets indésirables de certains produits et beaucoup sont demandeurs de solutions plus sûres.

Toutefois, les produits de stimulation posent des problématiques spécifiques, notamment liées à l'évaluation et la démonstration de leur efficacité terrain (celle-ci étant sujette à controverse), mais également à leur

⁷ L'appellation « substance alternative » est celle qui a été initialement proposée par le MAAF pour nommer l'étude (cf. nom du marché). Cette appellation peut être utilisée pour l'ensemble des produits de biocontrôle (qui ne reposent pas tous sur une stimulation des processus biologiques). Le terme « produit de stimulation » a ensuite été retenu en cours de projet, afin de qualifier l'ensemble des substances entrant dans le périmètre de l'étude (cf. sections 1.3 et 2.1).

positionnement dans le cadre réglementaire existant – soit comme produits phytosanitaires, soit comme matières fertilisantes et supports de cultures – pour leur autorisation de mise sur le marché.

Dans ce cadre, le MAAF porte une attention particulière au développement potentiel des produits de stimulation, afin :

- Dans un premier temps, de mieux l’appréhender – on peut citer le rapport du député A. Herth sur le biocontrôle (Herth, 2011) qui abordait la question de la stimulation des défenses des plantes contre les bioagresseurs, sans la traiter spécifiquement ;
- Dans un second temps de préciser sa place dans les projets politiques en cours de déploiement, des liens peuvent en effet exister entre certains de ces produits et le « projet agroécologique pour la France » qui a pour but d’accompagner la transition du modèle agricole français, ainsi que la « loi d’avenir pour l’agriculture, l’alimentation et la forêt⁸ » qui encourage les pratiques agroécologiques.

1.2 Objectifs

Au travers de la présente étude, le MAAF souhaite aujourd’hui avoir une vision plus précise de la situation et des connaissances autour de ces produits de stimulation. Les objectifs spécifiques du projet sont les suivants :

- **Réaliser un panorama** de cette catégorie de produits afin d’en définir les contours et les caractéristiques. Au travers de différentes typologies, le panorama couvre notamment les aspects suivants : terminologie utilisée dans le domaine, origine et nature des produits, et revendications agronomiques mises en avant par les metteurs en marché ;
- **Faire le point sur les connaissances scientifiques** en particulier sur les fonctions et modes d’action de ces produits, leur efficacité et les risques (éco) toxicologiques liés à leur usage ;
- **Décrire le positionnement** de ces produits dans les cadres réglementaires existants et les évolutions à venir ;
- **Etudier la dynamique de marché** et les perspectives de développement, en détaillant notamment les acteurs engagés sur le marché et leurs parts de marchés ;
- **Analyser la pertinence agronomique** et le positionnement de ces produits dans des systèmes agroécologiques ;
- **Dresser des perspectives à moyen terme et formuler des recommandations** à destination du MAAF pour accompagner le développement des produits de stimulation.

⁸ Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014

1.3 Méthodologie

Champ de l'étude

Produits ciblés

Le terme générique de « produit de stimulation » est utilisé pour qualifier les produits et substances entrant dans le périmètre de la présente étude. Compte tenu du flou qui règne sur la terminologie dans ce domaine, le présent rapport fait un point détaillé sur cet aspect dans le chapitre 2. Toutefois, on peut d'ores et déjà préciser que l'étude est centrée sur :

- Les produits de type « **stimulateurs de(s) défense(s)** » qui sont communément appelés Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) ou Stimulateurs des Défenses Naturelles (SDN), et qui sont utilisés dans le cadre de la phytoprotection.
- Les produits de type « **biostimulants** » qui regroupent des appellations telles que « biofertilisant », « activateur de sol », « stimulateur de croissance et/ou de développement », « phytostimulant », etc., et qui sont utilisés dans le domaine de la fertilisation.

Produits et méthodes hors périmètre

On précise que les biostimulants peuvent parfois être décrits comme étant des « additifs agronomiques », puisque ce sont généralement des composés utilisés en combinaison avec d'autres matières fertilisantes « classiques ». Toutefois, dans le cadre de cette étude, la catégorie des additifs agronomiques n'est pas considérée en tant que telle, car celle-ci comprend également des substances telles que des chélatants, complexants et des inhibiteurs de nitrification ou d'uréase⁹ qui ne sont pas des produits ayant une action de stimulation des fonctions biologiques¹⁰.

On peut également signaler que certaines méthodes reposant sur des traitements aux UV ou aux ondes sonores pourraient permettre de stimuler les défenses des plantes. Ces techniques non conventionnelles ne faisant pas intervenir de produits ou substances, elles n'entrent pas dans le champ de l'étude.

Enfin, certaines préparations (par exemple destinées à être ajoutées au sol) utilisées en agriculture biodynamique pourraient être qualifiées « d'alternatives » aux produits dits « conventionnels ». Toutefois, compte tenu du manque de connaissance sur les modes d'action impliqués, on ne peut pas déterminer s'il y a stimulation des fonctions biologiques du sol ou de la plante et par conséquent l'étude ne couvre pas cet aspect. De plus ces produits sont généralement préparés d'une manière artisanale qui reste pour le moment impossible à industrialiser.

Thématiques connexes

Lorsque l'on aborde le sujet des produits de stimulation d'autres notions proches sont souvent évoquées en particulier les produits de biocontrôle et les produits Utilisables en Agriculture Biologiques (UAB). De fait, certains produits dans le champ de cette étude se retrouvent dans le périmètre du biocontrôle et/ou des produits UAB. Il existe des recouvrements entre ces notions, ce qui peut entretenir une certaine confusion, mais celles-ci ne sont clairement pas équivalentes. Des précisions sur les liens entre ces notions sont données dans la section 2.1.3.

⁹ Cf. additifs inscrits à l'annexe 1 du règlement CE 2003/2003.

¹⁰ Remarque : D'un point de vue biologique la frontière est mince entre fertilisation et biostimulation, par exemple l'azote inorganique peut être considéré comme biostimulant dans la mesure où il agit sur l'architecture racinaire de la plante via des processus hormonaux. En effet une faible teneur en azote va déclencher la ramification et l'augmentation de la densité du chevelu racinaire permettant à la plante une meilleure exploitation des ressources.

Démarche adoptée

Organisation des travaux

Afin de répondre aux objectifs fixés, le projet comportait quatre tâches principales :

1. Panorama des produits de stimulation
2. État des connaissances scientifiques et évaluation de l'efficacité et des risques de ces produits
3. Analyse de la pertinence agronomique et agroécologique de ces produits
4. Perspectives et recommandations

Sources des informations

Les informations restituées dans le présent rapport s'appuient sur une **revue bibliographique** approfondie (articles scientifiques et littérature « grise » : voir section Références en page 139) et **36 entretiens** effectués auprès de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur : metteurs sur le marché, organisations professionnelles, scientifiques, expérimentateurs, autorités/évaluateurs, utilisateurs et presse spécialisée. La liste des acteurs interviewés est présentée en Annexe 1.

Les échanges avec les acteurs ont pris la forme d'entretiens semi-directifs. Des guides d'entretien adaptés en fonction des catégories d'acteurs ont été utilisés pour structurer les discussions. Le format d'entretien permettait donc d'aborder des sujets ciblés auprès de chaque catégorie d'acteur, tout en laissant aux interlocuteurs la liberté de réagir spontanément aux questions, ainsi que d'ajouter tout élément qui leur paraissait pertinent dans le contexte de l'étude. Il en a résulté une vraie richesse dans les points de vue exprimés et dans les analyses proposées.

Par ailleurs, les bases de données publiques de référence dans le domaine des intrants agricoles telles que le catalogue e-phy¹¹ du MAAF et l'*EU pesticides database*¹² de la Commission Européenne ont été consultées. De nombreuses fiches techniques de produits, sites spécialisés et textes réglementaires ont également été étudiés.

Comité de pilotage

Au sein du MAAF, le projet a été porté conjointement par le Centre d'Études et de Prospective (CEP) et la sous-direction de la qualité et de la protection des végétaux (SDQPV). En complément, un comité de pilotage a été mis en place pour assurer le suivi de l'étude. Les orientations, choix méthodologiques et conclusions de l'étude ont été discutés et validés collectivement au sein de ce comité. La liste des membres du comité de pilotage est fournie en Annexe 2.

Le comité de pilotage s'est réuni trois fois au cours du projet

- Copil n°1 en janvier 2014 : Lancement des travaux, cadrage du périmètre de l'étude et discussion des choix méthodologiques de l'étude.
- Copil n°2 en avril : Etat d'avancement sur l'étude, discussions sur les aspects terminologie et réglementation, proposition pour la structuration du rapport
- Copil n°3 en septembre : Présentation et discussion du projet de rapport final.

¹¹ e-phy.agriculture.gouv.fr/ (dernière consultation en septembre 2014)

¹² http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=homepage (dernière consultation en septembre 2014)

2. Présentation des produits de stimulation : terminologie associée, origine, nature, et effets revendiqués

Dans la dernière décennie, un grand nombre de nouvelles substances a émergé pour proposer des solutions « alternatives » aux fertilisants et produits phytopharmaceutiques « classiques » (CEB-AFPP, 2011; Du Jardin, 2012; Fardeau & Jonis, 2003; Bulot, 2013; Calvo, et al., 2014; New Ag, 2010). On retrouve cependant ces produits sous différentes terminologies, qui ne sont pas toujours explicites en raison de la diversité de définitions qui leurs sont associées. L'origine et la nature de ces substances sont aussi extrêmement variées (substances organiques, minéraux, micro-organismes vivants, substances de synthèse). Enfin, les modes d'action de ces produits sont également variables, même s'ils se distinguent des intrants agricoles « classiques » du fait de leur caractère préventif. De fait, ils n'apportent pas directement une solution aux problèmes agronomiques, mais agissent plutôt comme des produits de stimulation des plantes dont le but est de favoriser une meilleure croissance ou d'améliorer la réponse aux stress¹³ biotiques ou abiotiques.

L'objectif de ce chapitre est dans un premier temps de présenter la terminologie associée à ces produits de stimulation des plantes, en insistant sur les contextes d'utilisation des différents termes et en effectuant un panorama des définitions ayant émergé au fil des ans. Ce premier point permettra ainsi d'avoir un aperçu de la complexité terminologique existant à l'heure actuelle. Certaines de ces notions étant régulièrement associées au biocontrôle¹⁴ et à l'agriculture biologique¹⁵, le recoupement avec ces autres concepts sera aussi abordé.

Dans un second temps, la nature de ces différentes substances sera décrite et permettra ainsi de mieux restituer la diversité des produits entrant dans le cadre de cette étude.

Enfin, pour comprendre la difficulté de situer ces produits dans la réglementation actuelle de mise en marché qui présente une dichotomie entre matières fertilisantes et produits phytopharmaceutiques, nous aborderons les principales revendications agronomiques associées à ces produits de stimulation.

¹³ On désigne par stress tout facteur externe qui affecte la plante au niveau de sa croissance, de son développement, de sa productivité. On distingue les stress biotiques et abiotiques (bios = vie en grec) selon qu'ils sont dus à des organismes vivants (insectes, virus, bactéries, etc.) ou à d'autres facteurs (sécheresse, température, etc.).

¹⁴ Le biocontrôle est l'ensemble des méthodes de protection des végétaux par l'utilisation de mécanismes naturels. Il vise à la protection des plantes par le recours aux mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. La définition de biocontrôle est présentée dans le paragraphe □.

¹⁵ L'Agriculture Biologique garantit une qualité des produits attachée à un mode de production respectueux de l'environnement et du bien-être animal. L'agriculture biologique est soumise à un règlement spécifique européen (règlement d'application 834/2007 et 889/2008), applicable par tous les Etats membres et complétée par des dispositions nationales supplémentaires. Les opérateurs de la filière sont contrôlés par des organismes certificateurs agréés par les pouvoirs publics français (MAAF, 2014b).

2.1 Point sur le vocabulaire

2.1.1 Un foisonnement terminologique

La terminologie associée aux produits de stimulation utilisés en agriculture est complexe du fait de sa grande diversité. Par ailleurs, tous les termes ne sont pas employés de manière égale par les scientifiques, dans les textes réglementaires ou dans un contexte commercial (Tableau 1).

Ainsi, certains termes comme « vaccin pour plantes » n'auront qu'une signification marketing visant à une meilleure compréhension par l'utilisateur grâce à des idées simples et/ou un lien avec un concept déjà connu. Toutefois, faire une analogie avec les vaccins pour vulgariser la stimulation des défenses n'est pas scientifiquement acceptable en raison de différences évidentes comme l'absence d'effet mémoire (durée limitée dans le temps) et la non-spécificité des substances (efficaces contre plusieurs agents pathogènes). On peut aussi citer comme exemples les activateurs (activateur de sol, physioactivateur) utilisés dans un contexte marketing pour expliquer que ces produits accélèrent des processus bénéfiques aux plantes. Par ailleurs, l'ensemble des termes utilisés, que ce soit par les scientifiques ou les industriels, ne sont pas forcément repris par la réglementation française.

On peut enfin citer l'exemple d'éliciteur, terme fortement utilisé au niveau scientifique mais auquel les textes officiels préfèrent « stimulateur de défenses naturelles ».

Lors des interviews réalisées dans le cadre de cette étude, les premières questions posées concernaient la terminologie utilisée pour les produits de stimulation des plantes. Un résumé des réponses obtenues et classées en fonction des acteurs interviewés est présenté ci-dessous. Il est important de signaler que le fait de regrouper des produits phytopharmaceutiques et des matières fertilisantes n'était pas intuitif pour certains acteurs interviewés.

- Le positionnement de certains **metteurs en marché** interviewés est de très peu utiliser le mot biostimulant car le préfixe « bio » est trop associé au biocontrôle et à l'Agriculture Biologique ce qui porte à confusion sur le caractère naturel des substances alors que des biostimulants pourraient avoir des origines synthétiques, et en raison du terme « stimulant » trop proche des autres notions de stimulation des plantes (stimulateur de défenses, stimulateur de vitalité, etc.). Ceci peut aussi grandement s'expliquer par l'absence de définition réglementaire pour la mise en marché des biostimulants et la difficulté de valoriser actuellement en France ces produits. A biostimulant, certains industriels préfèrent utiliser « stimulateur de la croissance et/ou du développement » ou « additifs agronomiques » qui ont une valeur réglementaire bien définie.

Plusieurs metteurs en marché utilisent déjà ou souhaiteraient utiliser le mot biostimulant pour leurs produits ; ils se réfèrent alors généralement à la définition de l'EBIC (*European Biostimulants Industry Council* ; cf. section 2.1.2).

En ce qui concerne les produits phytopharmaceutiques de stimulation des défenses, les termes Stimulateur des Défenses des Plantes (SDP) et Stimulateur des Défenses Naturelles (SDN) sont utilisés, mais moins largement que le concept de biocontrôle qui englobe un plus grand nombre de modes d'action et d'outils (dont les SDP) visant à utiliser les mécanismes et interactions naturels protéger les cultures contre les stress biotiques : maladies, ravageurs et peut-être bientôt les adventices (cf. section 2.1.3).

- Les **expérimentateurs** interviewés considèrent que leur bagage scientifique est suffisant pour leur permettre de bien distinguer les biostimulants (produit d'origine naturelle ou synthétique qui intervient sur la morphologie, la croissance ou le développement de la plante, et la tolérance aux stress abiotiques, mais qui n'est pas un fertilisant) des éliciteurs ou SDP (inducteur de réponse de défenses dans la plante) pouvant faire partie du biocontrôle.

- Les **utilisateurs** interviewés pensent généralement qu'il est difficile de faire la différence entre un biostimulant et un produit fertilisant car ces deux notions sont le plus souvent liées. En effet, les biostimulants à l'heure actuelle sont majoritairement combinés aux fertilisants classiques. Selon certains acteurs interviewés (expérimentateurs et organisations professionnelles) en raison du terme bio présent dans biostimulant et biocontrôle, il peut exister une certaine confusion pour les utilisateurs qui pensent immédiatement à l'agriculture biologique. De plus, l'amalgame de ces deux notions peut amener à penser que les biostimulants font partie du biocontrôle alors que ce n'est pas le cas.
- Certains **scientifiques** préfèrent aborder la terminologie sous un point de vue fonctionnel, c'est-à-dire séparer les domaines de protection des plantes contre les stress biotiques (stimulateurs de défense, éliciteur, et biocontrôle) et ceux de stimulation de croissance, développement et nutrition (biostimulant). Une notion régulièrement évoquée par les scientifiques est celle de la résistance induite puisqu'il s'agit du mode d'action des substances de type SDP. La plupart des scientifiques préfèrent utiliser le terme éliciteur plutôt que SDP, en raison de la valeur internationale de ce terme. Ils utilisent également « inducteurs de résistance » qui indique clairement la fonction associée à la substance. Ils regrettent qu'aucune définition claire ne soit partagée par tous les acteurs, y compris au niveau mondial. L'absence d'un vocabulaire partagé ralentit la communication des résultats, et rend difficile le fait de réaliser une veille scientifique complète. Aussi, ils soulignent le fait que les produits de stimulation ont généralement pour vocation d'être utilisés comme compléments aux produits « classiques » en étant intégrés dans des itinéraires techniques afin de réduire l'utilisation des produits conventionnels. Sous le terme « complément », on entend une solution technique qui s'utilise en association ou en alternance avec des produits conventionnels dans un itinéraire technique à la différence des produits de substitution qui remplacent entièrement les traitements conventionnels dans l'itinéraire technique.
- Les **autorités et évaluateurs** insistent sur le fait que les biostimulants sont clairement une famille assez large de substances et micro-organismes qu'il faut éviter de confondre avec les produits phytopharmaceutiques stimulateurs des défenses. Par ailleurs, il semblerait que le terme biostimulant ne soit pas totalement accepté par les évaluateurs. Dans un avis récent (avis n°2013-1535, mai 2014), l'ANSES indique que « le terme biostimulant, qui est revendiqué par le pétitionnaire, présente une ambiguïté dans son interprétation », et l'avis préconise l'utilisation d'une dénomination plus précise « stimulateur de croissance et/ou de développement des plantes ».
- Le terme biostimulant est plutôt bien accepté par les **organisations professionnelles** des metteurs en marchés, même si certains de leurs adhérents utilisent plutôt le terme additif agronomique ou le terme activateur du sol. En ce qui concerne la défense des plantes contre les stress biotiques, ils utilisent SDP ou biocontrôle selon les produits et le contexte. Leur souhait est aussi d'harmoniser la terminologie au niveau européen afin de valider la réglementation commune. Ils invoquent aussi une procédure d'homologation trop longue et des délais évoqués non respectés, ce qui ralentit la mise en marché des produits innovants comme les produits de stimulation.

Le tableau ci-après présente une compilation des termes identifiés (1) dans la littérature scientifique, (2) dans les textes réglementaires ou dans les publications officielles des institutions publiques, et (3) sur les sites internet commerciaux des industriels ou évoqués lors de nos entretiens avec les metteurs en marché et leurs organisations professionnelles.

Tableau 1 – Terminologie et domaines d’usage

Terminologie identifiée	Contexte scientifique	Usage officiel et/ou réglementaire	Contexte commercial
SDP et terminologie associée			
Eliciteur*	X		
Inducteur de résistance	X		
Stimulateur de défenses naturelles (SDN) des végétaux*	X	X catalogue e-phy ¹	X
Stimulateur de défense des plantes (SDP)*	X		X
Stimulateur de vitalité*		X catalogue e-phy, MAAF ³	X
Vaccin pour plantes			X
Biostimulant et terminologie associée			
Activateur de sol*			X
Additif agronomique*		X ANSES, NF U, projet UE, catalogue e-phy	X
Agent nutritionnel		X catalogue e-phy	X
Biofertilisant	X		X
Biostimulant*	X	X projet UE	X
Conditionneur de plantes	X		X
Inhibiteur de nitrification / d'uréase	X	X RCE 2003/2003	X
Nutriciteur			X
Phytostimulant*	X		X
Physioactivateur			X
Renforceur de plantes		X GT CE 2001 ²	X
Substance de croissance*	X	X catalogue e-phy	X
Stimulateur de croissance et/ou de développement*		X NF U, catalogue e-phy	X
Stimulateur de croissance racinaire		X catalogue e-phy	X
Concepts associés aux produits de stimulation			
Agriculture Biologique	X	X MAAF, UE	X
Biocontrôle*	X	X MAAF, ANSES	X
Biointrans*			X
Bionutrition			X
Bouclier naturel			X
Chélatant / Complexant	X	X RCE 2003/2003	X
Mycorhize	X	X catalogue e-phy	X
PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>)	X		X
PGPF (<i>Plant Growth Promoting Fungi</i>)	X		X
Potentialisation de défenses*	X		X
Résistance induite*	X		

(*) Les définitions de ces termes sont présentées dans la section 2.1.2.

(1) Catalogue e-phy listant les intrants autorisés en France : e-phy.agriculture.gouv.fr/

(2) Rapport d'un groupe de travail de la CE « *Data requirements for plant strengtheners with low risk profile* » (SANCO/1003/2001)

(3) Textes réglementaires et site internet du MAAF.

2.1.2 Principales définitions identifiées

Les définitions regroupées dans cette section proviennent à la fois de la littérature scientifique, de conférences, de textes réglementaires ou à caractère officiel, et de propositions de groupes de travail. Plusieurs termes présentés dans cette section ne possèdent aucune définition à valeur réglementaire. Les définitions traduites depuis l'anglais sont précédées du sigle EN et sont disponibles en Annexe 4 dans leur langue d'origine.

SDN/SDP et terminologie associée

Les **Stimulateurs de Défenses Naturelles (SDN)** et **Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP)** sont intimement associés car ils concernent les mêmes substances, sous une terminologie différente.

Définitions de SDN

Le terme SDN a été défini en 2013 par l'Association Française de Protection des Plantes (AFPP) dans la fiche 5.12 du livre « Protection intégrée des cultures » (AFPP, 2013) :

- « Différentes molécules ou micro-organismes capables, après application sur une plante, d'induire (ou de préparer l'induction de) ses mécanismes naturels de défense qui lui permettent, durant un laps de temps donné, d'être en état de résistance vis-à-vis de bioagresseurs auxquels elle serait normalement sensible. De manière générale, un SDN peut aussi entraîner une résistance de la plante vis-à-vis de stress abiotiques (carences, froid). ».

Au sein de l'AFPP, la Commission des Essais Biologiques (CEB) a aussi proposé une définition plus courte (CEB-AFPP, 2011) regroupant SDN et SDP :

- « Substances ou produits, naturels ou non, capables d'induire (ou de préparer à l'induction), chez les plantes traitées, un état de résistance aux bioagresseurs ».

Définition de SDP

SDP est défini par le Réseau Mixte Technologique (RMT)¹⁶ Elicitra, dont le but est de promouvoir au sein des filières végétales les stratégies de stimulation de défense des plantes (RMT Elicitra, 2013) :

- « Toute substance ou micro-organisme vivant non pathogène capable d'induire (ou de préparer à l'induction) des réponses de défense chez une plante qui conduisent à une meilleure résistance de la plante face à des stress biotiques. ».

Ce groupe de travail précise que « certaines substances, connues pour avoir la capacité d'induire des mécanismes de défense des plantes, possèdent également des propriétés biocides, mais ne sont considérées comme SDP que celles dont l'efficacité de protection est majoritairement liée à leur capacité à stimuler les défenses des plantes. ».

SDN ou SDP ?

Aucun de ces deux termes n'a de définition réglementaire. Il est important de noter que le terme SDN est présent dans le Catalogue national des usages phytopharmaceutiques (MAAF, 2012) et sur la base de données e-phy (MAAF, 2014a), et qu'il possède ainsi un caractère officiel, contrairement au terme SDP.

¹⁶ « Les réseaux mixtes technologiques (RMT) ont été créés pour favoriser le rapprochement entre les acteurs de la recherche, de la formation et du développement, [et ainsi et permettre] l'innovation dans les secteurs agricoles et agro-alimentaires. Les RMT ont pour objet la mise en commun de ressources humaines par les membres du réseau pour la réalisation de travaux collaboratifs sur des thématiques prioritaires pour le développement des secteurs agricoles et agroalimentaires.» (<http://agriculture.gouv.fr/reseaux-et-unites-mixtes>)

Néanmoins, le terme SDP est globalement plus souvent utilisé par les différents acteurs que SDN, probablement en raison du terme « naturel » présent dans ce dernier. En effet, la distinction entre « stimulateur de défense naturel » et « stimulateur de défenses naturelles » ne peut pas se faire à l'oral. Par conséquent, on ne sait pas si c'est la substance qui est naturelle ou si c'est la défense de la plante qui est naturelle, ce qui entraîne une confusion.

Dans la suite de ce rapport, seul le terme SDP sera utilisé puisqu'il est plus largement accepté par les différents acteurs interviewés par rapport au terme SDN. On s'appuiera donc sur la définition du réseau Elicitra puisqu'elle est acceptée par l'ensemble des membres de ce réseau (scientifiques et expérimentateurs). L'utilisation de cette définition implique cependant d'exclure du champ des SDP les substances intervenant sur les stress abiotiques ; celles-ci seront dans ce rapport incluses dans les biostimulants. En effet, cette définition des SDP (RMT Elicitra, 2013) indique que ces substances agissent uniquement sur les stress biotiques et non sur les stress abiotiques, à la différence des SDN ou des éliciteurs selon leurs définitions respectives (AFPP, 2013; Fardeau & Jonis, 2003). Cette différenciation entre stress biotique (SDP) et stress abiotique (biostimulant) est effectuée dans ce rapport pour faciliter la compréhension du lecteur quant aux choix actuels de revendications associés aux produits de chaque catégorie. Elle ne reflète cependant pas une réalité biologique (voies métaboliques), comme nous le verrons dans la suite de ce rapport (cf. sections 2.2, 2.3 et 3.1).

Notion de résistance induite

Les produits de stimulation de type SDP n'ont pas une action biocide mais agissent sur l'induction de la résistance chez la plante, c'est-à-dire qu'ils induisent la mise en place de réactions de défense de manière non spécifique face à un stress biotique. Dans les stratégies de protection des plantes, l'utilisation de ces produits est préventive et vise à réduire les applications de produits phytopharmaceutiques « classiques » en « aidant la plante à s'aider elle-même ».

Le phénomène d'**induction de résistance** chez les plantes est connu depuis plus d'un siècle. En 1901 Beauverie fit l'observation sur bégonia qu'une première inoculation par une souche de *Botrytis cinerea* atténuée par le froid ou la chaleur se traduisait par une résistance de la plante à une attaque ultérieure par une souche virulente (Beauverie, 1901). Différentes observations effectuées au début du XXème siècle ont fait l'objet d'une synthèse par Chester qui introduisit le terme d' « immunité physiologiquement acquise » (Chester, 1933). En 1959, Kùc et ses collaborateurs démontrèrent que l'infiltration de D-phénylalanine, ou de D-alanine ou d'acide amino-isobutyrique dans les feuilles inférieures induisait une résistance systémique contre la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) (Kùc, et al., 1959). Peu de temps après, Ross fut le premier à introduire les termes de « résistance locale acquise » et de « résistance systémique acquise », deux termes qui sont désormais englobés dans la notion de résistance induite (Ross, 1961).

La **résistance induite** a récemment fait l'objet d'un ouvrage décrivant son intérêt pour la protection intégrée des plantes. La définition proposée y est la suivante :

- EN « La résistance induite est un processus actif qui permet [aux plantes d'exprimer] une résistance à une large gamme d'agents pathogènes compatibles après un traitement inductif initial. ». « La résistance induite résulte de l'interaction entre une plante et un agent inducteur approprié. Les inducteurs peuvent être extrêmement divers. ». (Hammerschmidt, 2007 (réédition 2014)).

L'activation des mécanismes de défense de la plante en préalable à l'arrivée des bioagresseurs permet d'induire une résistance afin que ces mécanismes soient immédiatement efficaces en cas d'attaque (cf. section 3.1.2). C'est un mécanisme de résistance non spécifique.

Notions de potentialisation

Dans certains cas, l'induction peut avoir comme conséquence une activation ultérieure plus rapide et plus intense des mécanismes de défense, c'est ce qu'on appelle la **potentialisation** (*priming*, du verbe *to prime* : préparer, amorcer) dont une des définitions est la suivante :

- EN « En général, les réponses systémiques de résistance, induites par des micro-organismes pathogènes ou bénéfiques, sont associées à la potentialisation pour une activation plus rapide et plus forte des réactions de défense induites par le stress en cas de seconde agression par l'agent pathogène. » (Beckers & Conrath, 2007).

Concrètement, la potentialisation des défenses s'explique par la préparation de la « machinerie d'expression » de la plante via des modifications au niveau nucléaire.

Définitions d'éliciteur

Comme l'expliquent les auteurs Ebel et Cosio (Ebel & Cosio, 1994), la définition associée au terme **Elicitor** (du verbe *to elicit* : déclencher, susciter) a changé au fil du temps et de l'accumulation de connaissances scientifiques, englobant ainsi à l'heure actuelle un plus grand nombre de substances :

- EN « Ce nom s'appliquait à l'origine exclusivement aux [composés] capables d'induire la synthèse de phytoalexines dans les tissus végétaux. Ces derniers temps en revanche, ce nom a été utilisé pour décrire des facteurs capables d'induire plusieurs types de réponses physiologiques et non restreints aux plantes. ». « En général, les éliciteurs des réponses de défense des plantes sont divisés en deux catégories selon leur origine : signaux exogènes ou endogènes. ».

Une définition d'éliciteur, proposée en 2003 par un groupe de travail de la Commission des Matières Fertilisantes et Supports de Culture (CMFSC), instance officielle consultative en charge de rendre au MAAF des avis sur des thématiques ayant trait aux problèmes des matières fertilisantes, a ensuite été reportée par un groupe de travail composé de spécialistes scientifiques de l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB) et de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (Fardeau & Jonis, 2003) :

- « Une substance capable, dans certaines conditions, de stimuler des mécanismes de défenses naturelles [et qui] garde, de facto, son sens premier et international. Ces défenses naturelles seraient dirigées soit contre des bioagresseurs (maladies des cultures, mauvaises herbes), soit contre des stress abiotiques, tels ceux provoqués par le gel. ». Cette définition précise aussi qu'en « situation idéale, un éliciteur n'est pas, par lui-même, un composé biocide ou phytotoxique. ».

Plus récemment, le CEB de l'AFPP a proposé une définition (CEB-AFPP, 2011) pour éliciteur, reprenant les précisions sur l'origine endogène/exogène de la définition anglaise.

- « 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. L'éliciteur peut être libéré ou porté par un agent pathogène ou un ravageur (éliciteur exogène) ou produit par la plante elle-même sous l'action d'un stress (éliciteur endogène).».

En France, aucune définition officielle ou réglementaire n'existe pour éliciteur. Ce terme est assez peu utilisé en dehors de la communauté scientifique. Les éliciteurs induisant une protection de la plante font partie des SDP, mais par définition ils peuvent aussi agir sur les stress abiotiques au contraire des SDP si l'on se réfère à la définition du groupe de travail Elicitra (RMT Elicitra, 2013).

Biostimulants pour la plante et terminologie associée

Définitions de biostimulant

Les **biostimulants pour la plante** sont la deuxième grande catégorie de produits de stimulation entrant dans le cadre de cette étude.

Depuis la création de l'*European Biostimulants Industry Council* (EBIC) en 2011, plusieurs groupes de travail se sont réunis pour proposer une définition commune à tous les pays européens et qui soit acceptée par tous les acteurs. Une des principales suggestions de l'EBIC est de définir les biostimulants d'après les revendications et effets qui leurs sont associés, et non d'après l'origine du produit.

Lorsqu'il préparait son rapport sur les biostimulants, Patrick Du Jardin (Du Jardin, 2012) a croisé la littérature scientifique avec les premières propositions des groupes de travail de l'EBIC pour offrir une première définition :

- EN « Les biostimulants pour la plante sont des substances et matières, à l'exception des nutriments et pesticides, qui, quand ils sont appliqués aux plantes, aux semences ou aux substrats de croissance dans une formulation spécifique, ont la capacité de modifier les processus physiologiques des plantes de manière à fournir des bénéfices potentiels pour la croissance, le développement et/ou la réponse aux stress. ».

Cette définition a été remaniée à plusieurs reprises pour en arriver à la définition actuellement proposée par l'EBIC dans ses différents rapports et conférences (EBIC, 2014). Cette définition est encore en cours de validation entre différents groupes de travail, notamment au niveau de la notion de « qualité des cultures » puisque cet aspect est encore débattu. On peut noter cependant que depuis la première définition proposée par Patrick du Jardin, la réponse aux stress a été précisée. En effet, dans le rapport de 2012 (Du Jardin, 2012), des stress biotiques et abiotiques étaient considérés. A l'heure actuelle, la définition acceptée par les membres d'EBIC ne concerne que les stress abiotiques (EBIC, 2014).

- EN « Biostimulants de la plante signifie un matériel qui contient une (des) substance(s) et/ou micro-organismes dont la fonction, quand appliqué aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels pour améliorer/avantager le prélèvement des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des cultures, indépendamment [du] contenu en nutriments [du biostimulant]. ».

Un développement collaboratif a été mené entre l'EBIC et un groupe de travail de la Commission Européenne (CE) pour proposer une définition très semblable. Celle-ci a été présentée lors du premier congrès pour les biostimulants qui s'est déroulé à Strasbourg en 2012 et qui a réuni plus de 700 participants de 55 pays (Liegeois, 2012).

- « Un biostimulant pour la plante concerne un matériel contenant une (des) substance(s) et/ou un micro-organismes dont la fonction, après application aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels afin de favoriser le prélèvement des nutriments, l'efficacité de l'utilisation des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, et/ou la qualité des cultures, indépendamment du contenu en éléments nutritifs. ».

Le rapport Arcadia commandité par la CE et visant à l'aider à définir le futur cadre réglementaire sur les biostimulants, reprend cette définition en la modifiant légèrement, en intégrant notamment le fait que les biostimulants peuvent être appliqués aux semences (Arcadia, 2014). Cette définition fait actuellement l'objet de discussions au sein du groupe d'experts de la Commission Européenne « *Fertilisers Working Group* »¹⁷ dont l'objectif est de fournir une expertise dans le cadre de la mise en œuvre de la législation

¹⁷ Les documents de travail de ce groupe sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=1320>

communautaire existante et de l'orientation de la politique dans le domaine de la réglementation sur les matières fertilisantes.

- **EN** « Un biostimulant pour la plante est toute substance ou micro-organisme, dans la forme commercialisée à l'utilisateur, appliqué aux plantes, semences ou à l'environnement racinaire avec l'intention de stimuler les processus naturels des plantes pour favoriser l'efficacité de l'utilisation des nutriments et/ou leur tolérance aux stress abiotiques, indépendamment du contenu en nutriments ».

Dans la « Loi d'Avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt » promulguée le 13 octobre 2014¹⁸, des « substances naturelles à usage biostimulant » sont citées dans l'Article 50 comme étant des préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP). Cette association aux PNPP, historiquement présentés comme des produits phytopharmaceutiques, entretient la confusion existant sur les biostimulants. Aucune définition n'est cependant associée aux biostimulants dans cette loi modifiant l'article L253-1 du Code rural, mais le sens de « biostimulant » semble être différent de celui entendu par EBIC ou par la Commission Européenne. Dans un rapport des travaux de la Commission des Affaires économiques datant du 26 juin 2014, les substances naturelles à usage biostimulant sont ainsi décrites dans la discussion :

- « [Elles] influent sur la capacité de la plante à mieux bénéficier des éléments naturellement présents dans son environnement et favorables à son métabolisme. Il ne s'agit pas de produits phytopharmaceutiques. »

Additifs agronomiques

Ce terme, parfois préféré à biostimulant en raison de leur utilisation majoritaire en combinaison aux produits fertilisants, est défini pour les normes françaises NF U 44-204 et 551/A4. Cette définition française implique une notion assez large dans le but de pouvoir y inclure les biostimulants :

- « Un constituant visant à donner à l'engrais ou à l'amendement minéral basique ou à l'amendement minéral basique-engrais une propriété fertilisante nouvelle que ne permettent pas d'obtenir les composants principaux. ».

Toutefois, les additifs agronomiques ont aussi été définis dans le rapport Arcadia pour la CE (Arcadia, 2014). Dans cette définition européenne, les biostimulants n'entrent pas dans la catégorie des Additifs agronomiques. On s'éloigne ainsi du sujet de cette étude puisque sont considérés dans cette catégorie des chélatants, des inhibiteurs de nitrification ou d'uréase. Dans la suite de ce rapport sur les produits de stimulation, nous ne considérerons donc pas le terme d'additif agronomique, mais bien celui de biostimulant.

- **EN** « Toute substance ou micro-organisme, dans la forme commercialisée à l'utilisateur, ajoutée à un engrais, un amendement ou un support de culture dans l'intention d'augmenter l'efficacité agronomique du produit final et/ou de modifier le devenir des éléments nutritifs provenant du fertilisant, de l'amendement ou du support de culture ».

Terminologie associée aux biostimulants

Plusieurs autres notions dont les définitions sont en lien avec la stimulation des plantes existent. Souvent, ces notions se recoupent ce qui génère des difficultés de compréhension et complique encore le fait d'accorder l'ensemble des acteurs sur un seul terme.

Les **substances de croissance**, présentes aussi dans le catalogue e-phy (MAAF, 2014a) possèdent deux définitions, dont une réglementaire :

¹⁸ LOI n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt

- « Substance ou préparation qui, appliquée sur tout ou partie d'un végétal, agit sur les mécanismes physiologiques, notamment la différenciation ou l'élongation cellulaires, sans nuire à la plante d'un point de vue agronomique. » (CEB-AFPP, 2011) :
- Substances destinées à « exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, telles les substances, autres que les substances nutritives, exerçant une action sur leur croissance. » (article 2 du Règlement n° 1107/2009 du 21/10/09).

Une définition des **phytostimulants**, terme n'ayant aucun véritable caractère officiel mais parfois utilisé à la place de biostimulant, a été proposée en 2003 par un groupe de travail de la CMFSC puis reportée dans le rapport ITAB/INRA sur cette catégorie de produits (Fardeau & Jonis, 2003) :

- « Une substance qui, dans certaines conditions, va favoriser la nutrition ou la croissance et le développement de la plante. Son apport à un système de culture permettrait d'obtenir une récolte à un niveau (qualitatif ou quantitatif) que l'absence d'apport n'aurait pas permis d'atteindre. ». Les auteurs précisent que « ces définitions n'empêchent nullement qu'un produit puisse avoir simultanément les fonctions d'éliciteur et de phytostimulant. ».

Les **stimulateurs de croissance et/ou de développement**, présents dans le catalogue e-phy (MAAF, 2014a), sont définis de manière réglementaire pour les Normes NF U 44-551/A4 (2009) et NF U 44-204 (2011). Cette définition est assez proche de celle des biostimulants :

- « Matière fertilisante favorisant la nutrition et/ou la croissance et/ou le développement de la plante et/ou sa résistance aux stress abiotiques. ».

Les **activateurs de sol**, terme utilisé uniquement dans un contexte marketing, n'ont aucune définition officielle ou scientifique. La définition que nous proposons dans le cadre de ce rapport est la suivante :

- Des substances qui dynamisent les processus physiques, chimiques et biologiques des sols pour améliorer la nutrition des plantes et accélérer leur croissance.

Stimulateurs de vitalité

Les **stimulateurs de vitalité** ont un caractère officiel puisqu'ils sont présents dans le catalogue e-phy (MAAF, 2014a) et qu'ils sont définis sur le site gouvernemental EcoPhytoPic (MAAF, 2012).

- « Préparations dont l'action est d'améliorer les performances globales des plantes : exploitation des ressources, croissance, productivité, résistance aux stress, etc. Les mécanismes mis en jeu sont multiples et complexes (solubilisation de minéraux dans le sol, production de facteurs de croissance, stimulation des défenses naturelles, etc.). »
- La catégorie d'autorisation de mise en marché de stimulateurs de la vitalité est relativement récente (2009) et a été créée par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) et par la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) pour une substance active (*Trichoderma harzianum*) vendue sous la forme de deux produits. Depuis, aucune autre substance n'a été homologuée comme stimulateur de vitalité car cette catégorie de produits phytopharmaceutiques est mal spécifiée et, au vu de la définition, il existe une forte ambiguïté entre le statut de matière fertilisante ou de produit de protection des plantes¹⁹.

¹⁹ En début de rédaction de ce rapport la catégorie « stimulateur de vitalité » avait une existence officielle dans le catalogue e-phy des intrants autorisés en usage phytopharmaceutiques. Dans la dernière mise à jour de la liste e-phy (octobre 2014), la catégorie des stimulateurs de vitalité a été supprimée et remplacée par stimulateur des défenses naturelles (SDN). La catégorie a été conservée dans la section 2.1 de ce rapport, mais est ensuite intégrée aux SDN bien que les revendications associées aux produits Triamum-G et Triamum-P soient toujours à cheval entre la stimulation des défenses contre les stress biotiques et la stimulation de la nutrition des plantes.

2.1.3 Liens entre produits de stimulation et d'autres notions : NODU « vert » biocontrôle, agriculture biologique et biointrait

Biocontrôle et produits entrant dans le champ du NODU « vert » biocontrôle

A la suite du Grenelle de l'environnement en 2008, la France s'est fixée un objectif ambitieux de diminution du recours aux produits phytopharmaceutiques (herbicides, fongicides, bactéricides, etc.) de 50 % si possible. Ce plan nommé Ecophyto a pour but de diminuer les produits phytopharmaceutiques, tout en continuant à assurer un niveau de production élevé tant en quantité qu'en qualité. Il s'agit donc de produire mieux en réduisant la dépendance des exploitations aux produits de protection des plantes. L'utilisation de pratiques et substances alternatives, par exemple certains SDP, participe à la réussite du plan Ecophyto.

Afin de suivre l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, un indicateur a été mis en place dans le cadre du plan EcoPhyto, c'est le NODU « NOmbre de Doses Unités ». Celui-ci permet une approche nationale toutes cultures confondues. Afin de promouvoir les stratégies de biocontrôle pour valoriser une agriculture moins dépendante des produits phytopharmaceutiques conventionnels utilisés, le NODU possède une déclinaison appelée NODU « vert » biocontrôle spécifiquement dédiée aux produits autorisés dans le cadre du biocontrôle, que ce soit pour l'agriculture biologique, l'agriculture conventionnelle ou les Zones Non Agricoles (ZNA) (DGAL, 2012).

Le terme de **biocontrôle** est défini dans la fiche méthodologique du *NODU Vert biocontrôle* (DGAL, 2012).

- « Ensemble des méthodes de protection des végétaux qui utilisent des mécanismes naturels [et qui] vise à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. Les produits de biocontrôle se classent en 4 familles, à savoir les macro-organismes, micro-organismes, médiateurs chimiques, et les substances naturelles. ».

Par ailleurs, le biocontrôle a récemment fait l'objet d'un rapport visant à effectuer des recommandations pour soutenir les technologies vertes (Herth, 2011) et dans lequel les produits de biocontrôle sont aussi définis :

- « Un ensemble d'outils à utiliser, seuls ou associés à d'autres moyens de protection des plantes, pour la protection intégrée telle qu'elle figure dans l'approche européenne. ». Le défi du biocontrôle est ainsi de « protéger sans nuire à la santé et à l'environnement ».

Enfin, dans la Loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt la modification de l'article L353-6 du code rural et de la pêche définit les produits de biocontrôle :

- « Le plan prévoit des mesures tendant au développement des produits de biocontrôle, qui sont des agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures. Ils comprennent en particulier : 1° Les macro-organismes ; 2° Les produits phytopharmaceutiques comprenant des micro-organismes, des médiateurs chimiques comme les phéromones et les kairomones et des substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale. ».

Il existe par ailleurs au niveau international l'IBMA (*International Biocontrol Manufacturers Association*) qui est une interprofession regroupant plusieurs entreprises du biocontrôle et qui a pour rôle de promouvoir l'utilisation des produits de biocontrôle en agriculture.

En 2013, 114 produits entraient dans le calcul du NODU « vert » biocontrôle, contre seulement 83 en 2012 (MAAF, 2012; MAAF, 2013). Ces 114 produits correspondent à 56 substances actives. Les produits de stimulation entrant dans ce cadre et visant à la protection des cultures sont au nombre de 11, ce qui représente **9% des produits comptant dans le calcul du NODU « vert » biocontrôle**. On dénombre :

- 4 produits pour 3 substances actives de type SDP strictes : la Laminarine (2 produits), l'extrait de Fenugrec (1 produit) et le virus atténué ZYMV-WK (1 produit) ;

- 6 produits pour 3 substances actives à action complexe dont la stimulation des défenses contre des stress biotiques : *Bacillus subtilis* souche QST 713 (3 produits), *Pseudomonas chlororaphis* (1 produit) et *Trichoderma harzianum* (2 produits) ;
- 1 produit pour 1 substance élicitrice stimulant les défenses contre un stress abiotique : Heptamaloxylglucane.

Tous les produits SDP actuellement mis en marché en France ne sont cependant pas comptés dans ce calcul en raison de l'origine « non naturelle » des substances.

La liste complète des produits avec les noms commerciaux est disponible en Annexe 3. Les SDP apportent donc une contribution pour le moment assez limitée au plan Ecophyto. L'AFPP prévoit qu'à moyen terme la prise en compte des caractéristiques globales des SDP et leur action positive, et non plus leur origine (synthétique ou naturelle), permettra une contribution plus importante dans les indices de type NODU « vert » biocontrôle (AFPP, 2013). D'autres molécules synthétiques comme les phéromones sont d'ailleurs déjà intégrées dans le NODU « vert » biocontrôle.

Champ des produits utilisables en agriculture biologique

Le Règlement de la Commission Européenne (RCE) n°834/2007 précise l'ensemble des règles à suivre concernant la production, la transformation, la distribution, l'importation, le contrôle et l'étiquetage des produits biologiques. Il est complété par des règlements d'application, qui précisent quels sont les intrants autorisés. On peut notamment citer le RCE n°889/2008 qui présente en son Annexe I la liste des engrais, des amendements et nutriments du sol et en son Annexe II la liste des substances actives pouvant entrer dans la composition des produits phytopharmaceutiques compatibles avec le mode de production biologique.

Certification des Produits utilisables en Agriculture Biologique

Pour pouvoir être utilisé en agriculture biologique, un produit doit contenir uniquement des substances autorisées dans le cadre du règlement RCE n°889/2008 (voir ci-dessous substances inscrites dans les Annexes I et II). Les produits utilisables en Agriculture Biologique peuvent porter une revendication « produit Utilisable en Agriculture Biologique (UAB) conformément au règlement 889/2008 ». Le metteur en marché du produit est responsable de cette allégation. Des certifications « privées » se sont développées pour garantir aux utilisateurs que le produit est utilisable en agriculture biologique. Le contrôle est effectué par un organisme certificateur agréé par l'Institut National de l'Origine et de la qualité (INAO). Des organismes sont ainsi agréés pour le contrôle des produits UAB : Ecocert, CertipaqBIO, Qualité France (Bureau Veritas).

Ces organismes de certification proposent ainsi des listes de produits commerciaux respectant la réglementation européenne et nationale et pouvant être utilisés en AB. On retrouve dans ces listes plusieurs biostimulants tels que des algues, des lignosulfonates, des extraits végétaux, des acides aminés, des micro-organismes, etc. (Ecocert, 2014).

D'autres labels privés existent en lien avec l'agriculture biologique, mais n'ayant pas une certification UAB des produits (par exemple label Nature et Progrès). Ces labels font suite à des chartes ayant des exigences différentes de l'agriculture biologique officielle et cadrent aussi des productions non couvertes par la réglementation officielle. Ces chartes n'ont aucune valeur réglementaire. Dans le cas de Nature et Progrès, la charte « Fertilisants et Supports de culture » établit une liste d'intrants se basant sur celle du RCE n°889/2008 dans laquelle on retrouve des produits de stimulation (Nature et Progrès, 2014).

Substances inscrites à l'annexe I du RCE n°889/2008

Dans l'Annexe I du RCE n°889/2008 sont listés les « Engrais et amendements du sol et nutriments » autorisés en Agriculture Biologique. On peut retrouver des matières premières entrant dans le cadre des biostimulants dans les catégories suivantes :

- Mélange composté ou fermenté de matières végétales
- Produits et sous-produits organiques d'origine végétale pour engrais
- Algues et produits d'algues
- Produits ou sous-produits d'origine animale
- Poudres de roche et argiles
- Oligoéléments

Cette liste est positive, de fait tout produit utilisé en fertilisation et/ou amendement du sol contenant des matières non listés dans l'Annexe I du RCE n°889/2008 n'est pas autorisé en Agriculture Biologique. Il est cependant intéressant de noter que les micro-organismes n'entrent pas dans cette Annexe I, alors que des produits contenant des bactéries ou champignons sont certifiés UAB dans la liste de produits commerciaux gérée par Ecocert. C'est également le cas pour d'autres substances telles que les lignosulfonates.

Substances inscrites à l'annexe II du RCE n°889/2008

L'article 12 du RCE n°834/2007 fait part des principes pour la protection des cultures en Agriculture Biologique. Le producteur doit ainsi « choisir les bonnes espèces et variétés de cultures appropriées, avoir un programme de rotation approprié, avoir recours à des procédés mécaniques de culture (binage, buttage, hersage, etc.), assurer une protection des ennemis naturels des parasites (lutte biologique) et si nécessaire avoir recours au désherbage thermique. ». En cas de danger menaçant une culture, le producteur peut avoir recours de manière justifiée et limitée à des produits phytopharmaceutiques si la substance active est présente dans l'annexe II du RCE n°889/2008 (ITAB, 2014). Etant une liste positive, toute substance active non présente dans cette annexe ne peut être autorisée en Agriculture Biologique. Cette annexe, qui présente aussi les conditions d'utilisation de manière explicite, divise les substances actives en sept catégories :

- (1) les substances d'origine animale et végétale,
- (2) les micro-organismes utilisés dans la lutte biologique contre les ravageurs et les maladies,
- (3) les substances produites par des micro-organismes,
- (4) les substances à utiliser dans les pièges et/ou les distributeurs,
- (5) les préparations à disperser en surface entre les plantes cultivées,
- (6) les autres substances traditionnellement utilisées dans l'agriculture biologique,
- (7) les autres substances telles que l'hydroxyde de calcium et bicarbonate de potassium.

On pourrait ainsi *a priori* trouver des **produits de stimulation** dans les catégories 1, 2, 3, et 5. Jusqu'à très récemment, seule la catégorie 2 comprenait des produits de stimulation ayant des actions SDP (ex : *Bacillus subtilis* souche QST 713, *Bacillus pumilus* souche QST 2808, Virus ZYMV-WK, *Trichoderma harzianum*). Cependant, la Laminarine a obtenu en mai 2014 son enregistrement dans l'Annexe II du règlement européen, et apparaît ainsi dans le guide des produits de protection des cultures utilisables en France en agriculture biologique (Ed. INAO/MAAF)²⁰ et complète donc la liste des produits de stimulation utilisables en agriculture biologique pour la protection des cultures.

²⁰ La version mise à jour le 3 septembre 2014 est disponible à cette adresse : <http://www.itab.asso.fr/downloads/com-intrants/guide-protection-plantes6.pdf>

Biointrants

Définir la notion de biointrants nécessite tout d'abord de savoir que le terme « intrant » comprend tous les produits apportés aux terres et aux cultures, à savoir les engrais, les amendements, et les produits phytopharmaceutiques.

Les biointrants sont des intrants d'origine biologique dans le sens de « non synthétique » qui dérivent de sources animales, végétales ou parfois minérales. Ils regroupent donc à la fois des biostimulants ou des produits de biocontrôle (Cox & Wong, 2013).

Il est important de différencier les biointrants des produits Utilisables en Agriculture Biologique (UAB) définis par la réglementation, puisque tous les biointrants ne sont pas des produits UAB et tous les produits UAB ne sont pas des biointrants.

2.1.4 Synthèse

La terminologie associée aux produits de stimulation est variée et complexe du fait du foisonnement de définitions et d'une absence d'harmonisation. Au vu de cette situation, deux remarques peuvent être faites :

- Il semble naturel que de nouveaux termes naissent de la recherche scientifique. Il est en effet nécessaire de donner un nom aux nouveaux sujets d'études et ces travaux de recherche sont généralement réalisés au préalable à tous textes réglementaires.
- Cependant, il faut également souligner qu'une telle abondance de termes peut dans le même temps compliquer les travaux de recherche en rendant difficile la réalisation rapide d'une veille scientifique complète, et certaines innovations peuvent ainsi ne pas être connues par l'ensemble de la communauté scientifique.

Afin de présenter l'ensemble de la terminologie entrant dans le cadre de cette étude, nous avons établi une cartographie (Figure 1) des différents termes. Cette cartographie est organisée en fonction des cibles que vont viser les produits, à savoir la plante, le sol ainsi que les Matières Fertilisantes ou Supports de Culture (MFSC). Dès lors il est possible de visualiser que d'une part, il existe différents recoupements entre les termes et que d'autre part, certaines définitions sont très proches.

On peut distinguer deux grandes catégories de produits de stimulation en fonction des cibles et des définitions identifiées ci-dessus :

- Les **SDP** : Substances ou Micro-organismes qui ciblent la plante afin d'induire les réponses de défense face aux stress biotiques. Sont compris dans les SDP les éliciteurs et les molécules de potentialisation.
- Les **biostimulants de la plante** ciblent la plante, le sol et/ou les MFSC et favorisent la croissance, le développement et la nutrition des plantes. Sont compris dans les biostimulants une diversité de termes qui ne sont pas tout à fait semblables du point de vue des cibles visées, mais dont le but est bien de stimuler les plantes et/ou d'activer le sol pour améliorer la croissance des plantes à un niveau d'apport de matières fertilisantes donné.

La Figure 1 présente également deux autres catégories de produits qui ne seront plus évoquées dans la suite de ce rapport :

- Les **stimulateurs de vitalité**, qui ciblent la plante ou le sol, sont des produits clairement à cheval entre SDP et biostimulants. Cette catégorie n'existe plus actuellement (cf. définition section 2.1.2).
- Les **additifs agronomiques** qui ciblent les MFSC n'entrent pas selon leur définition (Arcadia, 2014) dans le cadre de cette étude puisque ce ne sont pas des produits de stimulation.

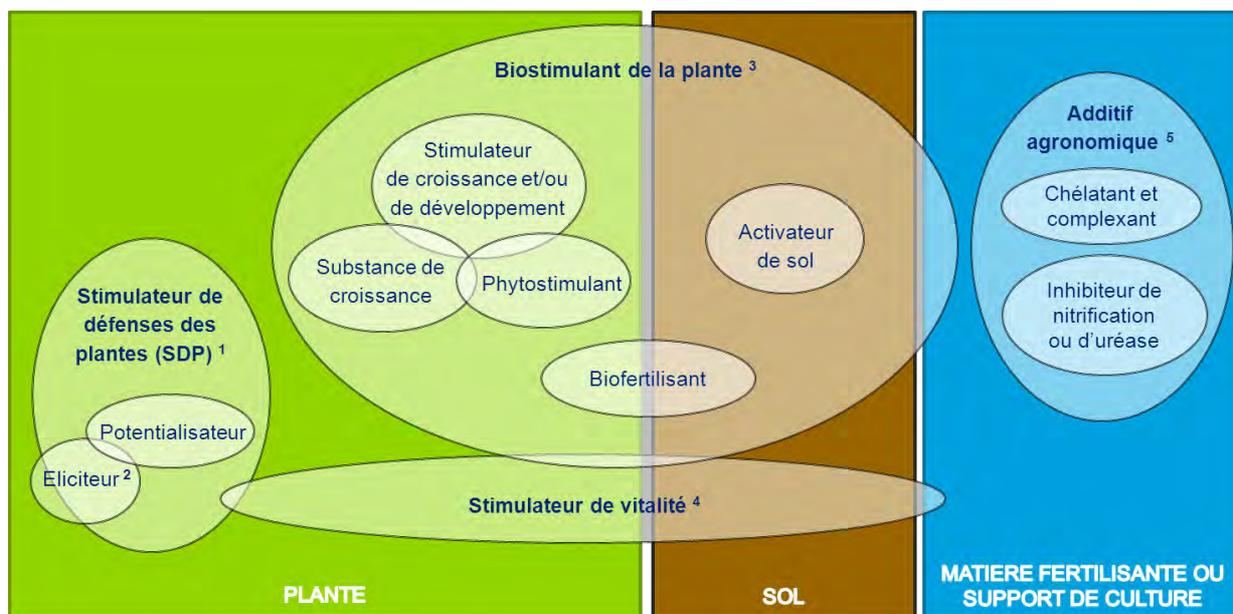


Figure 1 – Cartographie des cibles des principales terminologies identifiées pour les produits de stimulation des plantes

Cibles identifiées : plante (vert), sol (brun) et MFSC (bleu).

Définitions utilisées (termes pour lesquels plusieurs définitions ont été identifiées) : 1 : (RMT Elicitra, 2013) , 2 : (Fardeau & Jonis, 2003) ; 3 : (EBIC, 2014) ; 4 : (MAAF, 2012) ; 5 : (Arcadia, 2014).

2.2 Origine et nature des produits

2.2.1 Clarification des notions

Voici en premier lieu un rappel de quelques notions nécessaires à l'analyse de l'origine et de la nature des produits :

- **Substance** : « Les éléments chimiques et leurs composés tels qu'ils se présentent à l'état naturel ou tels qu'ils sont produits par l'industrie, y compris toute impureté résultant inévitablement du procédé de fabrication. » (Règlement RCE 1107/2009).
- **Substance active** : « Substances, y compris les micro-organismes, exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux. » (Règlement RCE 1107/2009).
- **Produit formulé ou préparation** : « Les mélanges ou les solutions composés de deux ou plusieurs substances destinés à être utilisés comme produits phytopharmaceutiques ou adjuvants » (Règlement RCE 1107/2009). Cette définition sera également ici appliquée pour les produits non phytopharmaceutiques. Les produits sont toujours considérés dans la forme dans laquelle ils sont livrés à l'utilisateur.
- **Formulant** : « Substance ou préparation dépourvue d'activité biologique propre, incluse dans une préparation phytopharmaceutique ou biocide lors de la formulation afin de lui conférer les propriétés nécessaires à sa mise en œuvre. » (CEB-AFPP, 2011).
- **Substance xénobiotique** : « Un xénobiotique est un produit chimique ou un matériau qui ne se trouve pas dans la nature et qui n'est pas normalement considéré comme un élément constitutif d'un système biologique particulier. » (définition de Rand et Petrocelli (1985) traduite dans l'ouvrage d'écotoxicologie (Forbes & Forbes, 1997)).

2.2.2 Classification des produits en fonction de leur origine et de leur nature

L'analyse effectuée ici porte sur l'origine de la substance active du produit, sans considérer le formulant. Ainsi, le Tableau 2 ci-dessous dresse une liste non exhaustive des différentes substances actives présentes dans les produits de stimulation.

Cette liste provient d'une recherche bibliographique comprenant des articles scientifiques et rapports (en particulier (Thakur & Sohal, 2013; Terres d'innovation, 2009; Dufour, 2011; Du Jardin, 2012; EBIC, 2011; Khan, et al., 2009; Faessel, 2008; Walters, et al., 2013)), des documents techniques industriels (en particulier des fiches produits), des sites internet des firmes, des sites internet officiels (en particulier le catalogue e-phy), et des interviews réalisées notamment avec les industriels et scientifiques.

Une séparation réglementaire est prise en compte dans ce tableau : d'un côté les biostimulants (associés aux MFSC) et de l'autre les SDP (associés aux PPP). Dans le cas des substances SDP, nous avons choisi de faire la distinction entre celles qui sont commercialisées en France et celles qui ne le sont pas, mais qui sont soit encore testées en laboratoire, soit déjà commercialisées à l'étranger. Cette distinction permet de bien se rendre compte du faible nombre de substances actives homologuées dans cette catégorie de produits. En raison du faible nombre de recherches effectuées en laboratoire sur les biostimulants, nous n'avons pas pu réaliser cette même distinction pour cette deuxième catégorie de produits. La liste fournie dans la dernière colonne du tableau regroupe donc des biostimulants commercialisés en France et/ou potentiellement commercialisables.

Par souci de clarté, sont aussi indiquées dans le Tableau 2 les caractéristiques de certaines substances qu'il nous paraît important de signaler dès à présent (notées **M**, **B**, **A** et **PPP**) :

- Certaines substances SDP ont aussi un mode d'action **Biocide** (produit détruisant les bioagresseurs) ou **Antagoniste** (micro-organisme compétiteur pour l'espace ou les nutriments des agents

pathogènes). Pour rester en accord avec la définition des SDP, le mode d'action majoritaire de ces substances actives doit être la stimulation des défenses contre les stress biotiques. Il est cependant difficile lors des tests d'efficacité de savoir la part de résistance provenant de la SDP par rapport aux autres modes d'action.

- Certaines substances actives peuvent être considérées à la fois comme SDP et biostimulant, puisqu'il a été montré que ces substances provoquent une stimulation de la croissance et/ou une amélioration de la nutrition et/ou une résistance contre des stress abiotiques et une résistance contre des stress biotiques. Ces substances peuvent donc être considérées comme Mixtes, et c'est pour cette raison qu'elles sont listées deux fois dans le tableau même si leur mise sur le marché se fait le plus souvent en tant que MFSC avec des revendications liées aux biostimulants (voir partie 2.3 ci-dessous), à l'exception de *Trichoderma harzianum* qui est la substance active de deux produits homologués comme PPP (anciennement stimulateur de vitalité, actuellement SDN dans le catalogue e-phy).
- Nous avons listé dans la catégorie des biostimulants une substance active homologuée en tant que PPP. Selon la définition (RMT Elicitra, 2013), l'Heptamaloxyloglucane ne peut pas être considéré comme un SDP puisque sa revendication est l'amélioration de la résistance contre le gel, un stress abiotique. Pour cette raison, nous l'avons listé dans les biostimulants même si le produit contenant cette substance active est homologué en tant que PPP.

Enfin, on peut également mentionner qu'en dehors des substances SDP induisant une résistance aux bioagresseurs, des traitements physiques permettent aussi d'observer des phénomènes de résistance. Ces traitements, non évoqués dans ce tableau car n'entrant pas directement dans le cadre de ce rapport, sont des traitements aux UV ou aux ondes sonores. En France une entreprise s'est développée en proposant comme service des « séquences sonores spécifiques » pour stimuler la défense des plantes appelées protéodies (Genodics, 2014). Ces méthodes, bien que peu conventionnelles et encore peu soutenues par des travaux scientifiques, entrent toutefois dans le cadre de techniques alternatives utilisables en agriculture pour mieux protéger les plantes tout en essayant de diminuer les traitements conventionnels. Il n'existe pas de démonstration scientifique des modes d'action, ce qui ne remet pas en cause un effet potentiel restant à démontrer de manière rigoureuse.

Tableau 2 – Origine et nature des produits de stimulation

Légende : B : SDP à action Biocide ; M : substance Mixte à action SDP et biostimulant ; A : SDP à action Antagoniste ; PPP : produit homologué en tant que PPP

Origine / nature	SDP commercialisés et homologués en France (Consultation liste e-phy octobre 2014)	SDP non commercialisés en France (encore au stade laboratoire ou commercialisés à l'étranger)	Biostimulants
Substances issues du vivant	Micro-organismes vivants		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bactéries <i>Bacillus subtilis</i> QST 713^A <i>Bacillus pumilus</i> QST 2808^{A B} <i>Pseudomonas chlororaphis</i>^A ▪ Virus atténué <i>Zucchini yellow mosaic virus</i> - Weak Strain ▪ Champignons <i>Trichoderma harzianum</i>^M 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bactéries PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>)^M <i>Bacillus subtilis</i>^M <i>Bacillus pumilus</i>^{A B} <i>Bacillus amyloliquifaciens</i>^M <i>Bacillus mycoides</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>^M <i>Ochrobactrum lupine</i> <i>Azospirillum brasilense</i> ▪ Spores et mycélium de champignons PGPF (<i>Plant Growth Promoting Fungi</i>) <i>Fusarium equiseti</i> <i>Trichoderma</i> sp.^M <i>Glomus</i> sp.^M <i>Piriforma indica</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levures ▪ Bactéries <i>Bacillus amyloliquifaciens</i>^M <i>Bacillus subtilis</i>^M <i>Pseudomonas fluorescens</i>^M PGPR^M <i>Azotobacter</i> sp. <i>Rhizobium</i> sp. <i>Bradyrhizobium</i> sp. ▪ Champignons PGPF <i>Glomus</i> sp.^M <i>Trichoderma</i> sp.^M <i>Trichoderma harzianum</i>^M
	Extraits complexes d'algues		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extraits d'algues <i>Ulva</i> sp.^M <i>Ecklonia maxima</i>^M <i>Ascophyllum nodosum</i>^M <i>Laminaria</i> sp.^M 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extraits d'algues <i>Ecklonia maxima</i> <i>Ascophyllum nodosum</i>^M <i>Lithothamnium calcareum</i> <i>Macrocystis pyrifera</i> <i>Ulva lactuca</i>^M <i>Sargassum plagiophyllum</i> <i>Dictyota dichotoma</i> <i>Laminaria</i> sp.^M <i>Fucus</i> sp.
Extraits complexes de plantes			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extrait de Fenugrec 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extraits de plantes ▪ Renouée de Sakhaline^{M B} ▪ Ecorce de bourdaine^B ▪ Extraits de prêle^{M B} ▪ Extraits d'ortie^{M B} 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extraits de plantes Extraits d'ortie^M Extraits de prêle^M Renouée de Sakhaline^M 	

Origine / nature	SDP commercialisés et homologués en France (Consultation liste e-phy octobre 2014)	SDP non commercialisés en France (encore au stade laboratoire ou commercialisés à l'étranger)	Biostimulants
Substances issues du vivant (suite)	Extraits purifiés d'algues		
	<ul style="list-style-type: none"> Laminarine (<i>Laminaria digitata</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> Laminarine (<i>Laminaria</i> sp.) Laminarine sulfatée Ulvane (<i>Ulva</i> sp.) Carraghénane Extraits d'algues 	<ul style="list-style-type: none"> Extraits d'algues Acides aminés purifiés
	Extraits purifiés de plantes		
		<ul style="list-style-type: none"> Oligosaccharides Oligosaccharide de bardane Oligogalacturonide Monosaccharides Tréhalose Sucrose Psicose Allose 	<ul style="list-style-type: none"> Oligosaccharides Heptamaloxylglucane^{PPP} Monosaccharides Protéines purifiées Acides aminés purifiés Glycine bétaïne Lignosulfonate
	Extraits purifiés de micro-organismes		
		<ul style="list-style-type: none"> Extraits protéiques Protéines Peptides Harpines Glycoprotéines Flagellines Protéines virales Lipides Rhamnolipides Toxines Chitosane (chitine modifiée)^M Extraits de levures^M Glucane 	<ul style="list-style-type: none"> Extraits de levures^M Chitosane (chitine modifiée)^M Glycine bétaïne Extraits protéiques ou peptidiques Protéines purifiées Peptides purifiés Acides aminés purifiés
Extraits purifiés de macro-organismes			
	<ul style="list-style-type: none"> Acide cholique Chitine, Chitosane^M 	<ul style="list-style-type: none"> Chitine, Chitosane^M Protéines purifiées Acides aminés purifiés 	

Origine / nature	SDP commercialisés et homologués en France (Consultation liste e-phy octobre 2014)	SDP non commercialisés en France (encore au stade laboratoire ou commercialisés à l'étranger)	Biostimulants
Substances de synthèse d'origine non xénobiotique	Protéines, Peptides et Dérivés d'Acides aminés		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ BABA (Acide β-Amino-Butyrique) ▪ Lipopeptides bactériens Fengycine Surfactine 	
	Lipides et dérivés lipidiques		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jasmonate ▪ Acide jasmonique (JA) ▪ Methyljasmonate (MeJA) ▪ Cis-jasmonate 	
Substances de synthèse d'origine xénobiotique	Autres substances non xénobiotiques		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phytohormones Ethylène Acide abscissique^M 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phytohormones Auxine Cytokinine Brassinostéroïdes Acide abscissique^M ▪ Vitamines Acide folique (B9) ▪ Antioxydants Tocophérol
	Analogues fonctionnels de l'acide salicylique		
Substances de synthèse d'origine xénobiotique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ASM^B (acibenzolar-S-méthyl) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BTH^B (Benzothiadiazole) et ASM^B (acibenzolar-S-méthyl) ▪ INA (Acide isonicotinique) ▪ DCINA (acide 2,6-dichloroisonicotinique) ▪ Probenazole ▪ Acétyl SA ▪ Heptanoyl de SA 	
	Autres substances xénobiotiques		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prohexadione-Calcium ▪ Fosétyl-Aluminium^B 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analogue fonctionnel du MeJa Coronatine ▪ Saccharine ▪ Prohexadione ▪ Isotianil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ATCA (Acetyl-Thiazolidine-4-Carboxylic-Acid) ▪ Nitrophénolate

Origine / nature	SDP commercialisés et homologués en France (Consultation liste e-phy octobre 2014)	SDP non commercialisés en France (encore au stade laboratoire ou commercialisés à l'étranger)	Biostimulants
Substances organo-minérales	Extrais minéraux		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Phosphite de potassium ^B 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poudres de roche ^M Silicate ▪ Ions minéraux Phosphonate ^B et Phosphite ^B de potassium Sel de cuivre ^B, Sel de zinc 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Substances humiques (extraites de léonardite) Acide humique Acide fulvique ▪ Poudres de roche ^M Silicate

2.2.3 Synthèse

Plusieurs éléments de discussion ressortent de ce tableau.

Tout d'abord, une grande diversité globale des substances actives montrent un effet en tant que produit de stimulation. Deux explications permettent d'expliquer ce foisonnement de substances :

- Un intérêt marketing : l'intérêt fort des industriels dans les vingt dernières années, notamment les Petites et Moyennes Entreprises (PME), qui ont financé des projets de recherche afin de découvrir et tester des molécules nouvelles.
- Un intérêt scientifique : l'étude de ces substances permet d'avoir de meilleures connaissances fondamentales sur la nutrition des plantes ou sur les interactions entre la plante et les bioagresseurs.

On peut également noter la faible proportion de produits de type SDP commercialisés en France en comparaison du nombre de substances étudiées en laboratoire connues pour avoir un effet de stimulation des défenses des plantes. De par les interviews effectuées lors de cette étude, nous pouvons apporter des premiers éléments de réponses à ce point, lesquels seront développés dans la suite de l'étude. Premièrement, cette faible proportion peut s'expliquer par les décalages entre l'efficacité au laboratoire et celle rencontrée aux champs (voir partie 3.2). Par ailleurs, un autre frein au développement de ces substances qui a été évoqué lors des interviews est le coût d'homologation en tant que produits phytopharmaceutiques (0,6 à 4 millions d'euros (Arcadia, 2014)).

En ce qui concerne les biostimulants, nous pouvons aussi rappeler que les « biostimulants sont définis par ce qu'ils font plus que par ce qu'ils sont ». Cette citation qui provient du travail de Zhang et Schmidt (1997), a récemment été reprise dans le rapport de Patrick Du Jardin (Du Jardin, 2012) et est régulièrement citée lors des conférences EBIC. Il existe donc un foisonnement de substances actives entrant dans la catégorie des biostimulants, mais des substances d'origine et nature très différentes vont souvent avoir le même effet sur les plantes. Le même constat s'applique aux produits SDP. Ce n'est au final pas l'origine et la nature qui importent, mais bien le mode d'action « stimulation » (cf. section 3.1) et les effets bénéfiques pour la plante (cf. section 2.3).

2.3 Principales revendications agronomiques et positionnement réglementaire

2.3.1 Effets revendiqués des produits de stimulation

Une cartographie globale des revendications agronomiques mises en avant lors de la mise en marché des produits de stimulation est présentée en Figure 2. Elle permet de mettre en évidence les revendications associées à chaque grande catégorie de produit de stimulation (SDP ou biostimulants pour la plante).

Sept grandes catégories de revendication ont été identifiées :

- Résistance aux stress biotiques
- Résistance aux stress abiotiques
- Amélioration de la croissance et du développement
- Meilleure absorption des nutriments
- Meilleure qualité des récoltes
- Gain économique (dont augmentation des rendements)
- Gain environnemental (faible impact sur l'environnement)

Cette typologie permet de faire, sur la base de leurs revendications, une distinction plus aisée entre biostimulants et SDP. Ainsi, hormis pour les gains économiques et environnementaux associés à l'utilisation de ces produits innovants, biostimulants et SDP mettent en avant des utilités différentes.

Le détail des revendications par catégories, issu d'une compilation de fiches et brochures des produits, de la littérature scientifique, et de nos interviews, est listé dans le Tableau 3. Il s'agit ici de possibles revendications qui ne sont bien entendu pas utilisées pour tous les produits. Cette liste est par ailleurs non exhaustive et peut évoluer avec l'apparition de nouvelles substances actives ; elle doit être considérée comme une liste d'exemples de revendications permettant de faire la distinction entre SDP et biostimulants.

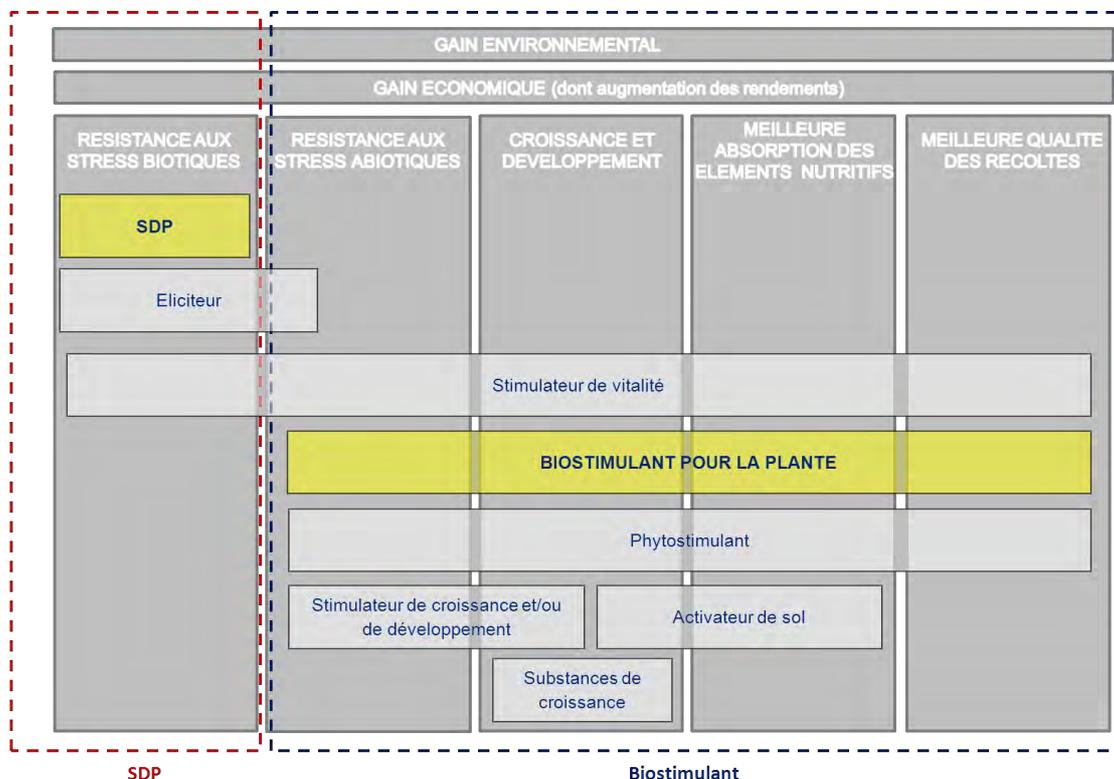


Figure 2 – Cartographie des principales revendications pour les produits de stimulation.

Tableau 3 – Détail des revendications agronomiques associées aux produits de stimulation

Revendications		Détails des effets revendiqués
Produits SDP	Résistance aux stress biotiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistance induite aux champignons, bactéries, virus, nématodes, insectes, et plantes parasites ▪ Potentialisation des défenses ▪ Formation d'un bouclier protecteur autour des racines
Produits biostimulant	Résistance aux stress abiotiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tolérance accrue au froid (y compris gel) ou au chaud ▪ Tolérance à la salinité ▪ Tolérance aux stress oxydatifs (dont UV, ozone) ▪ Tolérance accrue à la sécheresse ou à l'excès d'eau
	Croissance et développement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation du taux de germination ▪ Précocité accrue de la germination ▪ Stimulation du nombre d'inflorescences ▪ Développement favorisé des bourgeons ▪ Stimulation de la croissance végétative ▪ Stimulation de la production d'hormones végétales bénéfiques à la croissance ▪ Augmentation de la biomasse foliaire ▪ Stimulation du développement racinaire en densité et profondeur ▪ Renforcement du système racinaire ▪ Amélioration de l'efficacité photosynthétique ▪ Augmentation de la teneur en chlorophylle
	Meilleure absorption des éléments nutritifs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration de la nutrition des plantes ▪ Augmentation de la biodisponibilité des éléments minéraux ▪ Solubilisation des éléments minéraux ▪ Amélioration de l'absorption de l'azote ▪ Renforcement de la capacité d'absorption de l'eau et des nutriments ▪ Optimisation de la libération des éléments nutritifs ▪ Amélioration de la structure physique des sols ▪ Formation de mycorhizes ▪ Stimulation de la nitrate réductase ▪ Production d'auxines par la microflore ▪ Stimulation de l'activité microbienne du sol ▪ Stimulation de la dégradation de la matière organique ▪ Augmentation de la diversité et de l'activité microbiologique des sols
	Meilleure qualité des récoltes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organoleptique (teneur en sucre et autres molécules) ▪ Nutritionnelle (teneur en vitamines, protéines, nutriments, sucres, etc.) ▪ Visuelle (couleur des fruits) ▪ Technique (meilleure tolérance au stockage ou à la manipulation) ▪ Amélioration de la fermeté des fruits pour le stockage
Produits de stimulation	Gain économique (dont augmentation des rendements)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Action positive sur le tallage et le grossissement des grains ▪ Amélioration du calibre des fruits ▪ Augmentation de la quantité de graines ▪ Augmentation de la quantité de fruits ▪ Réduction des produits phytopharmaceutiques classiques ▪ Amélioration de l'efficacité des engrais pour en réduire la quantité ▪ Action longue durée permettant de limiter la quantité de produits utilisés
	Gain environnemental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absence de danger pour l'homme, les plantes et l'environnement ▪ Réduction des produits phytopharmaceutiques classiques ▪ Amélioration de l'efficacité des engrais pour en réduire la quantité ▪ Augmentation de la diversité microbiologique des sols ▪ Limite l'apparition de souches d'agents pathogènes résistants ▪ Diminution de l'utilisation d'eau ▪ Action longue durée permettant de limiter la quantité de produits utilisés

2.3.2 Positionnement réglementaire des produits de stimulation

La distinction qui est faite au niveau des revendications entre les caractères « Phyto » et « Fertilisant » a été ajoutée pour faciliter la compréhension et faire le lien avec le chapitre sur la réglementation (Chapitre 3.4.1). En effet, du point de vue réglementaire, les biostimulants (qui sont mis en marché uniquement en tant que MFSC) ne devraient jamais être associés à une revendication « résistance aux stress biotiques », tandis que les SDP (mise en marché suivant la réglementation PPP) ne peuvent pas faire des revendications de type « stimulation de croissance ».

Cependant cette distinction n'est pas forcément pertinente d'un point de vue biologique. Comme nous l'avons vu précédemment (Tableau 2), certaines substances ont un caractère mixte. Les produits contenant ces substances actives pourraient donc revendiquer à la fois une résistance à un stress biotique et une stimulation de la croissance racinaire.

Prenons l'exemple des micro-organismes PGPR. Certaines de ces bactéries peuvent à la fois avoir des effets biostimulants et des effets SDP (voir Tableau 2, micro-organismes mixtes notées M), or, dans la grande majorité des cas, ces bactéries sont mises en marché en tant que MFSC. Les seules revendications affichées sont alors des revendications sur l'amélioration de la nutrition des plantes ou la résistance aux stress abiotiques. Pourtant il a été montré que certains de ces mêmes micro-organismes peuvent avoir des effets de stimulation des défenses des plantes. Ils pourraient de ce fait être mis sur le marché en tant que PPP après homologation adéquate.

D'autres substances actives (identifiées dans le Tableau 2 en tant que substances à caractère mixte, notées M), sont dans le même cas que les PGPR. La grande majorité sont mises sur le marché en tant que MFSC et revendiquent des effets de stimulation de croissance et/ou de résistance aux stress abiotiques.

3. État des connaissances scientifiques

Certains produits de stimulation sont utilisés depuis plusieurs siècles par les agriculteurs pour leurs effets bénéfiques sur les plantes. Dès l'antiquité, des extraits d'algues sont apportés au sol afin d'améliorer la croissance et la nutrition des cultures. L'intérêt agricole de certains micro-organismes présents dans la rhizosphère est connu depuis le début du 20^{ème} siècle, tout comme l'utilisation d'agents pathogènes atténués pour stimuler la résistance aux stress biotiques. Pour autant, les modes d'action de ces substances ne sont étudiés que depuis peu, et dans le cas des biostimulants les scientifiques n'ont pour l'instant fait qu'effleurer le sujet. Des travaux scientifiques sont menés par plusieurs groupes de recherche à travers le monde pour tenter de mieux comprendre comment fonctionnent les produits de stimulation.

L'objectif de ce chapitre est dans un premier temps de faire **le point sur les modes d'action** connus pour les produits de stimulation et aboutissant aux effets (revendications) présentés précédemment. Les modes d'action présentés dans ce rapport ne sont qu'un aperçu global et non exhaustif des connaissances scientifiques actuelles. Il est évident que la recherche sur les modes d'action des produits de stimulation est en constante publication de nouveaux éléments et que les connaissances dans ce domaine évoluent très rapidement. Il convient également de souligner que les connaissances scientifiques proviennent généralement d'études portant sur un champ spécifique, à savoir : une substance donnée, pour un type de culture, voire une variété donnée, dans des conditions particulières. Les enseignements de ce type de travaux restent particulièrement difficiles à généraliser, en particulier en ce qui concerne l'efficacité de la substance.

Dans un second temps, nous aborderons **l'efficacité de ces produits** et nous tenterons ainsi de comprendre pourquoi la controverse sur l'efficacité des produits de stimulation existe et quelles sont les hypothèses pouvant expliquer la faible reproductibilité des résultats parfois observée.

L'**état des connaissances sur les risques** liés à l'utilisation de ces produits sera abordé en fin de chapitre.

3.1 Présentation des modes d'action

3.1.1 Clarification des notions

Voici en premier lieu un rappel de quelques notions nécessaires à l'analyse des relations entre modes d'action et effets.

- **Mode ou mécanisme d'action** : « Mécanisme qui permet d'expliquer l'effet d'un produit [...]. On peut distinguer un mode d'action biologique décrivant des phénomènes physiologiques, histologiques ou cellulaires ; et un mode d'action biochimique qui décrit des phénomènes chimiques ou enzymatiques » (CEB-AFPP, 2011).
- **Effet** : Résultat ou conséquence (visible) des modes d'action. Une **revendication** fait référence à un ou plusieurs effet(s) mis en avant par le metteur en marché afin de catégoriser le produit. Certains effets peuvent donc exister mais ne pas être revendiqués.
- **Fonction** : Rôle ou activité d'une substance ou d'un micro-organisme dans un ensemble de mécanismes engendrant un effet.

Bien que ces trois notions soient liées, il ne faut pas les confondre. Afin de clarifier ceci, prenons l'exemple d'un produit de type SDP. La fonction de ce produit est de protéger la plante face aux attaques de bioagresseurs. Le mode d'action est d'induire les défenses de la plante en prévision à des attaques ultérieures, en activant par exemple certaines voies de signalisation. L'effet revendiqué par le metteur en marché est une résistance plus efficace de la plante face à une attaque d'un bioagresseur donné. D'autres effets peuvent être connus mais non revendiqués, comme la résistance à d'autres stress, l'amélioration de la croissance ou de la nutrition. L'existence d'effets non intentionnels peut aussi être non communiquée.

3.1.2 Modes d'action des substances de type SDP

Reconnaissance du bioagresseur lors d'une agression

Pour qu'une plante puisse se défendre face à un agresseur, elle a besoin de le percevoir et de l'identifier. Cette perception dépend de signaux ou molécules propres aux agents pathogènes. La reconnaissance de ces signaux par la plante lui permet de mettre en place sa défense face à l'agression identifiée.

Il existe un premier cas de reconnaissance de l'agent pathogène pour la plante qu'on appelle communément le **modèle gène pour gène**. Un récepteur de la plante, codé par un gène de résistance, reconnaît un **éliciteur race-spécifique**, codé par un gène d'avirulence provenant du bioagresseur. L'interaction entre le récepteur et son ligand est spécifique et dépend des génotypes des deux espèces considérées dans le pathosystème. Plusieurs gènes d'avirulence, c'est-à-dire codant pour des molécules déclenchant la mise en place de réactions de défense chez les plantes, ont été identifiés chez les micro-organismes pathogènes (Nürnberg & Brunner, 2002; Garcia-Brugger, et al., 2006).

Le deuxième cas de reconnaissance a lieu par l'intermédiaire d'**éliciteurs généraux** dont l'origine peut être **exogène** (*Pathogen Associated Molecular Pattern*, **PAMP**, provenant de l'agent pathogène ; *Microbe-Associated Molecular Patterns*, **MAMP**, provenant de micro-organismes) ou **endogène** (molécules issues de la plante elle-même comme les *Damage Associated Molecular Pattern*, **DAMP**, issus des signaux de plante résultant de l'action des pathogènes). Dans ce modèle, suite à l'interaction avec des récepteurs de plante, les éliciteurs de nature variée déclenchent une réponse de défense dans la plante qui est non spécifique vis-à-vis de l'espèce pathogène (Nürnberg & Brunner, 2002; Garcia-Brugger, et al., 2006; Terres d'innovation, 2009; Henry, et al., 2012) (Figure 3) et dont les mécanismes initiaux sont souvent similaires, bien que la réponse finale varie tout de même selon la nature du stress, le génotype de la plante et celui de l'agent pathogène.

Résistance induite

Les substances SDP strictes n'ont pas une action biocide mais agissent à travers une induction des mécanismes de défense qui induisent la mise en place de réactions de défense de manière non spécifique face à un stress biotique. La mise en place de cette **résistance induite** se fait en général par l'activation directe des mécanismes de défense de la plante résultant en une réponse rapide (de quelques secondes à quelques heures selon le type de réponse considérée). Dans certains cas, l'induction peut avoir comme conséquence une activation ultérieure plus rapide et plus intense des mécanismes de défense, c'est ce qu'on appelle la **potentialisation** (« priming » en anglais).

L'utilisation d'éliciteurs formulés en tant que produits de type SDP (substances ou micro-organismes) dans les stratégies de protection des plantes est une utilisation préventive visant à réduire les applications de produits phytopharmaceutiques « classiques » en « aidant la plante à s'aider elle-même ». En effet, la résistance induite permet d'activer les mécanismes de défense de la plante en préalable à l'arrivée des bioagresseurs afin que ces mécanismes soient immédiatement efficaces en cas d'attaque.

Evènements déclenchés par la reconnaissance d'un éliciteur

Une cascade d'évènements de signalisation se met en place à l'intérieur de la cellule végétale suite à l'interaction entre l'éliciteur et le récepteur. Cette cascade d'évènements est dépendante de la substance inductrice ; tous les évènements ne sont pas systématiquement observés. Le schéma ci-dessous (Figure 3) est une généralisation et une simplification des évènements contribuant à la mise en place de la réponse induite. Pour en faciliter la compréhension, un seul couple récepteur/ligand a été représenté sur le schéma mais ne reflète pas la réalité. Il existe en effet un grand nombre de récepteurs, présents soit à la surface des cellules végétales, soit dans le cytoplasme.

- (1) **Reconnaissance** : Le récepteur reconnaît un SDP.
- (2) **Cascade d'évènements intracellulaires** : L'interaction récepteur/SDP active des processus cellulaires menant à la résistance induite. On peut en particulier citer une dépolarisation membranaire, l'entrée importante d'ions Ca^{2+} 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 cellulaire pour se fixer sur des séquences promotrices en amont des gènes de défense, ce qui permet la synthèse des molécules de défense (protéines, phytohormones, métabolites secondaires, etc.).
- (4) **Accumulation de Formes Actives de l'Oxygène (FAO)**, telles que H_2O_2 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.
- Les évènements (3) et (4) permettent dans la cellule initiale et dans les cellules adjacentes de déclencher les voies de signalisation intracellulaires pour la mise en place de la **résistance induite**.
- (5) **Transmission des signaux dans la plante entière** : Le transport de certaines molécules mobiles dans les parties distantes de la plante permet la mise en place de la **résistance induite systémique**.

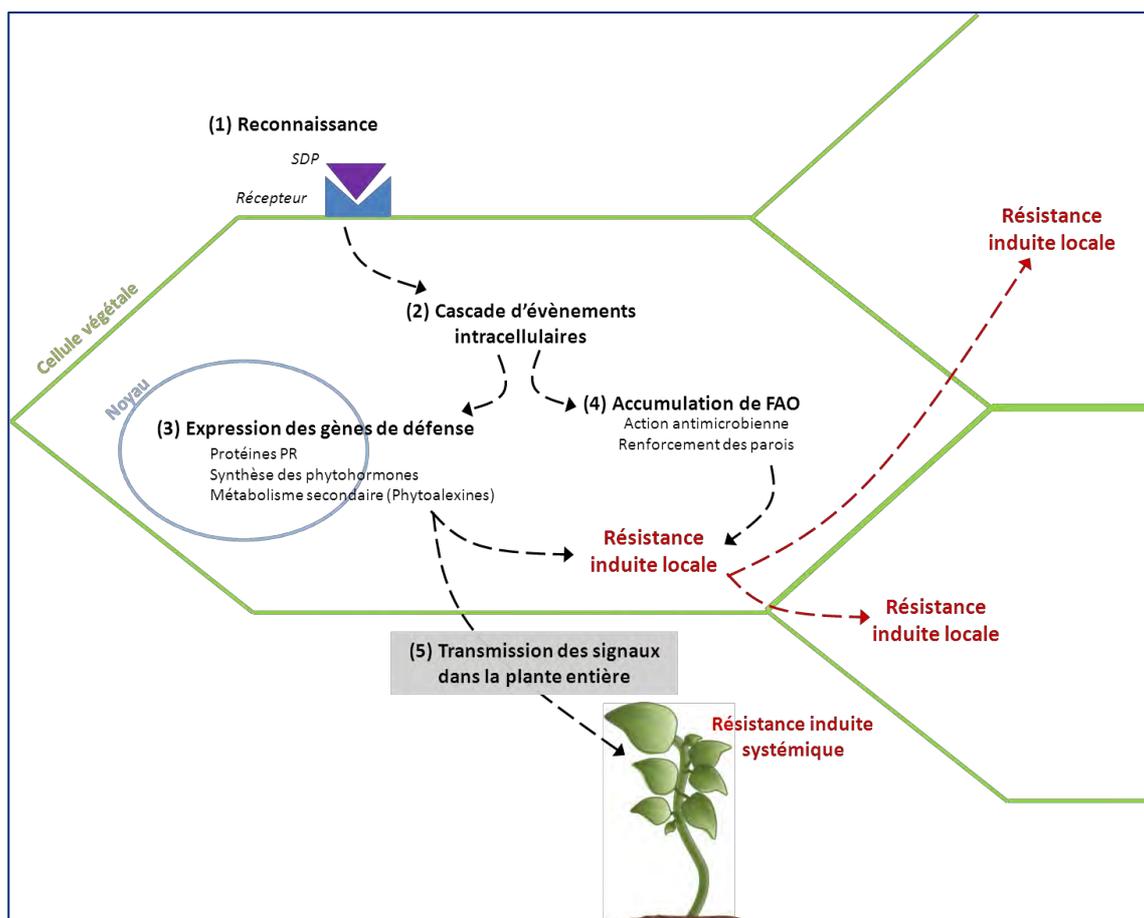


Figure 3 – Evènements de mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur

Suite à l'activation des différents signaux intracellulaires, la mise en place de la défense de la plante au niveau local ou systémique permet une résistance à l'agent pathogène. De nombreux mécanismes de défense, dépendant de la nature de l'éliciteur, peuvent se mettre en place dans la cellule ou dans la plante entière.

- La **réaction d'hypersensibilité** (*Hypersensitive response*, **HR**) est une mort programmée de la cellule (*Programmed Cell Death*, PCD). Il s'agit de l'autodestruction de la cellule attaquée, ainsi que des cellules voisines. Cette réponse très rapide peut se mettre en place pour confiner le micro-organisme pathogène sur son site d'infection et ainsi limiter sa propagation (analogie avec la technique de la terre brûlée). Ce type de réponse est essentiellement efficace contre les agents pathogènes biotrophes. Plusieurs évènements cellulaires encore mal identifiés permettent la mise en place de la réponse HR, notamment la production de FAO activant certaines voies de signalisation menant à la mort cellulaire (Van Breusegem, et al., 2001; Van Breusegem & Dat, 2006)
- Le **renforcement de la paroi cellulaire** constitue une barrière physique face à l'entrée des micro-organismes pathogènes. Il s'agit notamment de l'épaississement de la paroi par apposition de certaines substances (callose, silice, composés phénoliques, subérine) de manière rapide et localisée ou de la lignification par dépôt de lignine le long de la paroi, un composé très résistant aux enzymes de dégradation (Garcia-Brugger, et al., 2006; Senthil-Kumar & Mysore, 2013)
- La **synthèse de métabolites secondaires** est induite par l'activation de certains facteurs de transcription. Les **phytoalexines** sont des composés antimicrobiens de faible poids moléculaire synthétisés *de novo* en réponse à une attaque par un bioagresseur. Plus de 300 phytoalexines ont été identifiées : sesquiterpènes, coumarines, stilbènes, isoflavonoïdes, etc. Ces molécules ont un

fort potentiel antimicrobien à faibles doses et s'accumulent au niveau des sites d'infection après induction des réponses de défense (Ahuja, et al., 2012).

- La **synthèse des protéines PR** (*Pathogenesis-Related*) est fortement induite après la perception d'un éliciteur. Les protéines PR sont largement présentes dans le règne végétal et ont en commun d'être résistantes aux protéases endogènes et exogènes. Elles s'accumulent fortement au niveau des tissus infectés, mais également de façon systémique. Elles peuvent représenter 5 à 10% des protéines totales de la feuille (Van Loon, 1999; Edreva, 2005). On dénombre 17 familles de protéines PR classées selon leurs séquences, leurs propriétés physico-chimiques et leurs activités biologiques. On peut citer notamment des β -1,3-glucanases (PR-2) et des chitinases (PR-3, PR-4, PR-8, PR-11) dégradant les parois des champignons pathogènes, des osmotines (PR-5) induisant l'apoptose des cellules microbiennes, des inhibiteurs de protéases (PR-6) impliqués dans la défense contre les insectes et nématodes, des protéases (PR-7) qui dégradent des protéines microbiennes, des peroxydases (PR-9) qui catalysent le dépôt de lignine sur les parois cellulaires végétales, et des ribonucléases (PR-10) qui dégradent les ARN viraux et fongiques.
- La mise en place d'une **résistance systémique SA-dépendante** fait suite à l'induction de la réponse de défense au niveau local. Ce phénomène décrit par Ross (Ross, 1961) est la propagation d'un signal de défense dans la plante entière. L'induction en est caractérisée par une augmentation locale et systémique d'acide salicylique (SA) et par l'expression de certaines protéines PR. La mise en place de cette résistance systémique requiert la production de SA au niveau local (Van Breusegem, et al., 2001; Terres d'innovation, 2009), mais l'éthylène et l'acide jasmonique (JA) étant des molécules systémiques, elles jouent aussi un rôle dans la propagation du signal (Terres d'innovation, 2009).
- Un phénomène similaire est la **résistance systémique SA-indépendante** régulée par JA et l'éthylène (Pajot & Regnault-Roger, 2008; Terres d'innovation, 2009). Elle est en général activée par des rhizobactéries non pathogènes nommées PGPR (PGPR pour *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), mais aussi par des insectes et des bactéries nécrotrophes (Schillmiller & Howe, 2005; Pieterse, et al., 2006)
- La **potentialisation** est une préparation à l'induction. Les substances de potentialisation préparent la plante à agir rapidement et efficacement en cas d'attaque par le bioagresseur. L'application d'une telle substance active ne déclenche pas les mécanismes de défense, mais amorce l'expression de certaines protéines PR ou active des kinases. La plante est donc mise en alerte. Au moment de l'attaque par un bioagresseur, les réactions de défenses contre l'agresseur (réaction HR, synthèse de phytoalexines ou de protéines PR, etc.) est bien plus rapide et plus intense qu'en cas de non potentialisation (Terres d'innovation, 2009).

La mise en place de ces différents événements requiert, en plus des cascades de signalisation vues ci-dessus, une coordination au niveau local et systémique via certaines phytohormones. L'ensemble des signaux intracellulaires conduit à l'expression des enzymes intervenant dans les voies de biosynthèse de phytohormones. La prépondérance d'une hormone par rapport à une autre dépend du type d'éliciteur considéré.

- L'**Acide salicylique** (SA) a un rôle prépondérant dans la mise en place de la résistance systémique SA-dépendante. La molécule SA intervient également dans de nombreux processus de défense, en particulier elle favorise dans les cellules l'expression de protéines PR. SA n'induit cependant pas directement l'expression des gènes PR mais nécessite l'intervention d'une protéine régulatrice nommée NPR1, protéine capable une fois activée de se fixer sur les facteurs de transcription permettant l'expression des protéines PR.

- L'**Acide jasmonique** (JA) favorise la transduction des signaux intracellulaires permettant la production de métabolites secondaires comme les phytoalexines ou la synthèse de lignine pour le renforcement des parois. JA intervient dans la mise en place de la résistance SA-indépendante. Le **Méthyljasmonate** (MeJA) volatil est un dérivé de JA capable d'activer les mêmes voies de défense dans les plantes proches de la plante induite par un éliciteur.
- La production d'**éthylène**, une hormone végétale volatile, est induite en cas de stress par la formation des FAO dans la cellule. Cette hormone, qui possède également d'autres voies de synthèse indépendante de la production de FAO, s'associe à JA pour réguler la production des métabolites secondaires.
- D'autres phytohormones peuvent aussi intervenir : acide abscissique (ABA), auxine, brassinostéroïdes, etc.

Lien entre modes d'action et effets revendiqués pour les substances de type SDP

L'application des substances de type SDP peut présenter plusieurs avantages découlant de son mode d'action : stimuler les mécanismes de défenses propres à la plante.

- Une substance active induit un mécanisme de défense non spécifique à un bioagresseur donné. Ces mécanismes permettent ainsi de lutter contre un très large spectre de bioagresseurs (bactéries, virus, champignons, insectes), alors que parfois des moyens de lutte directs n'existent pas.
- La résistance induite fonctionne aussi de manière systémique (transport du signal dans toute la plante) ce qui a pour effet une protection de la plante entière. Par ailleurs, la stimulation des défenses peut présenter des effets prolongés après récolte pour le stockage et la conservation des produits récoltés.
- La résistance induite est une résistance polygénique de type « horizontale » qui limite l'apparition de souches résistantes de micro-organismes pathogènes. Pour exemple, aucune souche de *Magnaporthe grisea* résistante au mode d'action du probenazole n'est connue à ce jour alors qu'il est utilisé de façon intensive depuis 1975 sur le riz au Japon. Ceci est dû aux mécanismes polygéniques activés par une seule substance.

Cependant, comme nous le verrons ci-dessous (partie 3.2), les produits de type SDP présentent également des inconvénients liés à la variabilité de leur efficacité.

3.1.3 Modes d'action des substances de type biostimulants

Les substances actives des produits biostimulants vont avoir une action soit sur la plante soit sur le sol. Il est important de noter que les biostimulants sont potentiellement des produits complexes contenant souvent une multitude de substances actives. L'effet observé sur la plante sera donc le résultat d'un ensemble d'actions réalisées par un ensemble de substances actives qu'il est difficile de décrire individuellement. Néanmoins, il est possible de présenter le mode d'action global de chacun des principaux types de biostimulants.

Micro-organismes composant les biostimulants

Les micro-organismes utilisés en tant que biostimulants sont appliqués sur les semences, les feuilles ou le sol. L'effet souvent observé est la capacité d'améliorer la nutrition des plantes. Par conséquent, ces micro-organismes sont utilisés en complément de la fertilisation « classique », le plus souvent pour en réduire l'utilisation par amélioration de l'efficience (Calvo, et al., 2014).

Comme vu précédemment (partie 2.2.2), les micro-organismes utilisés comme biostimulants sont des bactéries ou champignons vivants, parmi lesquels on compte les PGPR et PGPF. Par simplification, nous ne parlerons pas dans cette sous-partie des effets de type SDP de certains micro-organismes PGPR/PGPF qui ont un caractère « mixte » et qu'il est possible de classer dans les deux catégories de produits de

stimulation. Il faut toutefois garder à l'esprit que certains micro-organismes ont aussi un effet bénéfique sur la résistance aux stress biotiques (voir partie 3.1.2 et Tableau 4).

Les modes d'action listés ci-dessous sont plus amplement décrits dans deux revues relativement récentes consacrées aux PGPR (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Van Loon, 2007) et dans une revue plus générale sur les biostimulants (Calvo, et al., 2014).

Exemples d'action directe sur la nutrition

- Des bactéries fixatrices d'azote, tels que *Rhizobium* et *Bradyrhizobium* peuvent former des nodules exclusivement avec les racines de légumineuses dans lesquels elles convertissent l'azote atmosphérique N_2 en ammonium NH_4 pouvant être utilisé par ces plantes comme source d'azote. Un apport de bactéries fixatrices d'azote dans les sols peut permettre d'améliorer la nutrition, et donc la croissance des plantes, en particulier dans des milieux carencés.
- La fixation de l'azote peut aussi être asymbiotique. Plusieurs espèces bactériennes, telles que *Azospirillum* sp. et *Azotobacter* sp., sont des bactéries libres fixatrices d'azote. Sans former de nodules, elles sont toutefois associées aux racines et permettent une meilleure nutrition des plantes. L'augmentation des rendements observés dans les cas d'apport d'*Azospirillum* s'accompagne principalement d'un meilleur développement racinaire permettant une augmentation de l'assimilation d'eau et de nutriments.
- Les autres nutriments présents dans le sol peuvent aussi être mieux assimilés par les plantes en cas d'apport de certains micro-organismes. Certaines bactéries sont par exemple capables de solubiliser le phosphore (P) présent dans les sols ce qui est un grand avantage pour améliorer la croissance des plantes. Ces bactéries appartenant à différentes espèces, telles que *Pseudomonas* sp. ou *Bacillus* sp., synthétisent des enzymes spécialisées dans la solubilisation du phosphate organique ou inorganique. D'autres bactéries appartenant au genre *Bacillus* sont spécialisées dans la solubilisation du potassium (K) à partir de minéraux. Les ions Fer libres peuvent aussi être séquestrés par des chélateurs particuliers nommés sidérophores produits par certaines bactéries comme les *Pseudomonas* sp. et ainsi être plus disponibles pour les plantes. Les autres macro- et micro-nutriments peuvent aussi être mieux assimilés par les plantes lors de la présence des micro-organismes bénéfiques, mais tous les modes d'action connus ne peuvent être listés ici.
- Des champignons sont également utilisés comme biostimulants. En effet, les champignons mycorhiziens (ex : *Glomus* sp.) peuvent être apportés aux cultures pour stimuler la nutrition et le développement racinaire. Les filaments mycorhiziens sont des associations qui existent dans tous les écosystèmes naturels entre la plante et un champignon. Les filaments externes du mycélium se combinent aux racines des plantes et constituent ainsi un véritable prolongement du système racinaire qui va explorer le sol dans la périphérie de la racine et permettre ainsi une meilleure absorption des éléments nutritifs et de l'eau. Des échanges bénéfiques pour les deux partis se créent entre la plante et le mycélium.

Exemples de stimulation de la croissance

- Par ailleurs, certaines bactéries sécrètent des substances stimulant directement la croissance des plantes, comme des phytohormones (auxines, gibbérellines, cytokinines, éthylène) ou des molécules volatiles (2,3-butanediol, acétoïne, etc.). Les voies de signalisation ainsi stimulées par ces molécules exogènes conduisent à une stimulation de la croissance (racinaire ou végétative), à une augmentation de la teneur en chlorophylle, voire à une meilleure résistance aux stress abiotiques.

Substances humiques ou assimilées composant les biostimulants

Les substances humiques sont des produits de décomposition des sols et sont considérées comme le composant majeur de la matière organique des sols (Calvo, et al., 2014). Les substances humiques dérivent de la transformation (polycondensation) de la matière organique principalement végétale. Ce sont des macromolécules carbonées et complexes riches en noyaux aromatiques.

Sont considérées comme substances humiques les acides humiques, les acides fulviques, et les humines. Les caractéristiques de ces différentes substances varient fortement en fonction de la source de matière organique et de l'état de décomposition. Il existe également des substances avec des propriétés proches (substances humus-like).

Le mode d'action des substances humiques est complexe et encore peu connu en raison de la diversité de leurs composants. Une partie des molécules composant les substances humiques peuvent être assimilées par les plantes et ainsi agir directement sur les voies métaboliques (Nardi, et al., 2002). Les fractions à faible poids moléculaire (acide fulvique) et celles à fort poids moléculaire (acide humique) semblent tout de même agir différemment sur la plante (Trevisan, et al., 2010; Calvo, et al., 2014). De plus, toutes les substances humiques étant des mélanges complexes de différentes molécules, ce qui est valable pour l'une ne sera pas forcément valable pour l'autre et il est difficile de les caractériser et de les comparer.

Les modes d'action listés ci-dessous sont plus amplement décrits dans deux revues assez récentes consacrées aux substances humiques (Nardi, et al., 2002; Trevisan, et al., 2010) et dans une revue plus générale sur les biostimulants (Calvo, et al., 2014).

Exemples d'action sur la nutrition des plantes

- La manière dont les substances humiques favorisent l'assimilation des ions (Na^+ , Ba^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , etc.) présents dans le sol est assez variable, et dépend de leur concentration dans le sol et du pH, mais aussi de l'ion considéré. Un exemple de mode d'action partiellement élucidé est la stimulation de l'expression des transporteurs d'ions dans les racines, même si le mécanisme physiologique impliqué n'est pas encore bien compris. Un autre mode d'action est la formation de complexes avec les ions présents sous forme libre dans les sols, les rendant ainsi plus disponibles pour les plantes.

Exemples sur la stimulation de la croissance et de la photosynthèse

- Certaines substances humiques ont aussi un effet direct sur les voies métaboliques primaires, en particulier ces substances permettent dans certains cas d'améliorer la respiration ou la photosynthèse des cellules végétales. Les substances humiques assimilées par les plantes semblent agir sur l'expression des enzymes impliquées dans ces mécanismes.
- Des substances hormonomimétiques présentes dans les substances humiques agissent directement sur la croissance et le développement des plantes, en particulier sur le développement racinaire.

Extraits bruts d'algues composant les biostimulants

Historiquement, l'utilisation d'algues en agriculture était déjà connue à l'époque romaine et l'objectif était déjà d'améliorer la croissance des cultures et les rendements. Le goémon était récolté en bord de mer, puis transporté dans les champs voisins où il était réparti sur ou mélangé au sol. La décomposition naturelle permettait l'apport d'éléments bénéfiques aux cultures.

A l'heure actuelle, plusieurs procédés de fabrication existent pour produire des liquides concentrés (extraits bruts) à partir d'une grande diversité d'algues, majoritairement des algues brunes : *Laminaria* sp., *Ascophyllum* sp., *Ecklonia* sp., etc.

Les extraits bruts d'algues incluent une multitude de composés (hormones, acides aminés, microéléments bénéfiques non essentiels tels que le silicium ou le sélénium, sucres, etc.), ce qui implique un ensemble complexe de modes d'action pouvant expliquer les effets observés.

Exemples d'action sur la nutrition et/ou le système racinaire

- Les extraits d'algues permettent d'améliorer l'assimilation des éléments nutritifs. En particulier, ils permettent à la plante de mieux tolérer des carences nutritives en azote en favorisant l'expression et/ou l'activité de la nitrate réductase grâce à certains composés (mannitol) (Durand, et al., 2003; Phytoma, 2005). L'expression de phosphatases racinaires impliquées dans l'absorption du phosphate peut aussi être stimulée par certains extraits d'algues (Klarzynski, et al., 2006).
- Certains composés présents dans les extraits d'algues (polysaccharides ; colloïdes ; acides aminés ; mannitol) peuvent aussi agir comme chélatants des nutriments minéraux présents dans les sols (Khan, et al., 2009; Calvo, et al., 2014).
- La stimulation de l'absorption d'azote par la plante est une technique intéressante pour améliorer le taux de protéines dans les grains récoltés (Phytoma, 2005), ce qui contribue à une meilleure qualité des récoltes.
- Enfin, les extraits d'algues agissent sur les caractéristiques physiques et biologiques des sols grâce à leur richesse en polyuronides, tels que les alginates et les fucoïdanes, qui maintiennent dans les sols une humidité et une aération nécessaires à la mise en place du système racinaire et favorisant la croissance de bactéries bénéfiques à la croissance des plantes (Khan, et al., 2009).

Exemples sur la stimulation de la croissance et de la photosynthèse

- Les extraits bruts d'algues ont un effet positif direct sur la croissance et le développement des plantes (racines, tiges, feuilles et/ou fleurs). Cet effet est principalement dû aux hormones exogènes (cytokinines, auxines, gibbérellines) présentes dans les extraits (Faessel & Morot-Gaudry, 2009; Khan, et al., 2009).
- Certains composés présents dans les extraits d'algues (polysaccharides, polyamines) agissent sur la synthèse et l'activité des hormones endogènes (Faessel & Morot-Gaudry, 2009).
- La dégradation des chlorophylles est inhibée par certains composés, comme la glycine bêtaïne, pour favoriser une meilleure photosynthèse (Khan, et al., 2009).

Exemples d'amélioration de la résistance face aux stress abiotiques

- Les extraits d'algues permettent aussi d'améliorer la tolérance aux stress abiotiques provoquant des dérèglements osmotiques comme la sécheresse ou la salinité. C'est une conséquence de la stimulation des mécanismes antioxydants et de la présence d'osmo-régulateurs, comme la glycine bêtaïne, dans les extraits (Khan, et al., 2009).
- Les extraits d'algues contenant de l'acide abscissique peuvent aussi contribuer à la résistance au stress hydrique (voir ci-après).

Acides aminés et autres dérivés protéiques composant les biostimulants

L'effet observé des dérivés protéiques sur la stimulation de la croissance des plantes ne provient pas simplement de l'ajout d'une nouvelle source d'azote. Les biostimulants contenant des protéines ou acides aminés peuvent être séparés en deux catégories : les hydrolysats protéiques (mélange de protéines et acides aminés provenant de la lyse d'organismes vivants tels que des plantes, algues, animaux ou micro-organismes) et les acides aminés purifiés (tels que glycine bêtaïne, proline, acide glutamique, etc.) (Calvo,

et al., 2014). La bêtaïne est un acide aminé non classique, originellement extrait de la betterave, mais qui peut aussi être purifiée à partir de certains micro-organismes, de plusieurs espèces végétales ou d'algues.

Chaque type de produit va donc avoir son propre mode d'action en fonction des acides aminés considérés et de leur concentration. La liste des modes d'action connus présentée ci-dessous est donc non exhaustive.

Les modes d'action listés ci-dessous sont plus amplement décrits dans une revue récente sur les biostimulants (Calvo, et al., 2014), ainsi que dans plusieurs articles consacrés aux acides aminés utilisés en agriculture (Forde & Lea, 2007; Ashraf & Foolad, 2007; Szabados & Savouré, 2010; Parađiković, et al., 2011; Ashraf, et al., 2011).

Exemples d'action sur la nutrition et/ou le système racinaire

- Les hydrolysats protéiques permettent une meilleure assimilation de l'azote, en favorisant notamment la synthèse par la plante de nitrate réductase et d'autres enzymes participant à la nutrition azotée des plantes. La stimulation de l'absorption d'azote par la plante est une technique intéressante pour améliorer le taux de protéines dans les grains récoltés.
- Certains acides aminés, comme la glycine et l'acide glutamique, sont des agents chélatants favorisant l'absorption des nutriments.
- L'application d'hydrolysats protéiques permet d'activer certains signaux moléculaires impliqués dans la formation de racines secondaires.

Exemples d'amélioration de la quantité et de la qualité des récoltes

- Les hydrolysats protéiques favorisent une meilleure qualité des récoltes en stimulant la synthèse des composés intéressants pour le consommateur (vitamines, sucres, protéines, etc.) ou visant à améliorer la couleur des fruits (accumulation d'anthocyanines, polyphénols, caroténoïdes, etc.).
- Certains acides aminés spécifiques stimulent la germination des semences (acide aspartique, acide glutamique, phénylananine, etc.).
- Par ailleurs, certains acides aminés, comme la lysine et l'acide glutamique, favorisent la pollinisation. La proline favorise la fertilité du pollen.
- Enfin, les osmoprotectants comme la glycine bêtaïne améliorent la fermeté des fruits et limitent les microfissures des fruits en agissant sur les pressions osmotiques dans les cellules. Cette action améliore l'aspect des fruits et la tenue après récolte.

Exemples d'amélioration de la résistance face aux stress abiotiques

- Les hydrolysats protéiques, ainsi que certains acides aminés spécifiques, permettent une meilleure résistance face aux stress abiotiques. De manière générale, l'application d'hydrolysats protéiques peut augmenter les activités antioxydantes endogènes.
- Plusieurs modes d'action sont connus, en fonction du stress et du dérivé protéique, et impliquent la stimulation de certaines voies métaboliques. Par exemple, la glycine bêtaïne et la proline agissent en tant qu'osmoprotectant et stabilisent ainsi les membranes cellulaires en cas de salinité ou de températures non physiologiques. Ces deux osmolytes sont aussi capables de fixer les FAO et d'induire l'expression de gènes impliqués dans les réponses aux stress abiotiques.

Exemples d'amélioration de la photosynthèse

- La glycine et l'acide glutamique sont deux acides aminés précurseurs dans la synthèse de la chlorophylle. Leur apport exogène permet d'augmenter la photosynthèse. L'acide glutamique est aussi capable de favoriser l'ouverture des stomates ce qui permet d'activer la photosynthèse.

Autres exemples de substances composant les biostimulants

- L'**acide abscissique** (ABA) est une hormone dont l'application sur les plantes permet d'activer des réponses physiologiques face à des stress environnementaux tels que la sécheresse, le froid, et les stress osmotiques. ABA active la fermeture des stomates afin de limiter la perte d'eau (Finkelstein, et al., 2002). Sur vigne, le traitement à l'ABA quelques jours après véraison permet d'améliorer la qualité visuelle des grappes du raisin de table en accentuant la couleur recherchée pour la vente (Ferrara, et al., 2013).
- L'apport d'antioxydant comme le **tocophérol** (forme majoritaire de la vitamine E dans les chloroplastes) permet de limiter les effets néfastes des FAO (Munné-Bosch, 2005). Par exemple, le tocophérol séquestre et désactive les FAO formées par la photosynthèse et empêche la propagation des radicaux lipidiques en les piégeant dans les membranes des chloroplastes. L'apport de tocophérol exogène contribue à améliorer la tolérance de la plante face aux stress oxydatifs. Des études ont montré que d'autres antioxydants, comme le **glutathion**, favorisent aussi une meilleure réponse défensive face aux stress oxydatif (Munné-Bosch, 2005).
- Le **silicium** (Si) est un élément minéral non essentiel dont les bénéfices pour la croissance des plantes ont largement été démontrés lors de plusieurs études en pots et en champs (Guntzer, et al., 2011). En particulier, l'apport de Si améliore la tolérance à certains stress abiotiques (sécheresse, salinité, déficience nutritionnelle). En particulier, la présence de Si dans le sol favorise l'absorption de P lorsque la fertilisation phosphatée est un facteur limitant en augmentant son absorption par les racines, et à l'inverse l'apparition de chlorose due à un excès de phosphore est limitée en présence de Si grâce à une diminution de l'absorption de P (Guntzer, et al., 2011). Aussi, l'absorption de K, N et Ca est améliorée lors d'un apport même faible de Si, ce qui favorise une meilleure croissance des cultures (Guntzer, et al., 2011). Enfin, en cas de déficit hydrique, l'apport de Si en application foliaire permet d'améliorer la teneur relative en eau dans les plantes en améliorant les échanges par les stomates et en limitant la perte d'eau par transpiration. Par ailleurs, la silice améliore l'activité antioxydante des enzymes et stabilise les structures cellulaires (Guntzer, et al., 2011).
- Des exemples de modes d'action plus originaux et spécifiques à un usage donné proviennent de la littérature non scientifique (fiches produits). Des produits contenant en mélange des **vitamines**, des **antioxydants**, et/ou des **osmorégulateurs**, avec éventuellement d'autres composants, possèdent une action combinée de stimulation de croissance et de protection contre les stress abiotiques, et permettent en particulier d'améliorer la croissance dans les phases précoces de développement (effet starter) (Pilatus®, Osiryl®). Cette action combinée peut aussi avoir un effet bénéfique sur la nouaison des arbres fruitiers afin d'améliorer la quantité des fruits récoltés (Folwin®, Antys®). Un autre exemple est l'application d'**extraits spécifiques de levures œnologiques** au moment de la véraison (début d'accumulation des sucres dans les raisins) afin d'améliorer les notes de dégustations grâce à une action sur les phénols (Lalvigne®).

Lien entre modes d'action et effet revendiqués pour les biostimulants

De manière générale, les biostimulants agissent en stimulant la germination, la croissance, le développement, la résistance aux stress abiotiques et finalement le rendement. Un système racinaire plus développé et une photosynthèse plus importante (développement végétatif et teneurs en chlorophylles) encouragent la floraison. Par ailleurs, une meilleure mobilisation des photosynthétats permet un développement plus efficace en quantité et qualité des fruits. Enfin, une meilleure utilisation des oligoéléments présents dans les sols permet une qualité nutritionnelle améliorée des fruits et/ou graines. Cet effet sur la qualité est mis en avant dans la dernière définition des biostimulants (EBIC 2014) et a une importance majeure pour la commercialisation de ces produits apportant un réel atout pour le consommateur. Par ailleurs, au vu des pertes causées par les stress abiotiques au niveau mondial (cf. chapitre 5), les biostimulants – de par leurs modes d'action qui favorisent la résistance à ces stress – pourraient potentiellement répondre à un enjeu économique important.

3.1.4 Synthèse des exemples de modes d'action

Les deux tableaux ci-dessous présentent des exemples de substances actives et les modes d'action qui leur sont associés (Tableau 4 et Tableau 5). Il s'agit d'une compilation de données scientifiques issues des références présentées précédemment. Les modes d'action présentés ne sont souvent effectifs que pour un seul système spécifique plante/pathogène dans le cas des SDP. Dans le cas des biostimulants, les modes d'action évoqués sont spécifiques d'une plante dans un environnement donné (stade de développement, température, caractéristiques physico-chimiques du sol, etc.). Il s'agit dans les deux cas de systèmes bien précis non généralisables. Ces tableaux permettent néanmoins de mettre en lumière le fait que des substances d'origine et nature variées peuvent avoir les mêmes modes d'action.

Il est important de préciser que certaines substances actives (comme des extraits d'algues ou des micro-organismes) peuvent se trouver dans les deux tableaux, selon si on les considère comme des SDP ou comme des biostimulants. Ces produits peuvent donc avoir une multitude de modes d'action menant à des effets différents. En fonction des revendications mises en avant par le metteur en marché ces produits seront vendus en tant que SDP ou biostimulants.

Enfin, certains produits ont probablement d'autres modes d'action encore non identifiés. Ces tableaux ne dressent donc pas une liste définitive des modes d'action et pourraient évoluer avec l'arrivée de nouvelles connaissances scientifiques et la découverte de nouvelles substances actives.

Tableau 4 – Exemples de modes d'action possibles de différentes substances de type SDP
Seules les substances marquées d'un astérisque () ont fait l'objet d'une commercialisation en France.*

Modes d'action	Exemples de substances de type SDP																
	Extraits <i>Aspergillus niger</i>	Peptides de <i>Phytophthora</i>	Harpine *	Extrait de fenugrec *	Extrait de la renouée de Sakhaline *	Extraits de bourdaine	Laminarine *	Extraits bruts d'algues *	ASM *	BABA	Coronalone (coronatine)	Phosphite de potassium *	Fosétyl-Aluminium *	Acide chiolique	Chitosane *	Flagelline	PGPR/PGPF *
Stimulation des défenses																	
Stimulation voies métaboliques primaires																	
▪ Synthèse de protéines PR	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X		X		X	X
▪ Renforcement paroi cellulaire synthèse protéines, polysaccharides, polymères aromatiques, etc.	X								X								X
Stimulation des voies métaboliques secondaires																	
▪ Synthèse de métabolites secondaires incluant phytoalexines		X		X	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X
▪ Renforcement paroi cellulaire synthèse callose, lignine, etc.	X								X						X		X
Modification balance hormonale																	
▪ Stimulation de la synthèse							X	X			X				X	X	X
▪ Hormonomimétisme (imite l'action d'une hormone endogène)									X		X						
Divers modes d'action intracellulaires																	
▪ Production de FAO et d'oxyde nitrique		X					X								X		
▪ Induction de réaction HR		X	X											X			
▪ Résistance systémique induite par composés microbiens																X	X
▪ Potentialisation des voies de défense				X						X			X				X

Tableau 5 – Exemples de modes d'action possibles de différentes substances de type biostimulants

Modes d'action	Extraits bruts d'algues ou de plantes	Micro-organismes <i>PGPR/PGPF</i>	Extraits de micro-organismes <i>Extraits levures cœnologiques</i>	Extraits de micro-organismes <i>Glycine bêtaïne</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Hydrolysats protéiques</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Proline</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Acide glutamique</i>	Substances humiques ou assimilés	Autres biomolécules purifiées <i>Acide abscisique</i>	Autres biomolécules purifiées <i>Mélange vitamines et osmorégulateurs</i>	Autres biomolécules purifiées <i>Tocophérol</i>	Substances minérales non nutritives <i>Silice</i>
	Amélioration de la nutrition											
Amélioration biodisponibilité des éléments nutritifs dans le sol												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solubilisation et/ou chélation des éléments nutritifs ▪ Fixation d'azote atmosphérique ▪ Formation de nodules 	X	X		X		X		X				
Amélioration absorption éléments nutritifs par la plante												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation enzymes ou des voies métaboliques impliquées dans l'assimilation des nutriments ▪ Stimulation de l'import d'eau 	X	X		X				X				X
Stimulation de la croissance												
Action sur le système racinaire												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation rhizogenèse par modulation des mécanismes de régulation de la croissance 	X	X		X	X			X				
Action sur le système végétatif												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation croissance végétative par modulation des mécanismes de régulation de la croissance ▪ Inhibition de la dégradation des chlorophylles et/ou augmentation de la teneur en chlorophylle ▪ Implication dans les voies métaboliques 	X	X			X			X				
	X	X			X	X		X				
Germination et stades précoces												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Action des phytohormones exogènes pour faciliter la germination ▪ Stimulation de la croissance aux stades précoces (effet starter) 	X											
		X		X		X	X				X	
Modification de la balance hormonale												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation de la synthèse hormonale ▪ Présence d'hormones exogènes ▪ Hormonomimétisme 	X	X							X			
	X	X						X				

Modes d'action	Extraits bruts d'algues ou de plantes	Micro-organismes <i>PGPR/PGPF</i>	Extraits de micro-organismes <i>Extraits levures oenologiques</i>	Extraits de micro-organismes <i>Glycine bétaine</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Hydrolysats protéiques</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Proline</i>	Acides aminés et dérivés protéiques <i>Acide glutamique</i>	Substances humiques ou assimilés	Autres biomolécules purifiées <i>Acide abscisique</i>	Autres biomolécules purifiées <i>Mélange vitamines et osmorégulateurs</i>	Autres biomolécules purifiées <i>Tocophérol</i>	Substances minérales non nutritives <i>Silice</i>
	Augmentation des récoltes											
Action quantitative												
▪ Stimulation du nombre de fleurs/fruits/grains par plante par phytohormones	X											
▪ Stimulation de la pollinisation				X		X						
▪ Stimulation de la nouaison des arbres fruitiers			X	X						X		
▪ Stimul. de la croissance des fruits				X						X		
▪ Diminution de la coulure et du millerandage (vigne)			X									
Action qualitative												
▪ Amélioration de la qualité visuelle par un meilleur stockage des pigments dans les fruits	X			X					X			
▪ Amélioration de la qualité gustative et/ou nutritionnelle par accumulation de certains éléments dans les fruits/graines	X		X	X								
▪ Amélioration de la tenue des fruits par régulation de la pression osmotique (absence de microfissures)							X					
Résistance aux stress abiotiques												
Stress hydriques												
▪ Réduction ouverture stomates									X			X
▪ Ouverture des stomates						X						
▪ Stabilisation enzymes et structures cellulaires	X				X		X				X	X
▪ Favorise la rétention d'eau dans les cellules		X					X					X
▪ Régulation pH cytoplasmique					X							
▪ Séquestration des FAO					X		X				X	
▪ Augmente l'activité antioxydante endogène				X							X	X
▪ Meilleure structure des sols favorisant une bonne humidité		X						X				
Salinité												
▪ Favorise la rétention d'eau dans les cellules		X										X
▪ Active la synthèse de proline par la plante (osmorégulation)		X						X				
▪ Dimin. de la conductivité des sols								X				

3.2 L'efficacité des produits de stimulation

3.2.1 La notion d'efficacité

Exigences réglementaires

Dans le cas des MFSC, certains pays européens (par exemple la France et la Belgique) exigent une évaluation de l'efficacité des produits avant leur mise sur le marché pour vérifier que leur utilisation apporte réellement un bénéfice agricole dépassant les inconvénients éventuels (Van Dijk, Arcadia International, BiPRO, 2012). On peut citer pour exemple le guide pour l'homologation des MFSC en France (ANSES, 2013) imposant une démonstration de l'efficacité des produits : « L'efficacité doit être mise en évidence pour la ou les matière(s) fertilisante(s) ou support(s) de culture candidat(s) à l'homologation, dans les conditions d'emploi préconisées, de manière quantifiée, donc en s'appuyant sur des méthodes statistiques éprouvées, par rapport à chacun des effets revendiqués. ».

Dans le cas des PPP, cette démonstration de l'efficacité est exigée pour tous les produits avant leur mise en marché dans l'Union Européenne : « Une substance active seule ou associée à un phytoprotecteur ou à un synergiste n'est approuvée que s'il a été établi, pour une ou plusieurs utilisations représentatives, que le produit phytopharmaceutique est d'une efficacité suffisante lorsqu'il est appliqué conformément aux bonnes pratiques phytopharmaceutiques et dans des conditions réalistes d'utilisation. » (Règlement CE 1107/2009).

La notion d'efficacité globale

Il est possible de considérer l'**efficacité globale** d'un produit, notion prenant en compte l'ensemble des effets résultant de l'application d'un produit dans un système agricole. Ce terme a été défini dans le cas des produits phytopharmaceutiques (EPPO, 2012), mais pourrait être étendu aux produits de stimulation en général. La notion d'efficacité globale permet de nuancer la simple notion d'efficacité, et permet ainsi de parler d'**utilité**.

L'efficacité globale peut ainsi être considérée comme un équilibre entre :

- les effets positifs : diminution de l'impact des bioagresseurs visés, modification de la croissance pour améliorer la quantité et/ou la qualité du rendement de la culture, contrôle de la maturité, etc. ;
- les effets négatifs : réduction qualitative ou quantitative du rendement, phytotoxicité, dégâts infligés aux auxiliaires, aux cultures suivantes ou adjacentes, etc. ;
- l'ensemble des aspects qui, selon le produit, peuvent être positifs ou négatifs : effets sur des organismes nuisibles non visés, durée d'action du produit, facilité d'emploi, compatibilité avec d'autres pratiques culturales et mesures de lutte, diminution de l'apparition de souches résistantes au produit, etc.
- l'évaluation économique : l'apport d'un nouveau produit dans un itinéraire technique doit aussi avoir un bénéfice économique ; le coût supplémentaire peut être compensé par une augmentation des rendements et de la qualité des produits se traduisant par un gain effectif pour l'agriculteur. Dans un but de réduction des produits « classiques » par l'utilisation de produits de stimulation, le gain économique est certainement non négligeable.

Dans le cas des produits de type SDP, on compare souvent leur efficacité à celle des produits « classiques » souvent plus efficaces. Dans certains cas (absence de produit efficace, apparition de résistance d'un bioagresseur à une molécule chimique, volonté de réduire les intrants, biocontrôle, agriculture biologique, etc.), il est pourtant nécessaire de ne pas écarter une substance dont l'efficacité serait certes plus faible, mais dont l'efficacité globale (utilité) serait tout de même un atout. Un produit serait donc utile s'il permet de faire « mieux que rien », par exemple en permettant une résistance même faible contre un bioagresseur ou en améliorant un processus physiologique de la plante qui ne serait pas stimulé en l'absence du produit.

3.2.2 Evaluation de l'efficacité

L'efficacité d'une Substance active est déterminée lors d'un **essai biologique** réalisé dans des conditions contrôlées ou en plein champ, conduit selon une méthode définie dans un protocole, et ayant pour but d'évaluer l'efficacité du produit selon des conditions d'emploi précises (CEB-AFPP, 2011; EPPO, 2012; ANSES, 2013). Les essais d'efficacité doivent permettre de quantifier et démontrer chaque effet revendiqué (ANSES, 2013). L'essai d'efficacité peut aussi permettre de définir les doses de produit recommandées pour la culture, d'évaluer les risques et la phytotoxicité du produit, de connaître la facilité d'emploi, de savoir si le produit peut être combiné à d'autres pratiques agricoles, etc. (EPPO, 2012; ANSES, 2013). L'ensemble des données obtenues, à savoir les effets positifs et négatifs du produit, permet de connaître l'efficacité globale du produit et de justifier sa mise en marché.

Un critère primordial d'acceptabilité d'un produit vis-à-vis de son efficacité globale est l'obtention de résultats significativement supérieurs à ceux notés pour le témoin non traité (ANSES, 2013). Le produit doit donc être utile ; c'est-à-dire que l'apport du produit doit permettre d'obtenir un bénéfice supérieur au fait de ne pas l'utiliser (EPPO, 2012).

Point sur les procédures d'expérimentation

Cas particulier des produits de stimulation

Il est courant de comparer l'efficacité du produit testé à celui d'un produit de référence. La justification pouvant être de ne pas mettre en marché des produits ayant une efficacité plus faible que des produits identiques déjà disponibles (EPPO, 2012). Cependant, dans le cas des produits de stimulation, il peut ne pas y avoir de produit de référence, généralement en raison de l'originalité de la substance active. L'efficacité des produits de stimulation pourrait donc être évaluée uniquement en comparaison aux plantes témoins non traitées ; c'est le cas actuellement pour des produits conventionnels pour lesquels il n'existe pas de produits de référence pour l'usage. Afin d'évaluer l'efficacité d'un produit, l'expérimentateur peut alors avoir recours à des notations permettant d'évaluer la stimulation de la croissance de la plante (masses foliaires ou racinaires par exemple), le développement de symptômes (après des stress abiotiques ou biotiques), la vigueur générale de la plante, le rendement, etc.

Il peut aussi y avoir une efficacité directe plus faible que celle des produits existants mais combinée à un bénéfice global supérieur. C'est d'ailleurs un critère secondaire qui pourrait être acceptable pour autoriser la mise en marché d'un produit de stimulation, comme le propose l'EPPO dans son guide du « Principe de l'efficacité globale acceptable » : « L'efficacité peut encore être considérée suffisante si d'autres caractéristiques du produit à étudier présentent des avantages sur le produit de référence. » (EPPO, 2012).

Actuellement, pour les produits de stimulation, on ne parle pas de substitution totale aux produits « classiques ». En effet, les substances de type SDP doivent être majoritairement utilisées en préventif, donc elles ne devraient pas se substituer complètement à un traitement qui, lui, interviendrait dans les premiers stades de l'infection. Certains SDP peuvent également être utilisés pendant les périodes d'infection, en complément aux produits classiques, afin d'augmenter l'impact du traitement. Les biostimulants quant à eux ne peuvent pas se substituer à une fertilisation « classique ». Les produits de stimulation pourraient donc être considérés au sein d'un itinéraire technique agricole en complément ou en substitution partielle de produits « classiques ». Il s'agit alors d'évaluer l'efficacité dans le cadre d'une stratégie globale, prenant en compte le produit de stimulation considéré et les autres solutions associées (pratiques culturales particulières, protection intégrée des cultures, etc.). Cette prise en compte pourrait révéler des efficacités optimales, tout en réduisant significativement l'emploi de produits phytopharmaceutiques conventionnels. Il serait ainsi possible de comparer les produits de stimulation associés à des programmes de traitements : programme A (avec produit de référence, sans le produit de stimulation) comparé au programme B (avec produit de référence et produit de stimulation).

Par ailleurs, dans le cas de biostimulants associés aux MFSC, le choix du témoin est crucial. Le « bon témoin », outre un témoin non traité, est celui où l'apport nutritif correspond à la MFSC utilisée en combinaison au biostimulant. Par exemple, si le biostimulant est associé à un engrais organique à libération progressive d'azote, il est important de comparer le couple « biostimulant + engrais » à des plantes traitées uniquement avec ce même engrais (et non avec un autre type d'engrais). La réflexion sur le bon témoin de comparaison pour évaluer l'efficacité doit être effectuée pour l'ensemble des produits de stimulation et doit se faire au cas par cas.

Guides de l'évaluation

En ce qui concerne les SDP, le RMT Elicitra a établi un guide qui propose une méthodologie de l'évaluation de l'efficacité de ces substances et qui détaille les paramètres expérimentaux à prendre en compte pour une évaluation qui soit la plus robuste possible, que ce soit en laboratoire ou en plein champ (RMT Elicitra, 2012). Ce guide n'a pour l'instant aucun caractère officiel.

La CEB a par ailleurs publié deux méthodes concernant certains stimulateurs de défense, à savoir la fiche DT18 adaptant les méthodes d'expérimentation de l'efficacité des préparations phytopharmaceutiques à l'« Expérimentation des préparations naturelles à activité directe ou indirecte contre les champignons phytophages ou les insectes ravageurs » (2009) et la fiche DT20 « Expérimentation des préparations naturelles stimulatrices de la vitalité des plantes » (2011).

Pour les biostimulants, il n'existe pas de procédure type à l'heure actuelle, mais des travaux ont été initiés par la CEB et EBIC. Cependant, pour qu'une méthode d'évaluation soit utile à l'ensemble des biostimulants, il serait indispensable qu'elle prenne en compte la diversité (en termes de revendication et de nature) de ces produits.

L'existence de ce type de guides pourrait permettre à l'avenir de mieux en prendre compte les différents paramètres pouvant intervenir sur l'efficacité, mais surtout de disposer d'une méthode d'analyse commune permettant de comparer différents produits.

3.2.3 Quelle efficacité pour ces substances ?

En raison d'une efficacité variable, souvent inférieure aux produits conventionnels dans le cas des SDP, de la complexité des substances actives, et de leurs modes d'action particuliers, la contribution des produits de stimulation, que ce soient les biostimulants ou les SDP, est parfois difficile à démontrer, en particulier lors des essais réalisés en plein champ. Néanmoins, l'intégration de ces produits dans un programme de protection des cultures semble être une stratégie prometteuse.

SDP

Concernant l'étude de l'efficacité des SDP, la majorité des acteurs interviewés dans le cadre de cette étude font un constat récurrent, à savoir un défaut de corrélation entre les résultats prometteurs issus d'expérimentations en conditions contrôlées et ceux plus aléatoires en plein champ. Ce constat est cohérent avec celui identifié dans la littérature scientifique (Blanchard & Limache, 2005; Beckers & Conrath, 2007; Walters, 2009; Walters, et al., 2013).

Il existe aussi souvent un manque de reproductibilité entre les expérimentations (RMT Elicitra, 2012). Ce constat a amené une grande controverse sur les substances « alternatives ». Certains utilisateurs se sont sentis trompés face à des produits peu ou pas efficaces, même si ces produits possédaient une autorisation de mise sur le marché par homologation (dossier contenant des essais démontrant l'efficacité).

Pour autant, selon certains expérimentateurs interviewés, certains produits de type SDP ont réellement démontré une efficacité même en plein champ lors d'essais réalisés en conditions réelles d'utilisation. Il est donc préférable de ne pas généraliser les problèmes d'efficacité de ces substances. Plusieurs phénomènes détaillés ci-après permettent d'expliquer, ou du moins d'émettre des hypothèses, quant à la différence

parfois identifiée entre l'effet observé en laboratoire et l'efficacité au champ (cf. section 3.2.4 sur les « facteurs influençant l'efficacité » ci-après).

Biostimulants

En ce qui concerne les produits de type biostimulants, la controverse est moins marquée mais tout de même existante. En effet, bien qu'une grande proportion des produits ait pu, selon les différents acteurs interviewés, démontrer une réelle efficacité en champ, les biostimulants ont tout de même longtemps été associés aux « poudres de perlimpinpin ». Ceci est probablement dû au fait qu'il existe un décalage réel entre les produits homologués, pour lesquels l'efficacité a été démontrée par des essais, et les produits mis sur le marché sans homologation. L'harmonisation de la réglementation européenne (cf. chapitre 4) permettra probablement de faire un tri et de mettre un terme à cette concurrence déloyale.

Toutefois, il existe une nuance importante par rapport aux produits de type SDP. En effet, ils ne peuvent pas se substituer aux matières fertilisantes « classiques » puisqu'ils n'apportent pas d'éléments nutritifs. Les industriels préconisent une utilisation en complément aux produits fertilisants conventionnels afin d'améliorer l'efficacité de ces derniers. Les biostimulants sont d'ailleurs en majorité associés aux MFSC « classiques » (engrais, amendements, supports de culture) dans les produits formulés. Les buts qui peuvent être recherchés sont d'augmenter le rendement, la qualité des cultures ou la résistance aux stress abiotiques. Le coût raisonnable de ces substances, une augmentation du rendement de 10% ou l'amélioration de la vigueur des plantes face aux stress abiotiques peuvent suffire à satisfaire l'utilisateur.

Néanmoins, les produits biostimulants ont aussi une efficacité qui peut varier en fonction de certains facteurs (cf. section ci-après).

3.2.4 Les facteurs influençant l'efficacité

Type de culture et variétés

L'induction d'une résistance, la stimulation de la croissance ou d'autres actions de stimulation mobilisent des processus physiologiques propres à la plante et se trouvent donc dépendants du génotype, qui provient à la fois de l'espèce végétale considérée et des différentes variétés cultivées. La génétique de la plante peut en effet avoir un impact sur la capacité de reconnaissance d'une substance élicitrice (interaction protéine/protéine et de manière générale toute interaction récepteur/éliciteur), sur le potentiel de réactivité de la plante, sur le temps nécessaire à l'induction, sur la durée de l'effet, sur l'interaction plante/micro-organisme, et donc sur le degré d'efficacité des substances actives présentes dans les produits de stimulation.

Certains produits auront donc un impact important sur une espèce cultivée et un impact moindre, voire absent, sur une autre espèce, même proche d'un point de vue génétique (RMT Elicitra, 2014; Calvo, et al., 2014). Aussi, la durée d'efficacité du produit peut varier entre deux espèces et le nombre d'application sur la culture permettant de maintenir l'efficacité sur toute une saison peut varier.

L'existence d'une différence d'efficacité d'un même produit sur deux espèces végétales distinctes est déjà bien connue pour les produits « classiques », en particulier pour les PPP. Ce qui est nouveau pour les produits de stimulation c'est que pour une même espèce végétale, deux variétés différentes peuvent réagir de manière variable à la stimulation. Il est donc essentiel lorsqu'on parle de l'efficacité d'une substance de considérer les mêmes variétés de plantes testées lors des essais que lors des traitements réels effectués par l'utilisateur. Idéalement, un essai d'efficacité devrait donc être réalisé sur plusieurs variétés représentatives des variétés cultivées afin d'évaluer l'effet variétal sur l'efficacité du produit.

Substances de type SDP

Plusieurs travaux ont été menés pour montrer l'importance du génotype vis-à-vis de l'induction d'une résistance par des produits de type SDP (RMT Elicitra, 2012; Walters, et al., 2005). Dans le cas du soja par exemple, un même traitement avec un composé synthétique proche de l'acide salicylique (acide 2,6-dichloroisonicotinique, DCINA) vis-à-vis de la sclérotiniose (*Sclerotinia sclerotiorum*) est beaucoup plus efficace sur les variétés naturellement très sensibles que sur des variétés semi-résistantes (Dann, et al., 1998). Plus récemment, l'influence du cultivar de blé sur l'induction de la résistance par différents éliciteurs seuls ou en combinaison a été démontrée (Walters, et al., 2011).

Biostimulants

L'importance du facteur génétique a aussi été observé pour des produits de type biostimulants, comme par exemple des extraits d'algue appliqués sur différentes variétés de pruniers ou d'aubépine (Szabo & Hrotko, 2009), ou encore un mélange d'acides aminés n'entraînant pas d'amélioration du rendement sur épinards et endives mais ayant un effet positif pour une variété de carottes parmi celles testées (Calvo, et al., 2014).

Micro-organismes (biostimulants ou SDP)

Enfin, l'espèce et la variété de la plante peuvent être des facteurs déterminants pour obtenir des effets bénéfiques avec des micro-organismes utilisés comme SDP ou biostimulant. L'environnement racinaire, créé par les exsudats racinaires et la microflore associée, sert de substrat pour l'activité de certains micro-organismes mais pas pour tous, ce qui peut engendrer une non-reproductibilité des essais (Calvo, et al., 2014). Aussi, toutes les plantes ne vont pas être réceptives à toutes les espèces de micro-organismes. Par exemple, la nodulation avec des bactéries de type *Rhizobium* ne peut se faire qu'avec des cultures de la famille des fabacées (appelées légumineuses dans le langage courant).

Conditions environnementales

Substances de type SDP

L'induction des mécanismes de défenses par les produits de type SDP est influencée par différents paramètres environnementaux, en particulier les variations de température et de lumière qui sont des conditions essentielles à l'induction d'une résistance (Walters, et al., 2005).

On peut citer comme exemple des extraits de *Bacillus subtilis* qui induisent une réponse de résistance sur blé, orge et haricot uniquement lorsque la température et la lumière ne sont pas constantes comme en serre ou en plein champ, au contraire d'une absence d'induction lorsque ces mêmes paramètres sont volontairement inchangés en conditions contrôlées (Falkhof, et al., 1988).

De récents travaux ont également montré que chez *Arabidopsis thaliana* la réponse induite par le pathogène *Pseudomonas syringae* est dépendante de l'intensité lumineuse. La présence de lumière, même à faible intensité, est requise pour l'accumulation de SA et l'expression de la protéine PR1, impliquant que la nuit d'autres mécanismes cellulaires doivent entrer en jeu pour induire l'expression des gènes de défense. Dans cette étude, une meilleure croissance bactérienne est d'ailleurs observée la nuit. Par ailleurs, l'accumulation de JA et la production d'une phytoalexine (camalexine) était plus importante en absence de lumière. L'absence de lumière lors d'une infection primaire par la bactérie a également provoqué l'absence de réponse systémique (SAR) (Zeier, et al., 2004). Ces résultats sont intéressants et permettent de comprendre que certains facteurs environnementaux, comme la lumière, font varier les mécanismes cellulaires entrant dans la réponse induite. Cependant, il n'est pas possible de généraliser ce constat à l'ensemble des végétaux.

La fertilisation du sol peut aussi modifier l'efficacité observée. Ainsi, une bonne nutrition azotée conduit à une meilleure induction des réponses par l'ASM (Dietrich, et al., 2004). De même, le traitement à l'ASM peut avoir un coût physiologique en raison d'une forte utilisation des ressources de la plante pour la défense au

détriment de la croissance (voir ci-dessous paragraphe « Coût physiologique de l'induction des défenses par les SDP »), Dans un tel cas, une bonne nutrition des cultures est essentielle pour permettre aux plantes stimulées de compenser ces effets négatifs (Dietrich, et al., 2005).

Biostimulants

Plusieurs études tendent à montrer que les variations des conditions environnementales ont une influence plus faible sur les produits de type biostimulants, en particulier lorsque leur revendication est la résistance aux stress abiotiques. Il a par exemple été montré pour une culture de carottes traitée sur plusieurs saisons avec un biostimulant à base d'acides aminés, que la réaction de la plante était majoritairement influencée par la variété utilisée et non par les conditions de température et d'hygrométrie (Grabowska, et al., 2012). Une autre étude conduite sur un biostimulant à base d'acides humiques appliqué sur plusieurs cultures maraichères (persil, poireau, céleri, tomate, oignon, laitue, basilic, radis et cresson) a permis de montrer une augmentation de la germination non influencée par les variations de température (Yildirim, et al., 2002). D'autres exemples encore ont été reportés démontrant la capacité des biostimulants à agir sans être impactés par les conditions environnementales testées (Shekhar Sharma, et al., 2013; Calvo, et al., 2014), mais il faut toutefois nuancer le propos puisque les paramètres physico-chimiques dépendant des conditions climatiques influencent certainement la disponibilité de ces substances.

La fertilisation du sol modifie toutefois l'efficacité observée ; ainsi il semblerait que les biostimulants soient souvent plus efficaces lors d'une nutrition sub-optimale (Papenfus, et al., 2013; Calvo, et al., 2014).

Micro-organismes (biostimulants ou SDP)

Par ailleurs, les micro-organismes sont fortement affectés par les conditions environnementales, puisque la température, la salinité et les paramètres physico-chimiques du sol influent fortement sur leur croissance, leur production de métabolites secondaires et enzymes, et leur capacité à créer une microflore bénéfique au niveau de la rhizosphère (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Coût physiologique de l'induction des défenses par les SDP

Un concept important est la notion du coût physiologique pour la plante. A la différence des défenses constitutives qui sont exprimées en permanence, les défenses induites impliquées dans la réponse induite le sont uniquement lors d'une attaque par un micro-organisme pathogène ou un herbivore. L'hypothèse majeure expliquant cette stratégie suggère que les défenses induites sont bénéfiques pour la plante en présence de bioagresseurs mais qu'elles entraînent un coût pour le développement de la plante en l'absence de ceux-ci.

Dans certaines études consacrées à l'induction d'une résistance, l'utilisation de SDP conduit à une réduction des symptômes de la maladie sans pour autant améliorer le rendement de la culture. Le coût physiologique de la résistance induite peut s'expliquer soit par l'auto-toxicité des mécanismes de défenses induits, soit par le détournement de l'allocation des ressources (énergie, carbone, azote) au détriment de la croissance et du développement (Heil, 2001). Ces coûts physiologiques pourraient être plus marqués en cas de carences nutritives ou autres conditions de culture défavorables (Dietrich, et al., 2005). Des études doivent encore être menées pour mieux comprendre ces phénomènes.

Par ailleurs, l'utilisation éventuelle de SDP en traitement de semences pourrait être un atout pour éviter les infections des plantules à la germination et dans les premiers stades de développement, mais certaines études suggèrent que ces traitements (par exemple par enrobage ou trempage des graines) auraient un impact négatif dans certains cas sur la croissance des plantules (Paudel, et al., 2014). Dans une autre étude, l'utilisation de SDP en traitement de semences n'était pas corrélée avec une diminution de la croissance et permettait une induction efficace de la résistance ainsi qu'une protection sur plusieurs semaines. C'est le cas par exemple sur tomates pour un traitement au JA contre différents bioagresseurs

(acariens, chenilles et *Botrytis cinerea*) et un traitement au BABA contre *Oidium neolycopersici* (Worrall, et al., 2012).

Que ce soit en traitement de semences ou en application foliaire, l'utilisation des SDP pourrait avoir un impact sur la croissance des cultures. Pour chaque couple SDP/plante, il serait donc judicieux lors des essais d'efficacité de vérifier, dans les jours suivant le traitement, l'impact sur la croissance. En particulier, l'utilisation régulière d'un SDP ayant un impact sur la croissance pourrait à terme affecter les rendements malgré la protection contre le bioagresseur.

Stade de développement de la plante

Au-delà de l'état physiologique de la plante (carence, stress biotique et abiotique), le stade de développement apparaît généralement comme un aspect essentiel à considérer pour déterminer le moment de l'application d'un produit de stimulation. Certains facteurs morphologiques dépendant de l'âge de la plante (épaisseur de la cuticule, présence de poils, etc.) peuvent avoir un effet sur la pénétration et l'absorption du produit. L'âge de la plante peut aussi influencer sur sa capacité à répondre à la stimulation.

SDP

Dans le cas des substances de type SDP, la variation de l'efficacité en fonction du stade de développement de la plante a été démontrée chez le pommier et la vigne dans le cadre du projet Defistim 2011-2014 (Steimetz, et al., 2012).

Biostimulants

Dans le cas de biostimulants par exemple, il n'est pas rare de voir des fiches d'application de produits indiquant les stades phénologiques BBCH²¹ exacts auxquels le produit doit être appliqué. En dehors de ces stades bien précis, le produit peut ne plus être efficace, voire avoir un effet négatif sur la plante ou sur son rendement (Ferreira & Lourens, 2002; Khan, et al., 2009). En effet, le fait de stimuler la croissance racinaire peut défavoriser la croissance végétative en changeant le ratio racines/tiges, et au-delà d'un certain stade de développement, ceci pourrait freiner la croissance des fruits ou graines.

Du côté du bioagresseur

Dans le cas d'une forte pression d'agents pathogènes ou ravageurs (en particulier lors de cultures en plein champ), l'efficacité de protection d'un SDP diminue. En effet, les SDP n'ont en général pas d'action biocide directe mais agissent uniquement sur les réponses de défense de la plante (AFPP, 2013). Le produit va aider la plante à se défendre jusqu'au point où son activité biologique ne peut plus rien contre la pression des bioagresseurs.

Par ailleurs, l'induction de la résistance peut nécessiter un intervalle de temps entre le moment où le traitement est appliqué et le moment où l'efficacité permettra une résistance contre le bioagresseur. En conditions contrôlées, il est facile de gérer l'introduction du bioagresseur. L'intégration de ces produits dans des programmes agricoles nécessite donc d'avoir une parfaite connaissance des agents pathogènes et des ravageurs, en particulier de savoir anticiper leur arrivée (RMT Elicitra, 2013).

Les scientifiques interviewés rappellent que le génotype de l'agent pathogène impliqué dans le pathosystème considéré est important. L'absence de reproductibilité entre plusieurs essais en champ peut provenir de la variation des souches de micro-organismes pathogènes présents dans les essais.

²¹ L'échelle BBCH (abréviation pour *Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt et Chemische Industrie*) utilise un système décimal (de 00 à 99) servant à la codification des stades phénologiques des mono- et dicotylédones. Elle est divisée en stades de développement principaux et secondaires. L'échelle générale est la base pour toutes les espèces. Les échelles individuelles sont élaborées à partir de celle-ci (Meier, 2001).

Modalités d'application des produits

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

Formulation et étiquetage des produits

Le manque d'efficacité d'un produit peut provenir d'un problème de biodisponibilité. La formulation joue donc un rôle majeur. Lors de nos interviews, plusieurs acteurs (scientifiques et industriels) ont fortement insisté sur l'importance de la formulation pour les produits de stimulation. Il est donc nécessaire que lors des essais d'efficacité réalisés en laboratoire ou en conditions contrôlées les expérimentateurs considèrent aussi la formulation du produit, voire la modifient pour améliorer l'efficacité.

La formulation commerciale des micro-organismes entrant dans la composition de produit SDP ou biostimulant est primordiale pour permettre la viabilité et l'efficacité des micro-organismes vivants après leur application. Dans ce cas, la date limite d'utilisation doit être impérativement indiquée sur l'étiquette et respectée par l'utilisateur pour garantir l'efficacité du produit.

3.2.5 Exemples concrets de l'efficacité de certains SDP

Les tableaux 6 et 7 ci-dessous donnent plusieurs exemples concrets d'efficacité pour des ensembles substance/plante/bioagresseur dans le cas des SDP. Ces résultats reflètent la variabilité qui peut être attendue pour un même produit sur différents usages, mais également entre différents produits sur un même usage.

Ces deux tableaux sont non exhaustifs et ne représentent qu'une infime partie des résultats publiés. De même, toutes les substances pouvant entrer dans la composition des SDP ne sont pas présentées. Pour plus d'impartialité, il s'agit uniquement de résultats publiés dans des journaux scientifiques. Assez peu de résultats publiés démontrent une efficacité nulle des SDP testés, mais ceci peut simplement provenir de l'absence de publication en cas de non efficacité.

Des essais menés par les membres du RMT Elicitra sur ces mêmes substances démontrent une absence ou une très grande variabilité d'efficacité dans certains systèmes plante/pathogène/substance. Un tableau de synthèse de ces essais peut être librement consulté sur le site du RMT²² et vient compléter ces deux tableaux issus de résultats publiés.

²² http://elicitra.org/index.php?rub=tableau_de_synthese_des_efficacites

Tableau 6 – Exemples d'efficacité publiés dans la littérature scientifique : traitement à l'ASM

Espèce végétale	Bioagresseur	Conditions expérimentales	Mode d'application	Critère évalué	% d'efficacité	Source
Maladies bactériennes						
Tomate	<i>Pseudomonas syringae</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Indice de sévérité	36-56 %	(Louws, et al., 2001)
Tomate	<i>Xanthomonas campestris pv. vesicatoria</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Indice de sévérité	47%	(Inbar, et al., 1998)
Piment	<i>Xanthomonas campestris pv. vesicatoria</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Lésions sur feuille	96-100%	(Buonaurio, et al., 2002)
Radis	<i>Xanthomonas campestris pv. armoraciae</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Lésions sur feuille	28-62%	(Krause, et al., 2003)
Riz	<i>Xanthomonas oryzae</i>	Laboratoire	Pulvérisation foliaire	Indice de sévérité	50%	(Babu, et al., 2003)
Maladies fongiques						
Vigne	<i>Plasmopara viticola</i>	Vignoble	Pulvérisation foliaire	Lésions sur feuille	29-52%	(Reuveni, et al., 2001)
Vigne	<i>Botrytis cinerea</i>	Vignoble	Pulvérisation foliaire	Infection des baies	36%	(Iriti, et al., 2005)
Blé	<i>Septoria tritici</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Infection des feuilles	40-44%	(Stadnick & Buchenauer, 1998)
	<i>Blumeria graminis</i>				62-92%	
Colza	<i>Leptosphaeria maculans</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Lésions sur plants	20-22%	(Liu, et al., 2006)
Maladies virales						
Tabac	<i>Tomato spotted wilt virus</i>	Serre et Champ	Pulvérisation foliaire	Présence virale dans plants	70-45%	(Csinos, et al., 2001)
Melon	<i>Cucumber mosaic virus</i>	Champ	Pulvérisation foliaire	Présence virale dans plants	100%	(Smith-Becker, et al., 2003)
Autres bioagresseurs						
Vigne	Nématode <i>Meloidogyne</i> sp.	Serre	Pulvérisation foliaire	Nombre d'œufs	75-89%	(Owen, et al., 2002)
Tomate	Aleurode <i>Bemisia tabaci</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Stades des aleurodes	47%	(Nombela, et al., 2005)
Tomate	Puceron <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Nombre de pucerons par plante	31-49%	(Cooper, et al., 2002)

Tableau 7 – Exemples d'efficacité publiés dans la littérature scientifique : traitements avec différents SDP

SDP	Espèce végétale	Bioagresseur	Conditions expérimentales	Mode d'application	Critère évalué	% d'efficacité	Source
Maladies fongiques							
Milsana - Renouée de Sakhaline	Tomate	<i>Leveillula taurica</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Indice de sévérité	23-64%	(Konstantinidou-Doltsinis, et al., 2006)
	Blé	<i>Blumeria graminis</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Nombre de colonies fongiques	85-100%	(Randoux, et al., 2006)
	Concombre	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Nombre de plants infectés	45-90%	(Schmitt, 2002)
PGPR	Tabac	<i>Peronospora tabacina</i>	Serre	Traitement de semence et irrigation	Indice de sévérité	5-60%	(Zhang, et al., 2004)
<i>Bacillus mycoides</i>	Betterave sucrière	<i>Cercospora beticola</i>	Serre et Champ	?	Nombre de plants infectés	38-91%	(Bargabus, et al., 2002)
Algicin – Extrait d'algues	Pommier	<i>Venturia inaequalis</i>	Serre	Pulvérisation foliaire 18h avant inoculation	Incidence de la maladie Incidence de la maladie	55-75%	(Kunz & Hinze, 2014)
Iodus - Laminarine						40-68%	
Chitosan						60-85%	
Algicin – Extrait d'algues						20-35%	
Chitosan						18-35%	
Isotianil	Riz	<i>Magnaporthe grisea</i>	Serre et Champ	Pulvérisation foliaire	Incidence de la maladie	80-100%	(Sawada, 2009)
		<i>Rhizoctonia solani</i>				0-50%	
	Tomate	<i>Oidiopsis sicula</i>				50-69%	
		<i>Phytophthora infestans</i>				50-69%	
BABA	Vigne cv. Riesling x Sylvaner	<i>Plasmoapara viticola</i>	Serre	Pulvérisation foliaire	Lésions sur feuilles	10-50%	(Tamm, et al., 2011)
Extrait de <i>Penicillium chrysogenum</i>			Vignoble			50%	
			Serre			70-90%	
Bion – ASM			Vignoble			97%	
			Serre			0-90%	
			Vignoble			46%	
Milsana - Renouée de Sakhaline							

SDP	Espèce végétale	Bioagresseur	Conditions expérimentales	Mode d'application	Critère évalué	% d'efficacité	Source
Acide salicylique			Serre			0-70%	
Maladies Virales							
PGPR	Tomate	<i>Cucumber mosaic cucumovirus</i>	Serre	?	Nombre de plantes sans symptôme	48%	(Zehnder, et al., 2000)
Isotianil	Tabac	<i>Tomato spotted wilt virus</i>	Serre et Champ	Pulvérisation foliaire	Incidence de la maladie	20-69%	(Sawada, 2009)
Maladies bactériennes							
Chitosan	Pommier	<i>Erwinia amylovora</i>	Verger	Pulvérisation foliaire	Incidence de la maladie	12%-35%	(Kunz, et al., 2012)
Serenade - <i>Bacillus subtilis</i> QST 713						36-56%	

3.2.6 Point sur la controverse liée à l'efficacité de ces substances

La controverse sur l'efficacité vient principalement du fait que :

- certains produits mis en marché ne sont pas actifs en conditions de laboratoire ou en conditions réelles (source : entretiens réalisés dans le cadre de cette étude) ce qui tient particulièrement à l'absence de guides pour évaluer l'efficacité ;
- ou qu'il existe un décalage entre les revendications, les attentes des utilisateurs, et les effets.

Le retour actuel des utilisateurs n'est pas forcément toujours négatif, mais il est encore difficile d'arriver à valoriser les nouveaux produits car, selon les industriels et les expérimentateurs, les utilisateurs en attendent parfois beaucoup trop. En effet, par manque de formation ou de communication (ou par mauvaise information ou promesses erronées ?), les utilisateurs comparent encore les produits de stimulation aux produits « classiques ». Or, comme nous l'avons vu précédemment, ces produits ne sont pas destinés à remplacer les produits existants mais à être intégrés dans des programmes techniques où ils permettent de maximiser les rendements, de mieux valoriser les récoltes et de réduire l'impact environnemental des pratiques conventionnelles jugées problématiques.

Il est donc nécessaire de mettre en place une procédure d'évaluation de l'efficacité harmonisée (mais pouvant prendre en compte les spécificités de chaque produit) et de fixer des exigences en matière d'évaluation des bénéfices intégrant l'efficacité globale. Ces actions sont primordiales afin de ne pas légaliser des produits inefficaces qui continueraient d'alimenter la controverse sur l'efficacité. Par ailleurs, il pourrait être intéressant de fournir un véritable « mode d'emploi » des produits, précisant de manière détaillée les conditions d'utilisation optimales (conditions d'application, mode d'apport, etc.) mais également ce qui peut être attendu du produit dans des conditions précises d'utilisation (espèces végétales testées lors des essais d'efficacité, conditions environnementales favorables par exemple : X % d'efficacité pour une température Y et une humidité Z).

3.3 Les perspectives de recherche

3.3.1 Historique de la recherche

SDP

La recherche scientifique est ancienne et structurée dans le cadre des éliciteurs et SDP, qui ont internationalement été étudiés au sein des axes de recherche sur les interactions plante/micro-organismes. Des travaux portant sur l'« immunisation » des plantes ont été publiés dans la première partie du 20^{ème} siècle (Beauverie, 1901; Chester, 1933). Les premières publications sur les « *plant elicitors* » sont apparues dans les années 1970, avec notamment en 1975 la première étude réalisée sur soja indiquant l'induction de la production d'une phytoalexine par un composé extrait du micro-organisme pathogène *Phytophthora megasperma*, composé alors pour la première fois nommé éliciteur (Keen, 1975). Cet éliciteur, un glucane purifié à partir de l'oomycète, sera la première démonstration qu'un composé issu d'un agent pathogène est impliqué dans la résistance de la plante aux maladies (Ayers, et al., 1976). Plusieurs groupes de recherche se sont ensuite spécialisés sur les éliciteurs afin d'évaluer leurs modes d'action, puis dans les années 1980 pour considérer leur intérêt en agriculture en tant que stimulateurs de défense des plantes.

A l'heure actuelle, le nombre de publications sur le sujet est très important. On dénombre par exemple une centaine de publications avant 2008 ayant pour sujet la résistance induite par l'ASM (Faessel, 2008), et une quarantaine de rapports publiés entre 2010 et 2013 sur les agents inducteurs de la résistance (Walters, et al., 2013). Une rapide recherche bibliographique sur Google Scholar²³ avec les termes « plant + elicitor » permet d'obtenir plus de 45 000 résultats, « plant + "induced resistance" » plus de 36 000 résultats, et plus de 17 000 résultats avec « stimulateur + défense + plante ».

Biostimulants

La recherche rapide sur Google Scholar permet de recenser plus de 4000 résultats avec les termes « plant + biostimulant » ce qui est nettement plus faible que le nombre de résultats obtenus pour les SDP. Le récent rapport de Patrick Du Jardin fait état d'un nombre croissant depuis 1997 d'articles publiés ayant pour objet les biostimulants pour la plante. En particulier, le récent intérêt pour ces produits a permis une forte augmentation entre 2002 et 2010, passant d'environ 10 000 articles scientifiques pour plus de 40 000 respectivement recensés sur la base de données Scopus²⁴ (Du Jardin, 2012). Ce n'est d'ailleurs qu'en 2012 qu'un premier congrès a été entièrement dédié aux biostimulants, réunissant plus de 700 participants de 55 pays (1st *World Congress on the use of biostimulants in agriculture*, Strasbourg, 26-29 novembre 2012).

Les nombreuses définitions proposées au fil des ans ne restreignant jamais le terme biostimulant à une catégorie de substances mais bien à un effet revendiqué (définition par l'action de stimulation des plantes et non par l'origine), cela a permis une large utilisation du terme biostimulant pour des substances d'origines de plus en plus variées et donc des axes de recherche de plus en plus nombreux.

²³ Recherche dans un grand nombre de publications académiques, livres, thèses, revues scientifiques, journaux, présentations, etc. Les résultats restent largement incomplets puisque toutes les publications ne sont pas répertoriées, mais une rapide recherche bibliographique permet tout de même de se faire une idée de la « popularité » d'un sujet.

²⁴ Base de données bibliographiques payante couvrant un très large panel de journaux scientifiques de toutes les disciplines et permettant d'effectuer une recherche bibliographique complète.

3.3.2 Les axes de recherches actuels

Instituts de recherche en France et en Europe

SDP

En France, plusieurs instituts de recherche publics, ainsi que des laboratoires et centres d'expérimentations privés, ont pour axes de recherche les SDP. La recherche est ainsi présente sur tous les niveaux scientifiques, des plus fondamentaux (modes d'action cellulaires) aux plus appliqués (intégration aux systèmes de culture).

Un très grand nombre de ces acteurs de la recherche sur les SDP se sont regroupés dans le RMT Elicitra dont l'action depuis 2011 a permis de construire un collectif alliant recherche publique et centres techniques sur le thème de la protection phytopharmaceutique des plantes par les SDP²⁵. La liste des membres du réseau est disponible sur le site internet. Plusieurs projets collaboratifs ont été créés au sein du réseau autour des cinq axes du programme : 1) Recherche et évaluation de nouveaux composés SDP ; 2) Avancées dans la connaissance des réponses de la plante aux SDP en conditions de production agricole et des facteurs qui les conditionnent ; 3) Amélioration des conditions d'application ; 4) Contribution aux objectifs agroécologiques du plan Ecophyto ; 5) Effets secondaires et non intentionnels des SDP.

On peut également citer le réseau INDRES (pour INDuction de RESistance) financé par l'INRA²⁶. Ce réseau regroupe des chercheurs français travaillant sur les défenses des plantes en connexion avec la résistance induite. Certaines personnes de ce réseau sont également impliquées dans le RMT Elicitra, mais l'objectif plus en amont est de décrire les défenses chez des plantes agronomiques et les plantes modèles en expliquant les mécanismes permettant la résistance induite par les SDP.

En plus des axes de recherche faisant actuellement l'objet d'études en France, il existe aussi un très grand nombre d'instituts internationaux travaillant sur les substances SDP.

Biostimulants

Il n'existe à l'heure actuelle en France aucune structure de recherche sur les biostimulants en dehors des essais menés ponctuellement pour vérifier l'efficacité d'un futur produit et des recherches menées sur les micro-organismes du sol (INRA de Dijon).

Au niveau européen, on peut cependant citer la création récente d'un réseau de recherche financé par le septième programme-cadre européen « FP7 » : BIOFECTOR²⁷ est un projet intégré dont le but est de développer des stratégies alternatives de fertilisation via l'utilisation de divers « *bio-effectors* » (micro-organismes stimulant la croissance des plantes et divers produits naturels d'extraction). Les participants sont des instituts de recherche européens (mais non français) et des industriels. Certains biostimulants entrent dans la catégorie des produits étudiés dans le cadre de ce projet européen structuré en 11 axes. En particulier, l'axe 3 permettra d'avoir une meilleure compréhension des modes d'action et de caractériser les réponses de la plante au niveau moléculaire.

⇒ La recherche est beaucoup plus ancienne et structurée dans le cas des SDP que dans le cas des biostimulants. Les grands axes de recherche actuels décrits ci-après s'appliquent donc plus particulièrement aux SDP. Il est évident qu'à l'avenir, au vu de l'intérêt suscité par les biostimulants, ces

²⁵ La liste des membres du réseau est disponible sur le site internet (www.elicitra.org).

²⁶ <http://www.spe.inra.fr/Le-departement/reseaux-scientifiques>.

²⁷ <http://www.biofactor.info>

grands axes de recherche devront se développer en France ou au niveau international pour étudier également les biostimulants.

Identification de nouvelles substances actives

Un des axes majeur qui est actuellement développé, et qui doit l'être encore plus dans les prochaines années, est l'identification de nouvelles substances actives. Il est en effet crucial, en particulier dans le cas des SDP, de trouver de nouvelles molécules puisque celles identifiées jusqu'à présent n'ont pas toujours démontré une efficacité suffisante aux champs, mais aussi pour étendre les solutions associant des SDP à un plus grand nombre de problématiques voire améliorer l'efficacité des solutions actuelles. Il nous a toutefois été rapporté que certains utilisateurs (maraîchers et cultures spécialisées) sont demandeurs de ce type de produits puisque soit il n'existe pour l'instant aucun traitement chimique conventionnel pour lutter contre certaines maladies (usage orphelin), soit ils souhaiteraient réduire les produits conventionnels de leurs pratiques ou diminuer les résidus de leurs productions.

Par ailleurs, dans le cas des PGPR, une meilleure compréhension du mode d'action pour la stimulation des défenses permettrait d'identifier la ou les substances actives, et donc éventuellement de les purifier pour en obtenir des molécules pour lesquelles les contraintes environnementales vues précédemment ont un moindre impact sur l'efficacité du produit. On peut citer pour exemple les lipopeptides d'origine bactérienne, molécules qui ont fait l'objet du projet Interreg IV Phytobio initié en 2009²⁸. Parmi ces molécules, la fengycine et la surfactine de *Bacillus subtilis* ont des propriétés SDP et ont démontré des résultats très prometteurs (Phytoma, 2014).

Compréhension des modes d'action et facteurs influençant l'efficacité

Il reste encore beaucoup d'inconnues, notamment sur les modes d'action des substances actives. Les produits de stimulation agissent sur différents paramètres physiologiques des plantes ou sur les micro-organismes présents dans le sol. Il s'agit en particulier d'identifier les gènes impliqués, les événements moléculaires, les voies de signalisation, les interactions macromoléculaires, les interactions plante/micro-organisme ou plante/molécule.

Mieux comprendre la fonction de chaque substance, y compris dans les produits complexes, permettra non seulement d'accumuler de nouvelles connaissances sur la stimulation des plantes, mais aussi de comprendre pourquoi certains facteurs peuvent influencer les effets observés.

En effet, les produits de stimulation sont soumis à différents facteurs (biotiques ou abiotiques) encore mal cernés (cf. section 3.2.4). C'est une des hypothèses les plus fréquemment avancées pour expliquer le problème de transfert de ces produits depuis les conditions contrôlées jusqu'aux conditions de production en serre ou en champs. Le fait de connaître les facteurs influençant l'efficacité des produits pourrait éventuellement conduire à une utilisation optimale par l'utilisateur.

Par ailleurs, en ce qui concerne les produits de type SDP, un des axes à élargir est le développement d'outils permettant de différencier un mode d'action de stimulation des défenses d'un mode d'action de type antagoniste ou biocide. En effet, certaines substances peuvent agir via ces différents modes d'action (cf. Tableau 2), mais pour qu'un produit soit considéré comme SDP il faut que le mode d'action majoritaire soit la stimulation des défenses. Il existe à l'heure actuelle des outils pour distinguer stimulation de biocide/antagoniste (puces à ADN pour caractériser l'expression des gènes de défense, tester l'effet antimicrobien ou antifongique direct, vérifier l'effet systémique, etc.) mais il est important de trouver de nouveaux outils pour réellement identifier le mode d'action majoritaire.

²⁸ Site internet du projet : <http://phytobio.univ-lille1.fr/>

Amélioration des conditions d'application et de la formulation des produits

Par ailleurs, outre le fait de chercher de nouvelles substances actives, il serait aussi intéressant d'optimiser celles qui sont déjà connues, par exemple en améliorant la formulation ou le mode d'utilisation des produits. En effet, l'utilisation optimale des produits permettrait de pallier le manque d'efficacité souvent observé en champ. Il s'agit par exemple de tester et/ou développer des modes d'application alternatifs, puisqu'il est possible que certaines barrières physiques de la plante peuvent empêcher la pénétration du produit. Il s'agit aussi d'examiner les effets des conditions environnementales, telles que la température, l'humidité, ou la luminosité, et de trouver le positionnement idéal par rapport aux stades de développement de la plante. Il s'agit encore de positionner ces produits dans des programmes de protection intégrée des cultures, en les associant à d'autres solutions (agronomiques, génétiques, mécaniques, chimiques). Enfin, la formulation des produits est un outil crucial pour permettre la meilleure pénétration des substances actives.

3.3.3 Les besoins prioritaires pour la recherche identifiés lors de nos interviews

Au cours de nos interviews, notamment avec les industriels et scientifiques, plusieurs besoins prioritaires ont été évoqués concernant l'avenir de la recherche sur les produits de stimulation.

Certains scientifiques soulignent qu'il serait important de développer des projets de recherche réellement indépendants sur les produits de stimulation afin d'avoir un avis objectif sur l'efficacité d'une substance active avant qu'elle n'entre dans la composition de produits. Il s'agit ici de voir ce qui se passe au niveau de la plante (niveau moléculaire et structurel) après application d'une substance active, et mettre ainsi de côté les substances qui ne stimulent rien. Il y a donc un besoin réel de financements de projets par la recherche publique et non privée.

Un besoin de recherche sur les modes d'action des biostimulants est fortement évoqué par les industriels et expérimentateurs. A l'heure actuelle, trop peu de données existent et il serait nécessaire de développer ces axes de recherche pour rendre les produits plus efficaces. De manière générale, un meilleur dialogue entre le monde scientifique et les industriels est nécessaire pour favoriser la commercialisation de nouvelles substances actives. Ce dialogue existe déjà, mais des projets collaboratifs forts, des plateformes de réflexions communes entre plusieurs scientifiques et un industriel, et un encadrement éventuel par des instituts techniques ou des instances, permettrait de mieux développer ces partenariats.

3.4 Les risques liés aux produits de stimulation

L'utilisation de produits, que ce soit des produits phytopharmaceutiques ou des matières fertilisantes, présente de fait un risque pour l'environnement, l'utilisateur ou le consommateur. La mise en marché de ces produits utilisables en agriculture nécessite de justifier de leur innocuité, ou du moins de prouver que l'apport bénéfique est largement supérieur aux effets non intentionnels.

3.4.1 Notions sur l'innocuité des produits utilisés en agriculture

Innocuité

L'**innocuité** d'un produit est la recherche d'un niveau de risque acceptable à l'égard de l'Homme (utilisateur et consommateur) et de l'environnement. Par définition, l'idéal recherché étant l'absence totale de risque.

L'évaluation des risques du produit, afin de garantir son innocuité, doit se faire sur :

- la sécurité lors de la production, de la manutention et du stockage ;
- la santé de l'utilisateur ;
- la sécurité du consommateur ;
- la protection de l'environnement (qualité du sol, des eaux et de l'air, préservation des écosystèmes, de la faune et de la flore, etc.) ;
- la protection des agrosystèmes (effets phytotoxiques pour les cultures, animaux au pâturage, qualité des aliments du bétail, etc.).

L'innocuité regroupe ainsi l'évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques.

Toxicologie

La **toxicité** est définie dans le guide aux pétitionnaires pour l'homologation des MFSC (ANSES, 2013) :

- « La toxicité est la capacité d'une substance à causer un effet néfaste à un système biologique tel que : baisse de la survie, de la croissance ou de la reproduction ; cancérogénicité, mutagénicité, tératogénicité ; autres effets préjudiciables par suite d'une perturbation du milieu (ex : perturbation endocrinienne, eutrophisation des eaux, etc.).

On distingue :

- Toxicité aiguë – Toxicité liée à une seule exposition de courte durée et selon un gradient de doses large, y compris des doses largement supérieures aux doses recommandées en utilisation ;
- Toxicité après administrations répétées – Toxicité consécutive à plusieurs expositions de courte durée ;
- Toxicité chronique – Toxicité liée à une exposition continue sur une durée voisine de celle de la vie de l'organisme. »

La **toxicologie** est le fait d'étudier la toxicité d'un produit pour l'Homme, depuis les phases de fabrication du produit jusqu'au consommateur final. Elle est en général évaluée sur des cultures cellulaires animales/humaines ou des animaux (rats, lapins, souris, etc.).

Ecotoxicologie

L'**écotoxicologie** est définie dans le guide aux pétitionnaires pour l'homologation des MFSC (ANSES, 2013) :

- « L'écotoxicologie se préoccupe des effets toxiques des agents chimiques et physiques sur les organismes vivants, notamment les populations et les communautés au sein d'écosystèmes définis.

Elle inclut les modes de transfert de ces agents et leurs interactions avec l'environnement (Truhaut, 1977). »

L'écotoxicologie est donc le fait d'étudier la toxicité d'un produit sur la faune et la flore présentes sur le lieu d'application du produit, que ce soit les cultures adjacentes, les végétaux terrestres, les algues, les poissons, les vers de terre, les crustacés, les rongeurs, ou encore les abeilles. Elle est en général évaluée sur des bioindicateurs représentatifs de l'ensemble de la chaîne trophique.

Evaluation des risques

Quelques définitions

Le risque (éco) toxicologique et sa caractérisation ont été définis à plusieurs reprises par différents chercheurs ou autorités. Sont listées ci-dessous quelques-unes de ces définitions (versions anglaises en Annexe 4).

- EN « Processus consistant à attribuer des ordres de grandeur et des probabilités à des effets néfastes résultant d'activités humaines (ou de catastrophes naturelles) » (Barnthouse & Suter, 1986).
- EN « Processus par lequel on évalue la probabilité que des effets écologiques néfastes peuvent se produire ou se produisent à la suite d'une exposition à un ou plusieurs agents stressants. L'évaluation du risque écotoxicologique fournit un élément essentiel pour la prise de décision environnementale en donnant aux gestionnaires du risque une méthode d'examen des données scientifiques disponibles, ainsi que d'autres facteurs qu'ils doivent prendre en compte (par exemple, sociaux, juridiques, politiques ou économiques) dans la sélection d'un plan d'action.» (U.S. Environmental Protection Agency, 1992).
- Le risque est la « probabilité d'occurrence de l'effet néfaste lié au danger considéré, dans un système biologique donné, en fonction de l'exposition. » (ANSES, 2013).
- EN « La caractérisation du risque écotoxicologique prend en compte tous les outils scientifiques disponibles permettant de caractériser le risque, non seulement en fonction des caractéristiques de danger, mais aussi sur les données d'exposition et des considérations dose-réponse. » (ECETOC, 2014).

L'évaluation du risque (éco) toxicologique peut donc être résumée comme une série de méthodes permettant d'estimer les probabilités et/ou les ordres de grandeur d'effets indésirables résultant de l'apport d'une substance. Dans le cas de la mise en marché de produits utilisables en agriculture, l'évaluation des risques permet de définir si un produit est néfaste ou non pour l'environnement et l'Homme. Le principe de précaution, qui est un élément important dans la démarche de mise en marché des produits utilisables en agriculture, peut alors s'appliquer.

En France, l'évaluation du risque des produits utilisés en agriculture est basée en général sur (1) la caractérisation du danger potentiel des matières premières et contaminants du produit fini, et (2) l'évaluation réelle par des expositions de plusieurs doses du produit vis-à-vis d'une série de bio-indicateurs (animaux ou végétaux). Des valeurs de référence toxicologiques et/ou écotoxicologiques sont établies par les autorités.

Produits classés, REACH et CLP

Certaines substances composant les produits de stimulation entrent dans le cadre de REACH (*Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) (règlement (CE) N° 1907/2006 modifié) et doivent faire l'objet de dépôt d'un dossier auprès de l'ECHA (*European Chemicals Agency*). Ce règlement vise une meilleure connaissance des effets des substances chimiques sur la santé humaine et sur l'environnement pour une gestion efficace des risques liés à l'utilisation des produits.

Un produit est concerné par REACH au travers des substances qu'il contient. Certains produits de stimulation sont donc classés, soit directement par la substance active classée (ex : certaines formes de silice), soit par la présence de co-formulants classés (ex : acidifiants, présence d'oligo-éléments, etc...).

En plus du règlement REACH, certaines substances sont soumises au règlement CLP (*Classification, Labelling, and Packaging*) qui a pour objet d'assurer que les dangers que présentent les substances chimiques soient clairement communiqués aux travailleurs et aux consommateurs de l'Union européenne grâce à la classification et à l'étiquetage des produits chimiques. Le CLP définit des critères et méthodes pour déterminer si un produit présente des dangers physiques, des dangers pour la santé humaine et/ou des dangers pour l'environnement. Si une substance est « classée », l'étiquette du produit contenant cette substance doit clairement informer l'utilisateur par les **phrases de risque** correspondante (ex : irritant pour la peau, toxique pour les organismes aquatiques, etc.).

3.4.2 Evaluation du risque des SDP

Innocuité de la substance

Les SDP possèdent des profils toxicologiques et écotoxicologiques variables, et **l'évaluation de l'innocuité devrait se faire au cas par cas en fonction de la composition.**

Certains SDP mis sur le marché en France ne sont pas classés par le RCE 1272/2008 (règlement sur la mise sur le marché des PPP), ce qui signifie que suite à l'évaluation des risques (éco) toxicologiques, aucune phrase de risque ne leurs sont associés. Il s'agit par exemple de Serenade® (*Bacillus subtilis*), de Stifenia® (extrait de fenugrec), et de Vacciplant® (laminarine).

D'autres SDP sont classés selon le RCE 1272/2008. On peut entre autres citer « (R36/R38 – classification CLP : H319/H315) irritant pour les yeux et la peau » et « (R51 - classification CLP : H411) Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme » pour Bion WG® (ASM – n° d'AMM 9600526), ainsi que « (R53 – classification CLP : H413) peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique » pour LBG-01F34 (phosphite de potassium – n° d'AMM 2100041).

Innocuité de la résistance induite par les SDP

Alors que l'évaluation des risques des substances est bien prise en compte pour les SDP avant la délivrance d'une autorisation pour la mise en marché, l'évaluation des risques liés à la résistance induite (leur mode d'action) n'est pas prise en compte. Par ailleurs, très peu d'études scientifiques ont jusqu'à présent été effectuées sur ce sujet.

Effets sur les interactions symbiotiques

La résistance induite peut entraîner des effets collatéraux sur les relations symbiotiques plantes/micro-organismes. En effet, il a été montré que la nodulation entre le soja et *Bradyrhizobium japonicum* est significativement inhibée par un traitement à l'ASM, non pas par un effet direct sur la croissance de la bactérie, mais très probablement par l'activation des mécanismes de défense qui utilisent des voies de signalisation intracellulaires similaires à celles permettant la symbiose (Faessel, 2008). Or la symbiose est un équilibre complexe entre l'activation et la répression des molécules de défense, et la modification de cete équilibre pourrait provoquer l'altération voire la disparition de la symbiose. Une autre étude a montré que la croissance de soja dans des solutions contenant des quantités croissantes de SA inhibe la formation des nodules (Lian, et al., 2000). De la même manière, la mycorhization entre le soja et *Glomus mosseae* est affectée par l'induction des mécanismes de défense par l'ASM (Faessel, 2008), tout comme l'interaction entre le tournesol et *Glomus mosseae* (Tosi & Zizzerini, 2000).

Ces effets non intentionnels peuvent causer des diminutions de la nutrition des cultures dépendantes des interactions symbiotiques. Une diminution de la teneur en azote a d'ailleurs été observée chez le soja après application d'ASM causant une perturbation de la nodulation (Faessel, 2008).

Effets sur la résistance aux insectes ravageurs

La résistance induite par les produits SDP est souvent dépendante de la voie de l'acide salicylique (SA) ce qui permet une résistance contre les micro-organismes pathogènes. Cependant, la résistance de la plante contre les insectes ravageurs dépend non pas de SA mais de l'acide jasmonique (JA). Plusieurs études ont montré que les voies SA et JA ne sont pas des voies indépendantes, mais forment plutôt un réseau interconnecté complexe conduisant à de fortes interactions. De nombreux résultats suggèrent que ces deux voies de signalisation sont antagonistes, c'est-à-dire qu'une inhibe l'autre.

En induisant les défenses SA-dépendantes, on peut donc légitimement se demander si cela ne rend pas les plantes plus sensibles à d'autres bioagresseurs non ciblés. Deux études ont montré que l'induction de la voie SA réduit la résistance d'*Arabidopsis thaliana* et des tomates vis à vis des chenilles *Spodoptera exigua* (Cipollini, et al., 2004; Thaler, 1999).

Potentiel allergène lié à la résistance induite

Le potentiel allergène des protéines PR produites lors de l'induction de la résistance par un SDP, et présentes dans les fruits ou graines, n'a pas été étudié. Or, on sait que 42% des 440 allergènes d'origine végétale appartiennent à la famille des protéines PR (Malandain & Lavaud, 2004). Par exemple, les protéines Hev b2 (bananes), Pers a1 (avocat), Bev1 (bouleau), Api g1 (céleri), appartiennent à la famille des protéines PR et sont très allergènes (Hoffmann-Sommergruber, 2002).

Aucune étude reliant directement la résistance induite et la présence d'allergènes dans les aliments n'a été réalisée à ce jour. Néanmoins, les processus de défense de la plante induits par les SDP sont également induits par le pathogène dans une culture non traitée par un SDP. Il s'agirait donc de voir si l'accumulation d'allergènes peut être plus importante dans le cas d'une induction par traitement.

3.4.3 Evaluation du risque des biostimulants

Les biostimulants sont définis « par ce qu'ils font plus que par ce qu'ils sont » (Du Jardin, 2012). En conséquence, la nature de ces produits est extrêmement variable (cf. Tableau 2) ce qui implique des profils (éco) toxicologiques très variés. Un des facteurs expliquant le développement de nombreux produits biostimulants dans les dernières années est la politique européenne intégrant des considérations environnementales dans les nouvelles réglementations. La politique européenne sur l'agriculture est donc à la recherche de produits alternatifs ayant un impact moindre sur l'environnement. Or, les biostimulants sont régulièrement considérés comme des produits plus « naturels », moins nocifs pour l'Homme et l'environnement, et ce même s'ils sont de synthèse. Pour autant, il est nécessaire de ne pas généraliser ce point de vue et la démonstration de l'innocuité d'un produit biostimulant doit être prise en considération avant toute mise en marché.

La source principale d'informations concernant la démonstration de l'innocuité des biostimulants n'est pas la littérature scientifique, mais les avis publiés par l'ANSES suite à des demandes d'homologation pour la mise en marché de biostimulants en France.

Biostimulants de type substance

Sont considérés dans cette section les biostimulants ne contenant aucun organisme vivant, mais uniquement des molécules ou complexes de molécules.

Beaucoup de produits biostimulants sont non classés et donc *a priori* à faible risque pour l'environnement et l'Homme. On peut par exemple citer Greenstim® (glycine bêtaïne – n° d'AMM 2100041) et Pheoflore (extrait

d'algues et de vinasse – n° d'AMM Pheoflore). Il s'agit de conclusions provenant des modèles d'évaluation de l'innocuité utilisés à l'heure actuelle.

Toutefois, certains produits biostimulants sont classés en raison de la présence dans leur composition de substances actives entrant dans le cadre de REACH.

L'origine des biostimulants peut parfois susciter des questionnements au sujet de leur innocuité. En effet, les lieux d'extractions peuvent subir des pollutions ou les processus de fabrication peuvent engendrer la présence de résidus nocifs. Par exemple, une pollution accidentelle des sites de ramassage des algues peut provoquer la présence d'HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), molécules toxiques qui peuvent éventuellement se retrouver dans le produit fini. La présence de polluants, tels que des contaminants cationiques (ETM, HAP, radionucléides atmosphériques, etc.), peut aussi être supposée dans les substances humiques puisque ce sont d'excellents complexants. L'utilisation de résidus animaux tels que les résidus de cuir pour la production d'acides aminés soulève également la question de la présence de chrome utilisé lors du tannage.

Néanmoins, chaque produit étant composé de substances de natures et d'origines (y compris géographiques) variables, **il est indispensable de considérer chaque biostimulant au cas par cas en ce qui concerne l'innocuité.**

3.4.4 Evaluation du risque des produits de stimulation (SDP et biostimulant) de type micro-organismes

Les informations concernant les micro-organismes utilisés comme substance active concernent à la fois les SDP et les biostimulants. Nous avons choisi de les traiter ensemble, même si les critères d'évaluation de risque sont différents entre une demande d'homologation d'un produit PPP (pour les revendications SDP) et d'un produit MFSC (pour les revendications biostimulants).

Risque toxicologique

Les produits de stimulation de type micro-organismes ne présentent en règle générale que peu de risques pour l'Homme. Ce sont en effet couramment des bactéries ou champignons présents naturellement dans les sols ou sur les plantes. Néanmoins, en raison des effets potentiellement sensibilisants des micro-organismes, les avis pour l'homologation permettant la mise en marché contenant des micro-organismes vivants imposent à l'industriel d'apposer sur l'étiquette la mention que « les micro-organismes peuvent provoquer des réactions de sensibilisation ».

Par ailleurs, quelques très rares cas d'infections par *Trichoderma harzianum* ont été rapportés chez des personnes immunodéprimées, mais la souche à l'origine de ces effets indésirables n'a pas été clairement identifiée (avis autorisation de mise sur le marché Trianium-P (ANSES, 2009)). De même, l'utilisation sous serre de préparations à base de *Trichoderma harzianum* a été reliée à des toux et des difficultés respiratoires chez les travailleurs.

Risque écotoxicologique

Les micro-organismes représentent un groupe très hétérogène (différents espèces de bactéries et champignons), et **l'évaluation devrait donc se faire au cas par cas**. Toutefois, la plupart des souches microbiennes sont souvent présentes dans les sols ou isolées des plantes donc ont potentiellement peu d'effets écotoxicologiques comparés aux substances conventionnelles. Néanmoins, le côté « naturel » souvent mis en avant n'est pas forcément synonyme d'inoffensif et les tests d'écotoxicité requis par la réglementation sont nécessaires. Le fait d'apporter une importante quantité d'une seule souche de micro-organisme peut perturber un écosystème. Il est donc tout de même important de réaliser des tests d'innocuité. En effet, très peu de données existent dans la littérature scientifique concernant le risque potentiel lié à l'introduction de ces micro-organismes dans un environnement agricole.

Les risques liés à l'utilisation de ces produits vis-à-vis de la microflore (bactéries et champignons) et de la mésofaune (nématodes) du sol sont généralement considérés comme négligeables, en particulier lorsqu'on les compare à l'introduction de matières fertilisantes classiques où des changements dans la composition et la biomasse des micro-organismes du sol sont souvent observés. Néanmoins, si l'utilisation de micro-organismes provoque effectivement des impacts négatifs sur des micro-organismes d'intérêt agronomique présents dans le sol, des conséquences agronomiques et environnementales importantes pourront être observées.

Métabolites microbiens

Les experts qui évaluent les produits contenant des micro-organismes se penchent souvent sur la toxicité des nombreux métabolites produits par ces micro-organismes : antibiotiques, mycotoxines, etc.

Pour exemples, la souche M4 de *Bacillus amyloliquefaciens* produit de la fengycine (biosurfactant), la souche T22 de *Trichoderma harzianum* produit *in vitro* une anthraquinone (HAP) mais aucune information n'est disponible sur la production de ce métabolite *in vivo* (ANSES, 2009).

La production de ces métabolites est très souvent souche-spécifique ce qui empêche la transposition d'informations bibliographiques à la souche évaluée.

Concernant le devenir dans le sol (dégradation, stabilité) des métabolites produits par les micro-organismes, très peu d'études bibliographiques portent sur le sujet et les études de dégradation donnent des résultats différents en fonction du type de sol, des conditions d'incubation et du métabolite considéré. En effet, les paramètres physico-chimiques du sol peuvent fortement influencer la dégradation de ces métabolites. De manière générale, ces métabolites sont biodégradables et sont produits en faible quantité par les micro-organismes. Toutefois, il faut souligner que la durée de dégradation dans le sol pour une même molécule est variable d'un sol à l'autre. Par ailleurs, la toxicité dépend de la dose d'inoculum ainsi que de la concentration à laquelle le potentiel effet délétère est observé.

L'évaluation des risques : le concept QPS

L'EFSA est chargée d'évaluer la sécurité des micro-organismes notifiés dans le cadre des demandes d'autorisation de mise en marché. Un large éventail de micro-organismes et de virus ont été ou sont susceptibles d'être soumis à l'EFSA afin qu'elle évalue leur sécurité via un comité scientifique adoptant une méthodologie d'évaluation des risques : la présomption d'innocuité reconnue ou QPS (*Qualified Presumption of Safety*) (EFSA, 2014).

L'EFSA tient à jour une liste d'agents biologiques, mise à jour annuellement, pour lesquels une évaluation de type QPS peut être appliquée. Dans le groupe de travail d'experts en QPS, l'innocuité d'un groupe de micro-organismes est évaluée en fonction de quatre critères :

- La définition du groupe taxonomique (identité) ;
- Les connaissances disponibles ;
- Les éventuelles inquiétudes en matière de sécurité (pathogénicité) ;
- L'utilisation finale prévue.

Si un groupe défini ne suscite pas d'inquiétudes en matière de sécurité ou si toutes les préoccupations éventuelles ont pu être écartées, l'approche QPS peut s'appliquer et l'inscription de ce groupe sur la liste QPS peut alors être recommandée. Par la suite, lorsqu'un micro-organisme appartenant à ce groupe est notifié à l'EFSA, il n'est plus nécessaire de procéder à l'évaluation complète de son innocuité. Les agents biologiques qui ne sont pas considérés comme adaptés à une approche QPS sont toujours soumis à une évaluation complète de sécurité.

L'approche QPS est utilisée pour certains micro-organismes entrant dans le cadre de cette étude sur les produits de stimulation (EFSA , 2013) :

- Espèces du genre *Bacillus* ;
- Levure œnologiques ;
- Champignons filamenteux (ex : *Trichoderma*, *Fusarium*).

L'approche QPS est intéressante pour le risque toxicologique (exposition humaine). Il reste néanmoins toujours nécessaire d'étudier l'écotoxicologie du micro-organisme. Un pétitionnaire pourrait faire valoir le caractère QPS d'un microorganisme pour justifier de l'absence de risque toxicologique et ne pas fournir de nouvelles études toxicologiques dans un dossier d'homologation d'un produit de stimulation contenant exclusivement cette substance active.

4. Réglementation

La réglementation actuelle sur les intrants agricoles (RCE 1107/2009, RCE 2003/2003, et Code Rural R.253 à R.255) distingue deux grandes catégories séparant les produits de stimulation. Les produits de type SDP sont de par leurs revendications régis par la réglementation des PPP, tandis que les produits de type biostimulants sont régis par celles des MFSC. Il existe toutefois des exceptions, à savoir des biostimulants homologués actuellement comme PPP, et des produits à cheval entre les deux catégories qui ont du mal à trouver leur place dans la réglementation.

La réglementation est plus ou moins harmonisée au niveau européen en ce qui concerne les SDP, mais pour les biostimulants les spécificités nationales guident la mise en marché des produits. Le besoin de clarifier les choses par une réglementation harmonisée est un point essentiel pour permettre le développement de ces produits sur le marché européen et éviter les inégalités existant entre les pays de l'Union Européenne.

Cette section permet dans un premier temps de rappeler les réglementations existant actuellement en France et dans le reste du monde, puis dans un second temps d'évoquer le projet de réglementation harmonisé des MFSC qui englobe les biostimulants.

4.1 Point sur la situation réglementaire actuelle

4.1.1 Produits de type SDP : réglementation sur les produits phytopharmaceutiques (PPP)

L'autorisation des produits phytopharmaceutiques se fait via une double procédure :

- L'approbation de substances actives au niveau européen ;
- L'autorisation de mise sur le marché pour les produits phytopharmaceutiques (spécialités commerciales) au niveau national.

Procédure européenne d'approbation d'une substance active

Au niveau européen, les SDP (qu'ils soient d'origine naturelle ou de synthèse) sont soumis au règlement 1107/2009/CE en application depuis le 14 juin 2011 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE. Ce règlement établit les règles régissant l'autorisation des PPP présentés sous leur forme commerciale ainsi que la mise sur le marché, l'utilisation et le contrôle de ceux-ci à l'intérieur de l'UE.

La procédure d'approbation veut que chaque substance active soit évaluée par les Etats membres et l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (en anglais EFSA²⁹). Les substances actives autorisées sont inscrites dans une liste positive européenne (Règlement d'Exécution (UE) n°540/2011).

Procédure d'approbation

La demande d'approbation d'une substance active est introduite par le producteur de la substance active auprès d'un État membre (EM), dénommé « l'État membre rapporteur ». Pour ce faire, le demandeur doit fournir des informations, sur une ou plusieurs utilisations représentatives pour une culture très répandue d'au moins un PPP contenant la substance, permettant de démontrer que les critères d'approbation de la substance sont respectés. L'Etat membre rapporteur a la charge d'analyser ces données et de soumettre un

²⁹ *European Food Safety Authority*

projet de rapport d'évaluation à la CE et à l'EFSA qui sera transmis aux autres Etats membres et au demandeur.

Sur cette base, l'EFSA, mène une évaluation scientifique en appliquant des critères harmonisés et remet un avis public. La substance ne peut être approuvée que si l'évaluation permet de conclure que celle-ci ne présente pas d'effet nocif inacceptable sur la santé humaine ou animale et n'a pas d'influence inacceptable sur l'environnement.

A l'issue de la procédure d'évaluation du dossier, la CE présente un rapport d'examen et un projet de règlement au Comité Permanent de la Chaîne Alimentaire et la Santé Animale (CPCASA en anglais SCoFCAH³⁰) en tenant compte de l'évaluation de l'EM rapporteur et des conclusions de l'EFSA. Le règlement est ensuite approuvé par vote des Etats membres dans le cadre de ce Comité. L'approbation sera effective à la publication d'un règlement d'exécution modifiant le règlement d'exécution (UE) n°540/2011.

Les catégories de substances

Le règlement CE n°1107/2009 distingue certaines « catégories » de substances, notamment les « substances de base » et les « substances à faible risque ». Ces catégories correspondent à des substances actives qui *a priori* ne présentent pas de risque pour la santé humaine, animale et l'environnement.

D'après l'article 23 du règlement, une **substance de base** est une substance qui doit être anodine pour la santé (substance non préoccupante, sans effet toxique ou perturbateur endocrinien) et dont la destination principale n'est pas d'être utilisée à des fins phytosanitaires. La procédure d'approbation est simplifiée par rapport au régime général et sa validité est illimitée³¹. Cette catégorie de substances a été créée principalement pour le cas de substances déjà évaluées et autorisées en vertu d'autres réglementations, notamment les denrées alimentaires. Il existe trois substances de base approuvées à ce jour (octobre 2014) : l'hydrochloride de chitosan, le saccharose et l'extrait de prêle³².

D'après l'article 22 du même règlement, une substance active est considérée comme une **substance active à faible risque** s'il est prévisible que les produits phytopharmaceutiques contenant cette substance ne présenteront qu'un faible risque pour la santé humaine, la santé animale et l'environnement (substance non classée, non persistante, faible bioconcentration, sans effet perturbateur endocrinien). La substance doit suivre une procédure d'approbation complète et l'approbation doit être renouvelée au bout de 15 ans.

Quels types de dossiers d'approbation pour les produits de stimulation ?

Les substances actives de type SDP qui sont actuellement testées ou commercialisées ont des origines et natures très diverses. Il faut toutefois souligner que l'effet « SDP » d'une substance, même d'origine naturelle, ne garantit pas son innocuité. Ainsi, en fonction des conclusions de l'évaluation, les substances actives de type SDP pourront être considérées soit comme des substances actives « classiques » au sens du règlement, soit comme des « substances à faible risque », soit comme des « substances de base ».

Cas des Micro-organismes à action SDP

³⁰ *Standing Committee on the Food Chain and Animal Health*

³¹ Les substances de base ne suivent pas à la procédure normale d'évaluation : la Commission européenne peut en quelque sorte jouer le rôle d'Etat membre rapporteur et mandate l'EFSA pour collecter les commentaires des Etats membres et les siens. Au final, l'EFSA donne un avis raisonné sur la substance.

³² Les rapports concernant les trois substances de base approuvées, ainsi que la liste des substances dont le dossier est actuellement en attente de conclusion (7 substances), sont disponibles sur la base de données des substances actives de l'UE (en sélectionnant *type > basic substance*) :

http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.selection

Lors de futures demandes d'approbation, certains micro-organismes pourraient être considérés comme « substance à faible risque », ou comme « substance de base ». En particulier, si le micro-organisme est considéré comme denrée alimentaire au sens du RCE n°178/2002, alors ce dernier peut être approuvé comme étant une substance de base (ex : levure de boulanger). Il faut toutefois souligner que les caractéristiques d'un micro-organisme peuvent différer entre différentes souches au sein d'une même espèce. Chaque souche doit être approuvée au sens du RCE n°1107/2009.

Cas des extraits naturels à action SDP

De la même manière, certains extraits d'algues ou de plantes ou bien certaines substances d'origine minérale pourraient être considérés comme « substance à faible risque », ou comme « substance de base ».

Procédure de demande d'autorisation de mise sur le marché du produit

Procédures aux niveaux européen et français

La procédure d'autorisation de mise sur le marché a pour principaux objectifs de vérifier que le produit est composé de substances autorisées, qu'il est efficace et n'exerce pas d'effets inacceptables sur l'environnement, la santé humaine et animale, dans les conditions normales d'utilisation. Elle permet aussi de vérifier les étiquetages et les emballages du produit phytopharmaceutique.

La procédure de demande d'AMM se fait Etat par Etat mais est évaluée zonalement. Le pétitionnaire doit soumettre son dossier à l'autorité compétente de l'Etat membre de son choix. L'évaluation sera menée par cette autorité compétente, en lien avec les autres Etats membres de la zone³³. L'autorité compétente émet un avis sur lequel se baseront les instances décisionnaires de chaque Etat membre de la zone dans lequel une demande de mise en marché a été faite pour prendre leur décision.

En France, c'est la Direction des Produits Réglementés (DPR) au sein de l'ANSES qui évalue les produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et supports de culture. La DPR décide de la recevabilité du dossier de l'entreprise. Puis l'ANSES réalise une évaluation et donne son avis scientifique. L'évaluation est réalisée de manière collective et indépendante, les avis sont validés par un comité d'experts spécialisé, composé d'experts scientifiques externes à l'Agence. L'ANSES émet au final un avis assorti de recommandations d'emploi qui est transmis à la DGAL au sein du MAAF et aux autres ministères. A partir de la réception de l'avis, la DGAL statue sur la décision d'AMM.

³³ La France fait partie de la zone Sud. Les États membres suivants appartiennent à cette zone : Bulgarie, Grèce, Espagne, France, Italie, Chypre, Malte, Portugal.

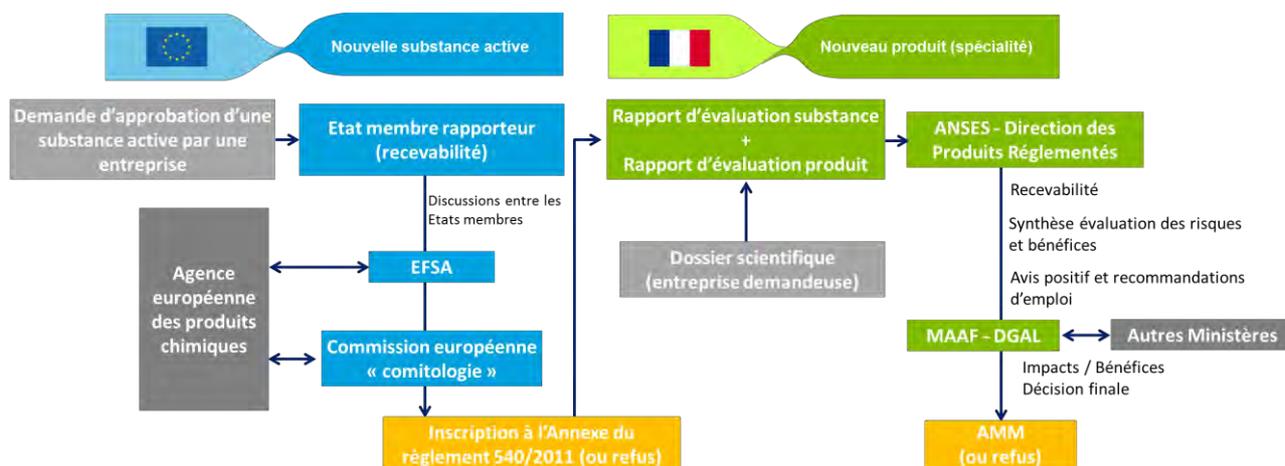


Figure 4 – Procédures d’approbation d’une substance active (au niveau UE) et d’AMM (au niveau français)

Source : Bio by Deloitte

Exemples de cas particuliers existant à l’étranger pour les SDP

Les exemples présentés ci-dessous concernent également les biostimulants. Les dispositifs réglementaires correspondants sont présentés plus en détails dans la section 4.1.2.

L’Espagne et l’Allemagne ont mis en place des systèmes spécifiques pour certaines catégories de produits. Ces systèmes reposent sur une simple notification de mise sur le marché faite aux pouvoirs publics et peuvent concerner des SDP.

- **En Espagne** le dispositif repose sur le décret « ORDEN APA/1470/2007 » pour la régulation de la mise en marché des « autres produits de défense phytosanitaire » (*Otros medios de defensa vegetal*) et en particulier la sous-catégorie des « phytfortifiants » (*fitofortificantes*). Sont entre autres concernés des produits permettant de stimuler la résistance des cultures vis-à-vis d’organismes pathogènes, du moment que ces substances ne sont pas enregistrées comme PPP au niveau européen. On peut donc retrouver des produits revendiquant des effets SDP dans cette catégorie, comme par exemple des extraits d’*Ascophyllum nodosum*.

Un projet est en cours de finalisation et remplacera le système de notification simple par une **autorisation avec dossier évalué** par le MAGRAMA (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*)³⁴.

- **En Allemagne**, il existe dans la loi de protection des plantes (*Pflanzenschutzgesetz*) une catégorie « fortifiants des plantes » (*Pflanzenstärkungsmittel*) qui correspond aux « Substances et mélanges, y compris de micro-organismes, destinés à la santé des plantes si ce ne sont pas des PPP visés à l’article 2 paragraphe 1 du RCE 1107/2009, ou destinés à protéger les plantes des atteintes non parasitaires » (BVL, 2014). Une liste, actualisée tous les mois, notifie les produits qui peuvent être mis sur le marché après demande. On y retrouve des SDP tels que des extraits d’orties ou du silicium.

³⁴ Voir section 4.1.2.

4.1.2 Produits de type biostimulants : réglementation sur les MFSC

La réglementation est non harmonisée au niveau européen ce qui implique que chaque pays possède actuellement ses propres exigences.

De manière générale, quatre systèmes coexistent :

- Le **système déclaratif** est basé sur des normes définies par chaque pays ou par le règlement RCE 2003/2003. Il se réfère à des normes de type DSM pour « Dénomination Spécification Marquage », c'est-à-dire des règles techniques qui existent pour des produits connus définis dans des classes (Dénomination), des Spécifications à respecter, et des règles de mention sur l'étiquette du produit (Marquage). Si un produit correspond aux exigences de la norme, l'industriel déclare sur son étiquette être conforme et peut directement mettre en marché.
- L'**autorisation avec dossier évalué** par une autorité compétente et qui exige des données sur l'efficacité, l'innocuité et une caractérisation détaillée du produit. Après évaluation et acceptation du dossier par une autorité compétente, le produit peut être mis sur le marché pour une durée bien définie.
- La **notification simple** qui consiste à faire enregistrer son produit sans une réelle évaluation (dossier très simple).
- La **reconnaissance mutuelle** régie par le traité fondateur européen de libre circulation des marchandises et défini plus spécifiquement par le RCE 764/2008 qui consiste à autoriser la mise en marché d'un produit s'il est déjà mis en marché dans un autre pays de l'UE.

France

Selon le Code Rural Articles L255-1 à L255-11, la règle, pour la mise en marché des MFSC est l'homologation (**système avec dossier évalué**).

Cependant, les dérogations (**système déclaratif**) sont devenues majoritaires (90 à 95% des produits mis sur le marché actuellement) en utilisant les normes françaises (NF).

D'une manière générale, les produits historiques qui sont bien connus, suivent le système déclaratif. Pour les produits innovants comme les biostimulants, c'est le système d'homologation qui s'applique.

Système d'autorisation avec dossier évalué

L'**homologation** permet de bénéficier d'une mise en marché en France après dépôt d'un dossier auprès de l'ANSES qui rend un avis à l'autorité compétente (MAAF). Le dossier adressé à l'ANSES est établi selon l'arrêté du 21 décembre 1998 et les recommandations du guide au pétitionnaire (ANSES, 2013). Il comporte trois parties :

- Dossier administratif (nom et adresse du producteur, processus de fabrication, système de qualité de la production) ;
- Dossier technique (caractérisation analytique du produit effectuée par des laboratoires accrédités, démonstration de l'efficacité agronomique, démonstration de l'innocuité, etc.) ;
- Formulaire de demande décrivant précisément le produit (Cerfa 11385 #01).

Les dossiers font l'objet d'une évaluation :

- par un collège d'évaluateurs de l'ANSES ;
- par un comité d'experts (scientifiques académiques).

Des compléments d'information sont régulièrement demandés afin de garantir la mise en marché d'un produit efficace et sans impact pour la santé humaine ou l'environnement. L'avis de l'ANSES est ensuite transmis à la DGAL qui prend la décision finale.

Une homologation a une durée de dix ans, mais dans certains cas, une autorisation provisoire de vente peut être accordée pour une durée de quatre ans prolongeable de deux ans au-delà de laquelle le pétitionnaire doit fournir de nouveaux éléments afin d'obtenir une homologation prolongée.

La taxe de dépôt d'un dossier est de 6 000€ (12 000€ pour une famille de produits), mais le coût total du montage d'un dossier d'homologation se situe entre 20 et 50k€ pour l'industriel.

A date du 01/08/2014, 45 produits sur les 116 homologués sont des biostimulants, ce qui représente donc 39% des homologations française de produits MFSC (cf. Tableau 8).

Système déclaratif avec normes

En ce qui concerne le système déclaratif, il existe depuis 2009 un amendement A4 à la **norme NF U 44-551** sur les supports de culture permettant la mise en marché par voie déclarative de supports de culture additionnés de trois types d'additifs agronomiques bien définis. Ces trois additifs sont inclus dans la définition des biostimulants :

- Stimulateur de croissance et/ou du développement ;
- Substances humiques ;
- Micro-organismes.

Cette norme ne peut être appliquée que dans le cas où l'additif agronomique est déjà homologué pour un usage en mélange aux supports de culture. Auparavant, un mélange de biostimulant homologué et d'un support de culture normé devait faire l'objet d'un nouveau dossier d'homologation.

La norme concernant les additifs agronomiques dans les supports de culture a été déclinée pour les engrais et amendements minéraux basiques dans la **norme NF U 44-204**.

On estime qu'il y a actuellement plus de 80 produits « MFSC additionnés de biostimulants » mis en marché via ces deux normes (cf. Tableau 8).

Utilisation détournée des systèmes déclaratifs

Une proportion importante de produits revendiquant des effets biostimulants sont mis en marché de manière irrégulière par le biais des systèmes déclaratifs (normes NF U ou RCE 2003/2003). Ces biostimulants ne respectent pourtant pas :

- Les spécifications des produits entrant dans les normes (nature, origine, mode d'obtention) ;
- Les revendications associées aux dites normes.

On estime à plus de 200 le nombre de produits biostimulants mis en marché aujourd'hui par voie irrégulière d'application des normes (cf. Tableau 8).

Cas particulier : prestations de service

Certaines prestations de service proposées depuis peu font appel à des biostimulants. Il s'agit de l'isolement de micro-organismes d'intérêt agronomique (ex : *Azotobacter*) dans un sol afin de les multiplier spécifiquement en fermenteurs industriels puis d'enrichir le sol de départ avec ces micro-organismes. Cette prestation peut être déclinée sur les sols agricoles ou engazonnés (terrains de golf, espaces verts, terrains de sport, etc.). Cette prestation de service ne revendique la conformité à aucune réglementation bien que certaines interprétations la placent dans le cadre des produits MFSC selon l'article L255-2 du code rural.

Reconnaissance mutuelle

Dans l'UE, lorsqu'un biostimulant a déjà été officiellement autorisé dans un état membre, une procédure allégée peut être utilisée pour la mise en marché en France (ou dans tout autre pays de l'UE). Il s'agit d'un système régi par le traité fondateur européen (Traité de Rome) de libre circulation des marchandises et redéfini plus spécifiquement par le RCE 764/2008.

En France, deux cas de figures coexistent :

- Produit mis en marché dans un pays tiers par voie déclarative nommée « règle technique » dans le RCE 764/2008 ;
- Produit mis en marché dans un pays tiers par autorisation avec dossier évalué.

L'évaluation d'un dossier allégé permet d'obtenir une homologation de dix ans en France. Ce système concerne cependant peu de produits car la procédure est mal définie. On estime à moins de cinq le nombre d'homologations obtenues par reconnaissance mutuelle.

Tableau 8 – Mise en marché des biostimulants en France

A date du 01/08/2014

Système de déclaration	Homologation *	Homologation + NF U additif	NF U ou RCE 2003/2003	/
Nombre de produits concernés	45	>80	>200	2

* : Dont produits homologués via système de reconnaissance mutuelle

Belgique

Système déclaratif

L'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA) est responsable du contrôle des engrais, des amendements du sol et des substrats de culture mis sur le marché en Belgique. Un arrêté royal datant du 28 janvier 2013 définit les nouvelles règles de mise en marché des MFSC. Il s'agit d'un **système déclaratif** dans lequel sont définies précisément plusieurs catégories de produits : engrais (substances nutritives majeures, substances nutritives secondaires, oligo-éléments ou micronutriments), amendements du sol (organiques ou physiques), et substrats de culture (organiques ou inorganiques). Une annexe précise les catégories ainsi que les spécificités et exigences propres à chacune (Belgium.be, 2013).

Dérogations au système déclaratif

Tous les cas particuliers, c'est-à-dire les produits n'entrant pas dans ces catégories, peuvent faire l'objet d'une **dérogation**. Ce type de dossier peut correspondre à un dossier d'homologation en France. C'est le cas des biostimulants. Un dossier de dérogation doit être composé au minimum des éléments suivants :

- Composition exacte du produit ;
- Description du processus de fabrication ;
- Valeurs agronomiques et garanties ;
- Analyses par des laboratoires agréés ;
- Doses et modalités d'apport ;
- Modèle d'étiquette.

D'autres pièces complémentaires sont demandées en fonction de la nature du produit, en particulier des données sur l'innocuité et l'écotoxicologie. L'autorisation de mise en marché vaut pour une durée de cinq ans et le coût d'enregistrement est de 1 500€.

Une liste récente de toutes les dérogations délivrées par le Ministre peut être consultée sur Fytoweb (Fytoweb, 2014). Dans cette liste se trouvent une vingtaine de biostimulants (acides aminés, substances humiques, micro-organismes, extraits d'algues, etc.).

Espagne

Système déclaratif

Un **système déclaratif** pour les produits fertilisants existe sous le nom de « Real decreto 506/2013 ». Ce décret permet de définir les exigences en matière de produits fertilisants sur le territoire espagnol, ainsi qu'une liste de sept catégories de produits (engrais organiques, engrais inorganiques, engrais organo-minéraux, autres engrais et produits spéciaux, amendements calcaires, amendements organiques, autres amendements) (Ministerio de la Presidencia, 2013). Deux types de produits appartenant à la catégorie « produits spéciaux » définie dans le système déclaratif espagnol sont des biostimulants : il s'agit des substances humiques et des acides aminés.

Notification simple

Il existe par ailleurs le décret « ORDEN APA/1470/2007 » pour la régulation de la mise en marché des « autres produits de défense phytosanitaire » (*Otros medios de defensa vegetal*). Sont concernés les produits ayant des effets positifs sur la vigueur et la fortification des plantes, qui permettent de diminuer les effets liés aux stress biotiques et abiotiques, de lutter contre tous les organismes pathogènes, d'améliorer la conservation des produits végétaux, et de détruire les végétaux nuisibles. En revanche, les substances ne doivent pas être déjà déclarées comme PPP au niveau européen (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2007).

Le dossier pour enregistrer le produit selon cette réglementation est un système de **notification simple** pour lequel les exigences sont les suivantes :

- Caractéristiques du produit ;
- Etiquette ;
- Catégorie (phéromones, pièges, ou fortifiants végétaux) ;
- Nom du fabricant ;
- Adresse de production ;
- Nom du responsable de la production en Espagne.

De nombreux produits biostimulants sont enregistrés et mis en marché en Espagne grâce à ce règlement : extraits d'algues ou de plantes, des acides aminés ou autres dérivés protéiques, et des préparations de micro-organismes (Orodea García, 2008).

Un projet est en cours de finalisation et remplacerait le système de notification simple par une **autorisation avec dossier évalué** par le MAGRAMA (*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*). Le coût du dépôt d'un dossier serait de 30 à 100K€ (Arcadia, 2014) pour l'industriel et exigerait dans sa constitution :

- Description des matières premières ;
- Caractéristiques physico-chimiques du produit ;
- Analyse des contaminants ;
- Informations toxicologiques et écotoxicologiques ;
- Essais en champs (sur trois cycles de culture) ;
- Une identification et une caractérisation précise dans le cas de micro-organismes.

Allemagne

Système déclaratif

Le décret du 16.12.2008 relatif à la commercialisation d'engrais, de produits d'amélioration des sols, de substrats de culture et de produits fertilisants (*Düngemittelverordnung – DüMV*) a fait l'objet d'une modification en 2012 en raison des développements techniques et scientifiques sur les matières fertilisantes. C'est un **système déclaratif** proposant une liste de composants principaux pouvant entrer dans la

composition des engrais. On retrouve dans cette liste des substances de type biostimulant : extraits d'algues et de plantes, acides aminés, micro-organismes vivants, etc.

Notification simple

Il existe par ailleurs dans la loi de protection des plantes (*Pflanzenschutzgesetz*) une catégorie « fortifiants des plantes » (*Pflanzenstärkungsmittel*) depuis 1986. Au départ la définition était très large, puis a été restreinte en 2012 : « Substances et mélanges, y compris de micro-organismes, destinés à la santé des plantes si ce ne sont pas des PPP visés à l'article 2 paragraphe 1 du RCE 1107/2009, ou destinés à protéger les plantes des atteintes non parasitaires » (BVL, 2014). Une liste, actualisée tous les mois, notifie les produits qui peuvent être mis sur le marché après demande. S'y retrouvent des biostimulants tels que des substances humiques, des acides aminés, des extraits de plante, etc.

Une **notification simple** est à faire au BVL (*Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*) afin de mettre en marché un produit selon cette loi. La notification, dont la taxe est de 400€, exige des informations assez basiques qui peuvent s'accompagner d'une demande d'informations complémentaires avant accord du BVL :

- Coordonnées du producteur ;
- Composition exacte du produit ;
- Fiche de données de sécurité ;
- Projet d'étiquette ;
- Autres informations.

Italie

Le décret législatif italien sur les fertilisants 75/2010 (Decreto Legislativo, 2010) est un **système déclaratif**. Plusieurs catégories de produits y sont définies, dont les « produits à action spécifique » comprenant une sous-catégorie pour les « biostimulants » (*Biostimolanti*) et une autre pour les « Activateurs » (*Attivatori*) et dans lesquelles on trouve les :

- Hydrolysats protéiques ;
- Extraits liquides ou solides de végétaux et d'algues ;
- Inoculum mycorhiziens ;
- Substances humiques.

Si le produit appartient à une catégorie non existante, une nouvelle dénomination peut être ajoutée dans le décret après soumission d'un dossier technique comprenant les exigences suivantes :

- Procédés de fabrication ;
- Matières premières ;
- Composition et caractérisation physico-chimique ;
- Présence d'éléments traces métalliques (ETM) et micro-organismes pathogènes ;
- Contrôle qualité de production ;
- Fiche de données de sécurité ;
- Essais de toxicité et écotoxicité ;
- Informations agronomiques.

Le montage d'un tel dossier coûte entre 30 et 50 k€ (Arcadia, 2014). Une telle démarche ne protège pas l'industriel à l'initiative du dossier, car après inscription d'une nouvelle dénomination, tous les industriels peuvent utiliser la nouvelle catégorie pour leur mise en marché.

Autres pays

Aux USA, la mise en marché des matières fertilisantes se fait au niveau de chaque état car il n'existe pas de loi commune au niveau fédéral. Il s'agit très souvent de notifications simples avec des dossiers comprenant des exigences assez faibles.

En Hongrie et au Brésil, le système avec dossier évalué est très proche des exigences du système d'homologation français.

Synthèse

La description de ces processus nationaux de réglementations actuelles permet de distinguer plusieurs niveaux d'exigences (cf. Tableau 9) ; la France étant au niveau européen un des pays pour lesquels la mise en marché d'un produit biostimulant requiert le plus de données (composition, efficacité, innocuité).

Tableau 9 – Résumé des réglementations et décrets concernant la mise en marché des produits fertilisants utilisés dans plusieurs pays européens

Pays	Système déclaratif	Notification simple	Autorisation avec dossier évalué
France	Normes NF U et RCE 2003/2003		Homologation ANSES
Espagne	Décret royal 506/2013	ORDEN APA/1470/2007	
Belgique	Arrêté royal 28 janvier 2013		Dérogations à l'arrêté royal
Italie	Décret législatif 75/2010		
Allemagne	DüMV 2012	<i>Pflanzenstärkungsmittel</i> 2012	

4.2 Evolutions réglementaires à venir

4.2.1 Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt

L'objectif de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt est « d'abord d'énoncer les orientations de long terme, de réaffirmer la nécessité des outils de gestion, de régulation, et d'organisation en les confortant ou les renforçant. (...) et surtout que l'agriculture, l'alimentation et la forêt soient reconnues à l'avenir comme une composante économique, sociale et territoriale essentielle à l'équilibre de notre pays. » (Exposé des motifs à l'Assemblée Nationale le 13 novembre 2013)

La loi a été publiée au Journal officiel du 14 octobre 2014. Voici les principaux aspects ayant un lien avec les produits de stimulation :

- L'article premier indique que la politique conduite par l'Etat favorise les systèmes de production agroécologiques et qui soutient le développement du biocontrôle.
- Les articles 50 et 53 comprennent des dispositions en faveur du biocontrôle et de la maîtrise des PPP :
 - Des mesures pour favoriser la mise sur le marché des produits de biocontrôle
 - Des mesures pour faciliter l'usage des produits de biocontrôle
 - Des mesures pour renforcer le conseil et l'inscrire dans le cadre de la mise en œuvre de la lutte intégrée
- L'article 51 confie à l'ANSES les missions relatives à la délivrance des autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et des matières fertilisantes, qui sont jusqu'à présent délivrées par la DGAL, rattachée au MAAF.

4.2.2 Le projet d'harmonisation européenne de la réglementation des MFSC

En 2009, lors de sa présidence de la Commission Européenne, la France a engagé une réflexion sur l'harmonisation des législations européennes pour les MFSC. Depuis cette date, différents groupes de travail au sein de la CE (dont le *Fertilisers Working Group*³⁵) ont réfléchi à un projet de réglementation harmonisée. Ce projet a pour objectif, d'une part, d'assurer la libre circulation de tous les MFSC dans l'UE et, d'autre part, de soutenir la compétitivité des différentes industries tout en assurant la maîtrise des risques pour la santé humaine et l'environnement.

Une réglementation en deux systèmes

A ce jour, aucun projet de texte n'est disponible. Néanmoins, d'après un récent rapport pour la CE (Arcadia, 2014), les documents présents en accès libre sur le site du *Fertilisers Working Group*, et nos échanges avec la DG Entreprise, les discussions portent aujourd'hui sur une coexistence de deux systèmes réglementaires :

- Un **système déclaratif** pour :
 - Les engrais minéraux, organiques et organo-minéraux
 - Les amendements minéraux basiques, organiques et inorganiques
 - Les supports de culture

- Un **système de notification avec dossier détaillé potentiellement évalué après le démarrage de la mise en marché** pour :
 - Les biostimulants
 - Les additifs agronomiques (chélatants/complexants, inhibiteurs d'uréase et de nitrification)

Contenu du dossier de notification

Selon les documents disponibles, le dossier de notification dans le cas des biostimulants devrait contenir des informations proches de celles demandées actuellement en France pour un dossier d'homologation MFSC :

- Nom du produit ;
- Identification et caractérisation de la substance, y compris propriétés biologiques et physico-chimiques ;
- Substances actives (si nécessaire, exprimées en termes généraux par exemple « extrait de plante ») ;
- Modes d'actions ;
- Revendications ;
- Absence de contaminants ;
- Processus de fabrication, description du contrôle qualité, méthodes d'analyse ;
- Toxicologie et Ecotoxicologie ;
- Devenir de la substance dans la plante et l'environnement ;
- Démonstration de l'efficacité agronomique.

Démonstration de l'innocuité

D'après le rapport (Arcadia, 2014), en raison de la nature extrêmement variable des substances, la démonstration de l'innocuité (humaine et environnementale) se fera selon une approche en trois niveaux en fonction du niveau de risque : niveaux 1, 2, 3 où le niveau 3 est le plus exigeant car le niveau de risque est

³⁵ Rapports disponibles sur le site :

<http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=1320>

le plus grand. Les tests définis pour chaque niveau seraient obligatoires pour tous les produits, sauf certains pour lesquels l'argumentation serait possible.

Les pétitionnaires seront encouragés à utiliser des données d'autres processus réglementaires européens (ex : REACH) et à partager leurs données pour limiter les coûts et l'expérimentation animale.

Evaluation des dossiers

Le dossier est réceptionné par une agence de l'UE (très probablement l'ECHA (EBIC Workshop 09/2014, 2014)) vérifiant que celui-ci est bien complet et que les données sont de qualité. L'agence délivre alors au pétitionnaire un numéro d'enregistrement et la mise en marché peut démarrer.

L'évaluation du dossier a pour objectif de vérifier la description de la substance, les données de sécurité et la justification du niveau de risque proposé. Il est important de signaler que seuls 30% des dossiers de niveau 1 seront évalués, alors que 100% des dossiers de niveaux 2 et 3 seront évalués. La détermination du niveau de risque se fera par le pétitionnaire sur la base des informations à sa disposition, notamment les informations générées par d'autres cadres réglementaires comme REACH.

Trois types de conclusions peuvent être donnés par l'agence évaluatrice :

- Informations suffisantes et aucune action administrative
- Demande d'informations complémentaires sans suspension de la mise en marché
- Annulation de l'enregistrement en cas de lacunes ou défaillances dans le dossier.

Chaque état membre peut néanmoins à n'importe quel moment après l'enregistrement d'une substance demander le dossier complet pour l'examiner. Les agences de l'Etat Membre transmettent ensuite leurs conclusions à l'Agence de l'UE qui rédige ensuite son propre avis soumis à la CE. La CE peut alors, sur la base de cet avis, retirer l'autorisation de mise en marché.

Il est important de rappeler que les informations décrites ci-dessus n'ont pas encore été rédigées formellement dans un texte officiel, qu'il s'agit des résultats de nombreuses discussions qui peuvent encore être modifiés avant la présentation d'un projet.

5. Poids économique et stratégie de développement

Cette section vise à présenter le marché des produits de stimulation, en particulier les marchés français et européens. Dans un premier temps, après un bref rappel des produits disponibles sur le marché français, sont présentés les metteurs en marché présents en France ainsi que les secteurs agricoles concernés. Dans un second temps, la dynamique actuelle du marché est évoquée, avec en particulier des données sur les parts de marché mondiales, les récentes acquisitions françaises d'entreprises innovantes du secteur, et les perspectives de développement du marché en France et en Europe.

5.1 Présentation du marché

Les produits disponibles

Produits SDP sur le marché français

Le Tableau 10 compile les produits disponibles sur le marché français ayant un effet SDP.

A ce jour, seules trois substances (quatre produits) sont des SDP stricts, c'est-à-dire des substances qui agissent uniquement à travers une stimulation de défenses de la plante. Il s'agit de la laminarine, d'un extrait de fenugrec, et d'un virus atténué (virus ZYMV-WK).

Toutefois, il existe sept autres substances qui ont, à des degrés divers, des effets SDP :

- L'acibenzolar-S-méthyl est une substance de synthèse, analogue de l'acide salicylique, homologuée en France depuis de nombreuses années. L'étude de son mode d'action SDP a fait l'objet de très nombreuses publications scientifiques. Cette substance présente dans de rares cas des effets directs sur les phytopathogènes. Pour cette substance, la stimulation des défenses de la plante est très probablement le mode d'action prioritaire.
- Le *Bacillus subtilis* QST 713, le *Bacillus pumilus* QST 2808 et le *Pseudomonas chlororaphis* MA 342 sont des bactéries qui agissent à travers une action fongistatique et fongitoxique mais également à travers une stimulation des défenses de la plante.
- Le prohexadione est une substance de synthèse, initialement utilisée comme régulateur de croissance (inhibiteur de la biosynthèse des gibbérellines), mais qui présente également des effets SDP.
- Le fosétyl d'aluminium est un fongicide très répandu en France (environ une cinquantaine de produits) qui agit par un effet biocide direct mais également à travers une stimulation des défenses de la plante.
- Enfin, le phosphonate de potassium est un composé minéral fongicide qui présente également une action de type stimulation de défenses.

Il apparaît donc clairement que l'offre de produits SDP en France est assez faible comparativement à la palette assez large de substances ayant fait l'objet de travaux scientifiques (Tableau 2).

La plupart de ces substances SDP sont commercialisées seules mais préconisées dans des programmes de traitement combinant d'autres produits phytopharmaceutiques. Toutefois, la formulation Bion MX associe de l'acibenzolar-S-méthyl au méfénoxam (un fongicide) et certaines formulations de fosétyl d'aluminium sont également associées à des fongicides.

Il est à noter qu'il existe des produits vendus en France revendiquant des effets SDP, mais ne bénéficiant pas d'autorisation de mise en marché comme produit phytopharmaceutique (phosphonates/phosphites, extrait de micro-organismes, acides aminés, etc.). Il est relativement difficile d'effectuer un recensement exhaustif de ces produits.

Produits biostimulants sur le marché français

Un recensement non exhaustif permet d'estimer le nombre de produits biostimulants sur le marché français à plus de 300 produits³⁶. La nature de ces produits permet de les classer en neuf grandes catégories :

- Les extraits bruts d'algues ;
- Les extraits bruts de plantes ;
- Les extraits bruts de micro-organismes ;
- Les micro-organismes ;
- Les acides aminés ;
- Les substances humiques ou assimilées (ex : lignosulfonates) ;
- Les substances minérales non nutritives (ex : silicium) ;
- Les autres biomolécules purifiées (ex : vitamines, antioxydants) ;
- Les substances de synthèse xénobiotiques.

Les extraits d'algues représentent la catégorie la plus fournie en nombre de produits (plus de 30%), et c'est très probablement la catégorie de biostimulants la plus ancienne sur le marché français. Elle est suivie des acides aminés et des substances humiques et assimilés (environ 15 % chacun). Les catégories micro-organismes et extraits bruts de micro-organismes ont vu l'offre en produits se développer de manière exponentielle ces dernières années.

Une enquête EBIC (EBIC, 2013) indique que le développement d'un produit biostimulant prend entre deux et cinq ans et qu'une faible proportion (10%) de ces produits peut faire l'objet d'un brevet.

La majorité de ces substances de type biostimulant est proposée dans des formulations les associant à des matières fertilisantes ou supports de cultures « classiques » : éléments minéraux majeurs, oligo-éléments, supports de culture ou amendements minéraux basiques. On peut mentionner deux raisons principales expliquant ce mode de mise à disposition des biostimulants :

- D'un point de vue réglementaire, l'ajout de matières fertilisantes permet de « légitimer » à tort un positionnement réglementaire
- D'un point de vue marketing, l'ajout d'un biostimulant permet de renouveler le discours commercial d'une gamme de matières fertilisantes « classiques ».

³⁶ Ce recensement inclut le produit PEL101GV contenant comme substance active l' Heptamaloxyglucane (usage : protection de la vigne contre le gel) homologué comme produits phytopharmaceutiques sous le numéro 2070108.

Tableau 10 – Liste des produits SDP disponibles sur le marché français en 2014

Source : e-phy ; Synthèse réalisée par RITTMO Agroenvironnement

Substances	Produits	N° d'homologation	Usages
SDP strict			
Laminarine	Vacciplant Fruits et Légumes (= Iodus 2 Cultures spécialisées)	2080019	Fraisier, laitue, poirier, pommier, cognassier, nashi, vigne
	Vacciplant Céréales (=Iodus 2 Céréales)	2020021	Avoine, blé, orge, seigle, triticales
Extrait de fenugrec	Stifénia	2050030	Vigne
Virus atténué ZYMV-WK	Agroguard-Z	2060125	Concombre, courgette, melon
Substances à effet complexe dont partiellement effet SDP			
Acibenzolar-S-méthyl	Bion 50 WG (= Boost = Inssimo)	9600526	Banancier, blé, kiwi, tomate, plantes ornementales
	Bion MX (ASM associé à un fongicide classique : méfénoxam)	9800320	Epinard, tabac, plantes à parfum, aromatiques médicinales et condimentaires
<i>Bacillus subtilis</i> QST 713	Serenade Max	2100162	Avocatier, banancier, fruits à noyau, fruits à pépins, manguier, noyer, petits fruits, cucurbitacées, laitue, tomate, cultures florales, cultures ornementales, vigne, plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condimentaires, champignon de couches
	Serenade Jardin	2110040	Avocatier, banancier, fruits à noyau, fruits à pépins, manguier, noyer, petits fruits, cucurbitacées, laitue, tomate, cultures florales, cultures ornementales, vigne, plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condimentaires
	Serenade Biofongicide	2050001	Vigne, champignon de couches
<i>Bacillus pumilus</i> QST 2808	Ballad	2140160	Crucifères oléagineuses
Prohexadione	Regalis	2010632	Fruits à pépins
	Royalis	2080001	
	Rogule 10 WG	2100243	
	Rivalis	2120178	
	Garelis	2130169	
Fosétyl-aluminium	Alial	2130201	Agrumes, ananas, arbres et arbustes d'ornements, chicorée, fraisier, houblon, melon, poirier, pommier, cognassier
	Aliette EV	9600386	Agrumes, ananas, arbres et arbustes d'ornements, fraisier, gazon, poirier, pommier, cognassier
	Aliette Express J	9800215	Agrumes, chicorée, fraisier, poirier, pommier, cognassier
	Aliette Express Jardin	2130240	Agrumes, ananas, arbres et arbustes d'ornements, fraisier, gazon, poirier, pommier, cognassier
	Aliette Flash	9600025	Agrumes, ananas, arbres et arbustes d'ornements, chicorée, fraisier, houblon, melon, poirier, pommier, cognassier
	Près de 50 produits homologués	-	-
Phosphonate de potassium	LBG-01F34	2100041	Artichaut, chicorée, cucurbitacées, laitue, poivron, tomate, vigne
	Etonan	2100060	
	Pertinan	2100059	

Substances	Produits	N° d'homologation	Usages
<i>Pseudomonas chloroaphis</i> souche MA 342	Cerall	2080056	Blé, seigle, triticales
Stimulateur de vitalité*			
<i>Trichoderma harzianum</i>	Trianum-G	2090168	Cultures légumières, cultures florales et plantes vertes
	Trianum-P	2090169	Cultures légumières, cultures florales et plantes vertes
(*) La catégorie des stimulateurs de vitalité n'existe plus dans le catalogue e-phy des produits phytopharmaceutiques autorisés en France. Les produits Trianum-G et Trianum-P sont désormais vendus sous la dénomination SDN.			

Principaux metteurs en marché en France

SDP

A l'exception de l'extrait de fenugrec mis en marché par une PME (SOFT, Société Occitane de Fabrication et de Technologies), les autres SDP sont mis en marché en France par des firmes multinationales de l'agrochimie (Syngenta, Bayer, BASF, De Sangosse, Arysta-Goëmar).

En France, ces metteurs en marché peuvent être représentés pour leurs activités phytopharmaceutiques par une organisation professionnelle, l'UIPP (Union des Industries de la Protection des Plantes), et, plus spécifiquement pour leur activité biocontrôle par IBMA France (*International Biocontrol Manufacturers Association*), association professionnelle des fabricants de produits de biocontrôle en France. Ces deux associations ont leurs entités homologues à l'échelle européenne : ECPA (*European Crop Protection Association*) pour la première, IBMA Global pour la seconde. L'UIPP compte 21 membres, IBMA France 36 (Tableau 11).

Biostimulants

Les metteurs en marché de biostimulants sont plus de 45 en France (source RITTMO) et plus de 200-250 en Europe (Arcadia, 2014). Il est possible de les classer en 5 groupes :

- Les start-up (ex : Elicityl, Ecobios, ...)
- Les firmes issues du monde des matières fertilisantes et supports de culture (ex : groupe Roullier, Premier Tech, groupe Fraysinnet)
- Les firmes issues du monde des produits phytopharmaceutiques (ex : Arysta, BASF-Beckerunderwood)
- Les firmes issues du monde de l'agroalimentaire (ex : Lallemand Plant Care, Lesaffre-Agrauxine)
- Les firmes issues du monde industriel (ex : Borregaard)

En Europe, les metteurs en marché de biostimulants sont en majorité des PME (environ 90%). Environ 75% de ces entreprises sont situées en zones rurales ou dans des villes de petites tailles. Ce secteur employait environ 2 000 personnes en Europe en 2013, dont 10 à 33% de personnel dédié aux activités de Recherche et Développement (R&D). Ces entreprises investissent entre 3 et 8 % de leur chiffre d'affaire annuel dans des activités de R&D (Figure 5) et entretiennent environ 150 collaborations avec des universités ou instituts de recherche publics dans le monde (EBIC, 2013; Arcadia, 2014).

Tableau 11 – Adhérents France de l'IBMA et d'EBIC

IBMA France	EBIC France
<p>Académie du Biocontrôle et de la Protection Biologique Intégrée* Action Pin ActiPhyt * Agrauxine Agrisnergie Agro-levures Akinao * Andermatt France BASF Bayer Becitizen * Belchim Biobest Biotop Certis COMPO De Sangosse GIE La Croix Goëmar Iftech Intervention * Jade * Koppert Lallemand Plant Care Natural Plant Protection (NPP) Novozymes Philagro SBM Staphyt * Sumiagro SylvanBio * Syngenta Total * Vegenov * Végépolys * Vivagro</p>	<p>Acadian Seaplants AgroNutrition Arysta BioAtlantis Biovert Borregaard CCS Aosta Goëmar IAB Italtollina Tradecorp Ithech (Lallemand) Koppert Biological Systems PRP Technologies Roullier SDP Sofrapar Xurian Environnement</p>
<p>(*) : Bureaux d'études ou stations d'expérimentation</p>	

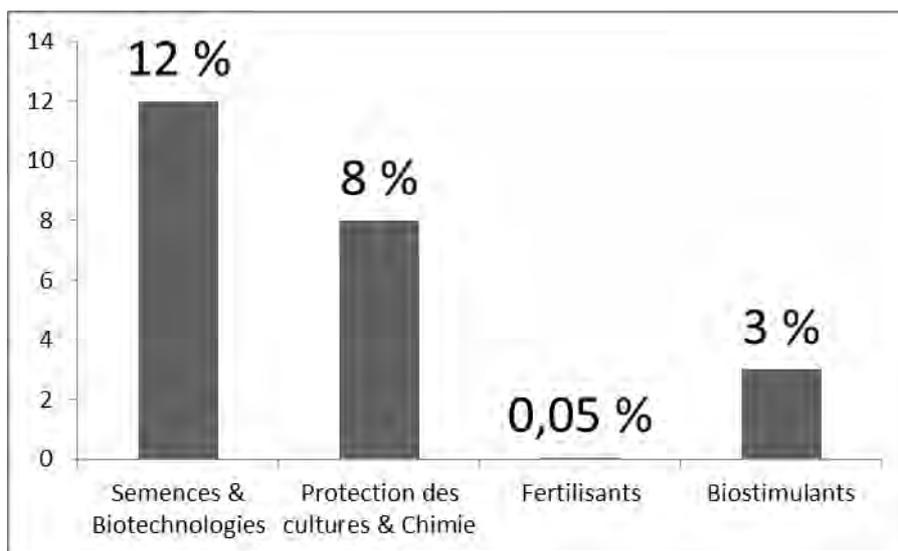


Figure 5 – Investissements en R&D en % du chiffre d'affaire

Sources : AMIC Global ; USDA "Research investments and Market structure in the food processing, agricultural input and biofuel industries worldwide" ; EBIC "2013 Overview of the European biostimulant market" ; IFA ; Valagro.

Figure adaptée de (Fertilizer Focus, 2014).

Le groupe Roullier, qui est un acteur français important dans le domaine de la fertilisation « classique » mais également dans le domaine des biostimulants, a annoncé le démarrage en avril 2014 de la construction de son nouveau centre de R&D à St Malo. A terme, ce centre devrait accueillir 200 chercheurs et couvrir 8000 m² dont 800 m² de serres.

En France, les producteurs de biostimulants sont représentés par les organisations professionnelles des fertilisants. Il s'agit de l'UNIFA (Union des Industries de la Fertilisation) qui regroupe les producteurs d'engrais et d'amendements minéraux basiques, de l'UPJ (Union Protection Jardins et espaces verts) qui regroupe les fabricants de produits destinés aux jardiniers amateurs ou aux professionnels des espaces publics, ou de la CAS (Chambre Syndicale des Améliorants Organiques et Supports de Culture) qui regroupe les producteurs d'amendements et d'engrais et de supports de culture.

En Europe, ces producteurs ont créé en juin 2011 une organisation spécifiquement dédiée aux biostimulants. Il s'agit de l'EBIC (*European biostimulants Industry Council*) qui interagit activement avec la Commission Européenne sur le projet de réglementations harmonisées. A sa création, EBIC comptait 10 adhérents ; elle compte aujourd'hui plus de 40 adhérents et dispose d'une section France (Tableau 11). Parallèlement à la création de l'EBIC, les producteurs américains ont créé en 2011 la *biostimulant Coalition* qui compte 12 membres, et les brésiliens d'Abisolo (Association Brésilienne des Industries Technologiques en Nutrition Végétale) ont créé un groupe de travail sur les biostimulants pour développer ce marché.

Les filières végétales concernées

SDP

Les premiers SDP ayant obtenu une homologation en France l'ont été sur blé : il s'agit de l'ASM (Bion, 1999) et de la Laminarine (Iodus40, 2002). Depuis, l'offre SDP en grandes cultures n'a quasiment pas évolué. Les dernières homologations de produits SDP concernent les cultures spécialisées : viticulture (*Bacillus subtilis* QST 713, phosphonate de potassium) et arboriculture (*Bacillus subtilis* QST 713, laminarine).

Bacillus subtilis QST 713 et l'extrait de fenugrec sont des SDP utilisables en agriculture biologique. Par ailleurs, la laminarine a très récemment (mai 2014) obtenu son enregistrement dans l'annexe II du règlement européen de l'agriculture biologique.

Bacillus subtilis QST 713, la laminarine, ainsi que le fosétyl d'aluminium disposent d'une mention « Jardin » sous des formulations spécifiques (Serenade Jardin, Aliette Express Jardin) permettant d'être commercialisés aux jardiniers amateurs. Ce marché grand public est d'autant plus demandeur de solutions alternatives que la récente loi n°2014-110 du 6 février 2014 (dite loi Labbé) interdira l'utilisation par un amateur de produits phytopharmaceutiques à échéance 2020, à l'exception des produits de biocontrôle et des produits utilisables en agriculture biologique.

Cette échéance pourrait même être plus rapide que 2020 pour les espaces verts des collectivités (écoles, jardins publics, etc.). En effet, à l'occasion de l'examen du projet de loi relatif à la biodiversité par la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale, Ségolène Royal a fait adopter trois mesures visant à lutter contre les produits phytopharmaceutiques dont l'anticipation de leur suppression pour l'entretien des espaces publics au 1er mai 2016 (Assemblée Nationale, 26 mars 2014; Royal, 26 juin 2014).

Biostimulants

Historiquement, les biostimulants ont été commercialisés en Europe sur des cultures à haute valeur ajoutée : arboriculture, viticulture, maraîchage, horticulture.

Ces dernières années, le marché des cultures spécialisées ont été confrontés à une baisse de prix et une concurrence d'autres régions productrices dans le monde. Inversement, la volatilité des prix des grandes cultures ont transformé ces cultures à faible valeur ajoutée en culture à forte valeur ajoutée (EBIC, 2013). En conséquence, le développement des biostimulants destinés aux grandes cultures s'est accéléré, notamment avec des spécialités stimulant la teneur en protéines du blé ou améliorant l'installation de la plantule en début de culture (effet starter).

Le secteur du traitement de semences s'intéresse également aux solutions proposées par les biostimulants. L'apport de biostimulants en contact direct avec les semences permet en effet de cibler précisément le lieu d'action et de favoriser une meilleure germination.

5.2 Dynamique actuelle du marché

Le marché en France et en Europe

SDP

Il n'existe pas de données spécifiques sur la taille du marché des SDP en France ou en Europe.

Néanmoins, le marché du biocontrôle est estimé à 1,6 milliards d'euros dans le monde (soit 3% du marché des produits phytopharmaceutiques), 550 millions d'euros en Europe et 100 millions d'euros en France (environ 5% du marché des produits phytopharmaceutiques) (IBMA, 2014). Les produits de biocontrôle sont classifiés en quatre catégories : les micro-organismes (32%), les macro-organismes (31%), les substances naturelles (25%) et les médiateurs chimiques (12%) (IBMA, 2014). On retrouve les produits SDP dans les catégories micro-organismes et substances naturelles. Toutefois des substances présentant des effets SDP ne rentrent pas dans la définition actuelle du biocontrôle (DGAL, 2012) : l'acibenzolar-S-méthyl, le fosétyl d'aluminium, et le phosphonate de potassium.

Biostimulants

En Europe, le marché des biostimulants est estimé à environ 500 millions d'euros, avec près de 3 millions d'hectares traités (EBIC, 2013).

Globalement, le marché mondial des intrants utilisés en production végétale est estimé à 150 milliards d'euros. Les biostimulants représentent environ 0,6% de ce marché (Figure 6) (Leymonie, 2013). Le marché mondial des biostimulants est donc estimé à environ 1 milliard d'euros en 2013 (Cox & Wong, 2013; Leymonie, 2013).

En France, le marché est encore assez peu concurrentiel et n'est pas encore mature par rapport aux autres pays européens, notamment en raison de la réglementation qui tend à ralentir la mise en marché des produits biostimulants innovants. Néanmoins, c'est un marché qui évolue de plus en plus car de nombreux metteurs en marché s'y intéressent et de nouvelles gammes de produits arrivent tous les ans.

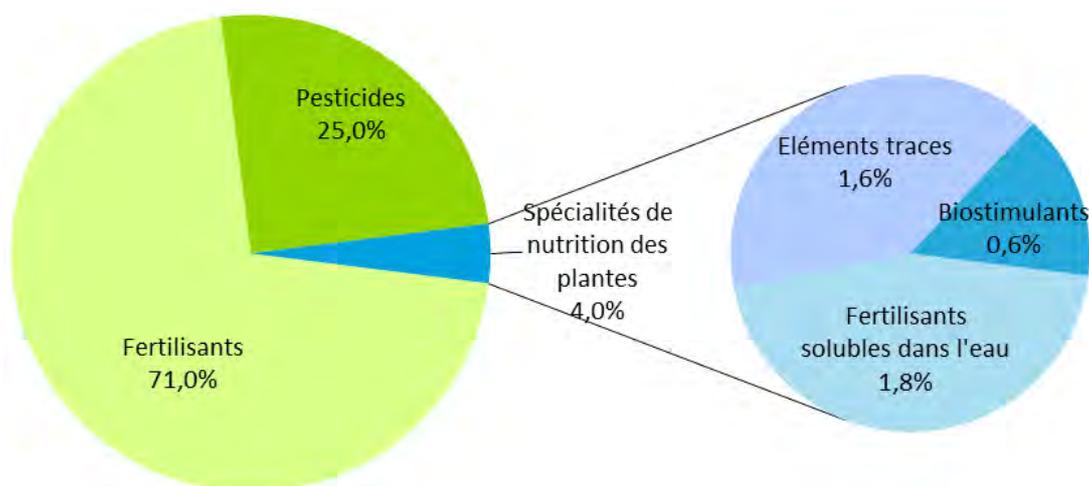


Figure 6 – Marché mondial des intrants utilisés en production végétale

Source : New Ag, 2010

Biointrants

Lorsque les statistiques ne distinguent pas le biocontrôle et les biostimulants, il est alors évoqué les biointrants qui englobent l'ensemble des intrants d'origine biologique dans le sens de « non synthétique » (cf. définition en section 2.1.3). En France, 45% des sociétés de biointrants sont actives à la fois sur le

biocontrôle et sur les biostimulants. En termes d'implantation géographiques des sièges de ces sociétés de biointrants, la France se classe en seconde position (20%) derrière l'Espagne (31%) (IBMA, 2014).

Au niveau mondial, le marché des biointrants est estimé à 3 milliards de dollars. Ce marché se répartit pour environ 40% en Amérique du Nord, 25% en Europe, 20% en Asie et 10% en Amérique latine. L'Amérique latine est un marché en pleine évolution et qui s'intéresse beaucoup aux biointrants pouvant être produits à partir de ressources locales. Selon la banque d'investissement Piper et Jaffray, ces biointrants sont l'un des marchés les plus attractifs dans le domaine des intrants en productions végétales (Cox & Wong, 2013).

Les mouvements sur le marché : Fusions, acquisition et création d'entreprises

Le paysage des metteurs en marché de biostimulants et de SDP est en train d'évoluer : il s'agissait à l'origine de petites structures qui tendent à être absorbées par de grands groupes multinationaux.

Le Tableau 12 ci-dessous présente quelques exemples d'acquisitions récentes. Parmi les acquéreurs de sociétés développant des biostimulants ou des SDP, on retrouve :

- Des firmes issues de l'industrie phytopharmaceutique (Bayer, BASF, Arysta Lifescience, Monsanto, etc.) qui cherchent à renouveler leurs portefeuilles de produits, tout en diversifiant leurs activités vers de nouveaux secteurs en pleine croissance.
- Des firmes issues du domaine de l'agroalimentaire (Lallemand, Lesaffre) qui cherchent à valoriser les technologies développées dans leurs autres secteurs d'activités (agroalimentaire, probiotiques, etc.).

On peut noter l'absence de firmes issues du monde des fertilisants parmi les acquéreurs. En outre, l'acquisition de sociétés spécialisées dans le domaine des produits de stimulation devraient se poursuivre à l'avenir (Arcadia, 2014).

En dehors de ces acquisitions, des alliances se sont formées ces dernières années afin de combiner les savoirs respectifs de chaque firme pour la recherche et le développement de nouvelles substances. Ces alliances sont néanmoins non pérennes, comme le démontrent les exemples d'AgraQuest (alliance avec BASF en 2009 puis avec DuPont en 2011) et de Novozymes (alliance avec Syngenta en 2012 puis avec Monsanto en 2013) (Arcadia, 2014).

Tableau 12 – Principales acquisitions de sociétés produisant des produits de stimulation par des firmes multinationales

Sources : Arcadia (2014) et RITMO Agroenvironnement (09/2014)

Date	Sociétés	Domaine d'activité	Firmes acquéreuses	Prix d'acquisition
2012	Beckerunderwood	biostimulant	BASF	1,02 milliard de \$
2012	ITHEC	biostimulant	Lallemand	/
2012	Agraquest	SDP	Bayer	500 million de \$
2013	Agradis	biostimulant/SDP	Monsanto	/
2013	ChileAgro Solutions	biostimulant/SDP	Makhteshim	/
2014	Agrolevures et dérivées	biostimulant/SDP	Lesaffre	/
2014	Agrauxine	biostimulant	Lesaffre	/
2014	Goëmar	biostimulant/SDP	Arysta Lifescience	/
2014	AmegA Sciences	biostimulant	ICL	

5.3 Perspectives de développement

La population mondiale est aujourd'hui estimée à plus de 7,2 milliards et devrait atteindre 8,2 à 8,3 milliards en 2030. Face à cet accroissement de la population, la demande en produits de consommation – et en particulier ceux issus de l'agriculture – augmente aussi fortement. Cependant, l'agriculture mondiale repousse déjà ses propres limites. Les besoins en terres agricoles, en eau, et en nutriments limitent l'accroissement de l'agriculture, d'autant plus que des effets néfastes sur l'environnement et les populations accompagnent l'agriculture intensive. De nouveaux outils sont donc nécessaires pour continuer à produire plus avec moins : moins de terres cultivables non dégradées, moins d'eau, moins d'engrais ou de produits phytopharmaceutiques, moins d'énergie.

Face à cette demande de nouveaux moyens pour l'agriculture, les produits de stimulation peuvent être une réponse. Le marché de ces produits est donc en plein essor, porteur d'enjeux, et les perspectives de développement sont forcément très intéressantes.

SDP

Dans l'Union Européenne, la mise en place de critères d'acceptabilité communs pour l'évaluation des substances actives phytopharmaceutiques a fortement réduit leur nombre. Il y avait environ 1 000 substances autorisées au début des années 2000 contre 300 substances aujourd'hui. Dans le même temps, l'UE et les autorités françaises souhaitent réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en zone agricole (Plan Ecophyto) ou l'interdire en ZNA à échéance 2020/2022 à l'exception des produits de biocontrôle (Loi Labbé, 2014). De plus, alors que le développement de plantes Génétiquement Modifiés pourrait dans certains cas permettre de réduire l'utilisation de PPP « classiques », on constate dans la majorité des pays européens une forte opposition sociétale à ces cultures. Tous ces facteurs favorisent le développement du marché des produits de stimulation de type SDP.

Par ailleurs, les recherches scientifiques menées actuellement et visant à mieux connaître la physiologie végétale, et en particulier les interactions plantes/ bioagresseurs, permettent d'envisager l'arrivée sur le marché de nouvelles substances dont l'efficacité serait similaire ou supérieure à celle des produits conventionnels (source : interviews réalisées dans le cadre de cette étude).

Biostimulants

La croissance de ce marché devrait rester supérieure à 10% par an durant les années à venir (EBIC, 2013). Ce marché devrait donc atteindre 800 millions d'euros en Europe en 2018 (Arcadia, 2014) et 1,5 à 3 milliards de dollars dans le monde en 2018 (Calvo, et al., 2014; Powers & Genot, 2014). Selon des estimations hautes, l'Europe pourrait représenter en 2018 jusqu'à 40% de la part de marché des biostimulants (Powers & Genot, 2014).

L'évolution du marché mondial s'est consolidée depuis 2010 en passant de la « stratégie de l'océan bleu » à un marché plus solide (Figure 7). La stratégie de l'océan bleu peut être définie comme la création d'une nouvelle demande (innovation) dans un marché non contesté (l'océan bleu). Cette stratégie permet à de petites entreprises d'avoir l'opportunité d'une croissance rapide et importante en l'absence de concurrence.

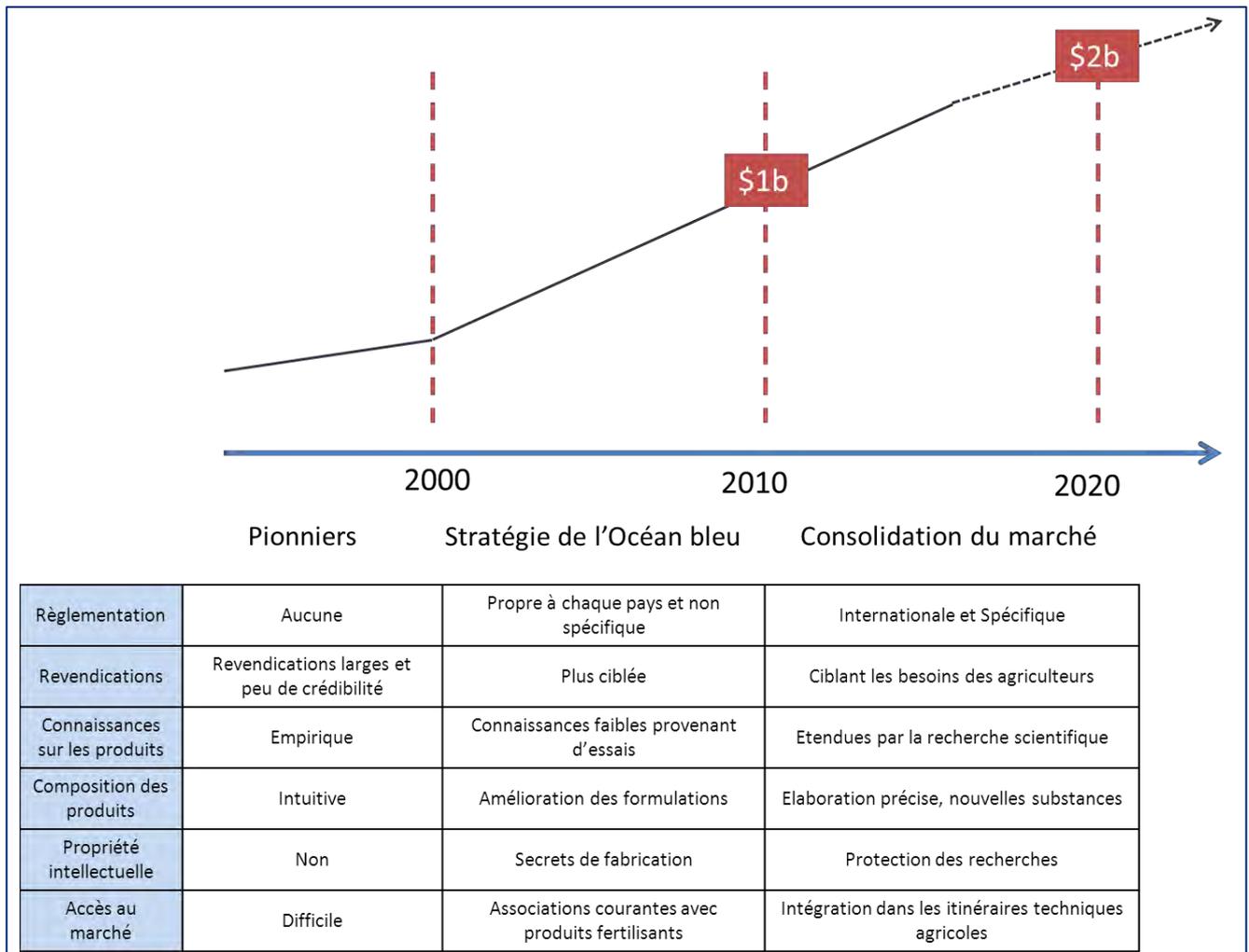


Figure 7 – Evolution du marché des biostimulants

Adapté de (Powers & Genot, 2014) par RITMMO Agroenvironnement

Différents facteurs semblent expliquer cette dynamique :

- Les réglementations agricoles ou de sécurité alimentaire qui intègrent des considérations environnementales ou d'utilisation en toute sécurité des intrants agricoles.
- Les consommateurs qui souhaitent des produits sains et cultivés avec le minimum d'impact environnemental tout en maintenant des niveaux de production répondant à la croissance démographique mondiale.
- Le prix élevé et volatil des fertilisants « classiques » qui incite les agriculteurs à trouver des solutions qui augmentent l'efficacité de ces fertilisants.
- Le besoin important de solutions visant à protéger et/ou préparer les plantes face aux stress abiotiques causant d'importantes pertes de rendement (Figure 8).
- Les innovations qui proposent de nouvelles solutions à des besoins agronomiques spécifiques : lutte contre les stress abiotiques, augmentation de la qualité des récoltes, etc.
- Le projet de réglementation harmonisée pour la mise en marché des biostimulants qui devrait permettre une plus large diffusion de ces produits. Ce développement au niveau de la réglementation est un des facteurs clés pour l'augmentation du marché des biostimulants (Powers & Genot, 2014).
- Le temps et les coûts de développement réduits par rapport à d'autres technologies (produits phytopharmaceutiques, OGMs, etc.) (Tableau 13).

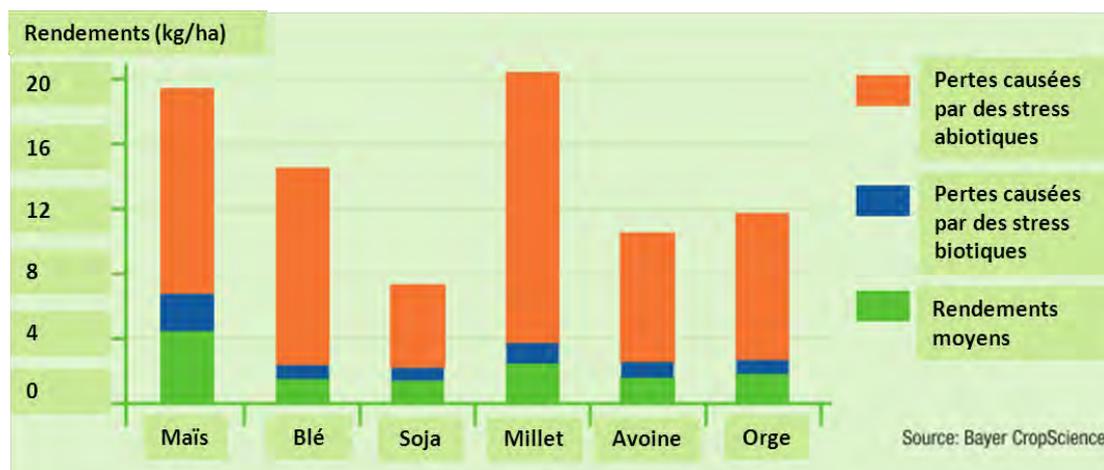


Figure 8 – Les stress causent d'importantes pertes de rendement

Figure adaptée de Bayer CropScience (2008) par RITTMO Agroenvironnement – Ce schéma illustre les chiffres de (Boyer, 1982) – Les stress abiotiques représentent la majeure cause de perte de rendements. Il est donc tout à fait justifié de trouver des solutions pour améliorer la tolérance des plantes face à ces stress.

Tableau 13 – Temps et Coûts moyens de développement des intrants agricoles

Adapté de Cox & Wong (2013) par RITTMO Agroenvironnement – Le développement d'un produit inclut les phases de recherche (chimique et biologique), les études de toxicologie et écotoxicologie, la formulation, les essais en champs, et les procédures de mise en marché.

Type	Temps de développement	Coût de développement
PPP traditionnel	10 ans	260 millions de \$
OGMs	8 à 13 ans	140 millions de \$
Substances non synthétiques de protection des plantes (Biopesticides)	3 ans	8-15 millions de \$
Biostimulant	1 à 2 ans	1,5-3 millions de \$

6. Pertinence agronomique et agroécologique des produits de stimulation

Par souci de synthèse et de clarté, les distinctions entre SDP et biostimulants sont faites en considérant un effet strictement SDP d'une part et strictement biostimulant d'autre part. On rappelle toutefois que certains produits ont un effet mixte SDP/Biostimulant.

6.1 Pertinence agronomique des produits de stimulation

Rôle des produits de stimulation dans un itinéraire technique

Nous entendons par « pertinence » le fait de pouvoir améliorer la performance économique et environnementale des systèmes de culture en relation avec des milieux et des organisations socio-économiques données. Un préalable pour analyser la pertinence agronomique de ces produits est donc de préciser leur place dans les systèmes de culture, en particulier au niveau des itinéraires techniques.

M. Sebillotte propose la définition suivante (Sebillotte, 1990) : « un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par :

- La nature des cultures et leur ordre de succession,
- Les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés. »

La nature des cultures et leur ordre de succession renvoient respectivement aux notions d'assolement et de rotation. L'utilisation de produits de stimulation ne va pas avoir d'effet direct sur les choix de l'agriculteur à ce niveau. C'est plutôt en agissant sur les composantes d'un itinéraire technique, qui se définit comme une « combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée. » (Sebillotte, 1974), que les produits de stimulation peuvent faire évoluer les pratiques de l'agriculteur. Les liens possibles entre les composantes « typiques » d'un itinéraire technique et les produits de stimulation sont présentés dans le Tableau 14³⁷.

³⁷ On précise que les « liens » mis en évidence dans les Tableaux 14, 15 et 16 ne sont pas nécessairement des effets directs ou des revendications mis en avant par les produits de stimulation. Ces liens correspondent à différents types de répercussions que peut avoir l'usage de produits de stimulation (que ce soit par des effets directs ou indirects, des synergies ou des antagonismes) sur d'autres aspects du système de culture (pratiques, itinéraires, consommation d'intrants, etc.).

Tableau 14 – Principaux liens possibles entre produits de stimulation et composantes d'un itinéraire technique

Stimulateurs de Défenses des Plantes	Biostimulants
Semis et germination	
<ul style="list-style-type: none"> Choix des variétés de culture tenant compte de l'efficacité des SDP Utilisation possible dans le futur de SDP en traitement de semences <p><i>Interaction / complémentarité en SDP et biostimulant à envisager</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de biostimulants en traitement de semences en fort développement Utilisation de biostimulants en apport localisé Utilisation de biostimulants pour stimuler la croissance aux stades précoces de développement (effet starter) <ul style="list-style-type: none"> > Augmentation du taux de germination > Précocité de la germination accrue Amélioration de la tolérance aux conditions stressantes (froid) au moment de la levée (par exemple sur maïs)
Propriétés du sol	
<p><i>Pas de rôle direct</i></p> <p><i>Interaction / complémentarité entre SDP et biostimulant à envisager, par exemple possibilité d'une production de composés de défense modifiant le microbiome rhizosphérique</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de biostimulants pour améliorer la structure physique des sols ce qui va par exemple favoriser une bonne rétention d'eau et la dynamique des éléments nutritifs Utilisation de biostimulants pour augmenter la diversité et l'activité microbologique des sols (formation de mycorhizes, bactéries PGPR), la vitesse de dégradation de la matière organique, etc.
Fertilisation	
<p><i>Pas de rôle direct</i></p> <p><i>Interaction / complémentarité entre SDP et biostimulant à envisager, par exemple possibilité d'effets non intentionnels (positifs ou négatifs) liés à la fertilisation</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de biostimulants pour améliorer : <ul style="list-style-type: none"> > La biodisponibilité des éléments nutritifs dans le sol (libération, solubilisation des éléments nutritifs, augmentation du volume exploré grâce aux mycorhizes) > L'absorption des éléments nutritifs par la plante > L'efficacité des engrais pour réduire les doses apportées
Gestion de l'eau	
<p><i>Pas de rôle direct</i></p> <p><i>Interaction / complémentarité entre SDP et biostimulant à envisager, par exemple possibilité d'effets non intentionnels (positifs ou négatifs) liés à la gestion de l'eau</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de biostimulants pour améliorer/diminuer l'utilisation de l'eau <ul style="list-style-type: none"> > Renforcement de la capacité d'absorption de l'eau grâce à un meilleur développement du système racinaire > Diminution de l'évapotranspiration par réduction de l'ouverture des stomates > Rétention d'eau dans les cellules > Meilleure tolérance aux stress hydriques par accumulation d'osmolytes
Lutte contre les adventices	
<p><i>Pas de rôle direct</i></p>	<p><i>Pas de rôle direct</i></p>
Protection contre les bioagresseurs	
<ul style="list-style-type: none"> Stimulation des défenses naturelles : résistance induite aux champignons, bactéries, virus, nématode, insectes 	<ul style="list-style-type: none"> Les biostimulants stricts n'ont pas de rôle dans la lutte contre les stress biotiques
Récolte et stockage	
<p><i>En fonction du type de récolte, les SDP pourraient avoir une incidence sur les teneurs post récolte en micro-organismes non pathogènes mais préoccupants (toxines)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des pertes de rendement (régulation de la déhiscence des siliques) Augmentation de la longévité et de la tenue des produits de récolte Par exemple : salade, fruits – pour ces derniers, régulation de la pression osmotique (absence de microfissures) permettant une meilleure tolérance au stockage et à la manipulation (plus de fermeté du fruit) –

Le Tableau 14 met en lumière le fait que les biostimulants peuvent être mobilisés dans la presque totalité des composantes d'un itinéraire technique. Les SDP sont quant à eux centrés sur la lutte contre les agents pathogènes et les ravageurs et ont de ce fait moins de possibilité d'action à date sur les autres composantes.

Il faut souligner qu'en ce qui concerne la gestion des adventices, les produits de stimulation de par leurs modes d'action et leurs cibles (plante ou sol), ne peuvent pas directement jouer un rôle. Ce constat peut être élargi à l'ensemble des produits de biocontrôle : on voit à date très peu d'avancées en matière de produits de biocontrôle herbicides (Rollin, 2013)³⁸.

Innover en utilisant des produits de stimulation : quelles conséquences sur le système de culture ?

Les produits de stimulation s'inscrivent dans des démarches d'innovation en lien notamment avec la réduction des intrants « conventionnels ». Afin d'analyser dans quelle mesure l'utilisation de ces produits va affecter les pratiques, les savoirs et les modes d'organisation en place au niveau d'une exploitation, on peut s'appuyer sur le modèle « Efficience-Substitution et Reconception » (ESR)³⁹. Ce modèle proposé par R. Hill (Hill, 1995) permet de caractériser différentes stratégies d'innovation mises en œuvre par les exploitations agricoles pour faire évoluer leurs systèmes de culture. Il permet également de qualifier le degré de changement dans les pratiques agricoles. Il a largement été utilisé pour qualifier les pratiques liées à la réduction d'utilisation des produits phytosanitaires. Le modèle est présenté succinctement ci-dessous.

Trois niveaux de transition⁴⁰ sont distingués à partir d'une situation initiale :

- **Efficience** – Les changements au sein d'un système visent à réduire la consommation et le gaspillage de ressources rares et coûteuses. L'objectif est d'optimiser le fonctionnement actuel du système. Les changements sont donc d'ampleur limitée et peu dispendieux (raisonnement des apports d'intrants).
- **Substitution** – Certains produits ou composantes du système sont remplacés par d'autres pour permettre un moindre impact environnemental. L'objectif est de faire fonctionner le système de façon similaire, mais en substituant certaines de ses composantes à d'autres. Les changements sont donc plus importants et plus complexes à mettre en œuvre que dans une approche « efficience ». On peut par exemple citer le remplacement des insecticides par une méthode de biocontrôle telle que la confusion sexuelle en arboriculture.
- **Reconception** – Elle consiste à repenser l'intégralité du fonctionnement du système, afin de répondre aux nouvelles exigences qui lui sont adressées. Les changements sont beaucoup plus importants et plus longs à mettre en œuvre. Il s'agit par exemple d'une modification majeure des rotations en grandes cultures.

Au regard des éléments présentés dans le Tableau 14, il ressort que pour le moment, les produits de stimulation disponibles sur le marché sont généralement utilisés dans des registres « Efficience » ou « Substitution » :

³⁸ Il y a néanmoins un produit : l'acide pélargonique. On peut aussi citer le pathogène fongique *Phoma Destructiva* qui a une action sur l'adventice Cirse des champs (Guske, et al., 2004).

³⁹ Ce modèle est également mentionné par le RMT « Systèmes de Cultures Innovants » dont les travaux s'axent plus particulièrement sur le volet « reconception ».

⁴⁰ Présentation des niveaux adaptée de la note d'analyse CEP n°63 (CEP, 2013)

- **Les biostimulants participent plutôt à des démarches de recherche d'efficience** – Certains biostimulants vont être utilisés par l'agriculteur pour chercher à améliorer l'efficience des engrais en vue d'en réduire la quantité (Figure 9). D'autres vont permettre d'optimiser l'utilisation de l'eau.
- **Les Stimulateurs de Défenses des Plantes permettent une substitution, généralement partielle** – Les SDP sont une des options existantes pour diminuer les quantités de produits phytosanitaires « classiques » mais ils ne permettent en général pas de les supprimer totalement. En effet, par leur action préventive (ou parfois curative précoce) les SDP permettent plutôt d'espacer et/ou retarder les traitements « conventionnels ». Leur utilisation est souvent préconisée en combinaison, que soit dans le cadre d'un programme de traitement (cf. Figure 10 et Figure 11) alternant application d'un SDP et d'un PPP « conventionnel » ou bien par l'application de spécialités commerciales dont la formulation associe directement un SDP et un PPP « conventionnel » (par exemple association du SDP acibenzolar-S-méthyl au méfénoxam qui est un fongicide).

Bien que les pratiques ne soient pas notablement modifiées à l'heure actuelle, il faut souligner que l'utilisation de ces produits entraîne tout de même certains bouleversements culturels, et notamment en protection des cultures, avec le passage d'une logique curative⁴¹ à une logique préventive.

Par ailleurs, nous ne sommes pour le moment qu'au démarrage de l'utilisation de ces produits. Pour que ceux-ci soient plus largement utilisés dans le futur, il faudra probablement mettre en œuvre des changements de pratiques plus importants que ceux observés à l'heure actuelle. En effet, les produits de stimulation seront probablement beaucoup plus efficaces dans le cadre d'une réelle reconception des systèmes de cultures. Ainsi, dans le cas des SDP, la variété de culture utilisée joue un rôle dans la réceptivité à la stimulation et il semble exister des interactions très fortes entre résistance induite et facteur agro-environnementaux, notamment les pratiques de fertilisation.

En définitive, les produits de stimulation auront donc toute leur place dans les futures stratégies de reconception puisque pour les insérer de manière optimale dans les systèmes de culture et faire progresser leur efficacité, il faudra nécessairement travailler sur nombre de facteurs agronomiques et s'écarter des itinéraires techniques « conventionnels ».

⁴¹ Logique qui est de plus en plus optimisée et raisonnée, en s'appuyant sur des réseaux d'observations et des outils d'aide à la décision.

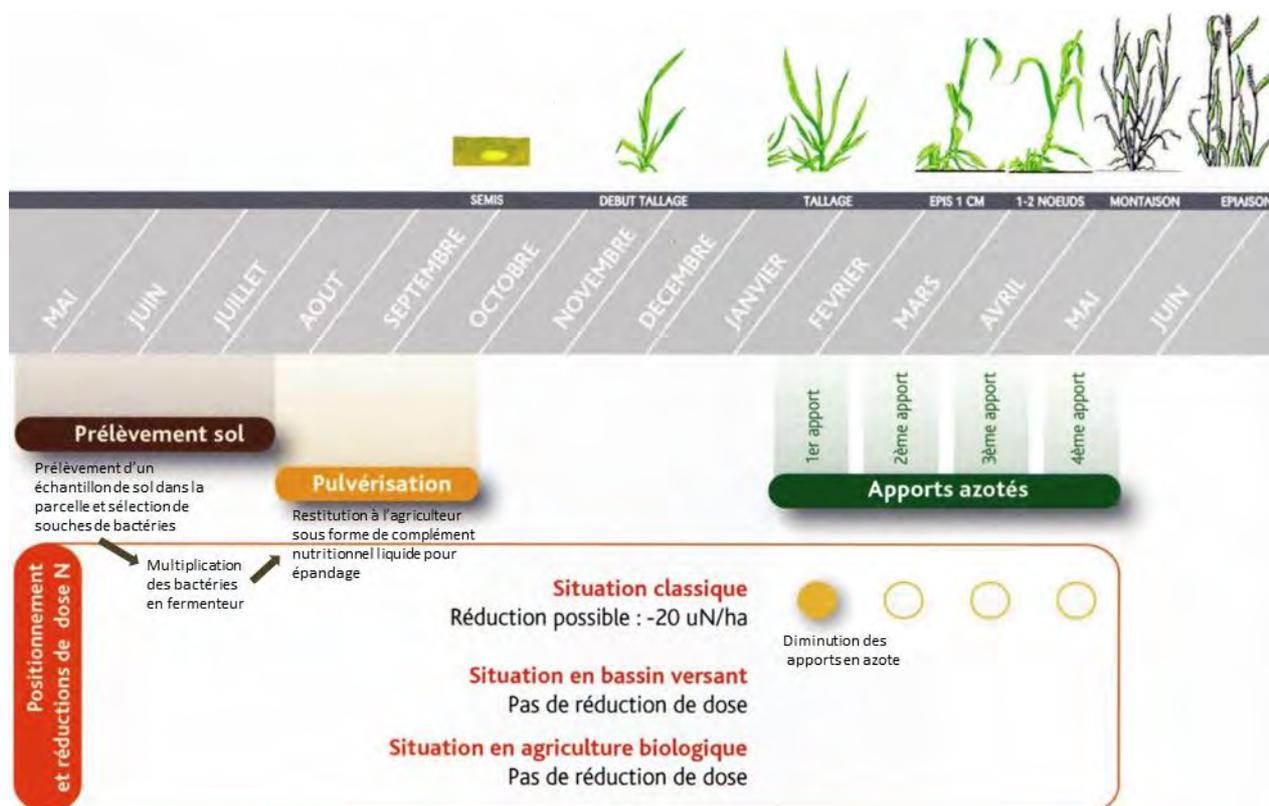


Figure 9 – Exemple de biostimulation dans un itinéraire technique : Service Solactiv® BAIA de la société Agronutrition sur blé d’hiver

Le service Solactiv® BAIA (pour « Biodynamisation Azotée des Ilots Agricoles ») repose sur une utilisation des bactéries indigènes d’un sol donné. Un prélèvement de sol est effectué chez l’agriculteur, puis Agronutrition identifie et multiplie les micro-organismes fixateurs d’azote (*Azotobacter*) qu’il contient. Les micro-organismes sont ensuite réintroduits dans leur parcelle d’origine par pulvérisation. Les effets revendiqués sur céréales sont essentiellement des améliorations de rendement pour une dose moindre d’azote apporté, ainsi qu’une amélioration de la teneur en protéines des grains. Il faut préciser que le gain en azote n’est pas pérenne car les populations de micro-organismes se rééquilibrent rapidement pour revenir à l’état initial.

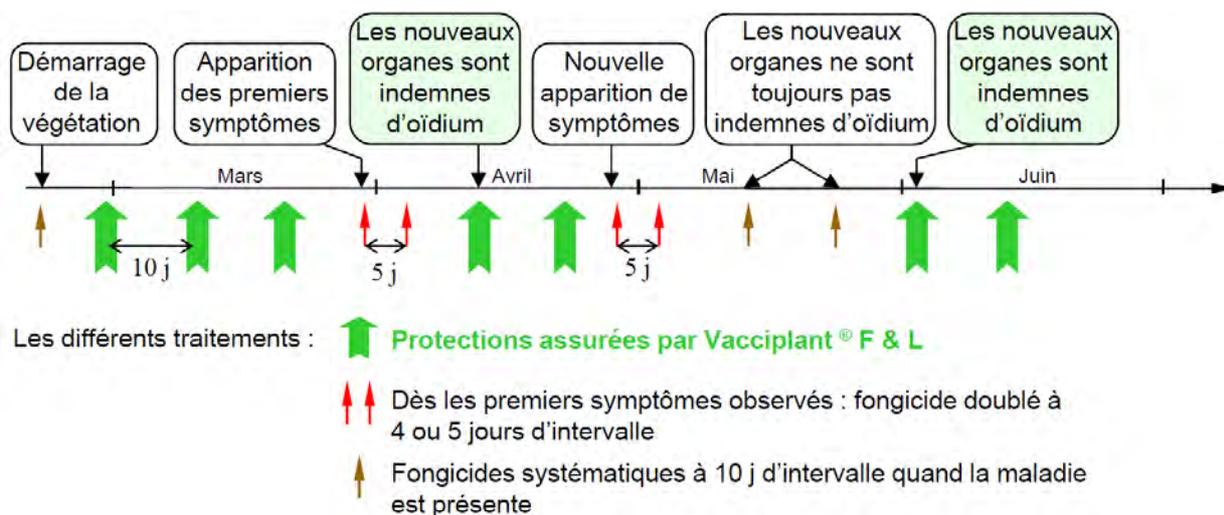


Figure 10 – Exemple de préconisation d'utilisation de la Laminarine (produit Vacciplant – Fruits et Légumes) dans un programme de traitement de l'oidium sur fraisier⁴²

Source : Goëmar (2014)



Figure 11 – Exemple d'un plan d'essai d'intégration d'un SDP (= SDN) dans un programme fongicide sur vigne⁴²

Deb : Débourrement ; 5-6f : 5-6 Feuilles ; Flo : Floraison, GdP : Grain de Pois ; Ver = Véraison – Source : IFV (2013)

⁴² Programme sans SDP : traitement dès les premiers symptômes et quand la maladie est présente.

6.2 Produits de stimulation et agroécologie

Les produits de stimulation trouvent-ils leur place dans le concept d'agroécologie ?

Qu'est-ce que l'agroécologie ?

L'agroécologie est une approche qui vise à (re)concevoir des systèmes de production agricole en tirant le meilleur parti des fonctionnalités offertes par les agroécosystèmes afin de concilier durabilité et performance. Mettre en œuvre une transition vers des pratiques agroécologiques implique nécessairement de reconsidérer l'exploitation agricole dans son ensemble en combinant un ensemble de pratiques à différents niveaux. C'est grâce à cette approche systémique que les résultats techniques et économiques peuvent être maintenus ou améliorés, tout en augmentant la performance environnementale.

D'après E. Malézieux (Malézieux, 2013)⁴³, l'hypothèse principale sur laquelle repose l'agroécologie est qu'il est possible d'augmenter les productions agricoles en quantité et en qualité, d'assurer une meilleure maîtrise des populations de ravageurs et de diminuer la dépendance vis-à-vis des intrants 1) en accroissant la diversité biologique dans les agroécosystèmes et 2) en optimisant les interactions biologiques au sein de ces derniers.

Cette description du concept fait donc ressortir deux piliers que sont l'accroissement de la biodiversité fonctionnelle⁴⁴ et le renforcement des interactions et régulations biologiques, auxquels on peut rajouter un troisième pilier : le bouclage des cycles biogéochimiques (azote, phosphore, carbone) qui est couramment cité par les scientifiques. En effet, les systèmes de production agricole, notamment via les pratiques de fertilisation et d'élevage, agissent sur les cycles du carbone, de l'azote et du phosphore. « Boucler les cycles » signifie lutter contre les pertes excessives d'éléments nutritifs (N, P, K), aller vers une utilisation efficace des ressources (par exemple : énergie, engrais minéraux), et ce faisant prévenir ou diminuer les impacts environnementaux tels que la pollution de l'eau, de l'air et d'émission de gaz à effet de serre. Les pratiques agroécologiques mises en œuvre dans le cadre d'une reconception d'un système vont généralement dans le sens d'un bouclage des cycles (fixation biologique d'azote, stockage de carbone dans la matière organique des sols, valorisation des effluents d'élevage, etc.).

Quelle proximité conceptuelle entre « stimulation » et « agroécologie » ?

Les liens entre modes d'action/effets/revendications des produits de stimulation et les 3 « piliers » de l'agroécologie sont présentés dans le Tableau 15.

⁴³ Cité dans la note « Analyse » du CEP n°59 (CEP, 2013)

⁴⁴ La biodiversité fonctionnelle, ne considère pas le nombre d'espèces en tant que tel, mais le nombre de fonctions écologiques remplies conjointement par les espèces (CEP, 2013)

Tableau 15 – Liens entre les 3 piliers de l'agroécologie et les principales caractéristiques des produits de stimulation

Stimulateur de défense des plantes	Biostimulants
Accroissement de la biodiversité	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'action biocide directe des SDP stricts et par conséquent pas d'effet négatif sur les auxiliaires des cultures Ex : Hafez et al. (1999) ont ainsi montré que l'utilisation du SDP Milsana® sur vigne contre l'oïdium n'entraîne pas d'effets collatéraux sur l'auxiliaire parasitoïde, <i>Trichogramma cacoeciae</i> ▪ La résistance induite pourrait attirer des insectes auxiliaires Ex : La résistance induite et en particulier celle impliquant la voie de l'acide jasmonique induirait la production de composés volatiles qui auraient comme effet d'attirer des parasitoïdes d'insectes herbivores (Thaler, 1999b) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modification qualitative des communautés microbiennes du sol (nouveaux équilibres), augmentation de l'activité microbiologique des sols Ex : Le produit Bioréveil® composé de fractions de levures stimule l'activité biologique du sol en apportant différents nutriments à la microflore du sol (Avis ANSES Agri-Biotech Bioréveil)
Renforcement des interactions et régulations biologiques	
<p>La résistance induite replace la plante dans le système d'interaction au sein de l'agroécosystème (cf. Figure 12) alors que pour les produits « conventionnels », le système est « binaire » (par exemple pathogène-fongicide)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stimulation des mécanismes de défenses de la plante Ex : Les SDP stimulent les mécanismes de défenses de la plante tels que la production de protéines PR, la synthèse de métabolites secondaires ▪ Compatibilité voire synergie des SDP avec les autres moyens de biocontrôle Ex : L'application d'acibenzolar S méthyl sur tomate et l'utilisation de bactériophages ont des effets additifs sur le contrôle de la maladie des tâches bactériennes (<i>Xanthomonas campestris</i>) (Obradovic, et al., 2004) ▪ Modification ou "déplacement" des cortèges de bioagresseurs (phénomène connu avec les pesticides et toute stratégie de lutte) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Renforcement des interactions plantes-micro-organismes : <ul style="list-style-type: none"> > Formation de symbioses de type mycorhizes Ex : De nombreux produits (Aegys Sym®, Myc®, Glomygel®, Solrize®...) sont constitués de propagules de champignons endomycorhiziens essentiellement <i>Rhizophagus irregularis</i> et <i>Glomus mosseae</i>. > Formation de symbioses de type rhizobiacées-fabacées Ex : Quelques produits (Biodoz®, Inoculum NPPL®) constitué d'inoculum de rhizobiacées pour deux cultures : la luzerne et le soja > Sécrétion de substances mimétiques d'hormones végétales Ex : Certaines PGPR comme <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Baci-Start®) stimulent le développement du système racinaire en produisant des auxinomimétiques (avis ANSES Baci-Start). Les <i>Trichoderma</i> produisent de l'auxine (AIA). ▪ Régulation de très nombreux mécanismes de la physiologie végétale (croissance, développement, métabolisme, etc.) Ex : Les lignosulfonates (OsiryI®) stimulent le développement du système racinaire en inhibant la dégradation des auxines
Bouclage des cycles biogéochimiques	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien identifié 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration de l'absorption des éléments nutritifs par la plante Ex : Certains acides aminés comme l'acide glutamique (Balsamo®) stimulent l'activité de la nitrate réductase (Avis ANSES Phyléas) ▪ Amélioration de la biodisponibilité des éléments nutritifs dans le sol Ex : Certains micro-organismes comme <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Rhizocell®) solubilisent le phosphore non disponible du sol (Avis ANSES Rhizocell) ▪ Stimulation de la dégradation de la matière organique Ex : Le produit Bioréveil® composé de fractions de levures accélère la minéralisation de la matière organique en stimulant la flore microbienne (Avis ANSES Agri-Biotech Bioréveil)

Quelle place pour les produits de stimulation dans les pratiques agroécologiques ?

Le rapport coordonné par M. Guillou sur l'agroécologie (Agreenium, 2013) présente un état des lieux précis des bonnes pratiques agricoles existantes à l'heure actuelle, à l'échelle de l'exploitation, et aux échelles plus larges des territoires et des filières. Ce rapport comporte une revue détaillée de l'ensemble des pratiques permettant de concilier compétitivité et respect de l'environnement, celles-ci sont présentées au travers de 15 « méta-pratiques ». Le Tableau 16 reprend neuf de ces méta-pratiques (les autres étant spécifiquement dédiées aux systèmes d'élevage) et évalue les connections possibles avec les produits de stimulation. On précise que ce tableau a pour objectif de donner une vision d'ensemble de la situation et ne peut prétendre à l'exhaustivité compte tenu de la diversité des produits de stimulation, des filières agricoles, et des usages possibles.

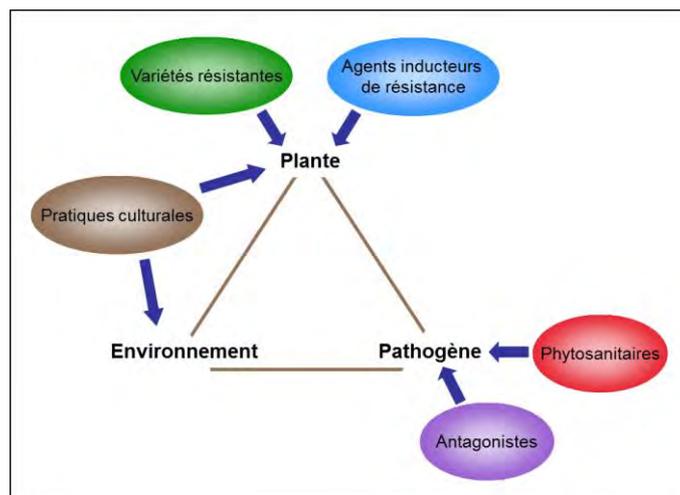


Figure 12 – Système d'interaction au sein de l'agroécosystème

Tableau 16 – Liens entre pratiques agroécologiques et produit de stimulation

Code couleur : Vert = Synergie / Compatibilité ; Orange = Antagonisme / Incompatibilité ; bleu = Synergie ou Antagonisme ; Gris = Neutre / Indépendant

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
MP 1 – Travail du sol et gestion de l'état de surface			
Travail du sol	<ol style="list-style-type: none"> 1. Labourer systématiquement (fréquence >= 1 an sur 2) 2. Pratiquer le sous-solage ou décompactage occasionnel 3. Travailler superficiellement et labourer (fréquence < 1 an sur 2) 4. Pratiquer le non labour avec travail superficiel (< 15 cm) 5. Pratiquer le semis direct sans labour 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien indirect avec biostimulants > Action sur propriétés physique et biologique du sol
Couverture du sol	<ol style="list-style-type: none"> 1. Laisser les résidus de récolte à la surface du sol 2. Laisser les repousses du précédent Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agroécologique) 3. Implanter une culture dérobée 4. Enherber les inter-rangs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien indirect avec biostimulants > Action sur propriétés physique et biologique du sol
MP2 – Gestion de l'eau et de sa qualité			
Choix des cultures et des variétés	<ol style="list-style-type: none"> 1. Choisir des assolements et successions de cultures plus économes en eau 2. Choisir des variétés plus économes en eau 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien indirect avec biostimulants > Action sur besoin en eau de la plante
Pilotage de l'irrigation et gestion de la ressource	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construire des retenues collinaires (ou bassines) 2. Utiliser des outils d'aide à la décision pour le raisonnement des stratégies d'irrigation 3. Utiliser des outils de diagnostic et de pilotage de l'irrigation 4. Pratiquer l'irrigation localisée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Couverture du sol	<ol style="list-style-type: none"> 1. Assurer un paillage, un mulch à la surface du sol 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cette pratique pourrait modifier les cortèges de bioagresseurs, ce qui pourrait être défavorable à l'efficacité des SDP mais l'absence d'effet est aussi envisageable. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Gestion de la succession des cultures pour la qualité de l'eau d'infiltration	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adapter l'ordre des cultures au piégeage des nitrates 2. Implanter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agroécologique) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les végétaux d'interculture peuvent modifier les cortèges de bioagresseurs, ce qui pourrait être défavorable à l'efficacité des SDP mais l'absence d'effet est aussi envisageable. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien indirect avec biostimulants > Action sur l'absorption de l'azote par la plante
Ruissellement et pollution des eaux de surface	<ol style="list-style-type: none"> 1. Travailler en courbes de niveau 2. Maintenir un état de surface rugueux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
Gestion des intrants (engrais et produits phytosanitaires) pour la qualité de l'eau	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliser des buses anti-dérive 2. Adapter et raisonner les doses appliquées 3. Utiliser des matières actives à faible risque écotoxicologique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien direct avec SDP (pour produits phyto) > Action 1 compatible > SDP favorisent actions 2 et 3 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien direct avec biostimulants (pour engrais) > Action 1 compatible > biostimulants favorisent action 2 et 3
Aménagement du foncier et du paysage pour la qualité de l'eau	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planter une haie en bordure de parcelle 2. Réaménager les zones humides 3. Planter des bandes enherbées en bordure de parcelle 4. Planter des bassins de rétention 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
MP3 – Gestion des éléments minéraux et du statut organique des sols			
Apports organiques pour la nutrition minérale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apporter des effluents organiques issus de l'élevage en substitution aux engrais minéraux 2. Apporter des effluents organiques d'origine urbaine ou industrielle en substitution aux engrais minéraux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La fertilisation a un impact sur la physiologie de la plante donc potentiellement sur l'efficacité des SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants > Action sur la dégradation de la matière organique du sol
Pilotage de la fertilisation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réaliser des apports localisés 2. Fractionner les apports 3. Utiliser des outils d'aide à la décision pour le raisonnement des apports (N, P et K et autres éléments) 4. Utiliser des outils de pilotage de la nutrition en cours de culture 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants > Les biostimulants améliorent l'efficacité des éléments nutritifs et doivent être intégrés dans les programmes de pilotage de la fertilisation > Apport localisé des biostimulants associés à des fertilisants traditionnels ▪ Autre lien envisageable : Une fertilisation parfaitement optimisée permettrait d'avoir moins besoin de biostimulants jouant sur la nutrition (assimilation d'azote, etc.).
Fixation symbiotique de l'azote atmosphérique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduire des légumineuses à graines dans la rotation 2. Cultiver des légumineuses en association avec des cultures annuelles 3. Introduire des légumineuses en cultures intermédiaires, en pur ou en mélange 4. Introduire des légumineuses comme couvert 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antagonisme envisageable avec SDP : stimulation des défenses diminuant la symbiose 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants > Formation de nodules permettant la fixation d'azote (symbiose avec légumineuses)
Introduire des légumineuses en système de polyculture-élevage	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduire de la luzerne dans la succession de cultures 2. Introduire des légumineuses fourragères en association dans les prairies 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
Amélioration des propriétés physico-chimiques du sol par amendement	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pratiquer le chaulage raisonné 2. Enfouir les résidus de récolte 3. Insérer des prairies temporaires de longue durée dans la rotation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec Biostimulants > Favorisent la dégradation des résidus de récolte ▪ Autre lien envisageable : Une fertilisation parfaitement optimisée permettrait d'avoir moins besoin de biostimulants jouant sur la nutrition (assimilation d'azote, etc.).
MP 4 – Choix des variétés et des semences			
Choix variétal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Choisir des variétés améliorées pour le rendement 2. Choisir des variétés améliorées pour la qualité des produits 3. Choisir des variétés dont l'architecture est améliorée pour la régularité de production 4. Choisir des variétés améliorées pour la tolérance aux stress abiotiques 5. Choisir des variétés améliorées pour une meilleure valorisation des engrais 6. Choisir des variétés améliorées pour la résistance aux bioagresseurs 7. Choisir des variétés tolérantes aux herbicides 8. Choisir des variétés adaptées au changement climatique 9. Cultiver des mélanges de variétés sur une même parcelle 10. Cultiver différentes variétés de la même espèce sur l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : influence du choix de la variété sur l'efficacité du SDP, possibles antagonismes ou synergies avec les autres facteurs du choix (Actions 1 à 10) pouvant aussi intervenir dans le choix de la variété. Par exemple, certaines variétés résistantes s'avèrent moins réceptives aux SDP : arbitrages possibles. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants : influence du choix de la variété sur l'efficacité du Biostimulant, possibles antagonismes ou synergies avec les autres facteurs du choix (Actions 1 à 10)
Choix des semences	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliser des semences de ferme 2. Utiliser des semences traitées/ enrobées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : > Influence du choix de la variété sur l'efficacité du SDP > Possible utilisation future de semences traitées/enrobées avec des SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants : influence du choix de la variété sur l'efficacité du Biostimulant ▪ Lien avec biostimulants : influence du traitement de semences sur la viabilité de certains biostimulants de type micro-organisme ▪ Lien avec biostimulants : Semences enrobées de biostimulant en fort développement (Action 2)
MP 5 – Protection phytosanitaire des cultures			
Mesures prophylactiques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nettoyer et désinfecter le matériel de culture et de récolte 2. Eliminer sélectivement les premiers foyers de bioagresseurs 3. Eliminer ou enfouir les résidus contaminés 4. Organiser l'ordre des parcelles à travailler 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : l'élimination des foyers de bioagresseur rend les actions préventives plus pertinentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
Mesures agronomiques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adapter les dates de semis 2. Adapter les densités et/ou les écartements de semis 3. Réaliser des faux-semis 4. Augmenter le nombre d'espèces dans la rotation 5. Augmenter le nombre de variétés et d'espèces cultivées à l'échelle du territoire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : SDP compatibles avec ces actions. Une adaptation de l'utilisation des SDP peut être nécessaire (ex : Action 1 la date de semis peut jouer sur la date d'application du SDP) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Lutte chimique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliser des outils de raisonnement du déclenchement d'un traitement phytosanitaire 2. Réduire les quantités totales de substances actives par unité de surface 3. Réduire les doses de substances actives par traitement 4. Ne pas utiliser des substances actives de synthèse 5. Mieux régler le matériel de traitement existant 6. Réaliser les traitements en conditions climatiques optimales 7. Améliorer la répartition des produits dans la végétation 8. Utiliser des adjuvants ou des produits alternatifs à moindre risque écotoxicologique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : > Action 1 : l'utilisation de SDP implique une connaissance fine de ces aspects > Actions 2, 3, 4 et 8: SDP favorise ces actions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants : influence de certaines pratiques et de certains produits sur la survie des biostimulants de type micro-organisme
Lutte physique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pratiquer la solarisation 2. Utiliser le désherbage mécanique 3. Utiliser le désherbage thermique 4. Utiliser des barrières physiques : filets, bâches, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : SDP compatibles avec ces actions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants : influence de certaines pratiques et de certains produits sur la survie des biostimulants de type micro-organisme
Mesures de bio-contrôle et de lutte biologique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliser des Préparations Naturelles Peu Préoccupantes (PNPP) 2. Utiliser des Stimulateurs de Défense Naturelle (SDN) 3. Mettre en place des méthodes de confusion sexuelle 4. Utiliser les lâchers d'auxiliaires 5. Augmenter les infrastructures agroécologiques pour favoriser la lutte biologique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : SDP font partie ou sont compatibles avec ces actions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien direct avec biostimulants mais interaction / complémentarité entre SDP et biostimulant à envisager
MP 6 – Diversification des successions de cultures et des assolements			
Choix des successions de cultures	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pratiquer des associations de cultures 2. Planter des couverts végétaux d'interculture (à fonction agroécologique) 3. Diversifier les périodes d'implantation des cultures 4. Augmenter le nombre d'espèces dans la rotation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les végétaux d'interculture peuvent modifier les cortèges de bioagresseurs, ce qui pourrait être défavorable à l'efficacité des SDP mais l'absence d'effet est aussi envisageable. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien possible avec biostimulants si on considère les interactions plantes - micro-organismes. Chaque plante va favoriser ses associations propres ce qui peut favoriser comme défavoriser l'efficacité d'un biostimulant donné sur une culture donnée.
Choix de l'assolement	<ol style="list-style-type: none"> 1. Augmenter le nombre d'espèces cultivées dans l'assolement 2. Mettre en place des assolements en commun 3. Cultiver des plantes de service pour la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants si intégration de légumineuses dans l'assolement

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
MP 7 – Conduite des plantes et des peuplements végétaux			
Implantation des cultures et la gestion de la structure des peuplements	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adapter la densité et la structure du peuplement pour éviter les stress biotiques et abiotiques 2. Adapter la structure du peuplement pour améliorer la qualité des produits 3. Adapter la structure du peuplement pour diminuer les temps de travaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : ces adaptations de densité peuvent jouer sur la biodisponibilité et donc l'efficacité du produit. Réflexion nécessaire sur les modalités d'intégration des SDP dans ces stratégies. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Maîtrise de la forme et de la croissance des plantes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se passer des régulateurs de croissance 2. Pratiquer un éclaircissage alternatif au chimique 3. Mécaniser la taille 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antagonisme possible avec certains SDP : par exemple un excès d'ASM peut générer du nanisme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants : les biostimulants sont des alternatives aux régulateurs de croissance.
Gestion des opérations de récolte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Améliorer l'organisation des chantiers de récolte 2. Mécaniser la récolte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Gestion du pâturage	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alternier fauche et pâturage pour réduire les pertes de nitrates 2. Mettre en défens des parcelles pour les laisser fleurir et favoriser la biodiversité 3. Pratiquer le stockage sur pied 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
MP 8 – Aménagement foncier			
Adaptation du parcellaire	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modifier la taille et/ou la forme des parcelles pour mieux les adapter au sol et pour diminuer les risques phytosanitaires 2. Regrouper les parcelles pour améliorer l'organisation du travail et/ou la localisation des systèmes de culture 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Gestion des Infrastructures Agro-Ecologiques (IAE)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planter une haie en bordure de parcelle 2. Planter des bandes enherbées en bordure de parcelle 3. Planter des arbres à faible densité dans les parcelles 4. Diversifier les espèces végétales des IAE 5. Valoriser la biomasse des IAE 6. Entretien des éléments fixes du paysage : murets, talus, mares, ripisylves, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Aménagements hydrauliques	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planter une haie en bordure de parcelle 2. Réaménager les zones humides 3. Planter des bandes enherbées en bordure de parcelle 4. Planter des bassins de rétention 5. Drainer les parcelles 6. Construire des retenues collinaires (ou bassines) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants

Pratique	Action	Lien avec les SDP	Lien avec les Biostimulants
MP 9 – Choix et gestion des agroéquipements			
Maîtriser les charges de mécanisation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recourir à l'extérieur pour des travaux agricoles 2. Recourir à l'entraide 3. Recourir à du conseil pour les choix d'équipement et/ou d'organisation du travail 4. Allonger la durée d'utilisation des matériels 5. Utiliser de l'huile végétale pure dans les moteurs en substitution au fioul 6. Entretien et réparer soi-même son matériel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec SDP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de lien avec biostimulants
Moderniser le matériel pour améliorer son rendement d'utilisation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Moderniser le matériel de traction 2. S'équiper d'un matériel de travail du sol adapté 3. Moderniser le matériel d'épandage (engrais et produits phytosanitaires) 4. Moderniser le matériel de récolte 5. Utiliser des pneus basse pression 6. Moderniser le matériel de distribution des rations animales 7. Supprimer les fuites d'eau en élevage (bâtiments et pâtures) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP : > Action 3 : le matériel utilisé pour l'application peut rendre les traitements plus efficaces (type de buse, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants > Action 3 : certains biostimulants sont appliqués en apport très localisé ce qui nécessite du matériel spécifique de précision
Agriculture de Précision (grâce aux Techniques d'Information et de Communication)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Moduler la fertilisation au sein des parcelles 2. Localiser les traitements phytosanitaires sur les rangs 3. Moduler les traitements phytosanitaires selon la répartition des bioagresseurs 4. Utiliser un système de guidage automatique 5. Installer des systèmes de monitoring pour gérer l'alimentation des animaux 6. Installer des systèmes de monitoring pour gérer la conduite de l'élevage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec SDP pour actions 2 à 3 : utilisation SDP nécessite une connaissance fine comme pour ces actions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lien avec biostimulants pour action 1 : utilisation biostimulants nécessite une connaissance fine comme pour cette action

L'analyse effectuée dans le Tableau 16 permet de mettre en évidence plusieurs points clés sur la place des produits de stimulation dans les pratiques agroécologiques :

- Les produits de stimulation, en particulier les biostimulants, ont un lien avec un large éventail de pratiques agricoles ;
- D'une manière générale, les produits de stimulation sont compatibles et parfois en synergie avec les mesures qui vont dans le sens de l'agroécologie ;
- Ces produits font partie des éléments à considérer dans le cadre d'une reconception du système de production. Dans le futur, une intégration optimale de ces produits dans des systèmes repensés fera probablement progresser leur efficacité.

Les produits de stimulation ont-ils un rôle à jouer dans le projet agroécologique pour la France ?

Sur la base du concept scientifique d'agroécologie, le Ministère de l'Agriculture porte depuis 2012 un projet politique. En effet, le MAAF a souhaité engager l'agriculture française « sur la voie de la double performance économique et écologique, pour faire de l'environnement un atout de compétitivité ». Le projet vise ainsi à produire autrement. Les objectifs seront atteints en repensant les systèmes de production, via des changements au niveau des pratiques agricoles ainsi que l'utilisation de produits novateurs et performants. Le projet s'articule autour de 3 axes : capitaliser, diffuser, inciter. Sept plans et programmes sont adossés au projet agroécologique. Les produits de stimulation peuvent s'inscrire dans certains de ces plans et programmes du projet agroécologique pour la France.

Tableau 17 – Vision synthétique des liens entre les produits de stimulation et les 7 plans du « Projet agroécologique »

Types de substances	Projet agroécologique pour la France						
	Plan Ecophyto	Plan biodiversité / apiculture durable	Programme national ambition bio 2017	Plan énergie méthanisation autonomie azote	Plan semences et agriculture durables	Plan Ecoantibio	Plan Protéines végétales
SDP	✓	✓	✓	-	⁴⁵	-	-
Biostimulants	-	-	✓	✓	✓	-	✓

Plan Ecophyto

Les SDP s'inscrivent dans l'objectif global du plan Ecophyto qui vise notamment à réduire les quantités de produits phytosanitaires utilisées par les exploitations agricoles, tout en maintenant un niveau élevé de production. Le plan Ecophyto est structuré en 9 axes, et les SDP présentent des connections fortes avec trois axes :

- AXE 2 : Recenser et généraliser les systèmes agricoles et les moyens connus permettant de réduire l'utilisation des pesticides en mobilisant l'ensemble des partenaires de la recherche, du développement et du transfert
 - ➔ Les SDP sont une des options existantes pour diminuer les quantités de produits phytosanitaires « classiques » bien qu'ils ne permettent en général pas de les supprimer totalement.
- AXE 3 : Innover dans la conception et la mise au point des itinéraires techniques et des systèmes de cultures économes en pesticides
 - ➔ Les SDP s'inscrivent pleinement dans les réflexions sur la reconception des systèmes, notamment via l'identification et l'utilisation de variétés plus réceptives à ces produits. A terme, un des principaux facteurs de l'amélioration de l'efficacité de ces produits sera leur intégration optimale dans des itinéraires techniques repensés.

⁴⁵ Un lien est envisageable dans le futur entre SDP et le Plan semences mais à ce jour, le traitement de semence avec des SDP en est encore au stade de la recherche.

- AXE 4 : Former à la réduction et à la sécurisation de l'utilisation des pesticides.
 - ➔ Le dispositif de formation Certiphyto pourrait aborder davantage la question du biocontrôle et des SDP.

Parmi les outils du plan Ecophyto, deux d'entre eux sont particulièrement en lien avec les SDP :

- **Les fermes DEPHY** - Amorcé en 2009, le réseau des fermes DEPHY compte en 2014 plus de 1 900 exploitations et vise trois objectifs complémentaires :
 - Démontrer que réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques est possible,
 - Expérimenter des systèmes économes en produits phytopharmaceutiques,
 - Produire des références sur les systèmes économes en produits phytopharmaceutiques
- **Ecophytopic** - Constitué d'une plateforme transversale et de plateformes filières, ce portail a pour objet de sensibiliser les professionnels du secteur agricole au sujet de la Protection Intégrée des Cultures, et ainsi de faire évoluer les pratiques vers une réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques.

Plan de Développement Durable de l'Apiculture

Ce plan a pour ambition de développer la filière apicole et répondre aux enjeux soulevés par la mortalité importante des abeilles en France. En effet, les abeilles sont indispensables à la production nationale de miel et d'autres produits de l'apiculture, mais aussi à la pollinisation donc à l'agriculture.

Dans le cadre de ce plan, les SDP pourraient à terme participer à la réduction de l'utilisation des insecticides « classiques ». Il faut toutefois souligner qu'il n'existe pas à ce jour de SDP homologués en France ayant une action contre les insectes ravageurs.

Programme National Ambition Bio 2017

Ce programme doit « soutenir le développement de l'agriculture biologique tant en matière de production agricole, que de structuration des filières et de consommation ». Il doit donner un nouvel élan à l'agriculture biologique. C'est la continuité du plan Bio 2012, qui n'a pas atteint son objectif de 6% de la SAU française en agriculture biologique. Un certain nombre de SDP et biostimulants sont utilisables en agriculture biologique et peuvent potentiellement jouer un rôle dans ce plan.

Ces produits sont encore perçus comme des solutions relativement nouvelles et pour que ceux-ci soient plus largement utilisés dans le futur, il faudra probablement faire évoluer les pratiques de manière relativement importante. Or, l'agriculture biologique peut jouer un rôle moteur dans l'évolution des pratiques et constitue un vecteur de diffusion importante de nouvelles techniques vers les autres formes d'agriculture. Dans ce contexte, l'agriculture biologique peut certainement contribuer à faire progresser l'utilisation des produits de stimulation et à terme apporter des preuves de la pertinence des solutions s'appuyant sur la stimulation.

Le programme Ambition Bio 2017 est articulé autour de six axes. L'axe n°4 est centré sur le renforcement de la recherche et la diffusion des résultats associés. Cet axe pourrait intégrer la thématique des produits de stimulation via les actions visant à « développer de la synergie et de la complémentarité entre les actions spécifiques à la bio et celles sur les autres modes de production » d'une part et, d'autre part, celles visant à « avoir une meilleure diffusion et un plus grand partage des résultats de recherche ». Au travers de ces actions le programme pourrait alors servir de démonstrateur et de catalyseur pour faire progresser l'utilisation des produits de stimulation.

Plan Energie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA)

Ce plan, présenté par Stéphane Le Foll en mars 2013, a deux ambitions : permettre une meilleure gestion de l'azote d'une part, et accélérer le développement de la méthanisation à la ferme d'autre part. Ce plan comporte donc deux volets complémentaires : un volet « Azote » et un volet « Méthanisation – Biogaz ».

Certains biostimulants peuvent contribuer au bouclage du cycle de l'azote, et par conséquent peuvent dans une certaine mesure contribuer aux objectifs du volet « Azote », en particulier sur les aspects suivants :

- Limiter les pertes d'azote à différentes échelles (parcelle, exploitation, territoires) ;
- Optimiser le cycle de l'azote au niveau local, en adaptant les pratiques agricoles.

Il faut toutefois souligner que les outils envisagés pour répondre aux objectifs ne sont pas directement en lien avec les biostimulants

Plan Semences et Agriculture Durable

Le plan d'action « Semences et agriculture durable » a été lancé par le MAAF en mai 2011. Il vise à mieux orienter la sélection des plantes pour répondre aux besoins de l'agriculture agroécologique. Le plan est structuré en 7 axes et de 30 actions, qui constituent la feuille de route du ministère de l'agriculture dans le domaine des semences. Le plan est essentiellement axé sur la sélection et la gestion des variétés cultivées. On peut mentionner en particulier l'axe « orienter le progrès génétique vers des variétés adaptées à des conduites culturales diversifiées et permettant de répondre à la réduction des intrants » qui fait écho au besoin déjà évoqué précédemment d'identifier / développer des variétés pour lesquelles les produits de stimulation sont les plus efficaces.

Bien que plus éloigné des actions présentées dans ce plan, on peut aussi mentionner le fait que les semences enrobées de biostimulant sont en fort développement et que cette thématique pourrait venir à terme se rattacher à ce plan. En ce qui concerne les traitements de semence avec SDP, cette technique en est encore au stade de la recherche et il est difficile pour le moment de s'avancer sur le rôle qu'elle pourrait jouer dans le cadre du plan semences.

Plan Protéines Végétales

Ce plan a deux objectifs principaux :

- Contribuer à l'autonomie fourragère des exploitations en réduisant la forte dépendance de la France en protéines végétales ;
- Tirer parti de l'intérêt agronomique et écologique de la culture des légumineuses, qui enrichissent en particulier les sols en azote et permettent de réduire les apports externes tout en augmentant les rendements.

L'utilisation de certains biostimulants (bactéries susceptibles de former avec des légumineuses des nodules fixant l'azote atmosphérique) est une option pour répondre au deuxième objectif.

Le projet agroécologique a également donné lieu à la définition d'un vaste plan d'action, décliné en différents chantiers qui concernent tous les domaines (enseignement, accompagnement des agriculteurs, réorientation des soutiens publics, recherche publique et privée, etc.) (MAAF, 2014c).

Les produits de stimulation peuvent s'intégrer dans certains chantiers, en particulier ceux en lien avec les activités de R&D et de formation, comme présenté dans le Tableau 18 ci-après.

Tableau 18 – Chantiers du plan d’action global dans lesquels la thématique « produits de stimulation » peut trouver une place

Finalité	Objectif	n°	Actions	Lien avec les produits de stimulation	
Piloter le projet agro-écologique	Sensibiliser et former les agents du ministère et des opérateurs	1.3	<ul style="list-style-type: none"> > Organiser une sensibilisation à grande échelle > Proposer de formations spécifiques adaptées > Constituer un réseau de formateurs internes 	> Intégrer la thématique « produits de stimulation »	
	Impliquer la recherche et la recherche développement	2.1	<ul style="list-style-type: none"> > Poursuivre l'expérimentation et la production de références technicoéconomiques > Développer les expérimentations système et participatives > Développer le biocontrôle 	<ul style="list-style-type: none"> > Intégrer la thématique « produits de stimulation » > Une partie des produits de stimulation sont dans le champ du biocontrôle mais pas tous : « ouvrir » l'action n°3 à tous les produits de stimulation 	
	Renforcer le lien entre recherche et acteurs du terrain	2.2	<ul style="list-style-type: none"> > Mobiliser le partenariat européen pour l'innovation (PEI) au service de la double performance > Inscrire les réseaux mixtes technologiques (RMT) dans le PEI 	<ul style="list-style-type: none"> > Intégrer la thématique « produits de stimulation » dans les différents cursus, en l'adaptant au niveau de formation. > Favoriser, à moyen terme, la création d'un RMT dédié aux biostimulants*. > Renforcer le RMT Elicitra 	
Accompagner et former les agriculteurs	Revisiter les référentiels pédagogiques	2.3	<ul style="list-style-type: none"> > Rénover la spécialité du CAPA Production agricole > Rénover le bac pro CGEA et le BP « responsable d'entreprise agricole » > Rénover les BTS « DARC » et « ACSE » 	> Intégrer la thématique « produits de stimulation » dans les différents cursus, en l'adaptant au niveau de formation.	
	Mobiliser les exploitations des établissements d'enseignement	2.4	<ul style="list-style-type: none"> > Construire un programme stratégique régional des exploitations agricoles > Appel à projet pour favoriser l'expérimentation / la diffusion / la démonstration à travers quelques projets pilote 	<ul style="list-style-type: none"> > Intégrer la thématique « produits de stimulation » dans le programme stratégique > Lancer des appels à projet dont les périmètres couvrent explicitement les produits de stimulation ou bien envisager des appels à projets centrés spécifiquement sur les produits de stimulation 	
	Former les personnels des établissements	2.5	<ul style="list-style-type: none"> > Accompagner la communauté éducative à « enseigner à produire autrement > Réaliser l'inventaire des actions et compétences internes à l'enseignement agricole sur le thème de « Produire autrement » et « Enseigner à produire autrement ». 	<ul style="list-style-type: none"> > Intégrer la thématique « produits de stimulation » dans les dispositifs de formation > Identifier les actions et compétences liées aux produits de stimulation 	
	Impliquer le développement agricole	2.6	<ul style="list-style-type: none"> > Construire un outil d'autodiagnostic agroécologique des exploitations > Mobiliser les chambres d'agriculture dans l'accompagnement vers l'agroécologie > Mobiliser les réseaux existant 	<ul style="list-style-type: none"> > Intégrer la thématique « produits de stimulation » > Former le personnel des chambres d'agriculture (en particulier les conseillers) à la thématique « produits de stimulation » 	
	Diffuser et communiquer sur l'agriculture multiperformance	2.7	<ul style="list-style-type: none"> > Faire connaître le projet agroécologique auprès du grand public, des agriculteurs et des acteurs du monde agricole > Sensibiliser la presse agricole > Organiser des événements nationaux mobilisateurs 	> Intégrer la thématique « produits de stimulation »	
	Soutenir financièrement les démarches	Mobiliser les aides de développement rural	3.1	<ul style="list-style-type: none"> > Prendre en compte l'agroécologie dans les critères de modulation des aides à l'installation > Prendre en compte l'agroécologie dans le plan pour la compétitivité et l'adaptation des exploitations > Diffusion du nouveau cadre relatif aux MAEC 2015-2020 Etc. 	> Intégrer la thématique « produits de stimulation »
		Adapter les aides directes (1er pilier)	3.2	<ul style="list-style-type: none"> > Rénover le système de conseil agricole (SCA) 	> Former les prescripteurs aux produits de stimulation
Favoriser un contexte d'innovation	Favoriser le développement d'une génétique adaptée	4.1	<ul style="list-style-type: none"> > Identifier les critères de performance correspondant à l'agroécologie > S'assurer de leur prise en compte dans les évaluations officielles > Faire connaître aux agriculteurs les performances sur ces critères 	> Développer les variétés pour lesquelles les produits de stimulation sont les plus efficaces	

*Un prérequis est que ce terme soit plus adopté par les scientifiques. Il a pour l'instant essentiellement une connotation marketing. Des chercheurs travaillent sur des thématiques dans le champ de la biostimulation (par exemple PGPR, PGPF) sans le savoir ou sans le revendiquer.

6.3 Atouts et limites des produits de stimulation

Une synthèse des principaux atouts et limites des produits de stimulation est présentée dans le Tableau 19.

Tableau 19 – Synthèse des atouts et limites des produits de stimulation

SDP	Biostimulants
Atouts	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un large champ d'action <ul style="list-style-type: none"> > La plupart des SDP induisent des réponses chez plusieurs espèces végétales ; > Les mécanismes de défense induit par les SDP ne sont pas spécifiques à un agent pathogène donné et permettent ainsi de lutter contre un large spectre de bioagresseurs (bactéries, champignons, insectes etc.) de manière simultanée. > Ce large spectre d'action permet de lutter contre des maladies bactériennes et virales pour lesquelles peu ou pas de moyens de protection sont disponibles. ▪ Une résistance qui peut se propager <ul style="list-style-type: none"> > Le transport du signal de résistance peut dans certains cas (par exemple propagation de l'acide salicylique) se faire dans toute la plante ce qui a pour effet une protection de la plante entière (résistance induite systémique). > Dans certains cas, possibilité d'induction de résistance chez les plantes voisines via des molécules volatiles. ▪ Un faible risque d'apparition de résistance chez les agents pathogènes et ravageurs <ul style="list-style-type: none"> > Les SDP activent diverses voies de signalisation en parallèle dont les processus complexes impliquent un grand nombre de gènes, ce qui contribue à limiter le risque d'apparition de résistance chez les populations pathogènes. On doit toutefois préciser que l'on manque de recul et de connaissances sur les conséquences en termes d'apparition de résistances d'une réduction des doses de phytosanitaires « classiques » utilisées en association de SDP. ▪ Une complémentarité avec d'autres stratégies de protection des plantes <ul style="list-style-type: none"> > Les SDP, qui s'utilisent préférentiellement dans des programmes de traitement combinant d'autres produits phytosanitaires, permettent généralement d'espacer et/ou de retarder les traitements « classiques ». > Les SDP (stricts) n'ont pas d'action biocide directe, ils n'engendrent donc aucun effet délétère sur les auxiliaires des cultures ce qui les rend compatibles avec les programmes de lutte biologique. ▪ Une (éco) toxicité généralement réduite⁴⁶ <ul style="list-style-type: none"> > Plusieurs SDP sur le marché ne sont associés à aucune phrase de risque. > Un bon nombre de SDP sont des analogues ou des dérivés de molécules issues du vivant qui sont biodégradables et qui présentent un risque très limité (en l'état actuel des évaluations de dangers pour l'environnement et pour la santé des consommateurs). > En général, les SDP ne présentent pas de contrainte de Limite Maximale de Résidus (LMR) et de Délai Avant Récolte (DAR), d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur. ▪ Une économie basée sur le savoir et l'innovation <ul style="list-style-type: none"> > Le secteur emploie du personnel à haute qualification pour la R&D, que ce soit dans la recherche publique ou dans les nombreux partenariats recherche/industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Action via une régulation de l'activité biologique <ul style="list-style-type: none"> > De par leur définition, les biostimulants peuvent agir sur plusieurs aspects bénéfiques pour la culture (Action sur la nutrition et/ou le système racinaire, Stimulation de la croissance et de la photosynthèse, Amélioration de la résistance face aux stress abiotiques, Amélioration de la quantité et de la qualité des productions). ▪ Des gains possibles sur les aspects environnementaux et économiques <ul style="list-style-type: none"> > Les gains économiques ne sont pas négligeables pour l'utilisateur : diminution de la quantité d'engrais, augmentation des rendements et amélioration de la qualité des récoltes. > Les gains environnementaux s'inscrivent dans les mesures d'agro-écologie : diminution de la quantité d'engrais, meilleure gestion de l'azote, augmentation de la biodiversité des sols, etc. ▪ Une (éco) toxicité généralement réduite <ul style="list-style-type: none"> > Beaucoup de produits biostimulants de type « substance » (i.e. pas des micro-organismes) sont non classés et donc à faible risque pour l'environnement et l'Homme. > La plupart des souches microbiennes sont souvent présentes dans les sols ou isolées des plantes donc ont potentiellement peu d'effets (éco) toxicologiques. Toutefois, les effets d'un apport massif d'une souche donnée doivent être investigués. ▪ Une économie basée sur le savoir et l'innovation <ul style="list-style-type: none"> > Le secteur des biostimulants emploie du personnel à haute qualification. > Les industriels des biostimulants ont noué de nombreux partenariats avec des universités et instituts de recherche ▪ Des substances actives à des doses très faibles <ul style="list-style-type: none"> > Les flux de substances actives appliquées sont très faibles en comparaison à d'autres intrants (engrais, amendements, etc.).

⁴⁶ On précise toutefois que des SDP sont classés selon le RCE 1272/2008, par exemple (R36/R38) « irritant pour les yeux et la peau » et « (R51) Très toxique pour les organismes aquatiques » pour le Bion WG® (ASM)

SDP	Biostimulants
Limites	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Une efficacité limitée en comparaison aux produits « classiques » <ul style="list-style-type: none"> > En règle générale, l'utilisation d'un SDP seul ne peut pas protéger une culture tout le long d'un cycle. > Le système de défense intrinsèque à la plante peut être dépassé par une pression d'agent pathogène ou de ravageur trop importante. > L'efficacité dépend de plusieurs facteurs, encore peu connus ou mal maîtrisés (type de culture et variétés, conditions environnementales, stade de développement de la plante, modalités d'application des produits, etc.). Il y a un manque de connaissances scientifiques sur l'intégration optimale des produits dans les itinéraires techniques. ▪ Une utilisation qui nécessite un suivi rigoureux de la culture <ul style="list-style-type: none"> > L'utilisation des SDP peut s'avérer plus contraignante que pour les produits « classiques ». Le mode d'action des SDP nécessite d'être très précis sur les périodes d'utilisation, puisqu'il est souvent nécessaire de faire l'apport en préventif de l'arrivée de l'agent pathogène ou du ravageur, mais il faut également que la plante soit à un stade physiologique réceptif. ▪ Ressources naturelles nécessaires pour la production de SDP ? <ul style="list-style-type: none"> > Dans une perspective de long terme, si le marché des SDP se développe très largement au niveau mondial, il faudra produire des quantités importantes de substances issues de la biomasse (extraits d'algues, de plantes, etc.) sans impacter les écosystèmes et les productions agricoles à vocation alimentaire. Le problème sera toutefois moins prégnant pour la production de micro-organismes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un complément mais pas une alternative aux MFSC « classiques » <ul style="list-style-type: none"> > Les biostimulants ne remplacent que rarement les fertilisants traditionnels. En eux-mêmes, ces produits n'apportent pas ou très peu d'éléments nutritifs à la plante. ▪ Une efficacité optimale dépendante de nombreux facteurs <ul style="list-style-type: none"> > L'efficacité dépend de plusieurs facteurs, encore peu connus ou mal maîtrisés (type de culture et variétés, conditions environnementales, stade de développement de la plante, modalités d'application des produits, etc.). Il y a un manque de connaissances scientifiques sur l'intégration optimale des produits dans les itinéraires techniques. ▪ Un patchwork réglementaire <ul style="list-style-type: none"> > La mise en marché de produits peu efficaces est favorisée par l'absence d'une terminologie et de définitions uniques aux biostimulants, et par la non-spécificité de la réglementation pour ces produits innovants. ▪ Ressources naturelles nécessaires pour la production de Biostimulants ? <ul style="list-style-type: none"> > cf. point SDP

7. Vision des acteurs du secteur et recommandations à destination du MAAF

7.1 La vision des acteurs interrogés

Lors des interviews réalisées dans le cadre de cette étude, les professionnels du secteur ont été invités à donner leur vision sur les enjeux liés au développement des produits de stimulation, sur les filières les plus porteuses, ainsi que sur leurs besoins et attentes spécifiques.

Les principaux enjeux liés au développement des produits de stimulation

Trois enjeux clés ont été évoqués par l'ensemble des catégories d'acteurs : la formation, la R&D, et le cadre réglementaire.

La formation

Le besoin de formation (initiale et continue) sur les produits de stimulation ressort comme un enjeu clé pour l'ensemble des professionnels interrogés. Compte-tenu de la relative nouveauté de ces produits, de leurs spécificités d'utilisation par rapport aux PPP et fertilisants « classiques », et de leur diffusion encore limitée dans les filières, un effort de vulgarisation important reste à faire. Ces actions de communication et de formation doivent être menées à plusieurs niveaux au sein du monde agricole :

- **Les agriculteurs** ne sont pas suffisamment sensibilisés aux possibilités offertes par les produits de stimulation. Ils ont aussi souvent des attentes trop importantes par rapport à l'efficacité de ces produits qu'ils ont tendance à comparer aux produits classiquement utilisés. Ils ont également besoin de plus de formation et d'accompagnement afin d'optimiser l'utilisation de ces produits. En particulier, les SDP demandent généralement une surveillance rapprochée de la culture pour appliquer le produit avant l'apparition de l'agent pathogène et donc une charge de travail supplémentaire. Les biostimulants nécessitent plus particulièrement une certaine maîtrise agronomique puisque les modes d'application sont parfois dépendants des stades de culture. Globalement, les produits de stimulation s'utilisent différemment des produits « classiques » ce qui implique un changement des pratiques et des modes de pensée (appliquer en anticipation et non en curatif).
- **Les conseillers techniques** ont un rôle à jouer dans la diffusion des solutions innovantes, telles que les produits de stimulation, et dans l'accompagnement de leur appropriation par les agriculteurs. Il est donc essentiel de faire connaître ces produits aux conseillers, de les former sur les utilisations possibles et les bénéfices attendus, et qu'ils puissent disposer de données claires et objectives sur l'efficacité des produits, afin que ces derniers soient à même de suggérer l'utilisation de ces produits aux agriculteurs quand cela s'avère pertinent.
- **L'enseignement agricole** doit être mobilisé, les étudiants étant potentiellement de futurs utilisateurs ou de futurs prescripteurs. Ainsi, si l'on se place dans une logique de moyen et long terme, le nombre d'heures de cours traitant de la stimulation des défenses et des interactions sol-plantes devrait être augmenté et ce, quel que soit le cursus (lycée agricole, BTS, école d'ingénieur, etc.) et également pour la formation continue. Les formations techniques devraient sensibiliser les (futurs) utilisateurs sur l'importance de certains paramètres qui conditionnent en partie l'efficacité

agronomique des produits de stimulation à savoir : les conditions de stockage, la conservation après premier usage, la compatibilité avec d'autres produits (engrais ou PPP), les interactions avec les facteurs agro-environnementaux, etc.

La Recherche et le Développement

Un constat partagé par la plupart des acteurs est que la recherche est plus avancée dans le domaine des SDP que dans celui des biostimulants. Dans les deux cas, la recherche (publique et privée) doit se poursuivre notamment en vue de faire progresser l'efficacité des substances et notamment en précisant les conditions agroenvironnementales qui permettent d'exprimer cette efficacité. Cela peut passer par l'identification de nouvelles substances actives quand celles déjà identifiées n'ont pas démontré une efficacité suffisante, ou bien par une meilleure compréhension des modes d'action ainsi que des facteurs agissant sur l'efficacité des produits.

Au niveau du développement des spécialités commerciales, un travail sur la formulation et le mode d'application pourrait également permettre de faire progresser l'efficacité. L'absence d'études d'intérêt général sur l'innocuité des substances et des modes d'action (ex : résistance induite) peut aussi être un frein à l'acceptation de ces produits. De plus, il a été fréquemment souligné qu'il est nécessaire de renforcer les liens entre la recherche publique et les industriels afin d'accélérer et de faciliter le passage du laboratoire au développement de nouveaux produits.

Le cadre réglementaire

Tous les acteurs du secteur demandent une meilleure prise en compte des spécificités des produits de stimulation dans la réglementation (voir Figure 13 pour une illustration de cette vision), notamment pour les procédures de mise sur le marché, que ce soit au niveau français ou européen. Cela implique notamment de statuer sur des définitions uniques ayant un caractère officiel et légal, le foisonnement terminologique actuel entretenant une certaine confusion, notamment auprès des utilisateurs.

Dans le domaine des biostimulants, l'harmonisation en cours de la réglementation est identifiée comme un point essentiel pour permettre le développement du marché européen et éviter les distorsions existantes entre les réglementations applicables dans les différents Etats membres. Certains acteurs estiment également que la future réglementation permettra de sélectionner les produits « réellement efficaces ».

Faire évoluer le cadre réglementaire impliquerait d'introduire des nuances comparables à celles que l'on retrouve en santé humaine

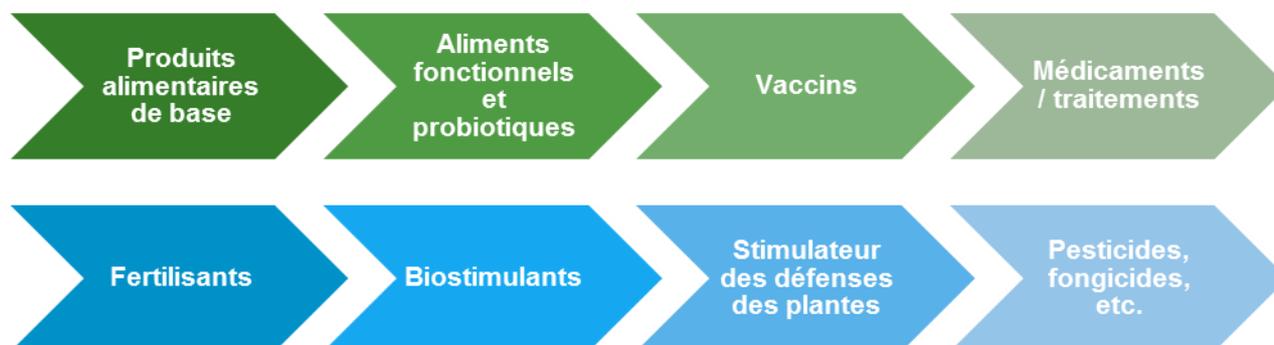


Figure 13 – Le besoin de prise en compte des spécificités des produits de stimulation : vision de l'EBIC (EBIC, 2014b)

Les filières les plus porteuses

Stimulateurs de défense des plantes

La majeure partie des acteurs soulignent qu'à ce jour les produits sont plus adaptés aux cultures conduites sous serre. En effet les conditions sont plus maîtrisées et l'efficacité des SDP est de ce fait généralement meilleure qu'en plein champ.

Les cultures pérennes (arboriculture, vigne) sont également des filières pour lesquelles les agriculteurs peuvent porter un fort intérêt aux produits de stimulation ; en effet la protection s'y gère sur le long terme et un investissement dans un nouveau produit peut mieux se valoriser.

Les filières fruits et légumes portent plus d'intérêt aux SDP et ce pour deux raisons principales : d'une part le nombre généralement limité de PPP « classiques » disponibles (situation menant à des apparitions d'agent pathogènes résistants et/ou à la présence d'usages orphelins pour lesquelles aucun PPP n'est actuellement disponible), et d'autre part la problématique des résidus de matière actives sur les produits.

En ce qui concerne les grandes cultures, la pomme de terre semble en particulier être une culture intéressante pour l'utilisation de SDP. En effet, dans la mesure où cette culture nécessite un suivi très régulier et de nombreux traitements de produits phytosanitaires conventionnels, l'intégration des SDP dans les programmes de traitement est plus facilement envisageable. En effet, grâce à ce suivi régulier, les agriculteurs de cette filière peuvent plus facilement anticiper l'apparition des agents pathogènes pour appliquer les SDP en prévention de l'expansion de la maladie. En ce qui concerne les céréales, cette filière a vu naître les premiers SDP (laminarine, acibenzolar-S-méthyl) mais leur utilisation n'est à ce jour pas généralisée, puisque notamment la laminarine et l'acibenzolar-S-méthyl n'ont pas démontré d'efficacité concluante sur la septoriose.

Biostimulants

Historiquement le marché des biostimulants s'est développé sur les cultures spécialisées où les marges sont plus importantes. L'adoption des biostimulants dans le domaine des grandes cultures est plus longue à se mettre en place, mais on assiste à une évolution progressive notamment avec l'arrivée de jeunes générations d'utilisateurs qui sont plus sensibles à ces nouvelles solutions.

Les agriculteurs les plus réceptifs ont généralement des exploitations de taille restreinte, en agriculture biologique, en particulier en maraîchage et viticulture.

Les attentes et besoins spécifiques

En ce qui concerne les attentes plus spécifiques de chaque catégorie d'acteurs, une synthèse des éléments recueillis en entretien est présentée ci-dessous.

- Les **scientifiques** soulignent l'importance de mener des projets de recherche indépendants sur les produits de stimulation afin de garantir l'objectivité des résultats en matière d'efficacité d'une substance active. Au-delà de l'engouement actuel pour la thématique et des appels à projets publics lancés récemment sur les SDP (mais à ce jour pas sur les biostimulants), il est nécessaire de disposer de financements publics pour des programmes de recherche sur plusieurs années, car les résultats de certains travaux n'aboutissent qu'à moyen/long terme.

Dans le même temps, les scientifiques estiment également que le développement de partenariats entre agriculteurs, instituts de recherche et industriels est nécessaire pour favoriser la communication entre les acteurs du secteur, permettre d'orienter certains travaux de recherche sur des thématiques prioritaires pour les industriels ou les agriculteurs et ainsi faciliter les transferts du laboratoire vers le champ.

- Les **expérimentateurs** interviewés soulignent que les tests d'efficacité des produits de stimulation nécessitent de nombreuses répétitions, car l'efficacité est souvent trop erratique avec des variations

au sein d'un même essai ou entre essais. La faible reproductibilité peut en partie être expliquée par les procédures d'essai complexes à mettre en œuvre et nécessitant d'être adaptées à ces produits. Il est important de diffuser davantage les bonnes pratiques pour l'évaluation de ces produits pour lesquels il n'existe pas officiellement de procédure type à l'heure actuelle. Ils identifient un fort besoin de méthodes de référence pour l'évaluation de l'efficacité des produits de stimulation, même si le développement de telles méthodes nécessite des moyens importants. Par exemple dans le cas des biostimulants, les indicateurs de mesure les plus utilisés actuellement sont les biomasses des plantes et les rendements, alors que ces produits peuvent avoir d'autres effets sur la qualité de la production, sans pour autant augmenter le rendement.

- Les **metteurs en marché** précisent que la formation des utilisateurs est nécessaire pour ne pas susciter des attentes trop fortes puis des déconvenues. Certains agriculteurs ont parfois des avis très négatifs concernant les produits de stimulation car ils les comparent « directement » aux produits dits « classiques » par manque de connaissance de leur fonctionnement.

Les metteurs en marché soulignent également la responsabilité des pouvoirs publics dans la communication sur les produits de stimulation. En effet, la communication doit être adaptée au contexte actuel, où un certain nombre de produits présentent encore des efficacités trop limitées (par exemple le Stifenia homologué contre l'oïdium de la vigne). Une communication excessive pourrait présenter un risque vis-à-vis de certains agriculteurs qui, suite à une mauvaise expérience, pourraient perdre confiance et définitivement tourner le dos à de potentiels changements de pratiques agricoles.

Certains metteurs en marché de SDP ont également évoqué la question du calcul de l'indicateur NODU pour le suivi du recours aux PPP, défini dans le cadre du plan EcoPhyto. Le NODU est décliné selon plusieurs segments dont un segment NODU « vert » Biocontrôle pour les produits de biocontrôle tels que les micro-organismes, les médiateurs chimiques, et les substances naturelles. Ces metteurs en marché proposent que la déclinaison NODU « vert » soit adaptée/complétée pour tenir compte en premier lieu du fait que la substance ne présente pas de risque particulier pour la santé ou l'environnement, plutôt que de son origine ou de son mode d'action. Cela laisserait alors une possibilité pour certains SDP de synthèse d'intégrer le segment « vert ».

Les metteurs en marché de produits à base de microorganismes indiquent que des investissements importants doivent aussi être réalisés au niveau du circuit de distribution, afin de permettre le stockage et le transport des produits dans de bonnes conditions de conservation (problématique de chaîne du froid notamment).

- **Les organisations travaillant en lien avec les utilisateurs (coopératives, instituts techniques)** estiment que les SDP ont une place sur le marché de la protection des plantes. En particulier, pour certaines filières agricoles comme les cultures spécialisées, il existe une attente importante de solutions et d'innovations pour répondre à des contraintes agronomiques spécifiques. Celles-ci sont liées à des choix de pratiques passant par une volonté de supprimer ou réduire les PPP « classiques » (agriculture biologique ou agriculture intégrée) ou à des impasses techniques (absence de PPP « classique » autorisé pour un usage spécifique : usages orphelins).

En ce qui concerne les biostimulants, il existe de fortes attentes pour trouver des solutions à certaines contraintes réglementaires, mais aussi un réel besoin de communication et d'accompagnement sur l'intérêt de ces produits. Pour cela, il est au préalable nécessaire d'avoir une terminologie claire et des moyens qui permettent de différencier les produits entre eux. Les organisations soulignent la nécessité de mener des programmes de recherche appliquée impliquant des biostatisticiens, pour améliorer les méthodes d'évaluation de l'efficacité de ces produits dans des protocoles d'essais. Ce travail sur l'amélioration des méthodes d'évaluation de l'efficacité doit venir en complément du travail visant à faire progresser l'efficacité.

- Les **autorités et évaluateurs** rejoignent les expérimentateurs sur les besoins d'élaboration de protocoles d'essais dédiés aux SDP d'une part et aux biostimulants d'autre part. Ceci permettrait d'assurer une évaluation fiable de l'efficacité de ces substances.
- Les **organisations professionnelles** (représentant les metteurs en marché) insistent plus particulièrement sur les problématiques liées au cadre réglementaire. Elles mettent en avant les spécificités des produits de stimulation face à un cadre réglementaire actuel qui est perçu comme trop lourd pour les SDP et pouvant générer des distorsions de concurrence dans le cas des biostimulants. Les organisations souhaitent que la durée des procédures d'homologation soit raccourcie pour permettre une mise sur le marché plus rapide des nouveaux produits.

De plus certaines organisations soulignent que les produits de stimulation se positionnant sur des enjeux environnementaux (réduction des PPP « classiques », réduction des fertilisants, gestion de l'azote, etc.) pourraient être davantage mis en avant par les pouvoirs publics comme étant des bonnes pratiques (à la condition qu'ils aient prouvé leur efficacité pour répondre à ces enjeux).

Enfin, il a été souligné qu'étant donné que l'utilisation des produits de stimulation nécessite une grande maîtrise agronomique, les industriels se trouvent dans l'obligation de travailler plus étroitement avec les agriculteurs, conseillers et distributeurs que pour leurs produits « classiques ». Il ne s'agit plus de développer la connaissance en amont et de la diffuser ensuite sur le terrain, mais plutôt d'être dans une logique collaborative et de co-création de la connaissance entre agriculteur, industriels et chercheurs afin d'accéder à une compréhension approfondie de l'utilisation des produits.

7.2 Recommandations pour accompagner le développement des produits de stimulation

Il apparait à la suite de notre étude que :

- La tendance générale est au développement du marché des produits de stimulation en France et à l'international.
- Nous n'avons pas identifié d'éléments mettant en cause l'intérêt de ces produits.

Dans ce contexte, le MAAF pourrait favoriser le développement du secteur en menant des actions à plusieurs niveaux. Des propositions d'actions sont présentées dans les paragraphes ci-après.

Financer et structurer la recherche

Financer les travaux prioritaires

Des financements sur plusieurs années, ainsi que des appels à projets mentionnant explicitement les mots clés associés au concept de stimulation (biostimulants, SDP, PGPR, etc.), apparaissent nécessaires pour supporter une recherche publique qui soit indépendante des metteurs en marché. La pérennité de ces financements est importante pour permettre la valorisation de travaux intéressants (et éviter par exemple le financement de thèses sans poursuite des projets par la suite) et pertinente pour une mise sur le marché.

Ces travaux de recherche devraient en priorité viser à :

- Comprendre les modes d'action et facteurs influençant l'efficacité ;
- Etudier l'innocuité des modes d'action (effets collatéraux) de ces produits ;
- Identifier de nouvelles substances et composants actifs ;
- Identifier les composants actifs dans les mélanges complexes pour éventuellement les purifier ;
- Etudier l'intégration des biostimulants dans les pratiques agroécologiques

Créer ou consolider des réseaux

La recherche sur les biostimulants devrait se structurer et s'organiser en réseaux, à l'image de ce qui est en place pour les SDP avec le RMT Elicitra notamment. A moyen terme, la création d'un RMT « Biostimulants », par exemple financé par le CASDAR, et suivi par le MAAF pourrait être envisagée. Cette nouvelle structure pourrait également s'appuyer sur le COMIFER⁴⁷. Toutefois, avant d'envisager la création d'un RMT, le terme « biostimulant » doit être plus adopté par les scientifiques et associé à une problématique scientifique bien identifiable pour eux.

En parallèle, le soutien au RMT Elicitra devrait se pérenniser, afin de laisser le temps aux différents axes développés dans ce réseau d'apporter des réponses concrètes et importantes pour le développement de ces produits en France et dans le monde.

Il est nécessaire de renforcer les échanges entre la recherche et les agriculteurs qui ont développé des connaissances en matière d'utilisation des produits de stimulation. En effet, la recherche publique, mais également les industriels, ont un rôle à jouer dans la valorisation des connaissances issues des essais menés par les agriculteurs eux-mêmes sur leurs exploitations. Afin de développer la remontée d'information des utilisateurs finaux vers les scientifiques et de promouvoir cette démarche auprès des agriculteurs, une réflexion doit s'engager sur les modalités de recensement, de collecte et d'analyse des résultats d'utilisation de produits de stimulation en condition réelles. La priorité étant de définir un cadre commun permettant la consolidation de ces données de terrain en vue de les valoriser à grande échelle.

⁴⁷ Comité Français d'Etude et de Développement de la fertilisation raisonnée

Favoriser le développement de nouveaux produits plus efficaces

Accélérer le développement de nouveaux produits

Il faut souligner qu'actuellement la plupart des substances et composants actifs identifiés proviennent non pas de la recherche académique mais des industriels qui développent les produits. Dans ce contexte, se pose donc la question du rôle de la recherche publique. En particulier, il apparaît nécessaire d'assurer la coexistence entre une recherche publique plus « fondamentale » et des projets menés en liens avec les industriels.

Davantage de partenariats et d'interactions entre le monde scientifique, les instituts techniques et les industriels pourraient être encouragés et développés, et ce notamment en phase de développement, afin de favoriser la commercialisation de nouvelles substances et composants actifs efficaces. Des cadres privilégiés pour ces interactions pourraient être des réseaux scientifiques tels que le réseau EMBA⁴⁸ lancé en octobre 2014 pour structurer la recherche sur le biocontrôle et qui vise notamment à promouvoir des collaborations avec les partenaires publics et privés ou bien un pôle de compétitivité tel que Végépolys permettant de rapprocher recherche publique et privée.

Concernant les substances déjà identifiées par les industriels, pour lesquelles des recherches doivent se poursuivre (par exemple sur les modes d'action, les conditions d'application ou les formulations). Il serait préférable de constituer des start-up ou laboratoires mixtes adossés aux unités de recherche classiques permettant ainsi de mutualiser expertise et infrastructures entre acteurs publics et privés plutôt que de rester dans une logique de prestation de service où la recherche publique mène des travaux dit « extériorisés » pour le compte d'un industriel. C'est donc à l'industrie de nouer des accords avec la recherche publique et sur cette base un soutien financier pourrait être envisagé par le MAAF.

Les scientifiques doivent aussi pouvoir valoriser les innovations et découvertes issues de leurs recherches. Des molécules/extraits/microorganismes qui possèdent des propriétés « de stimulation » peuvent être identifiés dans le cadre de divers travaux. Une valorisation peut être parfois envisagée mais il existe très peu de financements susceptibles d'accompagner les premières étapes avant la présentation d'un dossier à un industriel éventuel. Les financements de valorisation (ou prévalorisation) type ANR Emergence⁴⁹ ne sont possibles que si des industriels se déclarent partenaires intéressés. Face à ce constat, il semble fondamental de créer des incubateurs pour projets émergents permettant de passer des découvertes de laboratoire à des preuves de concept plus élaborées (précisant des aspects tels que les principes actifs et les modes d'action, les procédés de préparation/production, les premiers éléments (éco)toxicologiques) qui constitueront une base solide d'évaluation par des industriels pour ensuite passer à une logique collaborative entre acteurs publics et privés.

Fournir de la réassurance sur l'efficacité

Pour garantir la pérennité du marché, il apparaît nécessaire que les produits commercialisés aient tous fait preuve de leur efficacité jusqu'au champ. Cela peut passer, le cas échéant, par une intégration dans une stratégie globale (par exemple : protection intégrée des cultures).

Les conditions d'utilisation et de conservation, les bénéfices attendus et les revendications devraient être présentés aux agriculteurs de manière transparente. Des lignes directrices plus fortes devraient être données aux metteurs en marché en ce qui concerne la communication et les allégations sur ces produits.

⁴⁸ Ecological Management of Bioagressors in Agroecosystems

⁴⁹ Le programme Emergence de l'Agence Nationale de la Recherche vise à sélectionner et à financer des projets de courte durée (18 à 24 mois) issus d'organismes de recherche ayant un fort potentiel de valorisation, afin de faciliter et d'accélérer le développement de produits, de technologies ou de services et de permettre leur valorisation économique (cession ou licence de brevet, partenariat industriel, création d'entreprise) à l'issue du projet.

Toute revendication devrait être précisée (ex : pour un type de culture) et démontrée par des tests fiables avant l'enregistrement du produit. Dans ce cadre, les travaux visant à développer ou adapter des méthodes d'évaluation de l'efficacité doivent se poursuivre, notamment pour proposer des références et des indicateurs de mesures clairs et partagés.

Développer la formation des (futurs) utilisateurs et des conseillers

La formation doit permettre aux utilisateurs de choisir les produits adaptés et de les utiliser efficacement

Les besoins en formation (initiale et continue) et accompagnement des utilisateurs ont été identifiés lors de l'étude comme enjeu-clé. Les enjeux sont forts car au-delà de la simple sensibilisation à l'existence de ces produits, leur efficacité est conditionnée à la mise en place de pratiques d'utilisation appropriées. Il s'agit en effet pour les agriculteurs de pouvoir mener une réflexion plus globale sur l'intégration de ces produits dans les itinéraires techniques.

Les agriculteurs devraient donc être en mesure :

- D'appréhender la diversité des produits et des revendications, c'est-à-dire « décrypter » le vocabulaire propre à ces produits et les revendications mises en avant dans les communications commerciales, les fiches techniques et sur les étiquetages ;
- D'éviter les amalgames entre les différents concepts (biostimulants, stimulation des défenses, biocontrôle, agriculture biologique, etc.) tout en ayant connaissance des recoupements possibles ;
- De faire les choix les plus adaptés à leur situation, en ayant une connaissance la plus fine possible des impacts liés à l'utilisation de ces produits, qui peuvent entraîner un changement culturel (logique préventive, mixité/multiplicité des effets, etc.).

La formation permettra donc aux agriculteurs de rester pleinement maîtres de leurs choix et de leurs pratiques et de disposer du bon niveau d'information pour garder un point de vue critique sur les différents messages et conseils reçus.

Les conseillers doivent être formés pour permettre un accompagnement adapté des utilisateurs

Le constat actuel est que la communication à destination des agriculteurs sur les produits de stimulation est essentiellement faite par les distributeurs et les metteurs sur le marché dans le cadre d'un conseil « technico-commercial ». Ces acteurs jouent un rôle essentiel dans la diffusion des informations sur ces pratiques. Toutefois, pour permettre une appropriation par le plus grand nombre, tous les conseillers intervenants dans le secteur agricole doivent davantage s'impliquer dans les actions d'information à destination des agriculteurs : conseillers des coopératives, négoce, chambres d'agriculture, instituts technique mais également ceux des groupes et réseaux d'agriculteurs (GEDA, réseau TRAME⁵⁰, réseau RAD-CIVAM, etc.).

Cela nécessiterait également que ces conseillers soient formés sur cette thématique des produits de stimulation et bénéficient de données claires et objectives pour bâtir leur discours. Cela peut passer par la formation initiale mais également par des formations continues organisées par les instituts techniques, la participation à des colloques spécialisés organisés par les RMT, etc.

Enfin, pour les produits SDP en particulier et de biocontrôle en général, une attention particulière doit être portée aux formations Certiphyto qui doivent être enrichies de ces pratiques.

⁵⁰ <http://agriculture.gouv.fr/trame-tete-de-reseaux-pour-l-appui>

Poursuivre l'intégration des produits de stimulation dans le cadre réglementaire, en tenant compte de leurs spécificités

Le prérequis pour le développement de ces produits est la clarification de l'efficacité et du cadre réglementaire au niveau français et européen. Ceci concerne la terminologie, les procédures d'autorisation de mise sur le marché (incluant les protocoles d'évaluation) et les règles en matière d'allégations commerciales visibles sur les étiquetages ou dans les publicités.

Le MAAF devrait veiller au renforcement de l'expertise des autorités compétentes (ANSES) dans l'évaluation de l'efficacité et de l'innocuité des programmes.

Si des actions des pouvoirs publics visant à favoriser le développement de ces produits sont menées, il apparaît essentiel d'assurer leur cohérence avec les dispositifs existants, en particulier :

- La Politique agricole commune, et tout particulièrement les programmes de développement rural 2014-2020 : évaluer la possibilité d'introduire les produits de stimulation dans le cahier des charges de certaines mesures agro-environnementales ;
- Les différents plans du projet Agroécologie, comme le Plan Ecophyto et le NODU vert bio contrôle, ainsi que les futurs plans pouvant être mis en place ;
- Les Certificats d'économie de produits phytosanitaires, en cours de développement.

Un plan d'actions spécifique aux produits de stimulation pourrait être mis en œuvre, afin d'assurer une coordination optimisée de leur développement. Il nécessiterait néanmoins d'avoir au préalable mis en place des actions de « première priorité » (en particulier cadre réglementaire clarifié) et d'établir une stratégie adaptée au potentiel de ces produits dans une perspective de moyen terme, et également au regard des autres dispositifs et pratiques qui seront mis en œuvre dans le cadre global de la loi d'avenir agricole, notamment les futurs Groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Il s'agira également pour la recherche et les industriels de consolider les connaissances démontrant que les produits de stimulation peuvent être considérés comme des solutions (partielles) vis à vis des politiques liées aux grands enjeux environnementaux (qualité de l'eau et nitrates, changement climatique, etc.).

Dans ce cadre, le comité de pilotage constitué pour la présente étude pourrait se transformer en groupe d'échange auprès du ministère.

7.3 Synthèse des attentes des acteurs et des recommandations : axes envisageables pour développer les produits de stimulation en France

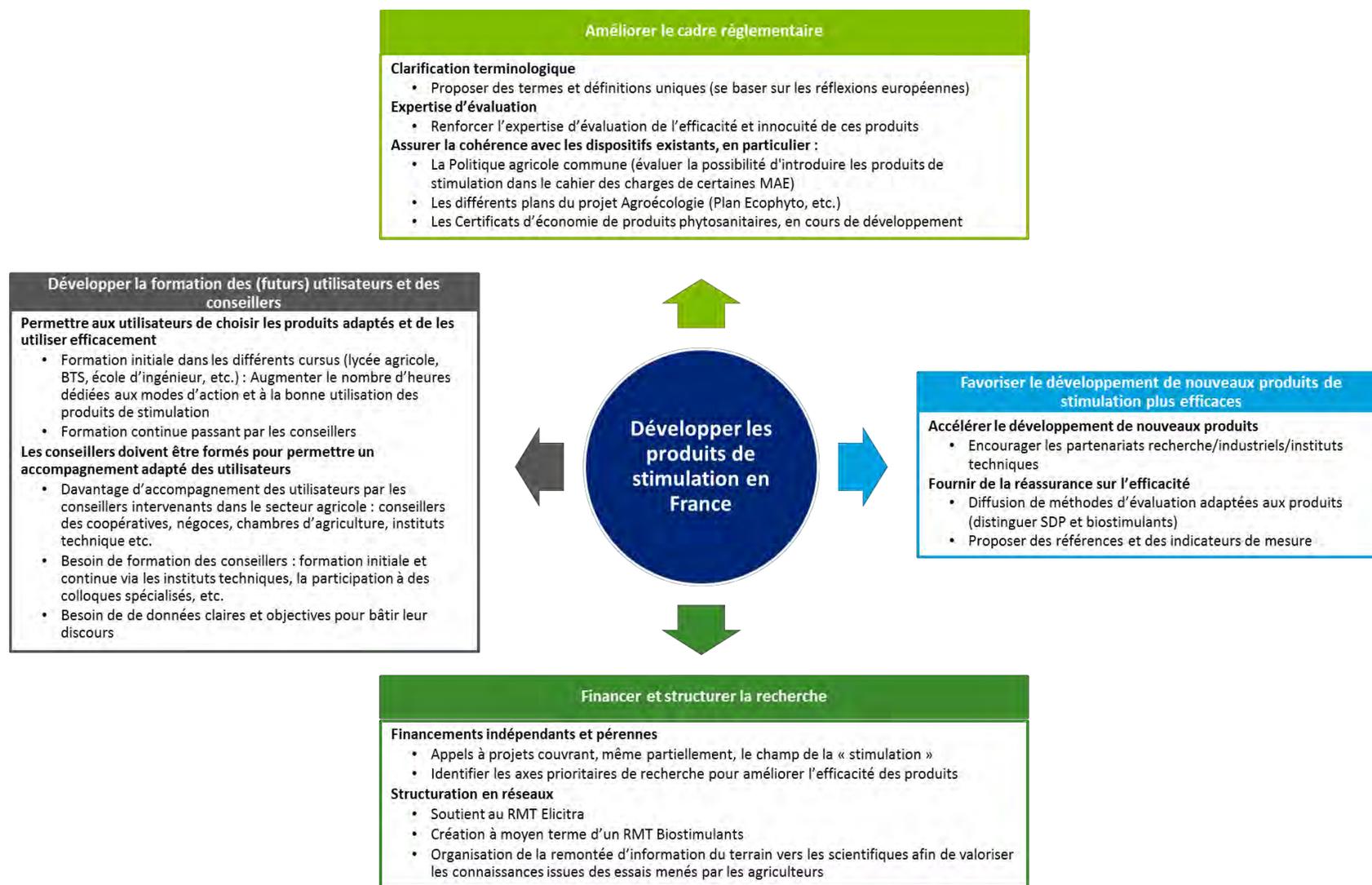


Figure 14 – Axes envisageables pour développer les produits de stimulation en France

Références

- AFPP, 2013. Stimulation des défenses des végétaux cultivés (Fiche AFPP 5.12). Dans: F. A. (Editions), éd. *Protection Intégrée des Cultures - Fiches pour le conseil des techniques utilisables*, pp. 207-210.
- Agreenium, 2013. *Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement*.
- Ahuja, I., Kissen, R. & Bones, A. M., 2012. Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends in plant science*, 17(2).
- ANSES, 2009. *AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'autorisation de mise sur le marché de la préparation TRIANUM P, à base de Trichoderma harzianum, souche T22, de la société KOPPERT BV*.
- ANSES, 2013. *Note d'information aux pétitionnaires concernant l'homologation des MFSC*.
- Arcadia, 2014. *A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU. Report for the European Commission*.
- Ashraf, M., Akram, N. A., Al-Qurainy, F. & Foolad, M. R., 2011. Drought Tolerance : Roles of Organic Osmolytes, Growth Regulators, and Mineral Nutrients. *Advances in Agronomy*.
- Ashraf, M. & Foolad, M. R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2).
- Assemblée Nationale, 26 mars 2014. *Projet de loi relatif à la biodiversité, n° 1847*.
- Ayers, A. R., Ebel, J., Valent, B. & Albersheim, P., 1976. Host-Pathogen Interactions : fractionation and biological activity of an elicitor isolated from the mycelial walls of phytophthora megasperma var. sojae. *Plant physiology*, Volume 57.
- Babu, M. et al., 2003. Induction of systemic resistance to Xanthomonas oryzae pv. oryzae by salicylic acid in Oryza sativa (L.). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 110(5), pp. 419-431.
- Bargabus, R., Zidack, N., Sherwood, J. & Jacobs, B., 2002. Characterisation of systemic resistance in sugar beet elicited by a non-pathogenic, phyllosphere-colonizing Bacillus mycoides, biological control agent. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 61(5), p. 289-298.
- Barnthouse, L. & Suter, G., 1986. *User's manual for ecological risk assesment. Prepared for US EPA*.
- Bayer CropScience, 2008. We need a green second revolution. *Courier - The Bayer CropScience Magazine for Modern Agriculture*.
- Beauverie, J., 1901. Essais d'immunisation des végétaux contre les maladies cryptogamiques. *Compte-Rendu de l'Académie des Sciences*, Volume 133.
- Beckers, G. & Conrath, U., 2007. Priming for stress resistance: from the lab to the field. *Current opinion in plant biology*, 10(4), pp. 425-31.
- Belgium.be, 2013. *Définition des catégories de produits de la législation belge (arrêté royal du 28 janvier 2013)*. [En ligne]
Disponible sur :
http://www.health.belgium.be/eportal/Environment/Chemicalsubstances/Fertilisers/ProductCategories/index.htm#.U-N-JeN_tIM
[Accès août 2014].

Blanchard, A. & Limache, F., 2005. *Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN) Rapport bibliographique*.

Boyer, J., 1982. Plant Productivity and Environment. *Science*, 218 (octobre).

Bulot, S., 2013. Biostimulants : un marché neuf qui s'organise. *Semences et Progrès*, Volume 159, pp. 163-164.

Buonaurio, R. et al., 2002. Induction of systemic acquired resistance in pepper plants by acibenzolar-s-methyl against bacterial spot disease. *European journal of plant pathology*, Volume 108, pp. 41-49.

BVL, 2014. *Pflanzenstärkungsmittel*. [En ligne]

Disponible sur :

http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/04_Pflanzenstaerkungsmittel/psm_Pflanzenstaerkungsmittel_node.html

[Accès août 2014].

Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J. W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*.

CEB-AFPP, 2011. *Répertoire terminologique en protection des plantes*.

CEP, 2013. L'agroécologie : des définitions variées, des principes communs. *Centre d'étude et de prospective - Analyse n°59*.

CEP, 2013. Transitions vers la double performance : quelques approches sociologiques de la diffusion des pratiques agroécologiques. *Centre d'étude et de prospective - Analyse n°63*.

Chen, S.-K., Subler, S. & Edwards, C. A., 2002. Effects of agricultural biostimulants on soil microbial activity and nitrogen dynamics. *Applied Soil Ecology*, 19(3).

Chester, K., 1933. The problem of acquired physiological immunity in plants. *Quarterly Review of Biology*, Volume 8.

Cipollini, D., Enright, S., Traw, M. & Bergelson, J., 2004. Salicylic acid inhibits jasmonic acid-induced resistance of *Arabidopsis thaliana* to *Spodoptera exigua*. *Molecular Ecology*, Volume 13.

Cooper, W., Jia, L. & Goggin, F., 2002. Acquired and R-gene-mediated resistance against the potato aphid in tomato. *Journal of chemical ecology*, Volume 30, pp. 2527-2542.

Cox, E. & Wong, B., 2013. *Biological crop chemistry primer: Green shoots through green products.*, Piper and Jaffrey.

Csinos, A., Pappu, H., McPherson, R. & Stephenson, M., 2001. Management of Tomato spotted wilt virus in flue-cured tobacco with acibenzolar-s-methyl and imidacloprid. *Plant disease*, Volume 85, pp. 292-296.

Dann, E., Diers, B., Byrum, J. & Hammerschmidt, R., 1998. Effect of treating soybean with 2,6-dichloroisonicotinic acid (INA) and benzothiadiazole (BTH) on seed yields and the level of disease caused by *Sclerotinia sclerotiorum* in field and greenhouse studies. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 104.

Decreto Legislativo, 2010. *Decreto Legislativo 29 aprile 2010 n°75*.

DGAL, 2012. *Ecophyto - Fiche méthodologique - Le NOMBRE de Doses Unités (NODU) Vert Biocontrôle*.

Dietrich, R., Ploss, K. & Heil, M., 2004. Constitutive and induced resistance to pathogens in *Arabidopsis thaliana* depends on nitrogen supply. *Plant, Cell and Environment*, Volume 27.

Dietrich, R., Ploss, K. & Heil, M., 2005. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant, Cell & Environment*, 28(2), pp. 211-222.

Du Jardin, P., 2012. *The science of plant biostimulants - A bibliographic analysis*.

- Dufour, M.-C., 2011. *Etude de l'efficacité des défenses de différents génotypes de Vitis induites par élévation face à la diversité génétique de bioagresseurs (Plasmopara viticola et Erysiphe necator): du gène au champ.*
- Durand, N., Briand, X. & Meyer, C., 2003. The effect of marine bioactive substances (N PRO) and exogenous cytokinins on nitrate reductase activity in Arabidopsis thaliana. *Physiologia Plantarum*, 119(4).
- Ebel, J. & Cosio, G., 1994. Elicitors of plant defense responses. *International Review of Cytology*, Volume 148, pp. 1-36.
- EBIC Workshop 09/2014, 2014. *Workshop on "regulating biostimulants at the EU level" : How to manage multiple-identity substances & products.* Bruxelles.
- EBIC, 2011. *Indicative list of some existing biostimulant products and claims.*
- EBIC, 2013. *Economic overview of the biostimulants sector in Europe.*
- EBIC, 2014. [En ligne]
Disponible sur : <http://www.biostimulants.eu/>
- EBIC, 2014b. *Présentation à la conférence "Biostimulants and Plant Growth Conference", 14-15 mai 2014, Bruxelles.*
- ECETOC, 2014. *European Center for Ecotoxicology and Toxicology Of Chemicals.* [En ligne]
Disponible sur : <http://www.ecetoc.org/risk-hazard-and-precaution>
[Accès juillet 2014].
- Ecocert, 2014. *Liste des intrants autorisés par Ecocert en France.* [En ligne]
Disponible sur : http://ap.ecocert.com/liste_intrant/
[Accès juillet 2014].
- Edreva, A., 2005. Pathogenesis-related proteins : research progress in the last 15 years. *General Applied Plant Physiology*, 31(1-2).
- EFSA , 2013. Scientific Opinion on the maintenance of the list of QPS biological agents intentionally added to food and feed (2013 update). *EFSA Journal*, Volume 11.
- EFSA, 2014. *Présomption d'innocuité reconnue (QPS).* [En ligne]
Disponible sur : <http://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/qps.htm>
[Accès août 2014].
- EPPO, 2012. *Evaluation biologique des produits phytosanitaires - Principes de l'efficacité globale acceptable.*
- Faessel, L., 2008. *Résistance induite par l'acibenzolar-S- méthyl sur soja et conséquences sur la rhizosphère.*
- Faessel, L. & Morot-Gaudry, J.-F., 2009. *Les stimulateurs de nutrition et autres produits émergents à la lumière de la physiologie.*
- Falkhof, A.-G., Dehne, H.-W. & Schönbeck, F., 1988. Dependence of the Effectiveness of Induced Resistance on Environmental Conditions. *Journal of Phytopathology*, 123(4).
- Fardeau, J. & Jonis, M., 2003. *Phytostimulants et éliciteurs pour végétaux - Propriétés et garanties réglementaires.*
- Ferreira, M. & Lourens, A., 2002. The efficacy of liquid seaweed extract on the yield of canola plants. *South African Journal of Plant and Soil*, 19(3).
- Ferrara, G. et al., 2013. Application of Abscisic Acid (S-ABA) to 'Crimson Seedless' Grape Berries in a Mediterranean Climate: Effects on Color, Chemical Characteristics, Metabolic Profile, and S-ABA Concentration. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(3), pp. 491-505.

- Fertilizer Focus, 2014. Biostimulants: All smoke and Mirrors?. *Fertilizer Focus*, Volume Janvier/février.
- Finkelstein, R. R., Gampala, S. S. L. & Rock, C. D., 2002. Abscisic Acid Signaling in Seeds and Seedlings. *The Plant Cell*, 14(no. suppl 1), pp. S15-S45.
- Forbes, V.-E. & Forbes, T.-L., 1997. *Ecotoxicologie : théorie et applications*.
- Forde, B. G. & Lea, P. J., 2007. Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. *Journal of experimental botany*, 58(9).
- Fytoweb, 2014. *liste des dérogations pour les engrais, amendements du sol, substrats de culture et produits connexes*. [En ligne]
 Disponible sur : <http://www.fytoweb.fgov.be/FR/meststoffen.htm>
 [Accès août 2014].
- Garcia-Brugger, A. et al., 2006. Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Molecular plant-microbe interactions*, 19(7).
- Genodics, 2014. *Application du procédé génodique*. [En ligne]
 Disponible sur : <http://www.genodics.com/les-applications-du-procede-genodique>
 [Accès août 2014].
- Goëmar, 2014. *Fiche argumentaire - Vacciplant Fruits et Légumes*.
- Grabowska, A. et al., 2012. The Effect of Cultivar and Biostimulant Treatment on the Carrot Yield and its Quality. *Vegetable Crops Research Bulletin*, Volume 77.
- Guntzer, F., Keller, C. & Meunier, J.-D., 2011. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1).
- Guske, S., Schulz, B. & Boyle, C., 2004. Biocontrol options for *Cirsium arvense* with indigenous fungal pathogens. *Weed research*, 44(2), pp. 107-116.
- Hafez, M., Schmitt, A. & Hassan, S., 1999. The side-effects of plant extracts and metabolites of *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai and conventional fungicides on the beneficial organism *Trichogramma cacoeciae* Marchal. *Journal of Applied Entomology*, Volume 123, pp. 363-368.
- Hammerschmidt, R., 2007 (réédition 2014) . Introduction: definitions and some history. Dans: A. N. a. G. L. D. Walters, éd. *Induced Resistance for Plant Disease Control: A Sustainable Approach to Crop Protection*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 1-8.
- Heil, M., 2001. The ecological concept of costs of induced systemic resistance (ISR). *European Journal of Plant Pathology*, Volume 107.
- Henry, G., Thonart, P. & Ongena, M., 2012. PAMPs, MAMPs, DAMPs and others: an update on the diversity of plant immunity elicitors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 16(2), pp. 257-268.
- Herth, A., 2011. *Le bio-contrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Rapport au premier ministre*.
- Hill, S., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture*, 7(1), pp. 81-87.
- Hoffmann-Sommergruber, K., 2002. Pathogenesis-related (PR)-proteins identified as allergens. *Biochemical Society Transactions*, Volume 30, pp. 930-935.
- IBMA, 2014. *IBMA France*. [En ligne]
 Disponible sur :
http://www.ibmafrance.com/uploads/1/9/8/2/19823647/prsentation_ibma_france_mars2014.pdf
 [Accès le 2014].
- IBMA, 2014. *Les acteurs du Biocontrôle en France*.

IFV, 2013. *Guide Méthodologique d'évaluation de l'efficacité des SDP - Présentation faite au Colloque Elicitra – Avignon – 13 & 14 Juin 2013.*

Inbar, M. et al., 1998. Elicitors of plant defensive systems reduce insects densities and disease incidence. *Journal of chemical ecology*, Volume 24, pp. 135-149.

Iriti, M. et al., 2005. Induction of resistance to gray mold with benzothiadiazole modifies amino acid profile and increases proanthocyanidins in grape: primary versus secondary metabolism. *Journal of agricultural food and chemistry*, Volume 53, pp. 9133-9139.

ITAB, 2014. *Guide des produits de protection des cultures utilisables en France en Agriculture Biologique.*

Keen, N., 1975. Specific elicitors of plant phytoalexin production: determinants of race specificity in pathogens?. *Science*, 187(4171).

Khan, W. et al., 2009. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4).

Klarzynski, O., Fablet, E., Euzen, M. & Joubert, J.-M., 2006. Etat des connaissances sur les effets des extraits d'algues sur la physiologie des plantes. *Phytoma*, Issue 597.

Konstantinidou-Doltsinis, S. et al., 2006. Efficacy of Milsana, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *BioControl*, 51(3), pp. 375-392.

Krause, M. et al., 2003. Isolation and characterization of rhizobacteria from composts that suppress the severity of bacterial leaf spot of radish. *Phytopathology*, 93(10), pp. 1292-1300.

Kùc, J., Barnes, E., Daftsiros, A. & Williams, E., 1959. The effect of amino acids on susceptibility of apple varieties to scab. *Phytopathology*, Volume 53, pp. 1261-1266.

Kunz, S. & Hinze, M., 2014. Assessment of biocontrol agents for their efficacy against apple scab. *EcoFruit*, Volume Pome Fruit: Strategies for Disease Control.

Kunz, S., Schmitt, A. & Haug, P., 2012. Development of strategies for fire blight control in organic fruit growing. *Integrated Plant Protection in Fruit Crops*, Volume 84, pp. 71-78.

Leymonie, J.-P., 2013. *Biostimulants: What's behind the name?*. IFA Conference, Chicago.

Lian, B., Zhou, X., Miransari, M. & Smith, D., 2000. Effects of salicylic acid on the development and root nodulation of soybean seedlings. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185(3).

Liegeois, E., 2012. *A European legislation on Biostimulants: where do we stand?*. Strasbourg.

Liu, S. et al., 2006. Resistance to *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) in *Brassica napus* (oilseed rape) induced by *L. biglobosa* and chemical defence activators in field and controlled environments. *Plant pathology*, Volume 55, pp. 401-412.

Louws, F. et al., 2001. Field Control of Bacterial Spot and Bacterial Speck of Tomato Using a Plant Activator. *Molecular plant pathology*, 85(5), pp. 9-22.

Lugtenberg, B. & Kamilova, F., 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual review of microbiology*, Volume 63.

MAAF, 2012. *Catalogue national des usages phytopharmaceutiques.*

MAAF, 2012. *EcophytoPic*. [En ligne]

Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/Presentation-d-EcophytoPIC>

MAAF, 2012. *Liste des produits entrant dans le calcul du NODU "vert" biocontrôle au titre de l'année 2012.*

MAAF, 2013. *Liste des produits entrant dans le calcul du NODU "vert" biocontrôle au titre de l'année 2013.*

- MAAF, 2014a. *Catalogue e-phy*. [En ligne]
 Disponible sur : <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>
 [Accès septembre 2014].
- MAAF, 2014b. *Agriculture biologique*. [En ligne]
 Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/l-agriculture-biologique>
 [Accès septembre 2014].
- MAAF, 2014c. *Le plan d'action global pour l'agro-écologie*. [En ligne]
 Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/plan-action-agroecologie>
 [Accès septembre 2014].
- Malandain, H. & Lavaud, F., 2004. Allergénicité de protéines de défense végétale. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, Volume 44.
- Malézieux, E., 2013. *Agro-écologie : quels principes dans les agro-écosystèmes tropicaux ?*.
- Meier, U., 2001. *Stades phénologiques des mono-et dicotylédones - BBCH Monographie*. 2ème édition éd. Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2007. *ORDEN APA/1470/2007 de 24 de mayo, por la que se regula la comunicacion de comercializacion de determinados medios de defensa fitosanitaria*.
- Ministerio de la Presidencia, 2013. *Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes*.
- Munné-Bosch, S., 2005. The role of alpha-tocopherol in plant stress tolerance. *J Plant Physiol*, 162(7), pp. 743-8.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. & Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11).
- Nature et Progrès, 2014. *Liste des cahiers de charges Nature et Progrès*. [En ligne]
 Disponible sur : http://www.natureetprogres.org/producteurs/cahier_des_charges.html
 [Accès août 2014].
- New Ag, 2010. Biostimulants: What's behind the name?. *New Ag International*.
- Nombela, G. et al., 2005. Benzothiadiazole induces local resistance to Bemisia tabaci in tomato plants. *Journal of economic entomology*, Volume 98, pp. 2266-2271.
- Nürnbergger, T. & Brunner, F., 2002. Innate immunity in plants and animals: emerging parallels between the recognition of general elicitors and pathogen-associated molecular patterns. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(4).
- Obradovic, A. et al., 2004. Integration of biological controls agents and systemic acquired resistance inducers against bacterial spot on tomato. *Plant Disease*, Volume 89, pp. 712-716.
- Orodea Garcia, L. F., 2008. *Registro de productos fitosanitarios. Nuevo registro de otros medios de defensa fitosanitaria*.
- Owen, K., Green, C. & Deverall, B., 2002. A benzothiadiazole applied to foliage reduces development and egg deposition by Meloidogyne spp. in glasshouse-grown grapevine roots. *Australian plant pathology*, Volume 31, pp. 47-53.
- Pajot, E. & Regnault-Roger, C., 2008. Stimulation des défenses naturelles des plantes et résistance induite : une nouvelle approche phytosanitaire ?. Dans : *Biopesticides d'origine végétale*. Paris: Tec&Doc.
- Papenfus, H. et al., 2013. Effect of a commercial seaweed extract (Kelpak) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. *Scientia Horticulturae*, Volume 151.
- Parađiković, N. et al., 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality : an example of sweet yellow pepper plants. *Journal of scientific food agriculture*, 91(12).

- Paudel, S., Rajotte, E. G. & Felton, G. W., 2014. Benefits and costs of tomato seed treatment with plant defense elicitors for insect resistance. *Arthropod-Plant Interactions*, Issue octobre.
- Phytoma, 2005. Mécanismes d'action de l'extrait d'algue GA7. *Phytoma - La défense des végétaux*, Issue 585, pp. 42-44.
- Phytoma, 2014. Les lipopeptides d'origine microbienne. *Phytoma*, 672(Mars), pp. 38-41.
- Pieterse, C., Schaller, A., Mauch-Mani, B. & Conrath, U., 2006. Signaling in plant resistance responses: divergence and cross-talk of defense pathways. Dans: B. E. Tuzun S., éd. *Multigenic and induced systemic resistance in plants*. Springer, pp. 166-196.
- Powers, A. & Genot, B., 2014. *Biostimulant market dynamics*. Bruxelles.
- Randoux, B. et al., 2006. Inhibition of *Blumeria graminis* f. sp. tritici Germination and Partial Enhancement of Wheat Defenses by Milsana. *Phytopathology*, 96(11), pp. 1278-1286.
- Reuveni, M., Zahavi, T. & Cohen, Y., 2001. Controlling downy mildew (*Plasmopara viticola*) in field-grown grapevine with BABA. *Phytoparasitica*, Volume 29, pp. 125-133.
- RMT Elicitra, 2012. *Guide méthodologique d'évaluation de l'efficacité des Stimulateurs des Défenses des Plantes (SDP)*.
- RMT Elicitra, 2013. *Projet de RMT Elicitra - Comprendre, développer et promouvoir au sein des filières végétales les stratégies de stimulation de défense des plantes*.
- RMT Elicitra, 2014. *Tableau bilan des résultats obtenus par les partenaires du RMT*.
- Rollin, F., 2013. *Ecophyto - Conférence-débat « Biocontrôle » - Table ronde*.
- Ross, A., 1961. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plant. *Virology*, Volume 14.
- Ross, A., 1961. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plant. *Virology*, Volume 14, pp. 340-358.
- Royal, S., 26 juin 2014. *Communiqué de presse de Mme Ségolène Royal - Biodiversité – lutte contre les pesticides : Ségolène Royal a fait adopter trois mesures lors de l'examen du projet de loi relatif à la biodiversité en commission*, Paris.
- Sawada, H., 2009. Potential of plant defense inducers in disease control - Expected role of the novel resistance inducer, isotianil. *Journal of Pesticide Science*, 34(4), pp. 326-329.
- Schillmiller, A. L. & Howe, G. A., 2005. Systemic signalling in the wound response. *Current Opinion in Plant Biology* 8, Volume 8.
- Schmitt, A., 2002. Induced responses by plant extracts from *Reynoutria sachalinensis*. *Induced Resistance in Plants against Insects and Diseases*, 25(6), pp. 83-88.
- Sebillotte, M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. ORSTOM, Série Biologie*, 3(1), pp. 3-25.
- Sebillotte, M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. Dans: L. Combe & D. Picard, édés. *Les systèmes de culture*, pp. 165-196.
- Senthil-Kumar, M. & Mysore, K. S., 2013. Nonhost resistance against bacterial pathogens: retrospectives and prospects. *Annual review of phytopathology*, Volume 51, pp. 407-427.
- Shekhar Sharma, H. et al., 2013. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26(1).
- Sivasangari Ramya, S., Nagaraj, S. & Vijayana, N., 2011. Influence of Seaweed Liquid Extracts on Growth, Biochemical and Yield Characteristics of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. *Journal of phytology*, 3(9).

- Smith-Becker, J., Keen, N. & Becker JO, 2003. Acibenzolar-s-methyl induces resistance to *Colletotrichum lagenarium* and cucumber mosaic virus in cantaloupe. *Crop protection*, Volume 22, pp. 769-774.
- Stadnick, M. & Buchenauer, H., 1998. Histological and physiological changes in wheat plants by benzothiadiazole derivative. Dans: R. P. D. H. S. H. Lyr H, éd. *Modern fungicides and antifungal compounds*. Andover, UK: Intercept, pp. 357-366.
- Steimetz, E. et al., 2012. Influence of leaf age on induced resistance in grapevine against *Plasmopara viticola* Emilie Steimetz, Sophie Trouvelot, Katia Gindrob, Adeline Bordierc, Benoît Poinssota, Marielle Adriana, Xavier Daire. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, Volume 79.
- Szabados, L. & Saviouré, A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, 15(2).
- Szabo, V. & Hrotko, K., 2009. Preliminary results of Biostimulator Treatments on *Crataegus* and *Prunus* stockplants. *Bulletin UASVM Horticulture*, 66(1).
- Tamm, L. et al., 2011. Elicitors and soil management to induce resistance against fungal plant diseases. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 58(3-4), pp. 131-137.
- Terres d'innovation, 2009. *Stimulation des mécanismes de défenses naturelles des plantes - Protection des cultures, production de composés secondaires d'intérêt*.
- Thakur, M. & Sohal, B., 2013. Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection : A review. *ISRN Biochemistry*.
- Thaler, J., 1999. Jasmonic Acid Mediated Interactions Between Plants, Herbivores, Parasitoids, and Pathogens: A Review of Field Experiments in Tomato. Dans: A. A. Agrawal, S. Tuzun & E. Bent, éd. *Induced plant defenses against pathogens and herbivores: biochemistry, ecology, and agriculture*. St Paul, Minnesota, USA: American Phytopathological Society Press, pp. 319-334.
- Thaler, J., 1999b. Jasmonate-inducible plant defences cause increased parasitism of herbivores. *Nature*, 399, pp. 686-688.
- Tosi, L. & Zizzerini, A., 2000. Interactions between *Plasmopara helianthi*, *Glomus mosseae* and Two Plant Activators in Sunflower Plants. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 106.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S. & Nardi, S., 2010. From environmental aspects to molecular factors Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant signaling and behavior*, 5(6).
- U.S. Environmental Protection Agency, 1992. *Framework for ecological risk assessment*, Washington, DC.
- Van Breusegem, F. & Dat, J. F., 2006. Reactive Oxygen Species in Plant Cell Death. *Plant Physiology*, 141(Juin), pp. 384-390.
- Van Breusegem, F., Vranová, E., Dat, J. & D, I., 2001. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Science*, Volume 161.
- Van Dijk, Arcadia International, BiPRO, 2012. *Study on options to fully harmonise the EU legislation on fertilising materials including technical feasibility, environmental, economic and social impacts*.
- Van Loon, L., 1999. Occurrence and properties of plant pathogenesis-related proteins. Dans: S. Datta & S. Muthukrishnan, éd. *Pathogenesis-related proteins in plants*.
- Van Loon, L., 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3).
- Walters, D. R., 2009. Are plants in the field already induced ? Implications for practical disease control. *Crop Protection*, Volume 28, pp. 459-465.
- Walters, D. R. et al., 2011. Cultivar Effects on the Expression of Induced Resistance in Spring Barley. *Plant disease*, Volume Mai.

- Walters, D. R., Ratsep, J. & Havis, N. D., 2013. Controlling crop diseases using induced resistance : challenges for the future. *Journal of experimental botany*, 64(5), pp. 1263-1280.
- Walters, D., Walsh, D., Newton, A. & Lyon, G., 2005. Induced Resistance for Plant Disease Control: Maximizing the Efficacy of Resistance Elicitors. *Phytopathology*, 95(12), pp. 1368-1373.
- Worrall, D. et al., 2012. Treating seeds with activators of plant defence generates long-lasting priming of resistance to pests and pathogens. *New Phytologist*, 193(3), pp. 770-778.
- Yildirim, E., Dursun, A., Kumlay, M. A. & Güvenç, İ., 2002. The effects of different salt, biostimulant and temperature levels on seed germination of some vegetable species. *Acta Agrobotanica*, 55(2).
- Zehnder, G. W. et al., 2000. Induction of resistance in tomato against cucumber mosaic cucumovirus by plant growth-promoting rhizobacteria. *BioControl*, 45(1), pp. 127-137.
- Zeier, J., Pink, B., Mueller, M. J. & Berger, S., 2004. Light conditions influence specific defence responses in incompatible plant–pathogen interactions: uncoupling systemic resistance from salicylic acid and PR-1 accumulation. *Planta*, 219(4), pp. 673-683.
- Zhang, S., Reddy, M. S. & Kloepper, J. W., 2004. Tobacco growth enhancement and blue mold disease protection by rhizobacteria: Relationship between plant growth promotion and systemic disease protection by PGPR strain 90-166. *Plant and Soil*, Volume 262, p. 277–288.

Annexes

Annexe 1. Liste des acteurs interviewés

Organisation	Contact	Fonction
Metteurs sur le marché		
Syngenta	Gérard Thomas	Directeur réglementaire
Goëmar	Jean-Marie Joubert	Directeur R&D
De Sangosse	Marie Cazal	Responsable réglementaire
Timac (Groupe Roullier)	Jean François Galey Morgane Salaün Sylvain Pluchon	Directeur des Affaires Réglementaires Responsable réglementaire Ingénieur projet
ITHEC	Jean-Marc Sanchez	Directeur R&D
Agronutrition	Cédric Cabanes	Président
Valagro	Jean-François DUCRET	Directeur Général Valagro France
COMPO (Allemagne)	Georg Ebert	Directeur R&D
Agrauxine	Emmanuel Pajot	Directeur R&D et Affaires réglementaires en Bio-Protection et Nutrition des plantes
Bayer CropScience	Jean-Yves Rol Marie-Pierre Latorse	Responsable nouvelles activités Ingénieur en phytopathologie
SOBAC	Bertrand Oudot	Ingénieur
Organisations professionnelles		
Alliance pour le végétal (UPJ-CAS)	Laurent Largent	Délégué Général
UIPP (Union des industries de la protection des plantes)	Philippe Michel	Responsable des affaires techniques et réglementaires
UNIFA	Gilles Poidevin Florence Catrycke	Délégué Général Responsable réglementaire
EBIC	Kristen Sukalac	Secrétaire EBIC
IBMA France (International Biocontrol Manufacturers Association)	Charles Vaury	Secrétaire Général d'IBMA France (jusqu'en avril 2014)
Utilisateurs		
In Vivo	Delphine Tailliez-Lefebvre	Responsable santé végétale & agronomie
Planète Légumes	Fabien Digel Claire Amiraux	Directeur Conseillère. Produits maraîchers de serre et de plein champ
Réseau ASTREDHOR	Fabien Robert Laurent Jacob, Joséphine Piasentin	Directeur scientifique et technique Chargé de mission Protection des cultures Chargée de mission technique.
ITAB	Patrice Marchand Julie Carrière	Experts substances naturelles Animatrice de la commission Intrants

Organisation	Contact	Fonction
Premier Tech/Faliénor	Philippe Cruyppenninck	Directeur Ingrédients Actifs Grandes Cultures et Cultures Spécialisées
Scientifiques		
INRA-UMR Agroécologie	Xavier Daire	Chercheur
INRA-UMR Pavé	Marie Noëlle Brisset	Chercheur
SCRI (Royaume Uni)	Dale Walters	Chercheur
Agro-biotech Gembloux (Belgique)	Patrick du Jardin	Chercheur
INRA-Dijon	Cédric Le Guillou	Chercheur
CRA (Italie)	Anna Benedetti	Chercheur
Expérimentateurs		
Arvalis/Elicitra	Régis Berthelot	Direction scientifique Arvalis Animateur RMT Elicitra
Vegenov	Sonia Hallier	Responsable du Laboratoire de Pathologie Végétale
Staphyt	Benoit DELCOUR (France) Bruno MAURER (Pologne)	Responsable réglementation Expert technique
Autorités/évaluateurs		
DGAL	Stéphanie Marthon Gasquet Anne Duval Xavier Langlet	
ANSES	Emmanuel Gachet, Laurent Thibault Thierry Mercier	Chef d'unité (Unité de coordination MFSC) Chef d'Unité (Unité d'évaluation de l'Efficacité des Intrants du Végétal) Directeur Adjoint DPR
Commission Européenne - DG Entreprise	Eric Liégeois	DG Entreprise - Chargé de mission harmonisation
DGCCRF – Bureau des Produits d'origine végétale	Annic Japiot	Chargé de mission
Presse spécialisée		
Phytoma	Marianne Decoin	Rédactrice en chef
New AG	Jean-Pierre Leymonie	Directeur

Annexe 2. Membres du comité de pilotage

Nom	Organisation
Noémie Schaller	MAAF - CEP
Pierre Claquin	MAAF - CEP
Frederic Courleux	MAAF - CEP
Marie Luccioni	MAAF - DGAL
Xavier Langlet	MAAF - DGAL
Emmanuel Koen	MAAF - DGAL
Julien Fosse	MAAF - DGAL
Stéphanie Marthon Gasquet	MAAF - DGAL
Anne Duval	MAAF – DGAL
Stéphane Jacques;	CGDD
Martin Bortzmeyer;	CGDD
Sophie Leenhardt	CGDD
Chantal Arar	ANSES
Emmanuel Gachet	ANSES
Pascale Robineau	ANSES
Dominique Gombert	ANSES
Patricia Merigout	ANSES
Régis Berthelot	Arvalis / RMT Elicitra
Sonia Hallier	Vegenov / RMT Elicitra
Michel Giraud	CTIFL
Céline Ade	CTIFL
Thierry Coulon	IFV
Nicolas Aveline	IFV
Fabien Robert	Astredhor
Charles Vaury	IBMA France (jusqu'en avril 2014)
Denis Longevialle	IBMA France (depuis mai 2014)
Vincent Designolle	MEDDE – DGPR
Stéphane Jacques	MEDE – DGPR
Kisten Sukalac	EBIC
Benoît Planques	EBIC
Sophie Leenhardt	CGDD
Claire Vingut	APCA
Julien Aubrat	APCA
Delphine Tailleux Lefebvre	In Vivo
Caroline Bonneau	Vegepolys

Nom	Organisation
Emeline Defossez	Vegepolys
Marielle Adrian	UMR Agroécologie IUVV-Université de Bourgogne
Marie-Noëlle Brisset	INRA IRHS Angers
Christophe Clément	Université Reims
Philippe Nicot	INRA Avignon
Xavier Daire	INRA Dijon
Christian Steinberg	INRA Dijon
Cedric Le Guillou	INRA Dijon
Michel Ponchet	INRA Sophia Antipolis

Annexe 3. Liste non exhaustive de produits de stimulation disponibles en France (oct. 2014)

Type de produits	Metteur en marché	Nom du produit	Substances actives	Homologation PPP	Homologation MFSC	Norme NF U ou RCE 2003/2003	N° homologation
SDP strict	Goëmar	Vacciplant Fruits & Légumes	Laminarine	1			2080019
		Vacciplant Grandes Cultures	Laminarine	1			2020021
	SOFT	Stifénia	Extrait de fenugrec	1			2050030
Substances à effets complexes dont SDP	Bayer	Serenade Max	<i>Bacillus subtilis</i> str. QST 713	1			2100162
		Serenade Jardin	<i>Bacillus subtilis</i> str. QST 713	1			2110040
	Syngenta	Bion 50 WG	Acibenzolar-S-méthyl	1			9600526
	BASF	Regalis	Prohexadione	1			2010632
		Rivalis	Prohexadione	1			2120178
	Bayer	Aliette EV	Fosétyl-aluminium	1			9600386
	De Sangosse	Etonan	Phosphonate de potassium	1			2100060
	Koppert	Trianum-G	<i>Trichoderma harzianum</i>	1			2090168
Trianum-P		<i>Trichoderma harzianum</i>	1			2090169	
biostimulant	Elicityl	PEL101GV	Heptamaloxylglucan	1			2070108
	Italpollina	Aegys Sym Argile	<i>Rhizophagus intraradices</i>		1		1202007
	Ithec	Greenstim	Glycine bêtaïne		1		1303001
	Beckerunderwood	Inoculum Force 48 NPPL	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>		1		9910002
	Agrauxine	Solrize	<i>Glomus mosseae</i>		1		1020004
	Tradecorp	Aton	Acides aminés et éléments nutritifs			5	
	Compo Expert	Basfoliar	Extraits d'algues et éléments nutritifs			2	
	Valagro	Megafol	Acides aminés, Bêtaïne et Vitamines			1	

Annexe 4. Définitions en anglais

- (Arcadia, 2014) : “A plant biostimulant is any substance or microorganism, in the form in which it is supplied to the user, applied to plants, seeds or the root environment with the intention to stimulate natural processes of plants to benefit their nutrient use efficiency and/or their tolerance to abiotic stress, regardless of its nutrients content”.
- (Arcadia, 2014) : “An agronomic fertiliser additive is any substance or microorganism, in the form in which it is supplied to the user, added to a fertiliser, soil improver, growing medium with the intention to improve the agronomic efficacy of the final product and/or to modify the environmental fate of the nutrients released by the fertiliser, the soil improver or the growing medium,”
- (Beckers & Conrath, 2007) : “In general, systemic resistance responses induced by either harmful or beneficial micro-organisms are associated with priming for faster and stronger activation of stress-inducible defense reactions upon a second pathogen challenge.”
- (Barnthouse & Suter, 1986) : “Risk assessment may be defined as the process of assigning magnitudes and probabilities to adverse effects of human activities (or natural catastrophes).”
- (Du Jardin, 2012) : “Plant biostimulants are substances and materials, with the exception of nutrients and pesticides, which, when applied to plants, seeds or growing substrates in specific formulations, have the capacity to modify physiological processes of plants in a way that provides potential benefits to growth, development and/or stress response.”.
- (Ebel & Cosio, 1994) : “The extracellular signal compounds involved in triggering defense reactions are commonly known as elicitors. Originally this name was applied exclusively to those capable of inducing the synthesis of phytoalexins in plant tissues. Lately, however, the name has been used to describe factors capable of inducing many types of physiological responses and is not restricted to plants”. “In a general model, elicitors of plant defense responses fall into two categories depending on their source: exogenous and endogenous signals.”
- (EBIC, 2014) : “Plant biostimulants means a material which contains substance(s) and/or micro-organisms whose function when applied to plants or the rhizosphere is to stimulate natural processes to enhance/benefit nutrient uptake, nutrient efficiency, tolerance to abiotic stress, and crop quality, independent of its nutrient content.”
- (ECETOC, 2014) : “Take into account all available scientific tools to adequately characterise risk not only based on hazard characteristics but also on exposure data and dose-response considerations.”
- (Hammerschmidt, 2007 (réédition 2014)) : “Induced resistance is an active process that can describe resistance at two levels. Firstly, active defence to an incompatible race or isolate of pathogen is a form of induced resistance that is characterized by highly localized expression of defences such as phytoalexines and the hypersensitive response. Secondly, induced resistance can also describe plants that express resistance to a broad range of compatible pathogens after some initial inducing treatment. It is this latter form of induced resistance that is the focal point of this book. ” “Induced resistance results from the interaction of a plant with a suitable inducing agent. The inducers can be very diverse.”.

- (Liegeois, 2012) : “Plant biostimulant means a material which contains substance(s) and/or microorganisms whose function when applied to plants or the rhizosphere is to stimulate natural processes to benefit nutrient uptake, nutrient use efficiency, tolerance to abiotic stress, and/or crop quality, independently of its nutrient content”.
- (U.S. Environmental Protection Agency, 1992) : “Ecological risk assessment is a process that evaluates the likelihood that adverse ecological effects may occur or are occurring as a result of exposure to one or more stress. Ecological risk assessment provides a critical element for environmental decision making by giving risk managers an approach for considering available scientific information along with the other factors they need to consider (e.g., social, legal, political, or economic) in selecting a course of action.”

Deloitte fait référence à un ou plusieurs cabinets membres de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, société de droit anglais (« private company limited by guarantee »), et à son réseau de cabinets membres constitués en entités indépendantes et juridiquement distinctes. Pour en savoir plus sur la structure légale de Deloitte Touche Tohmatsu Limited et de ses cabinets membres, consulter www.deloitte.com/about. En France, Deloitte SA est le cabinet membre de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, et les services professionnels sont rendus par ses filiales et ses affiliés.