



GESTION DES BIOAGRESSEURS EN PRODUCTION DE SEMENCES POTAGÈRES BIOLOGIQUES :

Du champ à la semence, de la semence au champ.



ÉDITION : LES MAREQUIERS ASBL

VERSION : AVRIL 2026

AUTEURE : FANNY LEBRUN

AVEC LA PARTICIPATION DE : STEPHANIE KLAEDTKE ET LAURENT MINET

CRÉDIT PHOTO : FANNY LEBRUN (sauf indication différente)

Remerciements : je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à la société semencière Bingenheimer Saatgut A.G. qui m'a accueillie une semaine, il y a quelques années. J'y ai appris énormément, et la visite du laboratoire ainsi que des installations de triage ont été riches en enseignements.

Financement : Ce document est financé par l'Union européenne dans le cadre du Plan national pour la reprise et la résilience, avec le soutien de la Wallonie.



Droits de licence : CC BY-ND 4.0

Méthodologie et sources : ce document combine une approche empirique fondée sur 10 années d'expérience professionnelle dans la gestion d'entreprise et la filière semencière (production, triage et commercialisation) au sein de la coopérative Cycle en Terre (mentionnée via l'abréviation « CET SC » dans la suite du document), avec une synthèse de la littérature scientifique existante.

Laurent Minet et Stephanie Klaedtke ont relu attentivement ce document afin de préciser certaines sections. La participation de L. Minet à ce travail est intéressante au vu de son expérience en production de semences et en gestion des bioagresseurs au sein du Centre technique horticole à Gembloux. Stephanie Klaedtke a quant à elle plus amplement contribué aux ressources bibliographiques et au chapitre 2.

Les observations et analyses issues de cette expérience pratique constituent des données empiriques complémentaires aux références bibliographiques académiques, lesquelles sont systématiquement citées. Cette approche mixte permet de croiser connaissances théoriques et retour d'expérience terrain.

Semences d'Ici est un projet qui a pour but de favoriser la production de semences et la sélection de variétés potagères en Wallonie et en Belgique, avec une affinité pour l'agriculture biologique. Le projet a été initié par l'ASBL Les Marequiers et regroupe aujourd'hui les partenaires suivants : Hortiforum ASBL qui dépend du Centre Technique Horticole de Gembloux (CTH), le Centre wallon de recherches agronomiques (CRA-W), Sytra, une équipe de l'UCLouvain, Biowallonie et l'ASBL Les Marequiers.

Les termes techniques sont définis dans le glossaire en fin de document. Ils sont marqués d'un **astérisque** (*) lors de leur première occurrence.

Pour tout commentaire ou toute suggestion, veuillez contacter : Fanny Lebrun — www.lesmarequiers.be



Table des matières

Introduction	5
1 Les types de maladies et de bioagresseurs	6
1.1 Les maladies abiotiques	6
1.2 Les adventices	6
1.3 Les ravageurs	7
1.3.1 Les méligèthes	7
1.3.2 Charançons, cécidomyies	9
1.3.3 Les nématodes	10
1.3.4 Les bruches des légumineuses	10
1.4 Les agents pathogènes	11
1.4.1 Maladies bactériennes	13
1.4.2 Maladies cryptogamiques*	15
1.4.3 Virus	19
2 Le continuum du champ à la semence, de la semence au champ	22
2.1 Prévention	22
2.2 Gestion des maladies	24
2.2.1 Législation	25
2.2.2 La détection et l'identification des maladies	25
2.2.3 Soigner les cultures	32
2.3 Le traitement des semences	32
2.3.1 Méthode chimique	33
2.3.2 Lutte biologique	33
2.3.3 Méthodes physiques	34
2.3.4 Thermo thérapie à l'eau chaude	34
2.3.5 Thermo thérapie à la vapeur	38
2.3.6 Thermo thérapie à sec	38
2.4 L'acceptabilité des maladies	39
2.4.1 Différentes approches	39
2.4.2 Degré de gravité de maladies sur semences	40
3 La réalité de terrain	42
3.1 Mode de fonctionnement des sociétés semencières	42
3.2 Recherche et développement	43
4 Conclusions et recommandations	44
4.1 Synthèse des enjeux	44
4.2 Limites et contraintes actuelles	44
4.3 Pistes d'amélioration	45
4.4 Vision prospective	45
Bibliographie	46
Annexes	54
Annexe 1 : Documents complémentaires rédigés dans le cadre de Semences d'ici pour aller plus loin	54
Annexe 2 : Clé simplifiée des étapes de gestion des bioagresseurs en maraîchage et en production de semences	55
Annexe 3 : Ressources pour identifier un bioagresseur	56
Ressources en langue française	56
Ressources anglophones (ou germanophones)	57

Annexe 4 : Ressources techniques conseillant des protocoles de traitement de maladies phytopathogènes	59
Annexe 5 : Liste de maladies transmises par les semences	61
Glossaire	64



Introduction

Les plantes sont au fondement de notre alimentation, et la qualité des semences conditionne directement la réussite des cultures, la rémunération des agriculteurs et, au-delà, la sécurité de l'approvisionnement alimentaire. En production de semences potagères, les bioagresseurs — facteurs abiotiques, adventices, ravageurs et agents pathogènes (bactéries, champignons, virus) — peuvent compromettre la récolte, dégrader la qualité des lots* et se propager vers les cultures futures via les semences. Dans un contexte où l'agriculture biologique privilégie l'absence d'utilisation de produits issus de la chimie de synthèse et la mise en place de systèmes de prophylaxie*, comme des systèmes plus biodiversifiés, la gestion phytosanitaire doit conjuguer rigueur scientifique, faisabilité technique et viabilité économique.

Ce document s'adresse prioritairement aux multiplicateurs en agriculture biologique (AB) et aux petites structures semencières, qui disposent de moins de moyens que les grandes entreprises pour la détection, l'analyse et le traitement des semences. Il propose une approche à la fois pédagogique et opérationnelle : comprendre les bioagresseurs et leurs modes de transmission, savoir les observer et les identifier au champ comme au laboratoire, et mobiliser des stratégies de prévention et des traitements de semences compatibles avec l'AB. L'objectif est double : faciliter l'accès à des références techniques récentes et utiles, et nourrir une réflexion pratique sur l'amélioration de la qualité sanitaire des semences produites localement.

L'ouvrage est structuré selon le continuum « du champ à la semence, de la semence au champ ». Il présente d'abord les grandes catégories de bioagresseurs et les mécanismes d'infection et de transmission. Il détaille ensuite les leviers agronomiques de prévention, les méthodes d'observation et d'identification des maladies, les principes de décision et d'acceptabilité des risques, puis les traitements de semences techniquement mobilisables en petite structure (avec un accent sur la thermothérapie* et les ressources pratiques). Enfin, il met en perspective la réalité de terrain des petites sociétés et des multiplicateurs — contraintes techniques, organisationnelles et financières — pour éclairer des choix raisonnés entre exigences sanitaires, capacités opérationnelles et attentes de marché.

Cette ressource combine retours d'expérience et bibliographie technique, et s'accompagne d'annexes pratiques : clé simplifiée des étapes de gestion, ressources d'identification, protocoles et liste de maladies qui sont présentes sur les semences ou transmises par les semences. Elle vise à outiller les acteurs pour prioriser, décider et agir, dans un cadre réaliste et progressif, tout en ouvrant la voie à des améliorations concrètes : formation à l'identification, diagnostics accessibles, protocoles de traitement maîtrisables, et meilleure valorisation des lots sains. L'ambition est de renforcer la robustesse sanitaire des filières locales de semences potagères, au service de la durabilité, de la qualité et de l'autonomie des producteurs.



Figure 1. Comptage de semences de tétragone pour un test de germination en vue du contrôle de la qualité des lots.

1. Les types de maladies et de bioagresseurs

1.1 Les maladies abiotiques

Le développement des plantes peut être affecté par des facteurs abiotiques, comme les conditions climatiques (gel, sécheresse, humidité excessive, manque de lumière, etc.), les carences (en éléments minéraux notamment), la présence de polluants (dans l'air, l'eau ou le sol) ou les interventions anthropiques. Ces maladies non infectieuses sont souvent sous-estimées et méritent d'être envisagées dans le cas d'une détection de symptômes sur le terrain, afin de comprendre la source des problèmes (Blancard, 2017; Navazio, 2012).

Comment déterminer si une maladie est due à des facteurs abiotiques ?

Les facteurs abiotiques affectent généralement l'ensemble de la plante et il n'existe souvent pas de frontière nette entre les tissus sains et les tissus atteints. La majorité des troubles abiotiques sont liés à des conditions du sol telles que la compaction, le pH et les carences en éléments nutritifs, qui ont tendance à impacter l'ensemble des organes aériens connectés au système racinaire. D'autres facteurs abiotiques, comme la chaleur, le vent, le froid ou la grêle, agissent directement sur les parties aériennes et produisent des symptômes plutôt répartis de façon symétrique sur la plante ou sur les feuilles individuelles (P. Taylor, 2015).

1.2 Les adventices

Il est indispensable de maîtriser correctement les adventices afin :

- d'éviter que leurs graines se retrouvent dans les récoltes de semences ;
- de diminuer les vecteurs de maladies. Dans certains cas, les adventices peuvent porter et transmettre des maladies aux plantes cultivées (Welbaum, 2024) ;
- de maintenir un flux d'air suffisant autour des porte-graines* : la présence d'adventices peut en effet créer une atmosphère humide autour des plantes et favoriser les moisissures ;
- de réduire la concurrence entre ces dernières et les porte-graines.

Une pratique de base est de s'assurer qu'il n'y a pas de semences d'adventices sur les équipements agricoles¹ (Welbaum, 2024). Lorsque le sol contient une réserve importante en semences d'adventices, il est alors important de mettre en place des techniques de faux-semis et de désherbage mécanique appropriées (Welbaum, 2024).

La cuscute² est une adventice très dommageable en production de semences. Bien que rarement rencontrée en Belgique, elle peut occasionner de grands dégâts aux cultures, et l'absence totale de graines de cuscutes est requise pour la commercialisation de lots de semences (L. Minet, communication personnelle, 2025).

¹ Outils de travail du sol, sacs de semences, etc.

² Quelques espèces sont présentes en Europe, dont *Cuscuta campestris* ou *C. europaea* notamment.

1.3 Les ravageurs

Les méthodes de gestion des ravageurs au sein des cultures de semences sont très similaires à celles pratiquées en cultures légumières. Dès lors, cette section aborde principalement le sujet des méligèthes, qui causent des dégâts considérables sur les *Brassicaceae* en production semencière. De brefs points sur les charançons, les nématodes et les bruches des légumineuses sont également abordés.



Figure 2. Les altises constituent un ravageur commun de chou. Elles consomment leurs feuilles.

1.3.1 Les méligèthes

Les méligèthes attaquent les boutons floraux fermés, détruisent l'ovaire et le pistil et entraînent ainsi l'avortement des fleurs (Daniel, 2014). Les dégâts peuvent aller jusqu'à mettre des récoltes entières en péril.

Contrairement à la production conventionnelle où les insecticides de synthèse restent disponibles, la production biologique doit s'appuyer sur des **stratégies multimodales combinant prévention culturelle, surveillance régulière, interventions directes limitées et valorisation de la biodiversité fonctionnelle***. Le dossier « Méligèthe du colza » du FiBL décrit cette gestion en détail (Daniel, 2014).

Des essais suisses menés par Agroscope ont testé un produit contenant du **kaolin** (« Surround »). Il montre une efficacité de 50 à 70 % par rapport au témoin non traité. La durée d'effet est d'environ 5 jours, et augmente le rendement en grain de 10 % en moyenne par rapport à une parcelle test, tandis que les insecticides chimiques synthétiques produisaient une augmentation moyenne de 17 % lors de l'expérience. Un second traitement après un intervalle de 6 à 10 jours améliorerait le rendement pour les deux méthodes de contrôle, d'un supplément moyen de rendement de 7 %. Surround semble économiquement justifié dès que la population de méligèthes atteint une densité de 3 à 5 insectes par plante (Jossi et al., 2014).

La **lutte biologique** permet également de lutter contre les méligèthes. Greenotec (*Colza*, s. d.) détaille la manière dont les traitements ayant recours à *Tersilochus heteroceris*, une guêpe parasitoïde, peuvent se révéler très efficaces. Il est également possible de tenter de diminuer la pression de ces insectes ravageurs via des plantes **très attractives**, comme via la variété de colza très précoce « Alicia » (*Colza ALICIA*, s. d.), ou la variété « Troubadour » (*Surveillance et lutte contre le méligèthe*, 2022). Pour être optimale, l'implantation de ces cultures-pièges* doit être réfléchi : il est en effet probable que l'efficacité de ce dispositif soit meilleure en entourant les porte-graines d'une ceinture de plantes attractives. Notons qu'il semble que le navet soit plus attractif que le colza (Cook, 2018) : il convient donc de chercher l'espèce et la variété idéales pour convenir en tant que plantes pièges : l'espèce piège doit en effet être plus attractive

que la culture, et la période de floraison de la variété doit survenir au moment adéquat. Par ailleurs, cette technique implique un surcoût important. Il est donc nécessaire d'évaluer son intérêt financier. Enfin, il faut bien entendu **vérifier que l'espèce n'est pas à risque d'hybrider la culture de porte-graines implantée.**

L. Minet (communication personnelle, 2025) partage les résultats positifs qu'il a obtenus via l'utilisation d'un voile de type Howicover³. Bien que ce type de protection ne constitue pas une barrière totale contre les méligèthes, son efficacité repose sur la grande mobilité du filet au moindre souffle de vent, propriété qui s'avère dissuasive pour ces ravageurs.

Le protocole appliqué comprend les étapes suivantes : un traitement au pyrèthre, effectué préalablement à la pleine floraison pour éliminer la majorité des insectes⁴ présents sur la culture, suivi de la pose d'un filet de protection pendant une période de 2 à 3 semaines. Cette durée correspond à la phase de redémarrage de la floraison et à la formation des siliques. Le filet est ensuite retiré pour permettre l'activité des pollinisateurs, ce qui conduit à une limitation notable du développement des populations de méligèthes après cette phase critique. L'utilisation d'Howicover, testée une saison par L. Minet, mériterait d'être reconduite en veillant particulièrement à intervenir avant que les infestations n'atteignent un stade avancé sur les fleurs.

Une stratégie entièrement cloisonnée en serre « **insect proof** » a également été testée avec succès sur d'autres cultures de crucifères (moutarde, brocoli chinois). Cette approche implique des investissements infrastructurels plus importants. La question demeure ouverte quant à l'efficacité d'une protection intermédiaire fournie par un **simple tunnel** contre les méligèthes.



Figure 3. Culture de roquette au sein de la coopérative Cycle en Terre (CET SC). Les fleurs ont été fortement attaquées par les méligèthes, et la récolte a été minime cette année-là.



Figure 4. Feuilles de radis «Sora» piquées par les altises.

L. Minet (communication personnelle, 2025) observe par ailleurs que les altises (Figure 4) se retrouvent souvent en très grand nombre sur les fleurs de radis (côte à côte avec les méligèthes). Il est donc probable qu'elles raffolent des fleurs et/ou des boutons floraux de Brassicaceae. Les mesures prises contre les méligèthes seront probablement efficaces contre les altises.

³ Voile caractérisé par des mailles larges.

⁴ Cela présente l'inconvénient de supprimer les éventuels pollinisateurs présents sur la culture au moment du traitement.

1.3.2 Charançons, cécidomyies

L. Minet (communication personnelle, 2025) témoigne de dégâts en Belgique⁵ sur des porte-graines de chou « Kailaan », de la part d'un ravageur moins connu. A priori, celui-ci a été identifié comme étant un charançon (*Ceutorhynchus obstrictus* - Figure 5). Pour se reproduire, la femelle fait des trous dans les siliques et y pond un œuf (voir Figure 6). La larve issue de cet œuf va ensuite consommer quelques graines pour assurer son développement. En conséquence de la présence de ce charançon, une partie (voire la totalité) des graines est perdue.

Par ailleurs, les blessures de ponte du charançon peuvent servir de porte d'entrée à la ponte d'une cécidomyie (*Dasineura napi*), dont les larves vont consommer une partie des graines également, ce qui peut aggraver les dégâts.

« J'avais, à l'époque, pu capturer et observer les deux espèces sur les choux en fleur et en fruits. Finalement, j'ai quand même obtenu un bon rendement en graines. Cependant, au battage, il y avait effectivement plein d'avortons de graines qui avaient été mangées ou malformées. La colonne à air a heureusement permis de les éliminer. »

J'ajouterais que, bien que je n'aie pas trouvé la cécidomyie durant la saison 2025, j'ai trouvé quelques charançons sur les radis en fleur et en fruits. De nouveau, dans le lot de semences, il y avait pas mal de graines abîmées, avortées, ou chétives. »

Laurent Minet

Pour terminer cette section relative aux charançons, voici l'observation faite au sein de la coopérative Cycle en Terre (CET SC) concernant la récolte de graines de *Malvaceae* : nous récoltions presque chaque année des semences de mauve et de guimauve. Une bonne proportion de celles-ci était systématiquement trouée suite à la présence de charançons. Lors du triage, extraire les graines abîmées du lot se révélait compliqué, voire impossible. Dès lors, nous commercialisons ces semences avec un taux de germination proche de 50 %, ce qui peut sembler très faible. Cependant, lorsque nous manquions de semences et réachalandions notre stock en achetant des semences à d'autres sociétés semencières nous observions des taux de germination similaires au nôtre. Nous pensons donc qu'ils étaient confrontés au même problème.



Figure 5. *Ceutorhynchus obstrictus* adulte s'alimentant sur un bouton floral. Le corps est gris noir. Charançon des siliques de colza (cabbage seed weevil). Source : ephytia. Crédit : Chamont S. (INRAE).



Figure 6. Boutons attaqués par *Ceutorhynchus obstrictus* à l'extrémité de l'inflorescence. Les perforations d'alimentation des adultes (a) provoquent le jaunissement et l'avortement des boutons les plus jeunes (b). Charançon des siliques de colza (cabbage seed weevil). Source : ephytia. Crédit : Coutin R. (OPIE, INRAE).

⁵ À Gembloux

1.3.3 Les nématodes

Les nématodes sont des êtres vivants appartenant au règne animal. D'aspect vermiforme, ils n'ont cependant aucune relation phylogénétique avec les « vers de terre ». Beaucoup d'espèces sont parasites des animaux, des humains ou des plantes. Il existe plusieurs centaines d'espèces de nématodes qui se nourrissent spécifiquement des plantes, et qui sont responsables de nombreuses pertes agricoles. Leur taille est de 300 µm à 4 mm de long, et de 15 à 35 µm de diamètre, ce qui les rend invisibles à l'œil nu. Un microscope permet de les observer plus facilement (Agrios, 2005).

Certains nématodes sont transmissibles par les semences. C'est le cas d'*Anguina agrostis*, par exemple, qui infecte les *Poaceae*, comme le blé et l'orge, et qui est transmissible par les semences de céréales et d'*Alliaceae*, comme les oignons (*Anguina agrostis* / *Anguina tritici* / *Ditylenchus dipsaci*, 2017; EPPO *Ditylenchus Dipsaci*, 2025). Cependant, la majorité des nématodes phytopathogènes des légumineuses ne se transmettent **pas directement par les semences**, mais plutôt par le sol et le matériel végétal infecté.

Le *Ditylenchus dipsaci* est particulièrement redouté des cultivateurs d'alliacées, et son absence totale des lots de graines commercialisés est légalement obligatoire (classement « Organismes Nuisibles Réglementés Non de Quarantaine » (ORNQ) – voir point 2.4). Sa présence dans une culture d'oignon, d'ail et de poireau se marque par des déformations du feuillage (qui peuvent évoquer les dégâts de la mouche mineuse), voire du bulbe et de la hampe florale (L. Minet, communication personnelle, 2025).

1.3.4 Les bruches des légumineuses

La bruche (Figure 7) est un coléoptère qui pond dans les gousses de légumineuses en cours de culture. Trois espèces sont prédominantes en France ; *Bruchus rufimanus*, *B. pisorum* et *B. signaticornis*. Les larves, issues des œufs, s'installent au sein des graines dont elles se nourrissent. Une fois adultes, elles sortent des graines et leur dispersion peut donc avoir lieu lors du stockage des semences. Les bruches ne se reproduisent qu'une fois par an et ne vont pas pondre dans le stock lorsqu'elles en sortent. Pour s'en débarrasser, il suffit de congeler les semences une fois qu'elles sont bien sèches, juste après la récolte, à -20 °C pendant 2 semaines (Dauguet, 2019). Cela permet notamment d'arrêter le développement des larves dans la graine et donc de limiter leur détérioration. Tant que le germe n'est pas consommé, la semence pourra encore germer (M. Bouché, communication personnelle, 8 février 2024). La congélation des semences a également l'avantage de réduire la population de bruches.



Figure 7. *Bruchus pisorum* adulte récemment sorti, sur des graines de pois attaquées. Les élytres sont brunes parsemées de taches blanchâtres et roussâtres. Bruche du pois (pea beetle). Source : ephytia. Crédit : Coutin R. (INRAE).

1.4 Les agents pathogènes

Un **agent pathogène** infecte un **hôte**, c'est-à-dire un porte-graine dans notre cas précis, lorsque l'**environnement** est propice à ce développement. Les trois éléments (agent, hôte, environnement) constituent le « disease triangle », qui peut être traduit par « **triangle de la maladie*** ». Ce concept met en évidence le fait qu'aucune maladie ne peut se développer sans la réunion simultanée de ces trois facteurs. L'environnement doit donc rester favorable suffisamment longtemps pour permettre au pathogène d'infecter le porte-graine, de proliférer et de se diffuser ensuite sur les autres porte-graines (Navazio, 2012).

L'hôte, dans le cadre de ce document, est une **plante qui est cultivée** pour en récolter les semences. Celles-ci peuvent transmettre des maladies. Dès lors, la connaissance de la structure d'une graine peut aider à comprendre les modes d'infection et de transmission des agents pathogènes, ainsi que les techniques de traitement des semences. Les agents pathogènes se transmettent sur les cultures de différentes manières. On distingue la **transmission horizontale***, qui se réalise de manière mécanique⁶ ou via des vecteurs particuliers⁷ de la **transmission verticale***, dans le cas où la maladie se propage via la semence (Pagán, 2022).

La **transmission horizontale** s'opère via différents contacts (Agrios, 2005) :

- via des outils culturaux ;
- contact direct entre les plantes ;
- via l'intermédiaire du pollen, qui, en fécondant l'ovule, va transmettre le virus à la plante-mère ;
- via l'intermédiaire de vecteurs, comme des insectes, des nématodes ou des champignons ;
- via le contact indirect par des personnes et d'autres animaux (domestiques ou sauvages) qui traversent le champ.

La **transmission verticale** s'effectue par la **graine**, qui est composée de **tissus différents**. Ils sont, en partant de l'extérieur vers l'intérieur :

- le **tégument***, qui est l'enveloppe externe. Il sert à la protection de la graine, et parfois à sa dissémination (Bouzid, s. d.) ;
- l'**endosperme***, qui constitue les réserves nutritives de la graine (Wien, 1997). Il a également une fonction de soutien au développement et de protection de la jeune plante (*Le garde-manger de la jeune plante la protège - Médias - UNIGE, 2021*) ;
- l'**embryon*** : c'est la future plante, qui est composée d'une radicule et d'un cotylédon, dans le cas des monocotylédones, ou de deux cotylédons, pour les dicotylédones (Wien, 1997).

La **morphologie des graines** est très variable selon les espèces. Par exemple, les graines de pois et les haricots ont peu (ou pas) de réserves nutritives dans leur endosperme. Celles-ci sont plutôt localisées dans les cotylédons (Figure 8). Ce sont des graines exalbuminées (« Fruits », s. d.). Dans le cas des laitues, l'endosperme constitue une barrière semi-perméable à la diffusion de solutés (A. Taylor & Hill, 1989) et non pas une réserve nutritive.

⁶Via les plantes adjacentes, le vent ou la pluie, les équipements agricoles, le passage des animaux d'élevage.

⁷Insectes, acariens, nématodes, champignons, oomycètes, etc.



Figure 8. Test de germination de haricots. On observe les cotylédons, encore attachés aux tiges, qui ont donné à la jeune pousse les nutriments nécessaires pour se développer. Ils vont progressivement se détacher, après avoir rempli leur fonction. Les feuilles que l'on observe sont les premières vraies feuilles. On observe, sur le haut de certaines feuilles, les résidus de téguments de la graine.

On distingue **deux modes de transmission par les semences**, quel que soit le type d'agent pathogène (Baćanović-Šišić, s. d.; Denancé & Grimault, s. d.) :

- les agents pathogènes **véhiculés par les semences**⁸ : ils sont présents en surface ou internalisés dans la semence, et peuvent, selon les conditions, être transmis, ou non, aux plantes issues de ces graines ;
- les agents pathogènes **transmis directement** par la semence⁹ : ils sont présents en surface ou internalisés dans la semence, et sont capables d'infecter la plantule et de s'établir dans la plante issue de ces graines, dans le cadre d'un cycle de transmission de la graine à la plante.

Deux termes sont liés à ces modes de transmission : **la contamination***, qui est relative à la présence du pathogène à la surface de la semence, et **l'infection***, lorsque le pathogène est présent à l'intérieur de la semence (dans le tégument, l'albumen* ou l'embryon) (Baćanović-Šišić, s. d.; Denancé & Grimault, s. d.).

L'Annexe 5 liste, pour un bon nombre d'espèces potagères, les agents pathogènes véhiculés ou transmis directement par la semence, ainsi que, pour certains d'entre eux, leur localisation sur et/ou dans la semence.

⁸ En anglais : « seedborne ».

⁹ En anglais : « Seedtransmitted ».

Enfin, il existe plusieurs **catégories d'agents pathogènes** selon leur relation avec leur hôte. Ces derniers sont localisés plus ou moins profondément sur la graine, ou dans sa structure. Un **agent pathogène biotrophe*** est un parasite* qui ne peut vivre et se multiplier que sur, ou dans, son hôte vivant. Ce sont des parasites obligatoires car ils ont besoin de leur hôte pour vivre (Agrios, 2005). Au sein de la graine, les agents pathogènes biotrophes se situent typiquement dans l'embryon (Baćanović-Šišić, s. d.). Un **agent pathogène nécrotrophe*** est un parasite qui se nourrit majoritairement de matière organique morte. Il peut cependant parfois infecter un hôte. Ce sont des parasites facultatifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent vivre aux dépens de l'hôte, mais également sur d'autres milieux. Au niveau des graines, les agents pathogènes nécrotrophes se localisent au niveau de l'endosperme ou du tégument (Baćanović-Šišić, s. d.).

Afin de minimiser l'occurrence et le développement de maladies, il est intéressant de connaître les agents pathogènes qui peuvent affecter les cultures, leur cycle de vie, l'ampleur des dégâts qu'ils peuvent générer et leur mode de transmission (Navazio, 2012). Il est également intéressant de comprendre l'ensemble des paramètres de l'environnement qui influencent leur cycle de vie.

Les sections ci-dessous présentent en grandes lignes les grands types d'agents pathogènes, leurs modes de transmission, ainsi que leur localisation sur et/ou dans la graine.

1.4.1 Maladies bactériennes

Une **bactérie** est un **micro-organisme procaryote* unicellulaire***. Une présentation, complémentaire à ce document, est disponible sur le site « ephytia » (Blancard, 2015c).

SYMPTÔMES

Les symptômes causés par des bactéries pathogènes sont très variés. Les symptômes bactériens les plus courants sont : les taches foliaires et brûlures, les pourritures molles des fruits, racines et organes de conservation, les flétrissements, les galles (tumeurs), les gales et les chancres¹⁰ (Agrios, 2005). Afin de préciser ces termes, difficiles à comprendre sans formation, et donc à utiliser lorsque l'on est sur le terrain, le Tableau 1 décrit les **symptômes principaux générés par les maladies bactériennes**.

Tableau 1. Aspect des différents symptômes causés par les bactéries, et terminologie correspondante.

Terme français	Terme anglais ¹¹	Aspect
Taches foliaires et brûlures	Leaf spots and blights	Nécroses localisées sur les feuilles, aboutissant à la mort des cellules ; la feuille présente des plaques sèches.
Pourritures molles	Soft rots	Destruction rapide des tissus en une masse molle, aqueuse et visqueuse de couleur crème au brun foncé/noir selon le stade, souvent malodorante.
Flétrissements (Figure 9)	Wilts	Perte de rigidité et de tonicité des parties molles de la plante (feuilles et tiges). Les feuilles se recroquevillent, s'enroulent sur elles-mêmes, noircissent et finissent par tomber.
Galles ou tumeurs	Overgrowths	Excroissance, boursouffure ou déformation tumorale de la plante.
Gales	Scabs	Lésions nécrotiques rugueuses (ressemblant à une croûte, ou à du liège) et superficielles (épiderme) sur les feuilles, tiges, tubercules ou fruits.
Chancres	Cankers	Lésions nécrotiques profondes (pénètrent dans les tissus au-delà de l'épiderme) sur tiges. Les chancres sont des symptômes plus graves, vu leur profondeur, que les gales.

¹⁰ Plaie qui a tendance à s'approfondir et/ou à s'élargir (« Base Répertoire Terminologie », s. d.). Cela peut constituer des crevasses, ou des boursouffures (Bienvenue sur La Clinique Des Plantes, 2022).

¹¹ Les termes anglais sont indiqués ici pour faciliter les éventuelles recherches approfondies du lecteur, étant donné que de nombreuses ressources sur les phytopathogènes sont accessibles dans la littérature anglophone.



Figure 9. Flétrissement des feuilles. Source : ephytia. Crédit : Blancard D. (INRAE).

MODE DE PROPAGATION

Les maladies bactériennes se développent :

- sur la surface de la plante, comme parasites* ou épiphytes* ;
- dans les débris de plantes et dans le sol, comme saprophytes*.

Les bactéries vivent souvent sous forme de « biofilms » : ce sont des communautés de bactéries (monospécifiques ou plurispécifiques) qui sont attachées entre elles et/ou à une structure solide (Agrios, 2005).

Certaines bactéries survivent mal dans le sol d'une saison à l'autre, et se propagent d'un hôte à l'autre souvent via certaines espèces **d'insectes**, ou via les **moyens de multiplication de l'hôte, qu'ils soient végétatifs ou sexués** (dont les semences). D'autres bactéries se multiplient dans l'hôte, mais leur population **a la capacité de survivre dans le sol**. La population ne décline pas directement lors de la dégradation de l'hôte. Dès lors, dans le cas où celui-ci est cultivé plusieurs années de suite sur la même parcelle, la taille de la population bactérienne pourrait avoir tendance à augmenter drastiquement. Cependant, la plupart des espèces de bactéries sont généralement **peu compétitives** par rapport aux champignons saprophytes. Elles survivent tant que les tissus végétaux sont encore présents et participent aux premières étapes de la décomposition des plantes. Elles ont cependant plus de difficultés à persister par après, et laissent alors la place aux champignons, qui prennent en charge les stades de décomposition plus avancés des tissus (Agrios, 2005).

L. Minet (communication personnelle, 2025) précise que dans le sol, les bactéries qui ne sont pas mécaniquement « protégées » (dans des débris de leur plante-hôte par exemple), sont probablement rapidement éliminées par les bactériophages, virus spécialisés dans la destruction des bactéries.

Certaines bactéries ont la capacité de survivre sur et/ou dans les semences, et peuvent alors être dispersées lors de l'utilisation de celles-ci (Agrios, 2005). Par exemple, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* se transmet sur le tégument, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* est localisé dans l'endosperme, et *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* est présent dans l'embryon (Baćanović-Šišić, s. d.). *Clavibacter michiganensis* quant à elle, peut être présente **sur et dans** les graines de tomates (L. Minet, communication personnelle, 2025).

Les maladies bactériennes transmissibles par les semences sont souvent réglementées pour éviter leur dispersion. En effet, même en agriculture conventionnelle, on dispose de possibilités efficaces pour lutter contre elles (L. Minet, communication personnelle, 2025).

1.4.2 Maladies cryptogamiques*

Les maladies cryptogamiques sont provoquées par des organismes eucaryotes* appartenant au règne des champignons¹². Ces agents pathogènes sont parfois visibles à l'œil nu, mais l'observation au microscope est souvent nécessaire pour les identifier. Une présentation détaillée de ces microorganismes est disponible sur le site « Ephytia » (Blancard, 2015a). Le terme « **maladies cryptogamiques** », d'usage spécifique en botanique, désigne principalement les affections des plantes causées par des champignons parasites. Il englobe également certaines maladies provoquées par des organismes filamenteux apparentés, tels que les oomycètes — responsables notamment des mildious — qui relèvent du règne des protistes. À l'inverse, l'expression « **maladies fongiques** » s'applique à toutes les affections causées par des champignons (règne Fungi), quel que soit l'organisme atteint — végétal, animal ou autre. Ce terme est donc plus général (Agrios, 2005).

SYMPTÔMES

Les symptômes causés par les champignons peuvent être localisés, ou généraux (sur l'ensemble de la plante). Temporellement, ils peuvent apparaître séparément, simultanément, de manière successive. Les principaux symptômes sont des nécroses locales ou générales, ainsi que des retards de croissance (Agrios, 2005). Contrairement aux bactéries, l'organisme responsable de la maladie est souvent directement visible car son mycélium croît souvent partiellement en surface des organes de la plante. Celui-ci peut être particulièrement visible, que ce soit au stade végétatif ou reproducteur, c'est-à-dire lors de la sporulation) (L. Minet, communication personnelle, 2025).

Les symptômes nécrotiques les plus communs, presque toujours associés à des retards de croissance, sont décrits au sein du Tableau 2.

Tableau 2. Aspect des différents symptômes causés par les champignons, et terminologie correspondante (Agrios, 2005).

Terme français	Terme anglais	Aspect
Tâches foliaires	Leaf spots and blights	Nécroses localisées sur les feuilles, aboutissant à la mort des cellules ; la feuille présente des plaques sèches.
Brûlure	Blight	Brunissement général et rapide, suivi de la mort des feuilles, tiges et organes floraux.
Chancres (Figure 10)	Cankers	Lésions nécrotiques profondes (pénètrent dans les tissus au-delà de l'épiderme) sur tiges. Les chancres sont des symptômes plus graves, vu leur profondeur, que les gales.
Dépérissement	Dieback	Nécrose étendue des rameaux débutant à leur extrémité et progressant vers leur base.
Pourriture racinaire	Root rot	Dégradation d'une partie ou de l'ensemble du système racinaire de la plante.
Fonte de semis	Damping-off	Mort rapide des jeunes plantes, souvent pendant la germination.
Pourriture basale de la tige	Basal stem rot	Désintégration de la partie inférieure de la tige.
Pourritures molles	Soft rots	Destruction rapide des tissus en une masse molle, aqueuse et visqueuse de couleur crème au brun foncé/noir selon le stade.
Anthraxose	Anthraxose	Lésion nécrotique, enfoncée, ulcéreuse, sur la tige, les feuilles, les fruits ou les fleurs de la plante hôte, causée principalement par certains groupes de champignons.
Jaunissement et flétrissement des feuilles	Decline	Perte de vigueur progressive. Plantes à croissance réduite, modification des couleurs de feuilles, voire défoliation ou dépérissement.
Gales	Scabs	Lésions nécrotiques rugueuses (ressemblant à une croûte, ou à du liège) et superficielles (épiderme) sur les feuilles, tiges, tubercules ou fruits.

¹² À l'exclusion des oomycètes.



Figure 10. Chancre sur tige. Source : ephytia. Crédit : Blancard D. (INRAE).

En supplément, d'autres symptômes, associés à un grossissement excessif ou à une croissance et une déformation des organes des plantes, peuvent apparaître. Ils sont décrits au sein du Tableau 3.

Tableau 3. Description des différents symptômes liés à des grossissements excessifs ou à des déformations causées par les champignons, en lien avec leur terminologie (Agrios, 2005).

Terme français	Terme anglais	Aspect
Hernie	Clubroot	Racines hypertrophiées, en forme de fuseaux ou de massues.
Galles ou tumeurs	Galls	Excroissance, boursouffure ou déformation tumorale de la plante.
Verrues	Warts	Protubérances verruqueuses sur les tubercules et les tiges.
Balais de sorcière	Witches'-brooms	Ramification abondante et dressée des rameaux.
Enroulements foliaires	Leaf curls	Déformation, épaissement et enroulement des feuilles.



Figure 11. Galles sur racines de tomates. Source : ephytia. Crédit : Blancard D. (INRAE).

Quatre groupes de symptômes additionnels peuvent apparaître également. Ils sont décrits au sein du Tableau 4.

Tableau 4. Groupes de symptômes supplémentaires pouvant apparaître lors de maladies cryptogamiques.

Terme français	Terme anglais	Aspect
Flétrissement	Wilt	Perte généralisée de turgescence* et affaissement des feuilles ou des jeunes pousses.
Rouille	Rust	Nombreuses petites lésions sur les feuilles ou les tiges, généralement de couleur brun rouille.
Charbon (Figure 12)	Smut	Graines ¹³ ou galles remplies de mycélium ou de spores noires des champignons charbonneux.
Oïdium ou mildiou poudreux	Mildew	Zones des feuilles, tiges, fleurs et fruits recouvertes d'un mycélium blanchâtre et des fructifications du champignon.



Figure 12. *Aspergillus niger* a fortement sporulé sur de nombreuses baies de raisin, celles-ci apparaissent quelque peu charbonneuses. Source : ephytia. Crédit : Blancard D. (INRAE).

MODE DE COLONISATION ET PROPAGATION

Les champignons pathogènes peuvent pénétrer dans les tissus végétaux de deux manières principales :

- **pénétration directe** à travers les tissus intacts de l'hôte ;
- **entrée via des blessures ou ouvertures naturelles** (comme les stomates).

Une fois à l'intérieur, les pathogènes colonisent les tissus de l'hôte et produisent généralement des structures reproductrices et des propagules infectieuses capables de se disperser et d'infecter d'autres plantes (Koike et al., 2007). Les propagules fongiques se divisent en deux grandes catégories (Koike et al., 2007) :

¹³ Dans ce cas, le contenu de la graine est remplacé par le mycélium, ou les spores.

1. Propagules sexuées. Elles résultent de la fusion de deux gamètes ou de deux mycéliums compatibles, suivie de la méiose. La division méiotique produit des spores sexuées, avec différents types selon les groupes fongiques :

- chez les *Zygomycota* : **zygospores** ;
- chez les *Ascomycota* : **ascospores** ;
- chez les *Basidiomycota* : **basidiospores**.

2. Propagules asexuées. Chez les légumes, les spores asexuées sont souvent **le type d'inoculum* le plus important** et se classent en :

- **Sporangiospores** : formées dans des structures fermées (sporangies) sans partager de paroi commune avec le sporange lui-même. Dans certains cas, les sporangiospores peuvent nager dans l'eau et sont appelées zoospores.
- **Conidies** : spores asexuées formées par division à l'extrémité des conidiophores. Le conidium et le conidiophore partagent une paroi cellulaire commune. Les conidiophores peuvent se former individuellement, en grappes (fascicules) ou sur diverses structures fongiques : coussinets en forme de coussins (sporodochia), structures ouvertes en forme de coupe (acervuli) ou corps sphériques clos (pycnidia).

En pratique, c'est souvent **la forme asexuée qui joue le rôle le plus important dans le développement de la maladie au champ**, car elle est plus présente sur la culture (Koike et al., 2007).

Les spores sexuées, plus résistantes aux conditions environnementales défavorables, se forment plus souvent en fin de cycle de vie de la culture et/ou en fin de saison, et permettent aux pathogènes de passer l'hiver. Ces spores sont issues d'une méiose, qui implique des recombinaisons chromosomiques, sources de diversité génétique dans la descendance. **Ces spores sexuées sont à l'origine de nouvelles souches pathogènes**, parfois porteuses de nouvelles résistances aux fongicides, ou capables de contourner les résistances génétiques de certaines plantes hôtes (L. Minet, communication personnelle, 2025).

LOCALISATION

Les champignons peuvent se trouver :

- **à l'extérieur de la graine**, sur le tégument (par exemple : *Alternaria* spp. (Baćanović-Šišić, s. d.)) ;
- **dans la graine** : dans l'endosperme, ou l'embryon (par exemple : *Fusarium* spp. (Baćanović-Šišić, s. d.)).

Les différentes parties de la graine citées ci-dessus (tégument, endosperme et embryon) sont illustrés à la Figure 13 sur une graine de *Paulownia tomentosa* (essence forestière).

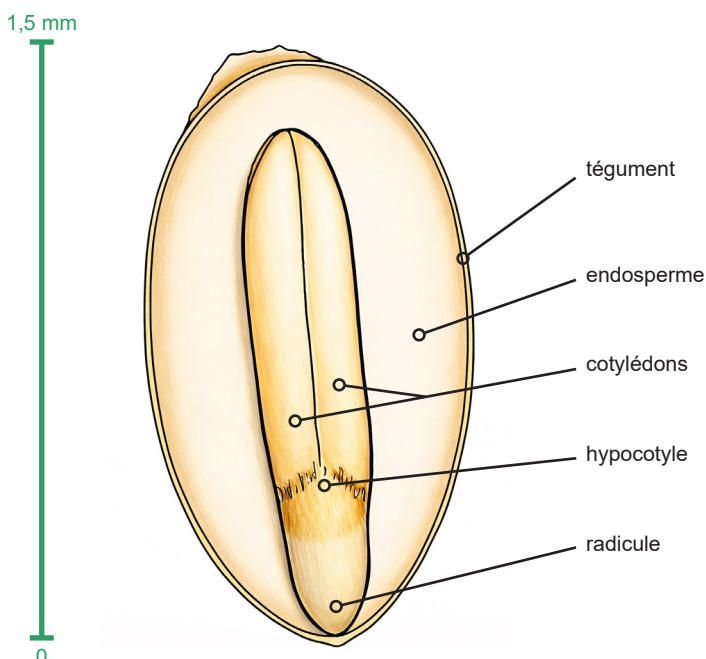


Figure 13. Schéma d'une graine de *Paulownia tomentosa* illustrant clairement le tégument, l'endosperme et l'embryon, constitué notamment des cotylédons, de l'hypocotyle et de la radicule (Willan, 1992).
Crédit : Les Marequiers.

1.4.3 Virus

La page présentant les virus sur le site « ehytia » est assez complète pour comprendre ce type de pathogène (Blancard, 2015b).

Les virus sont des agents infectieux extrêmement petits et invisibles à l'œil nu. Ils ne peuvent être observés qu'avec un microscope électronique¹⁴. Leur structure est très simple : ils possèdent une enveloppe protectrice appelée **capside** qui enferme leur matériel génétique. Chez les virus qui s'attaquent aux plantes, ce matériel génétique est généralement de l'**ARN** (acide ribonucléique) plutôt que de l'**ADN** (acide désoxyribonucléique).

SYMPTÔMES

Pour presque toutes les maladies virales, les infections affectent l'entièreté de la plante (**infection systémique**), et non pas juste une partie. Les symptômes sont en général davantage visibles sur les **feuilles** que sur le reste des organes. Ils peuvent être **évidents, ou discrets**. Certains virus infectent leur hôte sans que ce dernier ne manifeste de symptômes. On appelle ces derniers des « **virus latents*** ». La sévérité des symptômes peut être croissante, mais elle peut également être intense, puis diminuer progressivement si la plante survit au premier choc d'infection (Agrios, 2005).

Les deux types de symptômes viraux les plus communs sont l'apparition de **mosaïques chlorotiques**¹⁵ ou de **taches annulaires**¹⁶ **chlorotiques ou nécrotiques**¹⁷. Les mosaïques peuvent s'exprimer sous forme de marbrures, de stries, de motifs annulaires ou linéaires, d'éclaircissement et/ou de bandes le long des nervures (Agrios, 2005). Beaucoup de symptômes additionnels - tels que des déformations foliaires ou la nanification - ont été décrits et peuvent apparaître, selon les virus et les hôtes.

MODE DE TRANSMISSION

Les **virus** se transmettent de manière horizontale, et/ou de manière **verticale**. Environ 25 % de tous les virus connus infectant les plantes peuvent se transmettre de manière verticale (Gutiérrez-Sánchez et al., 2023). Actuellement, peu de recherches ont été menées sur le **mode d'infection de l'embryon**¹⁸. En effet, les méthodes d'analyse n'étaient pas optimales pour identifier la présence de virus au sein des cellules reproductrices : la concentration en matériel génétique viral étant parfois très faible. De plus, des expériences à ce sujet impliquent des durées de recherche assez longues. Cependant, de nouvelles méthodes efficaces permettent aujourd'hui de mieux détecter les virus (de manière plus sensible, et avec une capacité d'identification de l'espèce plus fine). En parallèle, le nombre de virus identifiés comme étant capables de se transmettre verticalement a été multiplié par 6 (Pagán, 2022). Pagán indique donc l'importance de l'étude des modes de transmission verticale des virus.

Différents **mécanismes moléculaires de transmission verticale** ont été identifiés chez les virus :

- invasion directe de l'embryon via le suspenseur* (Escalante et al., 2024; Pagán, 2022) ;
- infection lors de la méiose : potentiellement seule une proportion déterminée de la progéniture est alors touchée (Pagán, 2022) ;
- infection postméiotique des gamètes (pollen/ovules) : la proportion de descendants infectés dépend de la part de gamètes colonisés et utilisés à la fécondation (Escalante et al., 2024; Pagán, 2022).

La transmission verticale s'effectue donc sur une proportion des semences, et non pas sur l'ensemble de la progéniture. Uniquement 1 à 30 % des semences seront infectées (Agrios, 2005). Une transmission horizontale entre les porteurs-graines a également lieu en complément de la transmission verticale. Des exemples de données à ce sujet sont présentés au sein du Tableau 5.

¹⁴ Et non pas avec un microscope optique.

¹⁵ Chlorotique se réfère à la perte de chlorophylle, qui induit une décoloration : la zone devient jaune, blanche ou vert clair.

¹⁶ Annulaire : circulaire, dont le bord est marqué, souvent avec un centre de couleur différente (plus vert ou plus nécrotique, selon le cas).

¹⁷ Nécrotique se réfère à la mort de cellules, qui induit une coloration brune, noire ou grisâtre. La zone devient sèche et parfois cassante.

¹⁸ Notons que l'endosperme peut être infecté, sans que le virus n'atteigne l'embryon.

Tableau 5. Pourcentages de transmission verticale de différents virus entre les porte-graines et leurs semences.

Espèce	Virus	Pourcentage de transmission	Remarque	Ressource
Poivron	Virus de la mosaïque du concombre	10 à 14	Transmission horizontale également	(Cucumber mosaic virus (CMV), s. d.; Escalante et al., 2024)
Tomate	Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) (voir illustration Figure 14)	2,8	Transmission horizontale également	(Ephytia - Inra, s. d.; Escalante et al., 2024)
Courgette	Virus de la mosaïque jaune de la courgette	21,9	Transmission horizontale également	(Ephytia - Inra, s. d.; Escalante et al., 2024)



Figure 14. Mosaïque et déformation foliaire sur tomate, Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). Source : ephytia. Crédit : Gaudin J. (INRAE).

Les **stratégies** actuelles pour **éviter** les épidémies virales dues aux **transmissions verticales** consistent en la **détection** des virus présents dans les semences, la réalisation de **traitements** à la chaleur, si cela est possible. Cependant ces solutions sont discutables pour Pagán, étant donné que les taux d'infection autorisés légalement semblent parfois trop élevés¹⁹. Par ailleurs, les méthodes basées sur des traitements des semences via la chaleur n'éradiquent en général pas les virus, mais abaissent le taux d'infection. Pagán (2022) recommande donc de chercher des méthodes alternatives, comme par exemple l'analyse des potentielles résistances génétiques à la transmission des virus entre le porte-graines et les semences dans le cadre de création variétale. Escalante et al. (2024) arguent en ce sens également.

Notons que la transmission verticale des virus donne des taux différents d'infection chez les **autogames*** et chez les **allogames***. En effet, dans le cas d'une population autogame contenant uniquement certains porte-graines infectés par un virus à transmission verticale, toutes les semences ne seront pas contaminées : les semences issues de porte-graines non infectés ont peu de chances d'être infectées. **Une récolte attentive peut donc potentiellement permettre d'obtenir un lot sain.** A contrario, il sera impossible de récolter distinctement les semences issues d'une population de plantes allogames, étant donné que la pollinisation croisée entre les porte-graines aura répandu le virus dans l'ensemble de la population (Pagán, 2022).

¹⁹ Par exemple, le seuil d'infection autorisé en Europe pour le virus de la mosaïque de la laitue (LMV) est de moins de 0,1 %. Or il a été démontré qu'avec un taux d'infection des semences de 0,003 % est suffisant pour initier une épidémie (Pagán, 2022).

Les virus peuvent, selon les espèces, se **localiser à différents endroits au sein de la graine** (Escalante et al., 2024) :

- dans l'embryon ;
- dans le tégument de la graine, causant l'infection lors de la germination (les tobamovirus par exemple) ;
- dans le carpelle et les tissus du testa* (localisation de l'ARN viral chez les pois).



2. Le continuum du champ à la semence, de la semence au champ

Il est indispensable de suivre la santé de la culture à chaque étape du cycle de production, du semis aux opérations post-récolte. Le traitement des semences à lui seul en fin de culture est en effet insuffisant pour assurer une qualité sanitaire optimale des lots (Welbaum, 2024). Il intervient uniquement lorsque les mesures de prévention n'ont pas évité le développement d'un micro-organisme pathogène.

2.1 Prévention

La prévention est la première étape qui favorise les récoltes saines. En production semencière, une série de méthodes est identique à celles appliquées en maraîchage. Par contre, des techniques particulières s'appliquent également. Cette section aborde l'ensemble des méthodes de prévention qui peuvent être mises en place.

LES MÉTHODES PROPRES AU MARAÎCHAGE

Les méthodes de prévention sont similaires en production de semences et en maraîchage. Voici quelques paramètres intéressants à considérer, qui s'appliquent en maraîchage comme en production semencière :

- choix de la parcelle ;
- choix de l'infrastructure ;
- itinéraire technique* adapté ;
- évaluation des risques ;
- rotations appropriées ;
- gestion du sol adéquate ;
- gestion des adventices (voir Figure 15) ;
- aération suffisante des cultures (Figure 16) ;
- préservation de la biodiversité locale ;
- accès aux informations relatives au secteur via des observatoires (voir ci-dessous), des conseillers²⁰, des échanges avec d'autres producteurs ;
- choix des variétés (résistances, tolérances) ;
- désinfection des équipements ;
- assurer une traçabilité* des cultures, du semis à la gestion de stock de semences.

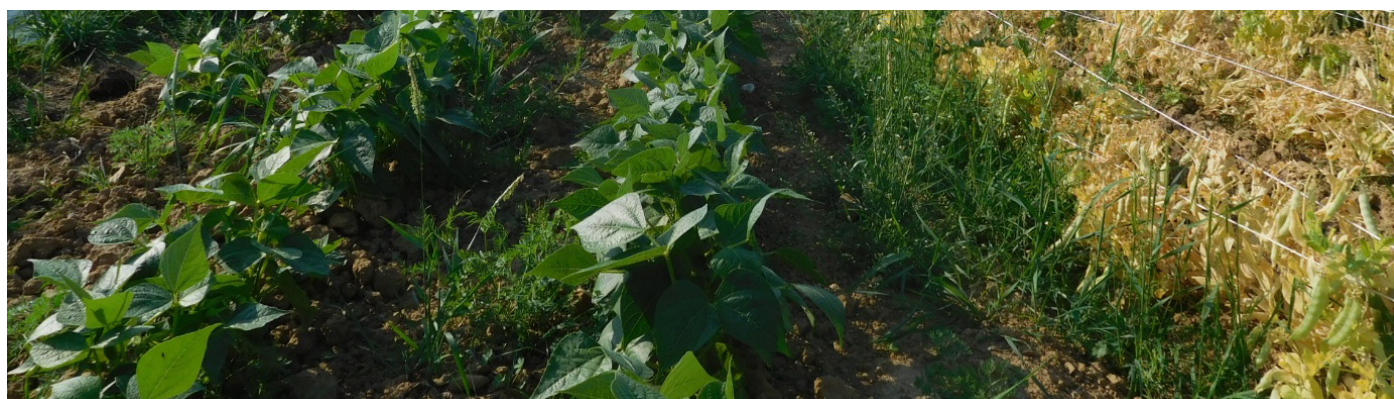


Figure 15. La présence d'adventices implique un séchage plus lent des porte-graines après une période humide et favorise ainsi le développement de maladies.

²⁰ Les principaux acteurs de conseils en Wallonie sont listés dans le document suivant : Lebrun F., Cartographie de la filière des semences potagères en Belgique, 2025, Les Marequiers (voir Annexe 1).

Pour aller plus loin, différentes structures proposent un service d'observatoire en Belgique :

- CPL-Vegemar réalise des observations des maladies et ravageurs toutes les semaines sur la province de Liège (*Avertissements personnalisés*, 2021) ;
- le Centre Interprofessionnel Maraîcher (CIM) propose des flash-infos à ses membres. Ceux-ci contiennent des prévisions issues d'une modélisation réalisée dans un logiciel d'avertissement assez performant, intitulé DACOM. Le système se base sur les conditions environnementales, croisées avec les cycles biologiques des pathogènes. Les prévisions sont validées par des données locales issues d'une station météo (*Avertissements | Centre Interprofessionnel Maraîcher | Wallonie*, s. d.).

L'observatoire des cultures maraîchères de l'Agroscope, en Suisse, est un outil intéressant également. Des lettres d'information sont envoyées régulièrement par mail pour optimiser la gestion des maladies des plantes chez les maraîchers (*Infos cultures maraîchères / conseils phytosanitaires*, s. d.).

ÉLÉMENTS PARTICULIERS EN PRODUCTION SEMENCIÈRE

En production de semences, quelques mesures doivent être respectées afin de favoriser la récolte de lots sains. Il s'agit d'éviter autant que possible l'introduction de pathogènes dans la culture. Une fois qu'un pathogène transmissible par la semence est présent dans un lot, il peut se propager d'année en année dans une variété sensible, et être difficile à éliminer. Voici une brève présentation de mesures préconisées (Navazio, 2012).

- les semences utilisées pour lancer la culture doivent être saines. En cas d'incertitude, il est nécessaire de tester les semences avant de lancer la production ;
- les rotations doivent être respectées : sur un site de production, les espèces ayant été touchées par des maladies les années précédentes ne doivent pas être cultivées les années suivantes. La culture d'autres espèces sensibles au pathogène doit également être évitée ;
- il est conseillé d'éviter les contacts entre les cultures semencières et d'autres cultures (semencières ou maraîchères) de la même espèce pour empêcher les éventuelles contaminations ;
- une observation minutieuse des plantes doit être réalisée pendant la culture ;
- cette observation se réalise de préférence en minimisant le contact entre l'examineur²¹ et les plantes. En effet, dans certains cas, faire le tour de la culture peut suffire à disséminer une maladie (c'est le cas pour la grasse du haricot²² notamment) ;
- les équipements de travail doivent être nettoyés préalablement à leur utilisation, surtout en cas de suspicion de maladies ;
- en cas d'apparition de maladies véhiculées ou transmises par les semences, une sélection de conservation doit être réalisée. Les plantes extraites du champ doivent être détruites²³.
- après la récolte, les résidus de culture doivent être éliminés attentivement ;
- en cas d'infection, il est urgent de réagir pour appliquer des méthodes curatives ;
- lors des opérations post-récolte, il est préférable d'analyser les semences pour détecter les éventuels pathogènes ;
- en cas de suspicion de pathogènes, ou de détection de ceux-ci, un traitement adapté des semences doit être effectué ;
- selon les cultures et le risque de maladies sur celles-ci, on peut décider de limiter l'accès de visiteurs aux cultures, afin de diminuer le risque d'apporter des pathogènes de l'extérieur. Cela a été conseillé pour éviter la propagation du ToBRFV sur tomates, par exemple.

²¹ Les animaux pourraient, comme les humains, jouer un rôle de vecteur. En cas de suspicion de maladie, la présence d'animaux sauvages n'est pas toujours maîtrisable. Cependant, il est préférable d'éviter la présence d'animaux domestiques au sein des cultures dans la mesure du possible.

²² Nous conseillons de surveiller la présence de grasse le plus tôt possible. Retirer les plants malades avant que les rangs ne se ferment serait l'idéal. Cependant, les symptômes arrivant lors de la floraison, le timing n'est pas adéquat et il est donc recommandé d'être particulièrement attentif. ve à ne pas transmettre la grasse via des contacts qui ne seraient pas indispensables.

²³ Enterrer, brûler, écarter les plants malades du champ diminuent la pression en maladies (Welbaum, 2024).

Par ailleurs, il est essentiel d'évaluer les **risques** d'une culture dans la région où elle sera cultivée²⁴, et d'**adapter l'itinéraire technique** en fonction de ceux-ci. Par exemple, la multiplication de certaines espèces est fortement recommandée sous abri en régions potentiellement pluvieuses, comme en Belgique, pour mieux contrôler les facteurs de l'environnement.



Figure 16. Culture de carottes. Un bon espacement entre les rangs favorise une culture saine.

Ces mesures peuvent paraître relativement oppressantes. Cependant, avec un peu de temps, un producteur va acquérir de l'expérience et connaîtra les maladies les plus répandues. Il pourra reconnaître de plus en plus facilement les maladies courantes et identifier les symptômes inhabituels.

Enfin, au niveau de la production de semences, la **traçabilité** demeure essentielle **après la récolte**. Un étiquetage adéquat des semences doit accompagner le lot dans l'intégralité de son parcours jusqu'au client final. À cette fin, les informations sont de préférence intégrées sur une étiquette insérée **dans les contenants vrac**, en complément à l'étiquette apposée **sur ceux-ci**. En effet, en cas de perte d'une étiquette collée sur un contenant vrac, l'ensemble du lot, devenu non identifiable, perd sa valeur. Dès que les semences sont ensachées en petites portions prêtes à la commercialisation, seule l'étiquette apposée sur le sachet est nécessaire.

2.2 Gestion des maladies

Pendant la culture, outre les méthodes de prévention, il est important de détecter les maladies potentiellement présentes, et de soigner les porte-graines si nécessaire. Après avoir identifié ces dernières, il est intéressant de pouvoir évaluer le degré de risque et d'estimer si la présence des agents pathogènes est acceptable, et dans quelle proportion. Cette section aborde ces éléments.

²⁴ Des organismes de conseil peuvent accompagner les producteurs pour obtenir une liste des maladies les plus courantes (voir la section 2.1 Prévention ci-dessus). Par ailleurs, des documents comme celui du FiBL, intitulé « Conseils phytosanitaires pour la culture maraîchère bio » (Herren et al., 2025), inventorient les maladies les plus courantes sur le territoire. Ils peuvent servir de repère pour identifier les maladies les plus probables chez nous (le climat suisse étant similaire à d'autres climats européens, dont le climat belge).

2.2.1 Législation

Dans la législation actuelle, des seuils d'acceptabilité ont été établis. Les **Organismes de Quarantaine* (OQ)** sont absolument interdits dans les lots de semences, car ils pourraient avoir des conséquences économiques **graves**. Ils sont considérés comme absents du territoire de l'Union européenne (UE). Il est **peu probable de les observer**, mais leur observation donne lieu à un signalement et à une destruction obligatoire.

Les « Organismes Réglementés Non de Quarantaine* » (ORNQ) sont quant à eux présents sur le territoire de l'UE. **Il est plus probable de les observer** et ils pourraient avoir des « conséquences économiques inacceptables ». Des seuils d'acceptabilité variables ont été déterminés à leur égard : certains seuils d'ORNQ sont à 0 %, comme pour *Clavibacter sp.*, alors que d'autres seuils sont plus élevés, comme pour le virus de la striure du poireau (LYSV), qui a un seuil d'acceptabilité de 1 % (*Plants de légumes*, s. d.).

La législation indique des règles à respecter et requiert un contrôle externe à l'entreprise. Un dossier d'information²⁵ édité par le Service Public Fédéral belge explique les normes internationales ainsi que les mesures et inspections qui sont applicables en Belgique (Santé des plantes : mieux les protéger dans leur environnement Actes de la journée de conférences et d'échanges (JCE 2021), 2021). Ce dossier explique notamment les rôles du **SPF Santé publique**, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement (Direction générale Animaux, Végétaux et Alimentation, Cellule Protection des végétaux), de l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (**AFSCA**), et ce qu'est un **passport phytosanitaire***. Un document complémentaire relatif à la législation liste les obligations qui s'appliquent aux maraîchers et aux semenciers²⁶ (*Questions fréquemment posées Maraîchers*, s. d.).

2.2.2 La détection et l'identification des maladies

En cas de présence de symptômes, la première étape est d'identifier la cause. S'ils sont dus à un facteur abiotique, la solution réside simplement dans la maîtrise de l'environnement. Par contre, si une maladie est causée par un agent pathogène, il est nécessaire de l'identifier pour ensuite évaluer le degré de risque et les possibilités de traitement. L'autocontrôle* est la première étape de ce processus. Pour identifier la maladie, certaines analyses peuvent être effectuées sur le champ ou au sein d'un microlaboratoire*²⁷ peu coûteux. Enfin, certaines analyses ne peuvent se réaliser qu'en laboratoire spécialisé. Ces points sont développés dans les sections suivantes.

AUTOCONTRÔLE

L'autocontrôle est la vérification de l'état sanitaire des cultures (L. Minet, communication personnelle, 2025). À cette fin, il est nécessaire de pouvoir réaliser un diagnostic de terrain, qui se réalise sans équipement de laboratoire spécialisé. Cette démarche se fait directement sur l'exploitation, en observant les symptômes présents sur la plante pour en déduire les causes probables. Elle demande d'analyser l'ensemble de la plante et de relier les symptômes observés à des pistes possibles (carences, ravageurs, maladies, facteurs abiotiques) (P. Taylor, 2015).

Certaines situations sont simples à élucider. Cependant, de nombreux cas sont ambigus car plusieurs facteurs peuvent causer des symptômes analogues. Il est donc souvent difficile d'identifier précisément la maladie sur le terrain. Un début de diagnostic peut toutefois être suffisant pour réagir (P. Taylor, 2015).

En Belgique, il existe un guide d'autocontrôle validé par l'AFSCA. Celui-ci est payant et se rapporte à la production primaire. La partie D de ce document est relative aux productions horticoles non comestibles et inclut donc les semences (*Questions fréquemment posées Maraîchers*, s. d.).

²⁵ Accessible gratuitement en ligne.

²⁶ Multiplicateurs et sociétés semencières.

²⁷ L'idée phare derrière ce terme est de recenser les techniques d'analyses accessibles à des personnes qui s'équipent et se forment de manière autonome.

L'autocontrôle semble être la méthode la plus adaptée à la réalité de terrain. En pratique, cela signifie qu'il doit y avoir une personne compétente pour réaliser ces observations, que ce soit le producteur lui-même, son équipe, ou un prestataire externe (comme le C.I.M.²⁸ par exemple). Dans le cas de productions sous contrat pour une société semencière*, l'autocontrôle pourrait être sous la responsabilité de celle-ci, ce qui évidemment est compliqué lorsqu'il y a beaucoup de producteurs à visiter (L. Minet, communication personnelle, 2025).

Nyochembeng (2021) constate que la plupart des multiplicateurs semblent négliger cette opération d'autocontrôle, par manque de moyens ou de connaissances. C'était effectivement la réalité de terrain au sein de CET SC²⁹, où seule une observation sommaire était possible.

DIAGNOSTIC VISUEL

NOTE ESSENTIELLE !

L'accès aux données, les connaissances, le temps nécessaire à l'analyse et l'expérience sont des réels défis sur le terrain. Afin de tenter d'apporter un premier outil technique aux acteurs de terrain, l'Annexe 3 recense une série de ressources accessibles pour tenter d'identifier une maladie. De nombreuses ressources permettent d'effectuer un premier diagnostic sur base de photos, bien qu'une analyse microbiologique* soit souvent le seul moyen de confirmer le diagnostic avec certitude.

Certaines plantes infectées sont **asymptomatiques**. Il est donc, dans ce cas, impossible de détecter visuellement une maladie (Walcott, 2003). Dès lors, l'autocontrôle visuel n'est pas toujours une solution suffisante pour éviter tout pathogène véhiculé ou transmis par les semences. Heureusement cela reste rare : s'il n'y a pas de développement de symptômes, l'agent pathogène est probablement très peu développé et a donc très peu de chance d'infecter les graines. Pour certains pathogènes très problématiques, comme le ToBRFV, des analyses sont requises en plus des observations de terrain, vraisemblablement pour répondre à ce genre de problème où le virus pourrait être asymptomatique (L. Minet, communication personnelle, 2025).

« Si on n'est pas certain de notre diagnostic, il faut parfois attendre que la maladie se développe un peu plus pour agir, ou traiter via un moyen « générique » qui peut éventuellement résoudre le problème en l'absence d'identification précise. Par exemple, des produits à base d'essence d'orange pourraient être utilisés contre les « champignons ». De toute manière, en agriculture biologique, on n'a pas beaucoup de possibilités d'action. Si une maladie problématique se développe, la meilleure chose à faire est parfois de détruire la culture et de renoncer à la récolte. Cela fait partie des risques. »

Laurent Minet



Figure 17. Symptômes sur feuilles de laitue, probablement liés à la présence du virus de la mosaïque de la laitue (LMV). Dans ce cas de figure, il suffit d'arracher le porte-graine, car la laitue est autogame. Le pathogène ne se transmet donc pas lors de la pollinisation, mais uniquement via l'environnement. Il est donc essentiel d'agir dès les premiers symptômes.

²⁸ C.I.M. : Centre Interprofessionnel Maraîcher. C'est une ASBL belge qui réalise de la vulgarisation et propose des services à destination des maraîchers wallons.

²⁹ CET SC : coopérative Cycle en Terre, société semencière belge en activité entre 2016 et 2024, qui a ensuite été reprise par une autre société.

DIAGNOSTIC EN MICROLABORATOIRE

Nyochembeng (2021) mentionne le fait que l'examen visuel, les milieux semi-sélectifs*, la sérologie* et la croissance des plantules **restent les seules techniques simples et économiques accessibles aux producteurs**. Les trois méthodes (milieux semi-sélectifs, sérologie et croissance des plantules) sont présentées ci-dessous plus en détail afin d'évaluer leur faisabilité en microlaboratoire. Selon Nyochembeng, la sérologie est la méthode la plus rapide et sensible, avec des **kits commerciaux désormais disponibles pour la détection in situ**. Il constate que la plupart des producteurs biologiques n'utilisent pas encore les outils mentionnés, si bien que **le dépistage des pathogènes en production de semences n'est pas pratiqué systématiquement en agriculture biologique**.

Pour aller plus loin...

MILIEUX SEMI-SÉLECTIFS

Les milieux semi-sélectifs sont utilisés pour isoler et identifier une bactérie ou un agent cryptogamique phytopathogène présent, par exemple, sur un organe végétatif, dans le sol ou sur un insecte vecteur (Mwangi et al., 2007; Venbrux et al., 2023). Ils sont formulés pour favoriser la croissance d'un agent phytopathogène ciblé tout en limitant le développement du reste de la flore microbienne environnante. Cela permet de l'isoler et de l'identifier dans un second temps via une série de méthodes complémentaires : analyses morphologiques, microscopiques, biochimiques, moléculaires ou immunologiques* (Venbrux et al., 2023).

La culture des microorganismes est basée sur la connaissance des besoins nutritionnels des bactéries et sur leur marge de tolérance physiologique par rapport aux ressources en carbone et en azote du milieu. En parallèle, des antibiotiques et des colorants permettent de préciser la sélection de l'espèce analysée. D'autres paramètres peuvent être maîtrisés, comme par exemple le pouvoir osmotique (selon la concentration en sucrose), le pH ou la température d'incubation (Gitaitis & Walcott, 2007). Les milieux semi-sélectifs ne sont pas utilisables pour les virus, étant donné que ceux-ci ne peuvent pas être isolés de leur hôte (Venbrux et al., 2023).

À titre d'exemple, Gitaitis et Walcott renseignent des milieux utilisables pour une série de bactéries phytopathogènes suspectées d'être présentes sur la plante hôte.

Cette méthode de culture en milieux semi-sélectifs pour identifier des agents phytopathogènes semble laborieuse à mettre en place au sein d'une exploitation, étant donné :

- il faut travailler de manière stérile ;
- le nombre de paramètres à connaître et maîtriser afin d'identifier le milieu de culture adapté ;
- le nombre de cultures en milieu semi-sélectif à réaliser si l'on n'a pas réussi à identifier assez précisément l'agent pathogène sur base d'observations morphologiques ;
- la nécessité de maîtriser des méthodes d'identification après la culture (analyses morphologiques, microscopiques, biochimiques, moléculaires ou immunologiques).

KITS COMMERCIAUX : TESTS SÉROLOGIQUES*

Un échange avec la société Agdia, commercialisant des kits d'identification d'organismes phytopathogènes, permet de mieux comprendre les types de kits commerciaux et leur utilisation (M. Amato, communication personnelle, 16 décembre 2025).

Il existe deux grandes familles de kits pour la détection immunologique des maladies : **les tests ELISA**^{*30}, plutôt utilisés en laboratoire, et les **tests rapides sur bandelettes de type « flux latéral »**^{*}, conçus pour un usage simplifié, y compris par des agriculteurs.

M. Amato, directeur de la société Agdia, explique que cette dernière fournit de nombreuses « grandes sociétés semencières » en tests de ce type³¹. Elles analysent ainsi leurs cultures chaque année pour effectuer une surveillance des maladies les plus importantes. Elles préfèrent, pour des questions économiques et d'efficacité, réaliser une détection en interne préalablement aux analyses officielles afin d'écarter les lots elles-mêmes, si nécessaire.

Les **tests bandelettes** de type « flux latéral »³² sont utiles pour confirmer une identification de pathogène réalisée sur base d'observation **de symptômes**³³. Leur avantage est qu'ils sont rapides et simples d'usage sur le terrain. Ils se lisent visuellement : une analogie peut être faite avec un test de grossesse. En effet, on plonge la bandelette dans un extrait d'échantillon, puis on observe l'apparition d'une ligne de contrôle (qui doit toujours être présente) et d'une ligne de test, si la cible est détectée.

Des tests bandelettes de type « flux latéral » sont souvent disponibles pour les virus les plus courants, ce qui est intéressant étant donné que les virus ne peuvent être identifiés ni via la méthode des milieux semi-sélectifs, ni via la croissance des plantules en microlaboratoire. Ils ne coûtent que quelques euros par analyse et sont réalisables sur le terrain par une personne non spécialisée. Par contre, comme « on ne trouve que ce qu'on cherche », il faut avoir une idée du virus auquel on a affaire, avant de tester, car chaque test bandelette détectera la présence ou l'absence d'un seul virus, pour lequel le test a été prévu (L. Minet, communication personnelle, 2025).

Les **tests ELISA** ne sont pas compliqués à réaliser en soi : ce sont des analyses de routine. Cependant, il est préférable qu'une personne dédiée à ce genre d'opération les réalise, c'est pourquoi M. Amato conseille d'externaliser le test s'il ne doit pas être effectué régulièrement au sein de l'exploitation (communication personnelle, 16 décembre 2025). Ils nécessitent par ailleurs l'achat d'un lecteur qui peut s'avérer trop onéreux dans le cas où on réalise un faible nombre d'analyses. Ce sont plutôt des tests à effectuer en laboratoire, et ils peuvent constituer une méthode de contre-analyse après un test sur bandelette.

Notons qu'il existe des maladies qui ne sont pas détectables via des tests commerciaux.

Différentes sociétés commerciales proposent ce type de tests, comme par exemple BIOREBA (Suisse, distribuée en Benelux par Sanbio), LOEWE Biochemica (Allemagne) ou Creative Diagnostics (Irlande). Cette liste n'est pas exhaustive. À propos des tests commerciaux, nous pouvons conclure que :

- les tests ELISA ne sont pas adaptés à un diagnostic en microlaboratoire³⁴ ;
- les tests bandelette de type « flux latéral » constituent un outil intéressant, notamment pour les virus qui peuvent difficilement être identifiés selon d'autres méthodes ;
- avant d'utiliser un test bandelette, il est important de cibler au mieux les agents phytopathogènes susceptibles d'être présents. En effet, chaque test bandelette ne permet de détecter qu'un seul agent donné.

CROISSANCE DES PLANTULES (VIA DES TESTS DE GERMINATION OU DES BLOTTER TESTS*)

Quelques maladies, notamment responsables de fonte des semis ou de pourritures, peuvent être observées lors d'un test de germination* sur papier buvard (Figure 18) ou dans des « blotter tests » spécifiques, qui pourraient être réalisés à la ferme. Avec relativement peu d'investissements, il est possible de s'équiper en matériel pour identifier soi-même ces **champignons phytopathogènes**. Pour cela, l'utilisation de loupes binoculaires (Figure 19) et de microscopes est nécessaire.

³⁰ Abréviation de « Enzyme linked immunosorbent assay ».

³¹ Apparemment, des maraîchers font également partie de leurs clients, surtout pour les analyses sur tomates avec des tests bandelettes.

³² Appelés « Immunostrips® », chez Agdia.

³³ Les seuils de sensibilité sont trop élevés pour détecter des maladies n'ayant pas encore déclenché de symptômes. Ces tests ne fonctionnent donc pas sur plantules.

³⁴ Dans le cadre du sens que nous donnons au terme « microlaboratoire » dans le cadre de ce document.

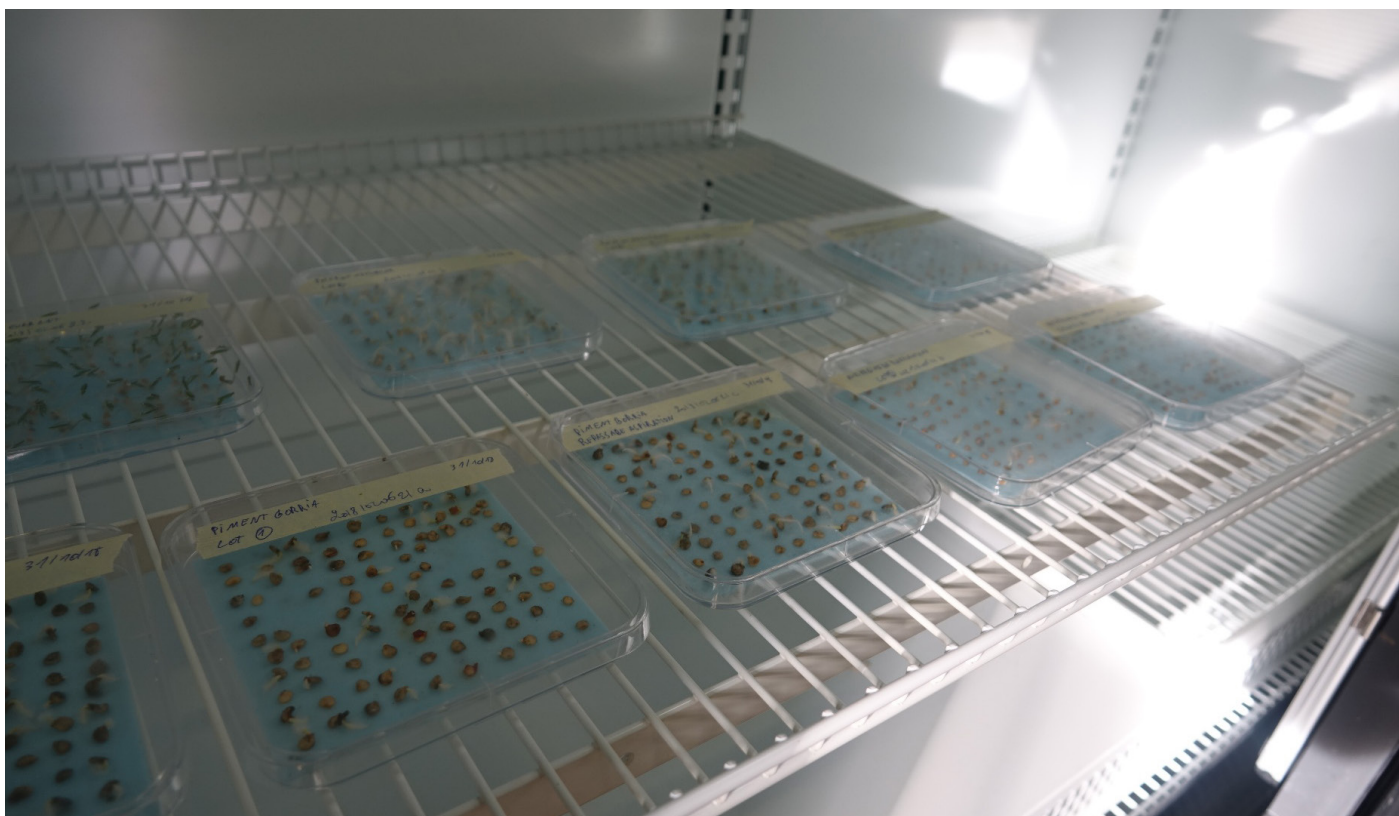


Figure 18. Tests de germination.

Le Tableau 6 indique les différentes étapes à suivre. Chez Bingenheimer Saatgut AG, lorsqu'une maladie cryptogamique est suspectée, un échantillon de semences est placé sur un papier buvard dans une boîte de Pétri, à une température spécifique (Figure 23). Un « Parafilm* » est alors placé sous le couvercle pour rendre le test étanche. Ces conditions vont favoriser le développement des champignons pathogènes et une éventuelle germination des semences. Une équipe de l'entreprise, spécialisée dans la détection des maladies cryptogamiques, va observer les plantules au microscope³⁵ pour identifier l'agent pathogène (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG*, communication personnelle, 2016).

Le Tableau 7 donne quant à lui des ordres de prix pour ces équipements neufs. Ces prix sont indicatifs et peuvent varier selon les marques, le niveau de performance, l'optique et les options choisies (caméra, LED, accessoires spécialisés). Insistons sur le fait que, bien que cela prenne du temps, on fait souvent de meilleures affaires en cherchant sur le marché de l'occasion.

Tableau 6. Étapes d'identification morphologique des champignons phytopathogènes au microscope (Observation à la loupe binoculaire et au microscope optique, 2016).

Étapes	Équipement d'observation	Matériel nécessaire
Prélèvement de fragments malades sous la loupe binoculaire	Loupe binoculaire	Aiguille pour le prélèvement
Montage du prélèvement sur la lame	Microscope optique	Liquide de montage (lactophénol ou acide lactique, avec un colorant comme le bleu de méthyle (0,5 %) ou la fuchsine rose (0,12 %)) Lame de montage et lamelle
Observer les caractères morphologiques des champignons pour les identifier	Microscope optique	Informations sur les caractères morphologiques des champignons ³⁶ , clé d'identification.

³⁵ Avec un agrandissement de 630 fois, les spores peuvent être observées.

³⁶ Le livre « Identifier les champignons transmis par les semences » de Rémi Champion est idéal pour cela (Champion, 1997) – repris dans l'Annexe 3

Tableau 7. Prix des microscopes optiques et binoculaires (Combien coûte un microscope ?, s. d.; Microscope, s. d.).

Type	Entrée de gamme	Standard / Enseignement	Professionnel / Recherche
Binoculaire	65 à 300 €	500 à 800 €	1000 à 5000 €
Microscope optique	80 à 400 €	600 à 1500 €	2000 à 4700 €



Figure 19. Binoculaire utilisé chez Bingenheimer Saatgut AG, avec des exemples de tests de germination qui vont être observés pour identifier des agents pathogènes cryptogamiques. Le modèle photographié est un Leica S6E.

La croissance des plantules ne peut être utilisée que pour identifier les agents cryptogamiques. En effet :

- **L'identification des virus** ne peut pas se faire dans un microlaboratoire à la ferme. Les virus sont en effet trop petits pour être observés à la loupe binoculaire ou au microscope optique. Dans les laboratoires, l'identification peut éventuellement être facilitée par une observation au microscope électronique en transmission, qui permet d'observer des éléments de quelques nanomètres. Il peut valider la présence de virus et offre la possibilité d'observer leur forme pour tenter de déceler leur genre, leur famille, ou leur métafamille. Ce sont cependant des analyses PCR (en laboratoire spécialisé) qui permettent d'identifier précisément le virus. L'utilisation préalable d'un microscope électronique permet d'économiser le nombre de PCR à réaliser (*Observation au microscope électronique*, 2016). Ces techniques nécessitent un laboratoire professionnel, les équipements et les analyses étant trop spécialisés et onéreux. M. Amato (communication personnelle, 16 décembre 2025) précise par exemple que les tests PCR sont les seuls à être validés par le règlement européen pour la détection du ToBRFV.

Les bactéries peuvent être observées au microscope optique à fort grossissement. Elles ont une taille de 0,5 à 3 μm (Blancard, 2015c). L'identification de ces pathogènes repose cependant d'abord sur l'isolement et la culture en laboratoire, l'observation de la morphologie des colonies, la coloration de Gram, puis sur des tests spécifiques pour confirmer l'espèce (test ELISA, immunofluorescence, hybridation de l'ADN, tests biochimiques miniaturisés) (Blancard, 2020; GIE-FPSO (GIE), 2013). En conclusion, l'identification d'agents cryptogamiques phytopathogènes est possible au niveau d'une exploitation moyennant quelques investissements. Cela demande néanmoins des connaissances spécialisées, d'une part, ainsi que du temps, d'autre part. Ces deux éléments rendent l'identification de terrain laborieuse.

Il est en effet fort improbable que les multiplicateurs aient la possibilité de mettre en place des identifications pareilles de manière systématique. Cela semble un peu plus réaliste à l'échelle de sociétés semencières, bien que cela reste probablement un grand défi pour celles de petite taille.

DIAGNOSTIC EN LABORATOIRE

Pour détecter et identifier les maladies en laboratoire, les producteurs **peuvent recourir aux cliniques universitaires de pathologie végétale ou aux laboratoires diagnostiques** des services d'extension agricole locaux.

Le **diagnostic en laboratoire** permet d'affiner l'identification des maladies. Des analyses sont notamment possibles au sein de différents laboratoires³⁷ :

- en Wallonie :
 - **CRA-W** (*Laboratoire de diagnostic et d'identification des pathogènes et ravageurs des végétaux et établissement de collections biologiques de référence.*, s. d.) ;
 - Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité (**CPAR**) en Brabant wallon – Laboratoire de phytopathologie (*Echantillonnages et analyses*, s. d.) ;
 - **Clinique des plantes de l'UCLouvain** : APPI by Corder (*Bienvenue sur APPI*, s. d.) ;
 - laboratoires d'**Hainaut Analyses** (ex-CARAH) (« Agronomie », s. d.) ;
 - le laboratoire de l'**AFSCA** à Gembloux (*Laboratoire de Gembloux*, s. d.).
- aux Pays-Bas au sein de l'institut **Naktuinbouw** (*Naktuinbouw Fees (Price List)*, 2023) ;
- en Flandre, au sein de l'**Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek** (ILVO) (*Diagnostic Centre for Plants*, s. d.) ;
- plusieurs laboratoires sont actifs sur le territoire français. Ils agissent de manière complémentaire. Le **Réseau Français de la Santé des Végétaux** (RFSV) et le **RMT VEGDIAG** ont réalisé un annuaire des laboratoires, dont la dernière mise à jour date cependant de 2020 (*Annuaire du Réseau Français de la Santé des Végétaux* (RFSV), 2020). Le **laboratoire de la Station Nationale d'Essais de Semences** (GEVES-SNES) est, comme son nom l'indique, spécialisé en analyses de semences.

Cependant, le recours à un laboratoire pour analyser une plante n'est pas nécessairement une opération simple. En effet, le processus est lent et les échantillons peuvent nécessiter des analyses au sein de différents laboratoires. Un exemple à ce sujet est écrit dans le dossier relatif à la qualité des semences³⁸, rédigé dans le cadre de Semences d'ici.

Enfin, notons qu'afin de **détecter la présence d'agents pathogènes sur un lot de semences**, les entreprises de l'industrie semencière se sont regroupées en une initiative internationale pour la santé des semences pour les cultures légumières (ISHI). Son rôle est d'établir et de mettre à jour des protocoles de **référence pour tester la santé des semences** afin de minimiser les différences entre les méthodes utilisées par les pays et les sociétés semencières (*Guidelines on Seed Health Testing in the Vegetable Seed Industry*, 2010). Ces protocoles sont accessibles en ligne (*ISHI Methods*, s. d.).

Deux documents rédigés par SEMAE permettent d'approfondir le sujet de **l'identification des maladies en production de semences** (*Manuel de contrôles phytosanitaires relatif aux méthodes d'inspection des cultures, du contrôle des lots et de prélèvements d'échantillons*, 2023; *Manuel d'échantillonnage des lots de semences*, 2024). Ils traitent de l'inspection et du contrôle des lots au champ, et/ou via des analyses sur plantes et/ou sur semences. Ces documents officiels français semblent davantage adaptés à de gros lots de semences, produits sur grande superficie (une surface d'un hectare d'oignon hybride est mentionnée pour exemple). Il n'est pas évident que ces méthodes soient applicables dans le cas de productions diversifiées sur moyennes superficies. Un intérêt de ces documents est de servir de référence par rapport aux pratiques standardisées appliquées à des lots potentiellement destinés au marché des maraîchers professionnels.

³⁷ La liste recense des laboratoires qui traitent de phytopathologie. Il est possible qu'elle ne soit pas exhaustive. Les laboratoires sont spécialisés : par exemple, certains d'entre eux ne sont pas équipés pour identifier les virus.

³⁸ Voir Annexe 1.

CONCLUSION

Sur le terrain, les entreprises semencières cherchent le fonctionnement idéal pour la détection de chaque maladie en fonction des moyens disponibles en interne. Par exemple, en 2016 chez Bingenheimer Saatgut AG, en cas de suspicion de **maladies bactériennes ou virales**, les tests d'identification des maladies sont délégués à un laboratoire spécifique. En effet, les compétences nécessaires ne sont pas disponibles en interne dans l'entreprise. Par contre, si une **maladie cryptogamique** est suspectée, un échantillon de semences est analysé.

En conclusion, pour identifier les pathogènes à petite échelle :

- les milieux semi-sélectifs ne semblent pas être adaptés ;
- il pourrait être intéressant de réaliser certaines analyses au microscope, au sein d'un microlaboratoire. Cette solution permettrait d'apporter de l'autonomie aux multiplicateurs et/ou aux sociétés semencières pour faciliter la production de semences saines. Cependant, ces procédés peuvent potentiellement être inaccessibles techniquement au sein d'une société semencière de petite taille ;
- les kits commerciaux disponibles constituent quant à eux un outil intéressant pour identifier des maladies suite à un premier diagnostic visuel.

2.2.3 Soigner les cultures

Lorsqu'une maladie est identifiée, des décisions sont prises pour soigner la culture, ou éventuellement la détruire. Une clé simplifiée pour la gestion des bioagresseurs en maraîchage et en production de semences est intégrée en Annexe 2 de ce dossier, afin de proposer un fil conducteur à suivre lors de la prise de décisions. Cette clé met en évidence la masse conséquente d'informations à maîtriser avant d'effectuer des choix éclairés. Un constat évident est que le sujet est complexe, et qu'il manque des données facilement et rapidement accessibles et maîtrisables, autant en maraîchage qu'en production de semences.

En effet, bien que le nombre de ressources en ligne soit en croissance, notamment avec des systèmes d'identification assistés par intelligence artificielle (en anglais, pour le moment), le temps nécessaire à la prise en main de ces outils et l'incertitude résiduelle après analyse sont des freins à la capacité de réaction individuelle. Les consultants et experts actifs sur le terrain restent donc indispensables pour permettre aux agriculteurs de réagir face à une maladie.

Au niveau des réactions au champ, différents choix sont possibles. Ce sont les mêmes que les méthodes préconisées en maraîchage (lutte biologique, traitements autorisés en agriculture biologique, traitements chimiques pour les cultures conventionnelles, etc.). Pour aller plus loin sur ce sujet, le livre « Guide Technique de l'ITAB - Produire des légumes biologiques » de l'ITAB constitue une ressource précieuse (Rey et al., 2017).

2.3 Le traitement des semences

Le traitement des semences consiste en une série d'opérations effectuées sur le lot après les opérations de triage, dans le but de réduire (ou d'exterminer) la population d'agents pathogènes. Plusieurs méthodes sont possibles, comme les luttes chimiques, biologiques, physiques, dont la thermothérapie, qui sont décrites ci-dessous.



Figure 20. Semences saines de poivron, en test de germination.

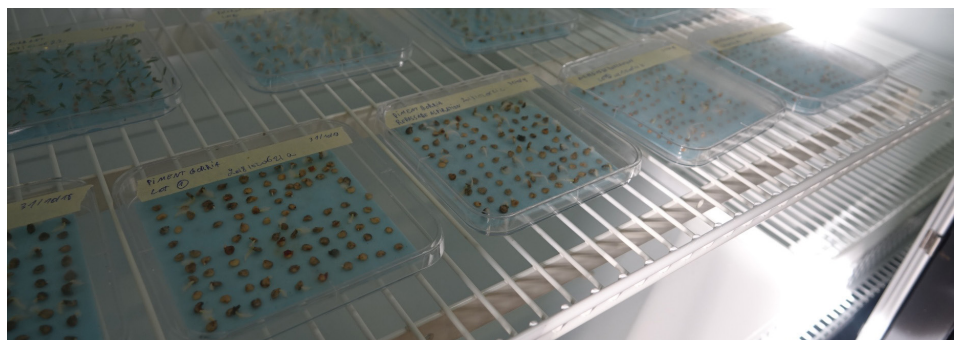


Figure 21. Semences de poivrons noircies par des moisissures. Ces tests de germination n'ont pas donné de résultat satisfaisant, et les lots ont dû être déstockés.

2.3.1 Méthode chimique

En 2007, aucun traitement n'était autorisé en agriculture biologique. Néanmoins, certains d'entre eux semblaient potentiellement intéressants. Rey (2008) et Wallace (2023) listent ces produits dans des documents synthétiques à ce sujet, disponibles en ligne. Wallace (2023) liste des études qui proposent des traitements chimiques efficaces à partir, notamment, d'huiles essentielles et d'acides organiques (Wolf et al., 2008). Enfin, les pages web "substances de base" de l'ITAB récapitulent l'usage des substances de base utilisables à la ferme en agriculture biologique en Union Européenne, en fonction des usages. La fiche filière "Semences et Plants" est à noter, en particulier (ITAB, s. d.).

L. Minet (communication personnelle, 2025) mentionne également le fait que le vinaigre est utilisé en agriculture biologique pour le traitement de semences de laitue notamment. Une étude évalue l'efficacité d'un traitement au vinaigre contre des bactéries et des champignons présents en surface des semences de différentes espèces³⁹ destinées à la production de micropousses*. La conclusion indique que le taux de germination diminue dès que la concentration en vinaigre est suffisamment élevée pour réduire le taux de contamination des semences de manière systématique. Celui-ci pourrait toutefois, dans certaines conditions expérimentales, avoir un effet positif contre les maladies fongiques sur semences d'oignon (Gilbert et al., 2023). Une autre étude sur des semences de légumes montre que plusieurs acides organiques, dont l'acide acétique, présentent une forte activité antibactérienne en traitement de semences, à partir de concentrations d'environ 2 %, en réduisant significativement les bactéries associées aux graines (Wolf et al., 2008). D'autres travaux cités indiquent que des traitements au vinaigre peuvent contrôler efficacement la carie commune du blé et certaines contaminations d'*Alternaria* sur carotte, sans effet négatif sur la germination lorsque la dose et la durée de traitement sont correctement maîtrisées (Borgen & Kristensen, 2001; Lizot et al., 2002).

2.3.2 Lutte biologique

Des champignons ou des bactéries antagonistes* aux agents pathogènes peuvent être pulvérisés sur les semences pour les protéger. Ces micro-organismes sont destinés à se multiplier dans le sol après le semis et ainsi stimuler la croissance de la plante et/ou protéger les racines des agents pathogènes transmis par le sol (Welbaum, 2024). Par exemple, *Trichoderma* spp. sont des champignons présents naturellement dans le sol et les systèmes racinaires. Des études récentes ont démontré que ceux-ci sont des symbiotes* opportunistes*, non virulents* pour les plantes, mais parasites* d'autres champignons comme ceux qui causent la fonte des semis* (Welbaum, 2024). Des bactériophages* peuvent également être utilisés, comme le mentionnent Wong et al. (2022) pour de l'alfalfa. Des expériences ont été menées pour traiter des semences de concombre, melon, poivron, tomate et semblent prometteuses (Abdel-Kader et al., 2012).

Un exemple beaucoup plus commun⁴⁰ est l'inoculation de *Rhizobium* spp. sur les semences de *Fabaceae*. Ces bactéries entrent en symbiose avec les racines : elles s'approvisionnent en composés carbonés générés par la plante lors de la photosynthèse, et échangent de l'azote qu'elles extraient de l'air. Elles ont en effet la capacité de fixer l'azote de l'air et de le rendre disponible pour les plantes (*Rhizobium*, s. d.).

Un défi dans le cadre des traitements biologiques des semences est d'assurer que l'inoculation soit suffisante pour que les organismes survivent jusqu'aux semis et puissent assurer la fonction attendue. D'autre part, il semblerait que même morts, certains microorganismes pourraient avoir un impact via des composants stables antimicrobiens et/ou favorisant la croissance qu'ils auraient sécrétés de leur vivant. Ce sujet est encore en cours d'étude et les gouvernements locaux semblent plutôt coopérants de manière générale pour enregistrer les nouveaux développements (Welbaum, 2024). Notons l'intérêt de l'enrobage⁴¹ et du pelliculage des semences dans le cadre de traitements biologiques.

³⁹ Appartenant aux familles suivantes notamment : *Alliaceae*, *Brassicaceae* et *Fabaceae*.

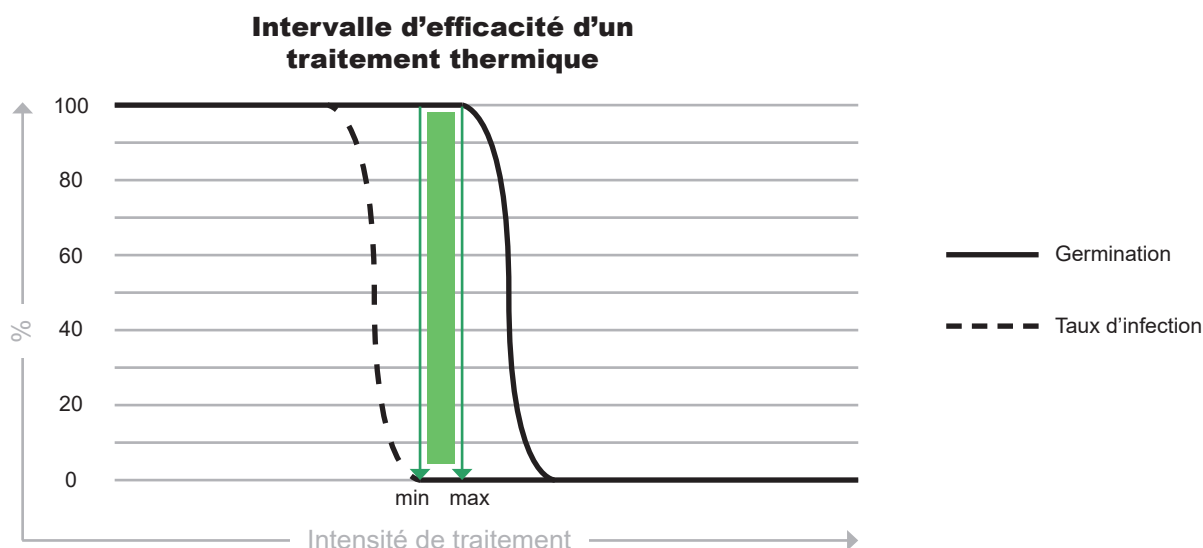
⁴⁰ Cet exemple est intéressant à citer pour mettre en évidence une application concrète que peut avoir le traitement biologique des semences. Il illustre la possibilité d'influencer positivement le succès d'une culture via ce procédé. Il ne répond pas à une menace due à un bioagresseur.

⁴¹ Un document relatif à l'enrobage des semences est en cours de rédaction dans le cadre du projet Semences d'ici (voir Annexe 1).

2.3.3 Méthodes physiques

Les traitements les plus utilisés sont les méthodes **à l'eau chaude et à la vapeur**, ainsi que la thermothérapie à sec, qui sont présentés dans le cadre de cette section. Il existe d'autres traitements évoqués notamment dans un rapport de Rey et al. (2009). Cependant, ils sont peu développés, et nous ne les approfondissons donc pas dans le cadre de ce dossier.

L'**efficacité d'un traitement physique** varie fortement selon l'espèce de l'hôte et l'agent pathogène, mais également selon la variété et le lot de semences. Le principe de base est que la chaleur doit désactiver l'agent pathogène visé, tout en conservant une faculté germinative satisfaisante. La Figure 22 illustre cela via un schéma montrant l'intervalle recherché.



Dans cet intervalle, le taux d'infection est minimal et le taux de germination reste optimal.

Figure 22. Schéma illustrant les effets d'un traitement thermique sur les taux d'infection et de germination. L'axe des ordonnées indique respectivement le pourcentage d'infection (courbe « Taux d'infection ») et le taux de germination (courbe « Germination »). L'axe des abscisses indique l'intensité de traitement (combinaison de température et durée). Lors d'un traitement, on cherche l'intensité idéale qui est comprise entre le « min », ayant un impact sur le taux d'infection, et le « max » qui constitue la limite à partir de laquelle le taux de germination commence à décliner. Tableau adapté de la présentation de Lemoine (2024). Crédit : Les Marequiers ASBL.

Les paramètres de traitement doivent donc être **adaptés** à chaque espèce potagère, mais aussi **à chaque lot de semences** (Schmitt et al., 2006). En pratique, des tests sont effectués sur un échantillon, qui est ensuite testé : si la population d'agents pathogènes a diminué de façon satisfaisante, le traitement est appliqué à l'ensemble du lot. Dans la négative, d'autres tests sont effectués.

Chez Sativa Biosaatgut GmbH, des traitements sont effectués soit en cas de suspicion de pathogènes, soit de manière systématique pour la gamme de précision (Lemoine, 2024).

2.3.4 Thermothérapie à l'eau chaude

La thermothérapie à l'eau chaude permet de tuer certaines espèces **de bactéries, de champignons, d'oomycètes⁴² et de virus** présents à la surface des semences (Welbaum, 2024), ou à l'intérieur de celles-ci (Lemoine, 2024). Notons que la désinfection des semences permet généralement de réduire la pression en pathogène, mais pas nécessairement de désinfecter totalement les semences. Un pourcentage résiduel d'agents pathogènes peut rester présent.

⁴² Les oomycètes ne font pas partie du règne des champignons, ni des bactéries, mais bien des protistes* (« Protiste/protociste », s. d.). Le mildiou de la pomme de terre, de la tomate ou de la vigne est dû à des oomycètes.

La méthode est la suivante : les semences sont trempées dans de l'eau pendant une durée comprise entre 20 et 30 minutes, à une température d'environ 50°C (Welbaum, 2024). Les paramètres (durée et température) sont fixés de manière très précise **par essais et erreurs** en fonction des espèces **et des lots de semences**.

Cette méthode n'est pas sans **risques**. Si la durée d'immersion est trop longue, si la température est trop élevée, ou si le séchage n'est pas assez rapide après le traitement, **le taux de germination et la vigueur** des semences risquent de chuter. Wallace J. (2023) conseille d'ailleurs d'utiliser les semences dans l'année si elles ont subi un traitement à l'eau chaude. Notons, à ce sujet, que les semences qui ne sont pas récoltées à maturité complète sont plus sensibles aux traitements thermiques (Klaedtke, 2024b).

Les **espèces** pouvant subir un **traitement à l'eau chaude** sont les suivantes : **aneth, carotte, céleri, choux (Brassicaceae), concombre, endive, épinard, fenouil, laitue, melon, oignon, panais, persil, poivron, radis, tomate** (Baćanović-Šišić, s. d.; LSU AgCenter, 2014; Wallace, 2023; Welbaum, 2024). Lemoine (2024) insiste sur le fait que cette méthode convient pour des petites et des grosses semences, mais qu'elles doivent être résistantes à une immersion prolongée dans l'eau.

Les semences de **basilic, betterave, courges (sauf concombre), haricot, maïs et pois** ne sont généralement **pas traitées** (LSU AgCenter, 2014; L. Minet, communication personnelle, 2025; Wallace, 2023), bien que Bingenheimer Saatgut AG exécute également des traitements sur les semences de bette, betterave et potiron (Baćanović-Šišić, s. d.).

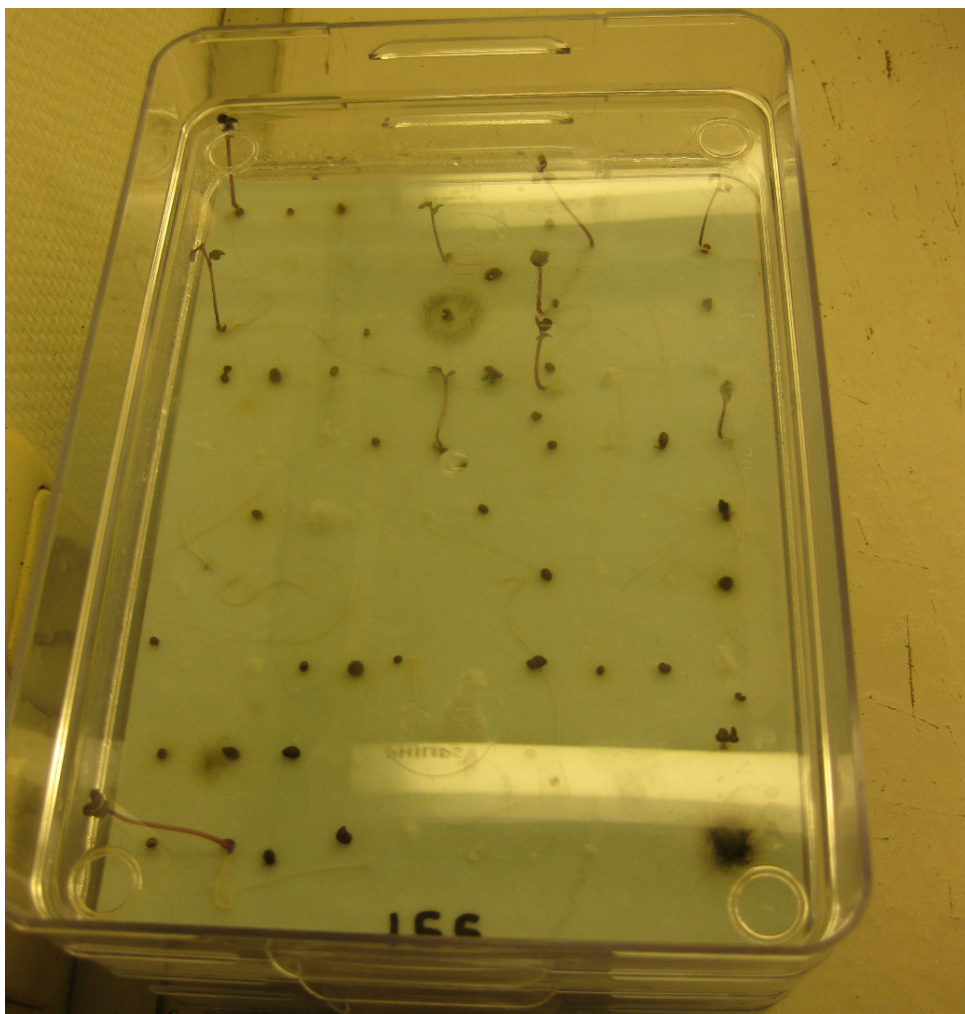


Figure 23. Développement de moisissures lors d'un test de germination, potentiellement liées à un agent phytopathogène.

Ce travail est soumis à une certaine **pression temporelle**, car les tests et traitements doivent être effectués suffisamment rapidement afin de commercialiser les semences lors du démarrage de la saison de vente. Entre la récolte et le début des ventes, il y a très peu de temps (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG*, communication personnelle, 2014).

Ressources techniques

Voici quelques informations relatives aux protocoles pratiqués au sein du laboratoire de Bingenheimer Saatgut AG (Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016). Un module d'e-learning est mis à disposition par cette entreprise dans le cadre du projet européen Liveseeding, malheureusement disponible uniquement en anglais (Bacanovic-Sisic, s. d.).

CHOIX DU PROTOCOLE

Les températures et les durées de traitement sont déterminées via **une méthode d'essais-erreurs**. Des essais de température de 50, 52 et 54 °C sont effectués, durant des durées de 10, 15, 20 et 30 minutes. Ensuite, des tests de germination sont réalisés pour évaluer l'amélioration potentielle de ces traitements sur le lot. L'opération suivante est de réaliser des tests plus précis, selon les résultats obtenus, en faisant varier de manière plus sensible les températures et les durées de traitement (Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016). Notons que plus récemment, Lemoine (2024) mentionnait des températures comprises entre 45 et 55 °C, pendant des durées de 10 minutes à 3 heures.

Au fur et à mesure des essais, les paramétrages pratiqués sont enregistrés. Les nouveaux lots, qui doivent être traités ultérieurement, sont testés selon les résultats obtenus avec les semences traitées durant les années précédentes (Lemoine, 2024).

En pratique (Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016) :

- des températures de 50 à 54 °C, pour des durées de 5 à 50 minutes, sont appliquées pour les lots de bette, betterave, carotte, céleri, chou, mâche et radis ;
- les traitements de semences de laitues se réalisent également entre 50 et 54°C. Cependant, pour une raison qui n'a pas été comprise à l'occasion, ce procédé est toujours sous-traité à un autre laboratoire ;
- le traitement des lots élités* d'épinard est systématique au sein de la société semencière.

IMMERSION

Les semences doivent d'abord être ensachées dans un sac adéquat (mailles fines, laissant passer l'eau, facilement lavable, etc.), en ne le remplissant pas trop pour que l'eau puisse circuler entre les graines. Ce sac doit être bien fermé afin de ne pas perdre les semences (Figure 24). Bačanović-Šišić (s. d.) liste les poids maximums en semences par sac qui peuvent être ensachés pour un traitement.



Figure 24. Ensachage des semences dans un contenant à mailles très fines, ne laissant pas passer les graines lors de la trempé.



Figure 25. Panier contenant les sacs de semences prêts à être immergés.

Préalablement à l'immersion des semences, celles-ci sont réchauffées dans un bassin d'eau, à une température de 32 °C (Bačanović-Šišić, s. d.). Cela permet d'éviter une trop forte diminution de la température du bain lors de l'immersion du lot de semences à traiter.

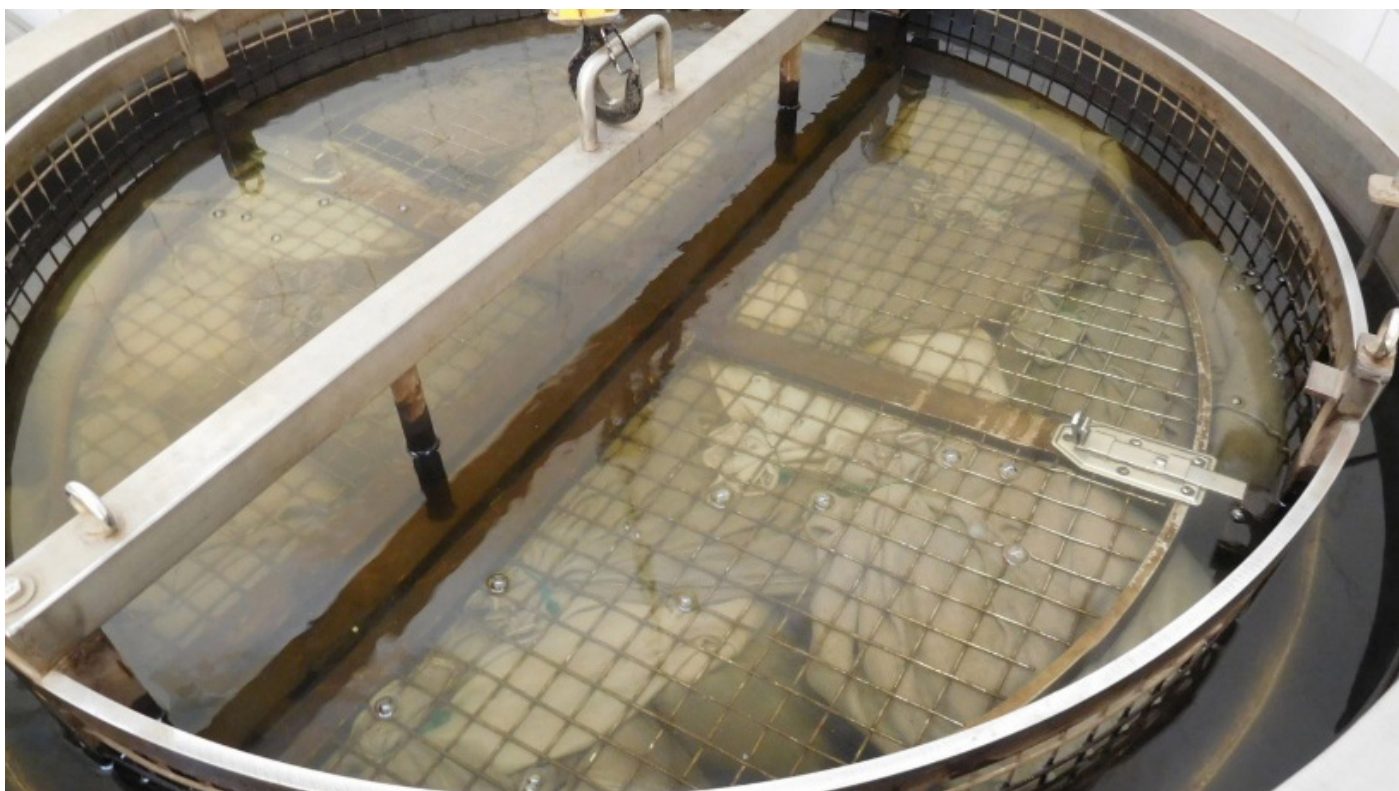


Figure 26. Immersion des semences dans l'eau chaude pendant une durée précise, avant une immersion dans de l'eau froide pour descendre rapidement la température du lot.

Si on vise une température de l'eau de 50 °C, la température réelle, au moment de plonger les semences dans le bain, doit être comprise entre 49,5 et 50,5 °C. Un écart plus élevé n'est pas acceptable, étant donné que les résultats sont très variables selon la température (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016*).

Afin d'atteindre une grande précision de traitement, la température du lot de semences qui va être plongé dans l'eau (Figure 25 et Figure 26) doit être évaluée. En effet, l'eau va perdre quelques degrés lors de l'immersion. Il est donc recommandé de viser une température un brin supérieure à celle que l'on souhaite, et d'ajuster attentivement les paramètres en fonction des mesures (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016*).

SÉCHAGE

Les semences seront premièrement essorées (Figure 27), puis séchées. Une température de 30 °C est acceptable pour le séchage des semences. Elle peut éventuellement monter jusqu'à 35 °C. Cependant, une température de 40 °C est trop élevée. Le séchage prend environ 24 h dans une pièce à atmosphère contrôlée. Des tuyaux froids condensent l'humidité de l'air pour l'assécher (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016*).



Figure 27. Essorage des semences après traitement. Cette machine est une ancienneessoreuse à textile de la marque Miele.

2.3.5 Thermothérapie à la vapeur

La thermothérapie à la vapeur est appliquée sur des semences infectées par des agents pathogènes localisés sur leur **surface**. Une vapeur de température comprise entre 60 et 75 °C est appliquée pendant 30 à 360 secondes sur le lot. Cette méthode fonctionne contre les maladies **cryptogamiques et les bactéries**.

Le traitement des semences à la vapeur est une alternative intéressante permettant que les semences sortent **moins mouillées** qu'après un traitement à l'eau chaude : elles sont donc plus faciles à sécher (W. Heller, 2013). Cela est dû au fait que la durée d'exposition de la graine à l'humidité est beaucoup plus courte, ce qui limite sa réhydratation (Rey et al., 2009). Cette technique nécessite cependant des investissements plus onéreux que les traitements à l'eau chaude (Wallace, 2023). Un **équipement spécialisé** a été conçu (Thermoseed®). Il fonctionne notamment contre les maladies **cryptogamiques** des haricots, choux, chicorée, carotte, oignon, ciboulette, maïs, persil, mâche, pois, betterave et épinard (Alness, s. d.). Cette technique fonctionne également contre la présence de certains **insectes et nématodes**, et dans certains cas contre les maladies **bactériennes** (*ThermoSeed - Thermal Seed Treatment (with Steam)*, s. d.). Cependant, l'équipement a été conçu pour traiter d'importants lots de semences (8 à 15 tonnes par heure, selon les machines) et n'est donc pas adapté à des lots de semences potagères produits à une moyenne échelle, pour un marché local.

Pour faciliter l'application de traitements à la vapeur en petits lots, Arche Noah a publié en 2010 un article intitulé „Den Samen Dampf machen...“ dans son magazine, qui présente la petite installation de traitement de semences à la vapeur, développée à partir du prototype Agroscope (Suanjak & Kajtna, 2010). Ce document contient plusieurs photos légendées, une description détaillée du montage (détail de la source de vapeur, tube, trémie, contrôle de température) et, à la fin, une liste de matériel pour construire la Dampfbeize (Typ Arche Noah). Un autre document, en français et édité par Agroscope, donne un « mode d'emploi » pour réaliser l'équipement et communique des exemples des traitements pour des semences d'asperge, de basilic et de carotte (W. E. Heller, 2014). Une vidéo disponible en ligne montre le fonctionnement et la composition du prototype conçu à Agroscope (agroscopevideo, 2024).

Chez Bingenheimer Saatgut, en 2016, les semences de basilic et de cresson n'étaient traitées qu'à la vapeur car les semences sont entourées de mucilage. Si on plonge les semences dans de l'eau, elles colleraient alors les unes aux autres et ne seraient plus commercialisables (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG*, communication personnelle, 2016). Lemoine (2024) conseille également de traiter les semences de mélisse de la sorte, ces dernières étant également pourvues d'un mucilage.

Par exemple, le basilic, traité contre le mildiou et la fusariose, est soumis à une température de 68 °C pendant 60 secondes, et la carotte, infectée par *Alternaria*, est soumise à 65 °C pendant 90 secondes (Lemoine, 2024).

Ce type de traitement est spécifiquement adapté aux petites semences, ainsi qu'aux espèces dont les graines sont sensibles lorsqu'elles sont réhydratées, comme certains haricots, les oignons et les pois (Lemoine, 2024).

2.3.6 Thermothérapie à sec

Cette technique convient pour des champignons, des bactéries et des virus, localisés à la surface des graines, ou dans celles-ci. Elle consiste en l'application d'une température comprise entre 70 et 90 °C, pendant une période allant de 1 heure à 3 jours. Elle peut être appliquée pour des semences supportant la chaleur, comme les *Cucurbitaceae* et les tomates (Lemoine, 2024).

Des entreprises comme Seed Processing Holland ou Seed Conditioning Europe commercialisent des équipements à cette fin (*Seed Heat Treating*, s. d.; *TBM-4000 - Seed Processing*, s. d.). Ces deux sociétés mentionnent peu d'informations techniques sur ces méthodes, à part la présence d'un extracteur d'humidité dans le système.

En 1981, au Japon, des traitements à sec étaient effectués en routine au sein de sociétés semencières, notamment sur des semences de tomates et de diverses espèces de *Cucurbitaceae*, contre *Fusarium sp.*, *Pseudomonas sp.* et le « Cucumber green mottle mosaic virus » (CGMMV). Nakamura H. (1981) met en évidence la possibilité de traitement à l'air sec des espèces suivantes en outre : carotte, chou chinois, épinard. Il partage notamment des températures et durées de traitement pour les tomates et *Cucurbitaceae*, et explique par ailleurs l'importance du taux d'humidité des semences lors de leur traitement.

Plus récemment, quelques expériences ont été menées et sont documentées en ligne. Onaga et Bachabi (2024) partagent une expérience probante sur des semences de riz. Yusof et Ibrahim (2013) obtiennent un résultat concluant également sur le riz, notamment contre *Alternaria spp.* et *Fusarium spp.* Enfin, Tizzani et al. (2023) montrent l'efficacité de traitements des semences d'*Apiaceae* (de carotte, notamment) contre *Candidatus Liberibacter solanacearum*. Ils mettent cependant en évidence l'impact négatif de ces traitements sur la germination. Cet impact est variable selon les espèces, les variétés, les paramètres des traitements et l'état sanitaire des semences.

Lors d'une formation organisée par Biodynamic Federation Demeter International (Edleson, 2025), une participante originaire de Bali partageait son expérience de recherche sur les traitements de semences à l'air sec menée au sein d'un conservatoire de semences, en partenariat avec une université locale. Ils mènent, depuis 2 ans, des essais pour évaluer les paramètres adéquats. Actuellement, pour les petites semences, ils opèrent un traitement de 38 à 40 °C pendant 2 à 3 jours. Pour les plus grosses semences, le traitement dure 4 à 5 jours.

Cette participante témoignait de la variabilité des résultats selon les régions de récolte de semences en Indonésie. Elle expliquait également utiliser un déshydrateur, tout en cherchant des équipements adaptés à une réplique en autonomie par les agriculteurs. Elle insistait sur le fait que l'enjeu de la qualité sanitaire des semences est indispensable pour les consommateurs, dont la confiance est malmenée par les variations de qualité des semences locales.

Durant cette formation, une personne travaillant dans un conservatoire de semences slovène témoignait de leur pratique actuelle de traitements à l'eau chaude, et de leur désir d'avoir recours, dans la mesure du possible, à des méthodes de traitement à sec pour simplifier le traitement de certaines espèces.

2.4 L'acceptabilité des maladies

Cette section introduit les différentes approches de la gestion des maladies, entre acceptabilité et éradication totale. Elle propose ensuite un schéma de classification de réactions en fonction du degré de risque des maladies.

2.4.1 Différentes approches

La maîtrise des maladies est un sujet traité de manière approfondie dans le monde de la recherche. Il est important de noter que plusieurs approches existent dans la manière d'appréhender cela. La vision la plus répandue consiste à **éradiquer toute maladie** en cas de détection de problèmes. Une autre vision, parfois portée par des multiplicateurs comme des membres du réseau des « Croqueurs de Carotte » en France, tend à **accepter de vivre avec** certaines maladies jugées acceptables : par exemple, celles qui n'empêchent pas la production et la commercialisation. Cette vision est mise en avant dans une étude menée par Klaedtke et al. (2018) qui mentionne notamment le fait que la présence de *Xanthomonas* sur des semences de haricots pourrait être jugée acceptable, et même considérée comme une opportunité pour sélectionner les porte-graines les plus résistants.

Actuellement, le respect des prescriptions de la législation reste l'outil principal pour tenter de limiter le développement des phytopathogènes considérés comme dangereux. Cependant, de nombreuses actions complémentaires restent à imaginer et à mettre en œuvre.

Les dernières décennies ont vu apparaître de nombreuses recherches concernant les communautés microbiennes associées aux plantes en général, et aux semences en particulier. Ces communautés microbiennes sont aussi appelées "microbiotes*" des plantes et semences. Les plantes ne sont plus considérées comme étant constituées exclusivement de cellules végétales, mais comme des "holobiontes"*, qui sont définies comme des entités composées de cellules végétales et microbiennes (Vandenkoornhuysen et al., 2015). On sait aujourd'hui que le microbiote des semences

comprend certes des espèces pouvant être pathogènes, mais aussi des espèces bénéfiques à la germination, la croissance et la santé des plantes et de nombreuses espèces “neutres”, ou dont les effets sont inconnus. Il a été proposé de dépasser la vision de la maladie comme résultant de l'interaction uniquement entre une plante hôte et un pathogène, mais de prendre en compte l'ensemble des interactions entre la plante et son microbiote dans l'émergence d'un “pathobiome”^{*} menant à la maladie d'un végétal (Vayssier-Taussat et al., 2014). Ce concept est basé sur des expérimentations en conditions hautement contrôlées. Les connaissances en phytopathologie et les moyens techniques disponibles aujourd'hui ne permettent pas de comprendre ce concept en profondeur et de l'appliquer pleinement sur le terrain. Cependant, de nombreuses personnes pratiquent des approches qui se veulent “probiotiques”, par un soin attentif à la vie du sol ou l'application de préparations (fermentées, par exemple). Si les recherches, autant scientifiques qu'empiriques, permettent d'atteindre une compréhension plus fine des dynamiques microbiennes des cultures porte-graine sur le terrain, il est possible qu'on puisse à l'avenir piloter la santé des semences de manière plus globale et moins axée sur des procédés de désinfection. Un module d'e-learning (en anglais) créé dans le cadre du projet Liveseeding permet d'en apprendre plus sur les notions de microbiote et sur leur étude (de Tournemire, s. d.).

2.4.2 Degré de gravité de maladies sur semences

En pratique, selon la maladie en cause, plusieurs réactions peuvent être envisagées. Cependant, le choix entre un traitement des semences et la destruction de la récolte n'est pas toujours évident. Afin de faciliter la prise de décision, **nous distinguons trois types de situations, chacune appelant une réaction adaptée au niveau de risque pour la génération suivante :**

A) Maladies NON transmissibles par semences :

les semences n'auront pas d'impact sur la transmission de la maladie : il n'y a donc pas lieu de s'inquiéter.

EXEMPLE : Mildiou de la tomate (la transmission ne s'opère que de manière anecdotique par les semences).

SOLUTION(S) : Récolte possible si pression faible, même s'il est toujours conseillé de récolter les semences des plantes les plus saines possibles. Utilisation possible d'acide chlorhydrique⁴³ pour l'extraction des semences, ce qui détruit la plupart des pathogènes présents à la surface de la graine. Dans le cas particulier de la tomate, le brossage des graines diminue très fortement la présence de propagules en surface des graines (L. Minet, communication personnelle, 2025).

B) Maladies transmissibles par les semences, qui sont facilement gérables :

l'agent pathogène peut être transmis par la semence, mais cette transmission est gérable de manière éprouvée via des traitements adéquats.

EXEMPLE : *Alternaria spp.*

SOLUTION(S) : Traitement possible via la thermothérapie. Si les agents pathogènes sont présents uniquement en surface, d'autres traitements non pénétrants pourraient être efficaces. Le vinaigre et l'eau oxygénée, ou peroxyde d'hydrogène⁴⁴, ne laissent aucun résidu détectable (L. Minet, communication personnelle, 2025).

C) Maladies transmissibles par les semences, qui sont difficilement maîtrisables :

ces maladies ont un impact potentiellement important sur la génération suivante. L'impact est dépendant de l'historique de la maladie sur la culture : si l'infection est là depuis peu, elle est probablement juste présente sur les téguments de la graine. Cependant, si elle est latente* depuis plusieurs générations, elle peut avoir atteint l'embryon.

⁴³ Autorisée en agriculture biologique comme auxiliaire technique de nettoyage, mais pas comme agent de traitement.

⁴⁴ Non autorisés en agriculture biologique, bien qu'il ne laisse aucun résidu. Il serait donc intéressant que la législation évolue à ce sujet.

- Dans le cas d'une maladie potentiellement grave, la seule solution est de tenter des traitements sur les semences avant de tester à nouveau la présence de la maladie pour s'assurer qu'elle n'est plus présente, ou que le taux est descendu sous un seuil acceptable. S'il est impossible de réaliser des traitements sur les semences, il est recommandé de détruire la récolte.
- En cas de maladie tolérable, s'il est possible d'effectuer un traitement mais que les méthodes fines de détection du taux d'infection de la maladie ne sont pas accessibles techniquement ou financièrement, nous recommandons d'effectuer le traitement maximal des semences connu et d'espérer qu'il a un impact suffisant. La seule manière de détecter l'efficacité du traitement est alors de cultiver la plante.

EXEMPLE 1 : *Colletotrichum sp.* (Anthracnose du haricot)

SOLUTION(S) : Les traitements en thermothérapie semblent inefficaces (Cardinali & Herforth-Rahmé, 2023). Destruction de la récolte, si aucune solution alternative n'est trouvée.

--

EXEMPLE 2 : *Clavibacter sp.* (Chancre bactérien de la tomate)

SOLUTION(S) : Traitement thermique efficace (Navazio, 2012) ; destruction de la récolte, s'il n'est pas possible d'effectuer un traitement.

--

EXEMPLE 3 : *Xanthomonas axonopodis pv. Phaseoli* (Graisse du haricot)

SOLUTION(S) : Traitement thermique a priori efficace (Klaedtke, 2024a)..

Au sujet de cette classification, Navazio (2012) a écrit un livre sur la production de semences intitulé « The organic seed grower. A farmer's guide to vegetable seed production ». Il y inclut un tableau inventoriant, par espèce cultivée, des maladies transmissibles par les semences, leur degré de gravité et les traitements thermiques existants. Ce tableau est particulièrement adapté à une utilisation pratique par les producteurs, en tenant compte que sa classification de la gravité repose sur son expérience gagnée en Amérique du Nord. Il gagnerait à être traduit en français et mis à jour avec, d'une part, les maladies présentes en Europe et, d'autre part, les éventuels nouveaux traitements qui auraient été documentés entre-temps. Notons que son tableau a été publié en ligne avec une traduction automatique en français, ce qui rend cette information accessible librement à tous les producteurs (*Learn Seed Saving - Seed Saving Knowledge for All*, s. d.).



3. La réalité du terrain

La situation de terrain est relativement éloignée, à certains niveaux, de la vision réglementaire de la gestion des bioagresseurs. Cette section présente quelques manières de fonctionner de sociétés semencières, et met en évidence l'importance de la poursuite de travaux de recherche sur ces sujets.

3.1 Mode de fonctionnement des sociétés semencières

La commercialisation de semences contaminées risque d'engendrer des problèmes chez les producteurs. Une société semencière qui commercialiserait un lot de semences contaminées risque en surplus de subir des poursuites judiciaires de la part de consommateurs (Navazio, 2012). Cela semble improbable à l'échelle d'une petite société semencière commercialisant des semences à des particuliers. Néanmoins, cela reflète les enjeux de la commercialisation de semences saines, pour les consommateurs, et pour les sociétés semencières.

QU'EN EST-IL DE LA SITUATION DE TERRAIN ?

Lemoine (2024) met en évidence le fait que Sativa Biosaatgut GmbH doit effectuer des traitements de semences pour répondre aux besoins de leurs clients professionnels. Cependant, pour lui, les sociétés semencières ne commercialisant des semences qu'aux particuliers n'ont pas nécessairement besoin d'aller si loin.

Les sociétés semencières de taille moyenne, comme Bingenheimer Saatgut AG et Sativa Biosaatgut GmbH par exemple, investissent des sommes importantes dans la gestion des phytopathogènes (Lemoine, 2024; *Visite de Bingenheimer Saatgut AG*, communication personnelle, 2016). Elles mènent, en plus des détections et traitements routiniers des semences, un travail de recherche indispensable pour assurer la qualité de leurs semences.

À une autre échelle, l'expérience de CET SC montre qu'il était financièrement impossible de gérer idéalement la santé des plantes, sous la pression économique subie par cette petite entreprise locale. On pouvait observer d'éventuels symptômes sur les cultures, mais des tests de détection systématiques n'étaient pas réalistes. Sans symptôme visible, ou repéré, les semences étaient commercialisées, donnant lieu à un risque de transmission de maladies.

Des tests de germination étaient pourtant réalisés sur chaque lot. Certains ne donnaient pas de résultats satisfaisants en raison de moisissures ; personne n'était formé pour identifier et traiter ces symptômes. D'autres germaient tout juste assez pour être commercialisés, mais pouvaient porter des agents fongiques causant des fontes de semis ou autres problèmes (voir Figure 28).



Figure 28. Test de germination de semences de courge chez CET SC. Le taux de germination est ici suffisamment bon (97 %). Cependant, on observe un développement de moisissures sur les semences, signe potentiel de présence d'un agent phytopathogène.

CET SC visait pourtant à fournir des semences de qualité, investissant massivement dans les tests de germination annuels⁴⁵. Toute technique supplémentaire améliorant la qualité aurait été adoptée, si elle avait été financièrement et techniquement viable.

⁴⁵ Cela représentait énormément de lots, dans une petite société semencière commercialisant entre 200 et 300 variétés. Un(e) employé(e) s'attelait à cette tâche à temps plein pendant environ 3 mois.

3.2 Recherche et développement

De nombreux documents techniques conseillent des **protocoles de traitement de semences à l'eau chaude**. Ils sont listés au sein de l'Annexe 4. En complément à ceux-ci, Lemoine (2024) cite, dans le cadre de sa présentation aux Journées Techniques Semences potagères biologiques à Angers en 2024, une série de maladies pour lesquelles Sativa Biosaatgut GmbH effectue des traitements thermiques. Cette société semencière travaille actuellement sur ce sujet en collaboration avec l'Agroscope en Suisse. Les résultats sont voués à être publiés prochainement, via l'Agroscope. Bien que de nombreux outils de traduction existent en ligne, il serait intéressant de réaliser **une synthèse bibliographique en français** pour faciliter l'accès des producteurs et des petites sociétés semencières aux données, quasi toutes publiées en anglais.

Notons que les documents recensés relatifs à la thermothérapie sont tous ultérieurs à 2008. Cela illustre le retour vers cette technique, qui n'était plus documentée suite à l'utilisation des produits de synthèse non autorisés en agriculture biologique pour le traitement des semences. En 2016, une personne travaillant au sein du laboratoire d'identification des semences chez Bingenheimer Saatgut AG témoignait du manque de données relatives à ces protocoles. En effet, les informations disponibles à l'époque dataient de la période comprise entre les années 1900 et 1970. Les recherches et la pratique avaient ensuite été abandonnées, vu le recours systématique aux traitements des semences via des pesticides (*Visite de Bingenheimer Saatgut AG, communication personnelle, 2016*).

Peu de littérature semble disponible à propos de la thermothérapie, plus particulièrement. Il serait donc potentiellement intéressant d'approfondir ce sujet, étant donné le faible coût que la thermothérapie à sec semble engendrer par rapport aux méthodes à la vapeur, ou à l'eau chaude.

Aujourd'hui, trois sociétés semencières travaillent en partenariat sur le traitement des semences à base de substances autorisées en agriculture biologique, dans le cadre du projet « Liveseeding » : Bingenheimer Saatgut (Allemagne), Sativa Biosaatgut GmbH (Suisse) AG et Oikos seeds (Grèce) (Palma-Guerrero et al., 2025).

En réponse à l'expérience de CET SC mentionnée à la section précédente, et après avoir vérifié que cette expérience est partagée par d'autres sociétés semencières, il serait probablement pertinent d'établir une liste de maladies dites « tolérables », qui sont présentes sur les semences ou transmissibles par les semences. Cette liste pourrait préciser :

- leurs conséquences possibles sur les hôtes ;
- les seuils de contamination (ou d'infection) qui sont acceptables ;
- des modalités de gestion avec une approche adaptée aux productions semencières de moyenne surface⁴⁶ ;

Il apparaît également nécessaire de relier l'impact des agents pathogènes avec le contexte de commercialisation des semences.

⁴⁶ Si l'on fait un parallèle avec la production de légumes, cette échelle pourrait être apparentée au maraîchage diversifié sur petite et moyenne surface.

4. Conclusions et recommandations

4.1 Synthèse des enjeux

La gestion des bioagresseurs en production de semences potagères représente **une problématique complexe et multidimensionnelle**, qui exige une compréhension approfondie des agents pathogènes (bactéries, champignons, virus), des ravageurs, des adventices et des facteurs abiotiques. Ce document a démontré que la santé des semences ne se limite pas à un seul acte – le traitement post-récolte – mais constitue **un continuum exigeant une vigilance constante du champ jusqu'à la commercialisation**. De la prévention au champ, en passant par la détection, l'identification et le traitement des semences, chaque étape revêt une importance capitale pour assurer la qualité des lots finaux. Les approches varient significativement selon le type d'agent pathogène : les maladies abiotiques requièrent une gestion environnementale, tandis que les maladies cryptogamiques, bactériennes et virales demandent des protocoles spécifiques. L'ensemble de cette architecture phytosanitaire s'inscrit dans un cadre législatif défini par les organismes de quarantaine (OQ) et les organismes réglementés non de quarantaine (ORNQ), mais également dans la réalité économique et technique des producteurs semenciers.

4.2 Limites et contraintes actuelles

Cependant, la **réalité de terrain révèle un décalage important** entre l'idéal phytosanitaire et la capacité réelle des multiplicateurs et des petites sociétés semencières biologiques à le mettre en œuvre. L'expérience de CET SC, bien que singulière, illustre une situation probablement partagée par de nombreuses structures : il est **financièrement et techniquement impossible** de conduire une gestion idéale de la santé des plantes à petite échelle. Les ressources limitées contraignent à des choix : investir dans les tests de germination (élément visible pour le consommateur) plutôt que dans les détections systématiques de pathogènes (élément technique, invisible). Cette réalité économique exprime également le **manque de valorisation des semences saines** auprès des consommateurs amateurs, qui constituent une part importante du marché des semences biologiques locales. En effet, peu de clients comprennent ou apprécient les efforts invisibles consacrés à la santé phytosanitaire des semences, contrairement aux critères de viabilité plus aisément perceptibles.



Figure 29. Test de germination sur papier plissé.

Au-delà des enjeux économiques se dessine aussi un **manque d'accès à des outils et des connaissances adaptés**. Bien que les méthodes de traitement des semences (thermothérapie à l'eau chaude, à la vapeur, ou à sec) soient documentées, la plupart des publications scientifiques sont en anglais, dispersées dans la littérature, et souvent calibrées pour des échelles industrielles de production. Les protocoles ISHI de détection des pathogènes semenciers, bien qu'internationalement reconnus, demeurent complexes et hors de portée des petits producteurs. En parallèle, les techniques de diagnostic simples accessibles à la ferme – observation morphologique des champignons, sérologie, tests biologiques – requièrent une formation et une expertise qui manquent souvent. Le diagnostic précis (en laboratoire) reste le passage obligé pour identifier bactéries et virus, mais engendre des délais et des coûts incompatibles avec les délais commerciaux restreints en début de saison.

4.3 Pistes d'amélioration

Pour progresser vers une **gestion durable et réaliste des bioagresseurs transmis par les semences**, plusieurs axes méritent d'être explorés :

Au niveau documentaire et pédagogique : Une **traduction et synthèse en français** des protocoles de traitement des semences s'avère indispensable pour démocratiser l'accès aux connaissances. La création d'une **liste collaborative de maladies « tolérables »** – maladies dont l'impact sur les cultures finales est limité et dont la gestion peut être adaptée aux productions de moyenne surface – permettrait aux producteurs de hiérarchiser leurs priorités et d'allouer leurs ressources de manière plus stratégique. Cette liste devrait préciser les seuils de contamination acceptables, les méthodes de gestion ad hoc, et les conséquences reconnues sur les récoltes futures, toujours en tenant compte du contexte de commercialisation (semences pour professionnels vs amateurs). Dans le même ordre d'idée, le tableau repris en Annexe 5 pourrait également être complété avec des données telles qu'un degré de gravité des maladies ainsi que leur fréquence d'apparition en Europe.

Au niveau technique et technologique : Des méthodes de détection simples, rapides et abordables devraient devenir plus accessibles pour les petites structures. Par ailleurs, les **traitements à sec**, moins documentés mais potentiellement moins coûteux que la thérapie à l'eau chaude ou à la vapeur, mériteraient d'être approfondis pour certaines problématiques⁴⁷. Encourager le **développement d'équipements modulaires et adaptables** (par exemple, des unités de traitement à la vapeur pour petits volumes) constituerait une avancée pragmatique.

Au niveau de la gouvernance et de l'économie : La **valorisation des semences saines** auprès des consommateurs est cruciale : il importe que les efforts phytosanitaires se reflètent dans le prix et dans la communication vers le marché. Les politiques de soutien à l'agriculture biologique pourraient davantage encourager les investissements dans les technologies de détection et de traitement des semences. Enfin, la **coordination entre petites sociétés semencières** (via des mutualisations d'équipements ou de savoirs) pourrait abaisser les coûts unitaires et faciliter l'accès à des services diagnostiques externes.

Au niveau de la recherche : Le projet « Liveseeding », avec ses trois sociétés semencières partenaires (Bingenheimer Saatgut, Sativa Biosaatgut, Oikos seeds), montre qu'une dynamique collaborative est possible. Il convient de l'amplifier : poursuivre l'étude des protocoles de thérapie en partenariat avec les instituts de recherche, explorer les résistances génétiques à la transmission verticale des virus, et documenter les pratiques réalistes des acteurs de terrain contribueraient à combler l'écart entre théorie et pratique.

4.4 Vision prospective

Ultimement, la gestion des bioagresseurs en production de semences biologiques ne sera durable que si elle intègre **trois dimensions complémentaires** : la **rigueur phytosanitaire** (fondée sur des données scientifiques), la **réalité économique** des producteurs, et la **conscience environnementale** du secteur biologique. Les semences saines sont un bien dont la préservation engage la sécurité alimentaire et la biodiversité cultivée à long terme. Ce document espère contribuer à mieux outiller les multiplicateurs et les petites sociétés semencières pour relever ce défi, en reconnaissant à la fois les défis actuels et les possibilités d'amélioration concrètes. L'ambition est que chaque producteur, quel que soit son échelle, dispose des savoirs, des outils et des ressources pour produire des semences de qualité sanitaire optimale, tout en restant financièrement et techniquement viable.



Figure 30. Semences de fève.

⁴⁷ Étant donné le caractère plus agressif de ces traitements à sec par rapport aux traitements à l'eau chaude ou à la vapeur, ils ne sont possibles que pour quelques espèces particulières.

Bibliographie

Abdel-Kader, M., el-mougy, N., Aly, M., & L., L. (2012). Different Approaches of Bio-control Agents for Controlling Root Rot Incidence of Some Vegetables under Greenhouse Conditions. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2, 115-127. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20120201.18>

Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed). Elsevier Academic Press.

Agronomie. (s. d.). *Hainaut Analyses | Province de Hainaut*. Consulté 18 novembre 2025, à l'adresse <https://ha.hainaut.be/secteur-activite/agronomie/>

Agroscopevideo. (2024, mars 4). *A toute vapeur contre les maladies des plantes* [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=2VcgO0iGECI>

Alness, K. (s. d.). *ThermoSeed® The cleanest seed in the world*. Lantmännen BioAgriABetThermoSeedGlobalAB. Consulté 19 novembre 2025, à l'adresse https://www.lantmannen.com/content/assets/011c206e623c41c0af7a597fd1e4fc8d/thermoseed-12-pages_interaktiv.pdf

Anguina agrostis / Anguina tritici / Ditylenchus dipsaci. (2017, décembre 20). ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/25446/Vigi-Semences-Anguina-spp-Ditylenchus-dipsaci-cereales>

Annuaire du Réseau Français de la Santé des Végétaux (RFSV). (2020). RFSV. https://www.rfsv.fr/www/annuaire_rfsv3/search_lab0_rfsv.php

Avertissements | Centre Interprofessionnel Maraîcher | Wallonie. (s. d.). Centre Interprofessionnel Maraîcher. Consulté 18 novembre 2025, à l'adresse <https://www.legumeswallons.be/avertissements>

Avertissements personnalisés. (2021). Province de Liège Agriculture CPL-Végémar. https://www.provincedeliege.be/sites/default/files/media/16326/Service_Avertissement_Personnalis%C3%A9_%202021.pdf

Baćanović-Šišić, J. (s. d.). *Liveseeding Webinar «Hot Water Treatments for Vegetable Seeds»*. Liveseeding et Bingenheimer Saatgut. Consulté 10 novembre 2025, à l'adresse https://orgprints.org/id/eprint/53533/1/HotWaterTreatment_BSAG.pdf

Baćanović-Šišić, J. (s. d.). *Module 15 : Hot water treatments for the sanitation of vegetable seeds | ITAB*. Liveseeding. itab.bio - Liveseeding. Consulté 10 mars 2026, à l'adresse <https://itab.bio/en/elearningseedproduction/Module15>

Baćanović-Šišić, J. (2024). *DIY Hot water treatment for sanitazion of vegetable seeds* (p. 1) [Report]. LiveSeeding. <https://orgprints.org/id/eprint/55489/>

Base Répertoire Terminologie. (s. d.). *Vegephyl*. Consulté 10 novembre 2025, à l'adresse <https://www.vegephyl.fr/publications/bases-de-donnees/base-repertoire-terminologie/>

Bedlan, G. (s. d.). *Willkommen auf der Homepage von Univ.-Doz. Dr. Gerhard Bedlan*. bedlan. Consulté 2 décembre 2025, à l'adresse <https://www.bedlan.at/>

Bedlan, G. (1999). *Gemüsekrankheiten*. Österreichischer Agrarverlag.

Béranger, M., Lejeune, V., & Sellam, M. (avec ACTA - Les instituts techniques agricoles). (2016). *Guide pratique de défense des cultures* (6^e éd). ACTA éditions, les instituts techniques agricoles.

Bienvenue sur APPI. (s. d.). APPI by Corder. Consulté 17 novembre 2025, à l'adresse <https://appi.be/fr/diagnostic-personnalise>

Bienvenue sur La Clinique Des Plantes. (2022). Clinique Des Plantes. <https://www.cliniquedesplantes.fr/>

Blancard, D. (s. d.-a). *Di@gno-Lég.* INRAE. ephytia.inrae. Consulté 9 mars 2026, à l'adresse https://ephytia.inrae.fr/fr/P/134/Di_gno_Leg

Blancard, D. (s. d.-b). *Di@gno-View.* INRAE. ephytia.inrae. Consulté 9 mars 2026, à l'adresse https://ephytia.inrae.fr/fr/P/151/Di_gno_View

Blancard, D. (2015a, septembre 23). *Champignons et organismes assimilés.* ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21541/Di-gno-Leg-Champignons-et-organismes-assimiles>

Blancard, D. (2015b, septembre 23). *Virus.* ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21544/Di-gno-Leg-Virus>

Blancard, D. (2015c, novembre 5). *Bactéries.* <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21542/Di-gno-Leg-Bacteries>

Blancard, D. (2016, août 19). *Ouvrages spécialisés.* ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21424/Di-gno-Leg-Ouvrages-specialises>

Blancard, D. (2017, mars 15). *Maladies abiotiques.* Ephytia - Inra. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/21523/Di-gno-Leg-Maladies-abiotiques>

Blancard, D. (2020, juin 22). *Isolements microbiologiques.* ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/23217/Di-gno-Leg-Isolements-microbiologiques>

Borgen, A., & Kristensen, L. (2001). Effect of seed treatment with acetic acid in control of seed borne diseases. *Proceedings from BCPC Symposium, Seed Treatment: Challenges&Opportunities(76)*, 135-140.

Bouزيد, S. (s. d.). *Cours De Physiologie Végétale.* Consulté 9 octobre 2025, à l'adresse <https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2020/cours%20de%20physiologie%20v%C3%A9g%C3%A9tale%20modifi%C3%A9%202021.pdf>

Cardinali, C. G., & Herforth-Rahmé, J. (2023). Evaluation of seed treatments for the control of *Colletotrichum lindemuthianum* and *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* in organic production of bean : Establishing test prerequisites. *Acta Horticulturae*, (1365), 73-80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1365.9>

Champion, R. (1997). *Identifier les champignons transmis par les semences.* INRA.

Colza ALICIA. (s. d.). Lidea. Consulté 1 décembre 2025, à l'adresse <https://lidea-seeds.fr/products/alicia>

Colza : Tersilochus, ces petites guêpes à préserver ! (s. d.). Greenotec. Consulté 1 décembre 2025, à l'adresse <https://www.greenotec.be/pages/c-est-pratique/regulation-des-maladies-ravageurs-adventices/colza-tersilochus-ces-petites-guepes-a-preserver.html>

Combien coûte un microscope ? (s. d.). hellopro. Consulté 20 novembre 2025, à l'adresse <https://conseils.hellopro.fr/combien-coute-un-microscope-2382.html>

Cook, S. (2018). *Integrated Pest Management (IPM) for pollen beetle in oilseed rape.* Rothamsted Research, UK. https://www.eppo.int/media/uploaded_images/MEETINGS/Meetings_2017/ipm/39-Cook.pdf

Corbaz, R., & Rapilly, F. (1990). *Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes.* Presses polytechniques et universitaires romandes.

Cucumber mosaic virus (CMV). (s. d.). ephytia. Consulté 18 novembre 2025, à l'adresse <http://ephytia.inra.fr/fr/C/24051/Tropileg-CMV>

Daniel, C. (2014, juin 2). *Méligèthe du colza—Fiche Technique*. FiBL. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1484-meligethe-du-colza.pdf>

Dauguet, S. (2019, juin). Lutter contre les bruches des légumineuses—Des solutions chimiques et physiques au stockage. *Perspectives agricoles*, (467), 3.

Denancé, N., & Grimault, V. (s. d.). *ISTA Reference Pest List : Mise à jour de la liste des maladies véhiculées par les semences*. GEVES. Consulté 19 novembre 2025, à l'adresse <https://www.geves.fr/wp-content/uploads/Denance%CC%81-Graines-2019-002.pdf>

de Tournemire, G. (s. d.). *Module 14 : An introduction to seed microbiota*. Liveseeding. Itab.Bio. Consulté <https://itab.bio/en/elearningseedproduction/Module14>

Diagnostic Centre for Plants. (s. d.). ILVO. Consulté 14 novembre 2025, à l'adresse <https://www.ilvodiagnosecentrumvoorplanten.be/en/>

Dugan, F. M. (2008). *The identification of fungi : An illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature* (2. print). American Phytopathological Society.

Dutta, B., Schneider, R. W., Robertson, C. L., & Walcott, R. R. (2016). Embryo Localization Enhances the Survival of Acidovorax citrulli in Watermelon Seeds. *Phytopathology*®, 106(4), 330-338. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0232-R>

Echantillonnages et analyses. (s. d.). Brabant wallon. Consulté 17 novembre 2025, à l'adresse <https://www.brabantwallon.be/vivre-en-bw/agriculture-et-jardins/laboratoires-et-analyses>

Edleson, A. (2025). *Biodynamic Federation Demeter International—Considerations for Establishing a Biodynamic Seed Enterprise*.

Ephytia—Inra. (s. d.). Ephytia - Inra. Consulté 14 novembre 2025, à l'adresse <http://ephytia.inra.fr/Home/index>

EPPO Ditylenchus dipsaci (EPPO Datasheets on Pests Recommended for Regulation). (2025). EPPO. <https://gd.eppo.int/>

EPPO Global Database. (2026). Eppo. <https://gd.eppo.int/>

Escalante, C., Sanz-Saez, A., Jacobson, A., Otulak-Kozieł, K., Kozieł, E., Balkcom, K. S., Zhao, C., & Conner, K. (2024). Plant virus transmission during seed development and implications to plant defense system. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1385456>

Fruits. (s. d.). *Biologie végétale*. Consulté 27 novembre 2025, à l'adresse <https://biologievegetale.be/morphologie-vegetale/angiospermes/angiospermes-organographie/fruits/>

GIE-FPSO (GIE). (2013, novembre 7). *Erwinia amylovora Feu bactérien—Détection, mesures à prendre*. ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/19585/VigiHorti-Detection-mesures-a-prendre>

Gilbert, G. S., Diaz, A., & Bregoff, H. A. (2023). Seed Disinfestation Practices to Control Seed-Borne Fungi and Bacteria in Home Production of Sprouts. *Foods*, 12(4), 747. <https://doi.org/10.3390/foods12040747>

Gitaitis, R., & Walcott, R. (2007). The Epidemiology and Management of Seedborne Bacterial Diseases. *Annual review of phytopathology*, 45, 371-397. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094321>

Guidelines on Seed Health Testing in the Vegetable Seed Industry. (2010, juin). International Seed Federation (ISF). https://worldseed.org/wp-content/uploads/2016/01/Seed-health_2010.pdf?_ga=2.210967317.1217784048.1651036162-476327365.1647267358

Gutiérrez-Sánchez, Á., Cobos, A., López-Herranz, M., Canto, T., & Pagán, I. (2023). Environmental Conditions Modulate Plant Virus Vertical Transmission and Survival of Infected Seeds. *Phytopathology*®, 113(9), 1773-1787. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-22-0448-V>

Heller, W. (2013). Des semences saines grâce à la vapeur. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher*, 1.

Heller, W. E. (2014). Désinfection à la vapeur aérée de semences de légumes. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 46(3), 194-197.

Herren, P., Vieweger, A., Schwitter, P., Hedrich, T., & Cardinali, C. G. (2025). *Conseils phytosanitaires pour la culture maraîchère bio. Fiche technique*(1649). <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1649-protection-plantes-maraicheres.pdf>

Hodgdon, E. (s. d.). *Using Sous-Vide Machines for Hot Water Seed Treatment.* Eastern NY Commercial Horticulture.

Hot Water Seed Treatment. (2018). University of Massachusetts Amherst - Center for Agriculture, Food and the Environment, UMass Extension Vegetable Program. <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/hot-water-seed-treatment>

Infos cultures maraîchères / conseils phytosanitaires. (s. d.). Consulté 14 novembre 2025, à l'adresse <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themen/pflanzenbau/gemuesebau/gemuesebau-info.html>

ISF Pest list. (s. d.). Consulté 15 décembre 2025, à l'adresse <https://isfpestlist.worldseed.org/>

ISHI Methods. (s. d.). International Seed Federation. Consulté 17 novembre 2025, à l'adresse <https://worldseed.org/our-work/seed-health/ishi-methods/>

ITAB. (s. d.). *Fiches d'usage par filière.* itab.bio. Consulté 10 mars 2026, à l'adresse <https://itab.bio/substances/fiche-substance-de-base/fiches-dusage-par-filiere>

Jossi, W., Humphrys, C., Dorn, B., & Hiltbrunner, J. (2014). Lutte contre le méligèthe du colza avec le produit naturel Surround. *Agroscope, Recherche Agronomique Suisse*, 5(3), 80-87.

Journée Technique—Traitements biologiques des semences—Focus sur la thérapie. (2008, janvier). ITAB. <https://orgprints.org/id/eprint/57475/1/jt-semences2008.pdf>

Klaedtke, S. (2024a, juin). *Semences saines et vie microbienne pour la santé du haricot—Rapport d'expérimentation sur 2 ans (2022-2023).* Semavie. https://orgprints.org/id/eprint/53562/1/2024_SemAVie_Rapport%20final_TraitSem-Deloc.pdf

Klaedtke, S. (2024b, décembre 11). *Qualités des semences potagères biologiques : Techniques et perspectives.*

Klaedtke, S., Mélard, F., Chable, V., & Stassart, P. M. (2018). Les artisans semenciers, les haricots et leurs agents pathogènes. *Études rurales*, (202), Article 202. <https://doi.org/10.4000/etudesrurales.14930>

Koike, S. T., Gladders, P., & Paulus, A. O. (2007). *Vegetable diseases.* CRC Press Taylor & Francis Group. *Laboratoire de diagnostic et d'identification des pathogènes et ravageurs des végétaux et établissement de collections biologiques de référence.* (s. d.). Centre wallon de Recherches agronomiques. Consulté 14 novembre 2025, à l'adresse <https://www.cra.wallonie.be/fr/laboratoire-de-diagnostic-et-didentification-des-pathogenes-et-ravageurs-des-vegetaux-et-etablissement-de-collections-biologiques-de-reference>

Laboratoire de Gembloux. (s. d.). Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire. Consulté 18 novembre 2025, à l'adresse <https://favv-afscab.be/fr/contact/labos/gembloux>

Le garde-manger de la jeune plante la protège—Médias—UNIGE. (2021, octobre 26). <https://www.unige.ch/medias/2021/le-garde-manger-de-la-jeune-plante-la-protège>

Le MOOC Santé des plantes. (2017). Société Nationale d'Horticulture de France. <https://www.snhf.org/mooc-sante-plantes/>

Learn Seed Saving—Seed saving knowledge for all. (s. d.). Learn Seed Saving. Consulté 7 mai 2025, à l'adresse <https://www.learnseedsaving.com/>

Lemoine, D. (2024, décembre 11). *Traitement biologique de semences à la vapeur.* <https://www.calameo.com/read/0065424106d155aaf3014>

Leonberger, K., Lamb, A., & Gauthier, N. (2024). *Disease Management Practices for Saved Vegetable Seeds* (PPFS-VG-09; Plant Pathology Fact Sheet, p. 6). University of Kentucky - College of Agriculture, Food and Environment Cooperative Extension Service. <https://plantpathology.mgcafe.uky.edu/sites/plantpathology.ca.uky.edu/files/PPFS-VG-09.pdf>

Lizot, J. F., Griboval, B., & Guenard, M. (2002). Mise au point d'une technique de désinfection des semences applicable en agriculture biologique – *Alternaria dauci* sur semences de carottes. *2ème Conférence internationale sur les moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux, Lille*, 1-7.

LSU AgCenter (Réalisateur). (2014, octobre 15). *Hot Water Seed Treatment (English)* [Enregistrement vidéo]. https://www.youtube.com/watch?v=le3H_icKWb4

Maladies et ravageurs de plantes—Comment faire face et aménager un jardin naturel pour prévenir les attaques. (s. d.). Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité. Consulté 17 novembre 2025, à l'adresse <https://www.brabantwallon.be/vivre-en-bw/agriculture-et-jardins/documents-et-liens-utiles/documents-utiles/brochure-maladies-et-ravageurs-de-plantes.pdf/%40%40download/file/Brochure-Maladies-et-ravageurs-de-plantes.pdf>

Manuel de contrôles phytosanitaires relatif aux méthodes d'inspection des cultures, du contrôle des lots et de prélèvements d'échantillons. (2023, mai 10). SEMAE. <https://www.semae.fr/uploads/CCERT-DR-00-315-Manuel-des-contrôles-phytosanitaires-rev-1-0-2.pdf>

Manuel d'échantillonnage des lots de semences. (2024, mars 7). SEMAE. <https://www.semae.fr/uploads/CCERT-DR-00-299-Manuel-dechantillonnage-des-lots-de-semences-rev-2-0-8.pdf>

McGrath, M. T. (s. d.). *Managing Pathogens Inside Seed with Hot Water* | *Cornell Vegetables*. Cornell CALS. Consulté 10 novembre 2025, à l'adresse <https://www.vegetables.cornell.edu/pest-management/disease-factsheets/managing-pathogens-inside-seed-with-hot-water/>

Michaels, C. (2025, août 11). Top Free Plant Disease Identification Apps for iPhone, Android, and Online in 2025. *Plant Disease Identification*. <https://plantdiseaseidentification.com/>

Micheloni, C., Plakolm, G., & Schärer, H. (2007). *Report on seed born diseases in organic seed and propagation material* (Report EEC 2092/91 no. D 5.1.; Organic Revision Project Reports). Associazione Italiana Agricoltura Biologica (AIAB). <https://orgprints.org/id/eprint/10937/>

Microscope. (s. d.). Jeulin. Consulté 20 novembre 2025, à l'adresse https://jeulin.com/jeulin_fr/enseignement/microscopie-observation/microscopes.html

Miller, S. A., & Ivey, M. L. L. (2021). *Hot Water Treatment of Vegetable Seeds to Eradicate Bacterial Plant Pathogens in Organic Production Systems* (HYG-3086-05; p. 3). The Ohio State University Extension. <https://nwhortsoc.com/wp-content/uploads/2016/01/organicseedtrt.pdf>

Miller, S. A., & Lewis Ivey, M. L. (2024, juillet 15). *Hot Water and Chlorine Treatments to Eradicate Bacterial Plant Pathogens from Vegetable Seeds*. Ohio State University Extension. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/hyg-5818>

Mwangi, M., Mwebaze, M., Bandyopadhyay, R., Aritua, V., EdenGreen, S., Tushemereirwe, W., & Smith, J. (2007). Development of a semiselective medium for isolating *Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum* from insect vectors, infected plant material and soil. *Plant Pathology*, 56(3), 383-390. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01564.x>

Nakamura, H. (1981). Effects of Dry Heat Treatment for Seed Disinfection on Germination in Vegetables. *JARQ, Japon, Vegetable and Ornamental Crops Research Station, Division of Cultivation and Plant Physiology*, 15(4), 243/247.

Naktuinbouwfees (pricelist). (2023). Naktuinbouw. <https://www.naktuinbouw.com/about-us/www.naktuinbouw.com>

Navazio, J. (2012). *The organic seed grower. A farmer's guide to vegetable seed production*. Chelsea Green Publishing.

Nyochembeng, L. (2021). Enhancing Seed Health for Organic Vegetable Production Systems : Challenges and Opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 13(12). <https://doi.org/10.5539/JAS.V13N12P35>

Observation à la loupe binoculaire et au microscope optique. (2016, juillet 6). ephytia. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/23563/Veg-Di-g-Observation-a-la-loupe-binoculaire-et-au-microscope-optique>

Observation au microscope électronique. (2016, juillet 6). <https://ephytia.inra.fr/fr/C/23564/Veg-Di-g-Observation-au-microscope-electronique>

Onaga, G., & Bachabi, F. (2024). *Validation of heat treatment in combination with chemicals protocol for bacterial elimination in rice seed*. CGIAR - Initiative on plant health and Africa Rice. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/bf382bf0-a9c5-4ef7-8868-7d1b8a8eaaec/content>

Pagán, I. (2022). Transmission through seeds : The unknown life of plant viruses. *PLoS Pathogens*, 18(8), e1010707. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010707>

Palma-Guerrero, J., Zehnder, M., Mark, J., Bernasconi, A., Herforth-Rahmé, J., Randriamanantsoa, L., Kostakis, G., Baćanović-Šišić, J., & Schärer, H.-J. (2025, mai). *Protecting organic seeds : Research on seed treatments for organic farming* [Conference paper, poster, etc.]. <https://orgprints.org/id/eprint/56006/>

Phillips, B., Garrett Owen, W., & Will, J. (2020, mars 26). *Hot water seed sterilization tool evaluation*. Michigan State University Extension. Vegetables. <https://www.canr.msu.edu/news/hot-water-seed-sterilization-tool-evaluation>

Plantix | #1 FREE app for crop diagnosis and treatments. (2025). Plantix. <https://plantix.net/en/>

Plants de légumes : Mise en oeuvre pratique du RSV et application du passeport phytosanitaire. (s. d.). SEMAE. Consulté 28 novembre 2025, à l'adresse <https://www.semae.fr/service-officiel-contrôle-et-certification/reglement-sante-des-vegetaux-faq-plants-de-legumes/>

Protiste/protocliste. (s. d.). *Biologie végétale*. Consulté 13 novembre 2025, à l'adresse <https://biologievegetale.be/glossaire/protiste-protocliste/>

Questions fréquemment posées Maraîchers. (s. d.). Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA). Consulté 14 novembre 2025, à l'adresse

<https://favv-afscab.be/sites/default/files/2024-02/GroentetelersFAQFR%20%281%29.pdf>

Rey, F. (2008, avril). Traitements Biologiques Des Semences—Focus sur la thermothérapie. *Alter Agri*, (88).

https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=333

Rey, F., Coulombel, A., Melliand, M. L., Jonis, M., Leclerc, B., Argouarc'h, J., & Conseil, M. (2017). *Guide Technique de l'ITAB « Produire des légumes biologiques »* (Vol. 1). ITAB.

<https://itab.boutique/guides-techniques/9-guide-produire-des-legumes-bio-tome-1-9782956212508.html>

Rey, F., Meriaux, B., Delmond, F., Fontaine, L., Fourrié, L., & Glandières, A. (2009). *Techniques innovantes de traitements des semences compatibles avec l'AB*. ITAB - ACTA.

<https://orgprints.org/id/eprint/38100/>

Rhizobium. (s. d.). Triple Performance. Consulté 13 novembre 2025, à l'adresse

<https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Rhizobium>

Rouxel, F., Lafon, R., Blancard, D., & Messiaen, C.-M. (1991). *Les maladies des plantes maraîchères* (1re édition). Inra.

Santé des plantes : Mieux les protéger dans leur environnement Actes de la journée de conférences et d'échanges (JCE 2021) (p. 52). (2021). Société Nationale d'Horticulture de France.

<https://www.jardiner-autrement.fr/wp-content/uploads/2021/02/sante-des-plantes-jce2021-vnumerique-bd-ok.pdf>

Schmitt, A., Jahn, M., Kromphardt, C., Krauthausen, H. J., Roberts, S. J., Wright, S. A. I., Forsberg, G., Tinivella, F., Gullino, M. L., Wikström, M., Werner, S., & Koch, E. (2006). *STOVE: Seed treatments for organic vegetable production*.

Schubiger, F. X. (2026). *Pflanzenkrankheiten und Schädlinge—Erkennen—Verstehen—Vermeiden*.

Pflanzenkrankheiten. <https://www.pflanzenkrankheiten.ch/fr/>

Seed heat treating. (s. d.). Seed Conditioning Europe. Consulté 3 décembre 2025, à l'adresse

<https://www.seed-enkhuizen.nl/en/products/seed-heat-treating/>

Semal, J. (1989). *Traité de pathologie végétale*. Presses agronomiques de Gembloux.

Suanjak, M., & Kajtna, B. (2010, mars). Den Samen Dampf machen... *Arche Noah Magazin*, 16-17.

Surveillance et lutte contre le méligèthe. (2022, juillet 21). Terres Inovia.

<https://www.terresinovia.fr/-/colza-surveillance-et-lutte-contre-le-meligethe-tres-frequent-peu-nuisible>

Taylor, A., & Hill, H. (1989). Relationship Between Viability, Endosperm Integrity, and Imbibed Lettuce Seed Density and Leakage. *HortScience*, 24, 814-816. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.24.5.814>

Taylor, P. (2015). *Plantwise Diagnostic Field Guide*. CABI Publishing.

<https://www.cabi.org/cabi-publications/plantwise-diagnostic-field-guide/>

TBM-4000—Seed Processing. (s. d.). Consulté 9 avril 2025, à l'adresse

<https://www.seedprocessing.com/fr/equipement/tbm-4000-2/>

ThermoSeed—Thermal seed treatment (with steam). (s. d.). Lantmännen. Consulté 19 novembre 2025, à

l'adresse <https://www.lantmannen.com/research-and-innovation/innovation-from-field-to-fork/biodiversity-and-ecosystem-services/thermoseed/>

- Tizzani, L., Gentili, A., Taglienti, A., Bertin, S., & Ilardi, V. (2023).** Response of carrot seed germination to heat treatment, the emergency measure to reduce the risk of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' seed transmission. *Phytopathologia Mediterranea*, 61(3), 513-522. <https://doi.org/10.36253/phyto-13958>
- Vandenkoornhuysse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Le Van, A., & Dufresne, A. (2015).** The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196-1206. <https://doi.org/10.1111/nph.13312>
- Vayssier-Taussat, M., Albina, E., Citti, C., Cosson, J. F., Jacques, M.-A., Lebrun, M.-H., Le Loir, Y., Ogliastro, M., Petit, M.-A., Roumagnac, P., & Candresse, T. (2014).** Shifting the paradigm from pathogens to pathobiome : New concepts in the light of meta-omics. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00029>
- Venbrux, M., Crauwels, S., & Rediers, H. (2023).** Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1120968. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120968>
- Vigi-Semences.** (s. d.). Consulté 10 mars 2026, à l'adresse https://ephytia.inra.fr/fr/P/141/Vigi_Semences
- Vital Seeds (Réalisateur). (2018, novembre 29).** *How to do a hot water treatment for small vegetable seeds* [Enregistrement vidéo]. <https://www.youtube.com/watch?v=8JfSDMkRZQE>
- Walcott, R. R. (2003).** Detection of Seedborne Pathogens. *HortTechnology*, 13(1), 40-47. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.1.0040>
- Wallace, J. (2023).** *Désinfection des semences biologiques*. Centre d'agriculture biologique du Canada, Université Dalhousie, Truro, N.-É. [https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/faculty/agriculture/oacc/fr/2022/Organic%20Seed%20Disinfection%20\(Fr\).pdf](https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/faculty/agriculture/oacc/fr/2022/Organic%20Seed%20Disinfection%20(Fr).pdf)
- Welbaum, G. E. (2024).** *Vegetable seed production and technology* (CABI).
- Wien, H. C. (1997).** *The physiology of vegetable crops*. CAB [Centre for agriculture and biosciences] International.
- Willan, R. L. (avec Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture & DANIDA). (1992).** *Guide de manipulation des semences forestières : Dans le cas particulier des régions tropicales*. FAO. <https://www.fao.org/4/ad232f/ad232f08.htm>
- Wolf, G. A., van der Wolf, J., Birnbaum, Y. E., Zouwen, & Groot, S. (2008).** Disinfection of vegetable seed by treatment with essential oils, organic acids and plant extract. *Seed Science and Technology* 36 (2008).
- Wong, C. W. Y., & Wang, S. (2022).** Efficacy of Repeated Applications of Bacteriophages on Salmonella enterica-Infected Alfalfa Sprouts during Germination. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 11(10), 1156. <https://doi.org/10.3390/pathogens11101156>
- Yousof, F., & Ibrahim, E. (2013).** EFFECT OF DRY HEAT TREATMENTS ON SEED VIGOR AND HEALTH OF SOME RICE CULTIVARS. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 4(12), 1075-1088. <https://doi.org/10.21608/jppp.2013.87682>



Annexes

Annexe 1. Documents complémentaires rédigés dans le cadre de Semences d'ici pour aller plus loin

Plusieurs dizaines de dossiers sur la production de semences et la sélection de variétés sont publiées en accès libre dans le cadre du projet Semences d'ici. Nous vous invitons à consulter les documents du tableau ci-dessous en particulier pour approfondir le sujet. Ils sont directement complémentaires à celui-ci. Ils sont téléchargeables sur les sites web de l'ASBL Les Marequiers (www.lesmarequiers.be) et de Biowallonie (www.biowallonie.com).

Titre	Auteur	Année de publication	Édition	État de disponibilité
Cartographie de la filière des semences potagères en Belgique	Fanny Lebrun	2025	Les Marequiers ASBL	Disponible
L'enrobage des semences potagères	Fanny Lebrun	2025	Les Marequiers ASBL	Disponible
La qualité des semences	Fanny Lebrun	2025	Les Marequiers ASBL	Disponible

Annexe 2. Clé simplifiée des étapes de gestion des bioagresseurs en maraîchage et en production de semences

- 1.** Identifier la maladie. L'Annexe 3 liste une série de ressources (en français et en anglais) pouvant être utiles à cette fin. Après identification, voir 2.
- 2.** Est-ce une cause abiotique ?
Oui -> maîtriser l'environnement
Non -> Voir 3
- 3.** Est-ce une cause liée à un ravageur ?
Oui -> mettre en pratique des mesures pour la gestion de ce ravageur
Non -> Voir 4
- 4.** Est-ce une cause liée à un agent pathogène ?
Oui -> Voir 5
- 5.** Est-ce une maladie transmissible par les semences ?
Oui -> voir 6
Non -> maîtriser la maladie au sein de la culture, récolter les semences, si possible, et les commercialiser. Si possible, exclure les plantes les plus atteintes de la récolte : une plante affaiblie produit généralement des semences moins vigoureuses. Une sélection des meilleurs porte-graines, ceux qui sont le moins atteints, est fortement recommandée si ces semences sont utilisées pour produire d'autres générations de semences.
- 6.** Cette maladie est-elle acceptable si elle est présente à faible pression ? (Voir point 2.4 L'acceptabilité des maladies)
Oui -> voir 7
Non -> voir 8
- 7.** Existe-t-il une méthode de traitement des semences pour les désinfecter, ou réduire la pression ?
Oui -> voir 9
Non -> Détruire la culture ou déstocker les semences
- 8.** Existe-t-il une méthode de désinfection (totale) des semences ?
Oui -> voir 9
Non -> Détruire la culture ou déstocker les semences
- 9.** Est-ce rentable de traiter les semences ?
Oui -> appliquer la méthode de traitement des semences
Non -> détruire la culture ou déstocker les semences. Envisager de remultiplier à partir de la récolte d'une année antérieure, en s'assurant que le pathogène ayant posé problème n'était pas déjà présent.



Annexe 3. Ressources pour identifier un bioagresseur

Cette annexe contient une liste de ressources pouvant être consultées pour identifier un bioagresseur. Les ouvrages encyclopédiques actualisés au niveau universitaire sont principalement anglophones. Dès lors, les références ci-dessous sont classées par langue. Une série de ressources est disponible librement sur internet. Celles-ci sont listées dans un tableau spécifique, que ce soit pour le français ou pour l'anglais. En complément à cette liste, le site « ephytia » liste une série de ressources sur le sujet sur la page « Ouvrages spécialisés » (Blancard, 2016).

A) Ressources en langue française :

RESSOURCES EN ACCÈS LIBRE

Titre	Ressource	Année d'édition	Support	Remarque
APPI	(Bienvenue sur APPI, s. d.)	n.d. ⁴⁸	Application	Application en ligne pour identifier des maladies ainsi que des fiches par maladie.
Conseils phytosanitaires pour la culture maraîchère bio	(Herren et al., 2025)	2025	Document	Liste de maladies fréquentes en Suisse. Nous pouvons présumer que ces maladies sont les mêmes que celles qui sont fréquentes en Belgique.
Di@gno-Lég	(Blancard, s. d.-a)	2026	Application	Une équipe de phytopathologie de l'INRAE en France met à disposition de nombreuses ressources pour apprendre les bases du diagnostic en phytopathologie via l'application.
Di@gno-View	(Blancard, s. d.-a)	2026	Application	Une équipe de phytopathologie de l'INRAE en France (la même que Di@gno-Lég) propose un service d'aide au diagnostic sur base de photos via l'application. Ce service étant assuré sans financement spécifique par l'équipe de chercheurs, les délais de réponse sont parfois longs.
Ephytia	(Ephytia - Inra, s. d.)	Mise à jour régulière	Site web	Énormément de contenu. Menu de recherche à améliorer. L'IA peut servir d'aide pour trouver la bonne page, si elle n'est pas trouvable via le menu de recherche. Ephytia propose des liens vers plusieurs applications de reconnaissance des maladies, dont Di@gnoplant et Vigipl@nt.
Maladies et ravageurs de plantes	(Maladies et ravageurs de plantes - Comment faire face et aménager un jardin naturel pour prévenir les attaques, s. d.)	n.d.	Document	Document de vulgarisation à l'attention des jardiniers, présentant la procédure d'identification de phytopathogènes en laboratoire, ainsi que les mesures de précaution et les réactions possibles.
Pflanzenkrankheiten und Schädlinge - erkennen - verstehen - vermeiden	(Schubiger, 2026)	2026	Site web	Ce site web ne couvre pas beaucoup de maladies, mais fournit des photos et informations utiles pour le prédiagnostic de certaines maladies. Site en allemand avec traduction automatique proposée en français, et a priori bientôt une version en français.
MOOC Santé des plantes	(Le MOOC Santé des plantes, 2017)	2017	Formation en ligne	MOOC est l'abréviation de « Massiv Open Online Courses ». Ces cours sont proposés par des écoles et des universités et sont accessibles à tous. Cette formation représente 6 semaines de cours.

⁴⁸ n.d. : non déterminé

RESSOURCES PAYANTES

Titre	Ressource	Année d'édition	Support	Remarque
Guide pratique de défense des cultures	(Béranger et al., 2016)	2016	Livre	n.d.
Guide Technique de l'ITAB "Produire des légumes biologiques"	Rey et al., 2017)	2017	Livre	n.d.
Identifier les champignons transmis par les semences	(Champion, 1997)	1997	Livre	n.d.
Les maladies des plantes maraîchères	(Rouxel et al., 1991)	1991	Livre	n.d.
Principes de phytopathologie	(Corbaz & Rapilly, 1990)	1990	Livre	n.d.
Traité de pathologie végétale	(Semal, 1989)	1989	Livre	Édité en Belgique. Disponible uniquement en livre d'occasion.

B) Ressources anglophones (ou germanophones) :

RESSOURCES EN ACCÈS LIBRE

Titre	Ressource	Année d'édition	Support	Remarque
Bedlan	(Bedlan, s. d.)	n.d.	Site web	Excellent site de documentation des maladies. Il peut être traduit sur internet, contrairement au livre du même auteur, référencé dans le tableau ci-dessous.
EPPO	(EPPO Global Database, 2026)	n.d.	Base de données	Dans la rubrique "photos" de la base de données, on peut trouver des photos pour aider au diagnostic.
Plant disease identification	(Michaels, 2025)	2025	Blog	Blog qui recense les sites anglophones qui documentent les maladies des plantes et sont accessibles gratuitement.
Plantwise Diagnostic Field Guide	(P. Taylor, 2015)	2015	Livre	Livre disponible gratuitement en pdf sur le net.

RESSOURCES PAYANTES

Titre	Ressource	Année d'édition	Support	Remarque
Gemüsekrankheiten	(Bedlan, 1999)	1999	Livre	Excellent livre sur les maladies des légumes, qui ne coûte que 30 €. En allemand. Conseillé par une personne du laboratoire de Bingenheimer Saatgut AG.
The identification of fungi : an illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature	(Dugan, 2008)	2008	Livre	Spécialisé sur le règne des champignons, et pas uniquement sur les maladies cryptogamiques
Plant pathology	(Agrios, 2005)	2005	Livre	Référence en la matière
Vegetable diseases	(Koike et al., 2007)	2007	Livre	Référence en la matière

Des ressources supplémentaires à celles listées dans les tableaux précédents ont recours à l'intelligence artificielle et servent à identifier des maladies sur base de photos. Citons notamment :

- « Plantix » (Plantix | #1 FREE App for Crop Diagnosis and Treatments, 2025) ;
- les «extension services» des universités étasuniennes, qui proposent, selon leur domaine d'expertise, des pages web avec photos et informations sur les maladies de certaines cultures. Elles ne sont pas structurées pour le travail de diagnostic, mais peuvent contribuer à affiner ou confirmer une piste. Par exemple pour le haricot :
 - <https://extension.illinois.edu/plant-problems/bacterial-diseases-beans>
 - <https://extension.colostate.edu/resource/bacterial-diseases-of-beans/>
 - <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/dry-edible-bean-disease-diagnostic-series-0>
- certains grands fabricants de pesticides proposent aussi des pages web au sujet de maladies des plantes. On peut également y trouver des informations et photos utiles au diagnostic, tout en faisant abstraction de leurs arguments de vente. Par exemple pour le haricot : <https://www.vegetables.bayer.com/ca/en-ca/resources/agronomic-spotlights/foliar-fungal-diseases-bean-2.html>

Annexe 4. Ressources techniques conseillant des protocoles de traitement de maladies phytopathogènes

Titre	Source	Langue	Format	Liste de matériel et mode opératoire	Protocoles (t° et durée)	Liste des maladies transmises ⁴⁹ par les semences	Remarque
Disease Management Practices for Saved Vegetable Seeds	(Leonberger et al., 2024)	Anglais	Document	Oui	Oui	Oui	Document récent et très complet
Hot Water Treatment of Vegetable Seeds to Eradicate Bacterial Plant Pathogens in Organic Production Systems	(Miller & Ivey, 2021)	Anglais	Document	Oui	Oui	Oui	Document court présentant les bases
Désinfection des semences biologiques	(Wallace, 2023)	Français	Document	Non	Oui	Non	Document très court résumant en grandes lignes le document « Managing Pathogens Inside Seed with Hot Water ».
DIY Hot water treatment for sanitization of vegetable seeds	(Bačano-vić-Šišić, 2024)	Anglais	Document	Oui	Oui	Non	Document récapitulatif court
Hot Water and Chlorine Treatments to Eradicate Bacterial Plant Pathogens from Vegetable Seeds	(Miller & Lewis Ivey, 2024)	Anglais	Document	Non	Oui	Non	Courte liste
Hot Water Seed Treatment	(Hot Water Seed Treatment, 2018)	Anglais	Document	Oui	Oui	Oui	Document détaillé, mis à jour en 2025.
Hot Water Seed Treatment (English)	(LSU AgCenter, 2014)	Anglais	Vidéo	Oui	Non	Non	Format vidéo très parlant
Hot water seed sterilization tool evaluation	(Phillips et al., 2020)	Anglais	Page web	Oui	Oui	Non	Ce rapport d'essai teste plusieurs équipements à usage "détourné" pour le traitement à l'eau chaude ⁵⁰ .

⁴⁹ Ou portées par les semences.

⁵⁰ L'ITAB utilise le modèle ANOVA Pro, qui fonctionne bien. Il permet le traitement à une échelle intermédiaire entre les traitements pour quelques grammes et le bassin de Bingenheimer Saatgut AG.

Titre	Source	Langue	Format	Liste de matériel et mode opératoire	Protocoles (t° et durée)	Liste des maladies transmises par les semences	Remarque
Hot Water Treatment of Vegetable Seeds to Eradicate Bacterial Plant Pathogens in Organic Production Systems	(Miller & Ivey, 2021)	Anglais	Document	Oui	Oui	Oui	Document court présentant les bases
How to do a hot water treatment for small vegetable seeds	(Vital Seeds, 2018)	Anglais	Vidéo	Oui	Oui	Non	Format vidéo intéressant pour illustrer la méthode. Matériel adapté à une petite échelle de production.
Journée Technique - Traitements biologiques des semences - Focus sur la thermothérapie	(Journée Technique - Traitements biologiques des semences - Focus sur la thermothérapie, 2008)	Français	Document	Non	Oui	Oui	Compilation d'informations vérifiées incluant des protocoles et des espèces : ressource intéressante pour compléter une liste de protocoles.
Liveseeding Webinar „Hot Water Treatments for Vegetable Seeds“	(Baćanović-Šišić, s. d.)	Anglais	Présentation (diapositives)	Oui	Non	Oui	Diverses informations pratiques et théoriques.
Managing Pathogens Inside Seed with Hot Water	(McGrath, s. d.)	Anglais	Page web	Oui	Oui	Oui	Document fiable et très complet
The organic seed grower. A farmer's guide to vegetable seed production.	(Navazio, 2012)	Anglais	Livre	Non	Oui	Oui	Livre sur la production de semences, avec un chapitre sur les maladies.
Report on seed born diseases in organic seed and propagation material	(Micheloni et al., 2007)	Anglais	Document	Non	Oui	Oui	Revue de bibliographie sur les traitements à l'eau chaude.
Using Sous-Vide Machines for Hot Water Seed Treatment	(Hodgdon, s. d.)	Anglais	Document	Oui	Non	Non	n.d.
Vegetable diseases	(Koike et al., 2007)	Anglais	Livre	Non	Oui	Oui	Référence en matière de maladies des plantes.

Annexe 5. Liste de maladies transmises par les semences

Cette liste d'agents pathogènes et d'hôtes est issue de la compilation de données issues de Koike et al. (2007), de Navazio (2012) et de Vigi-semences pour les *Liliaceae* (*Vigi-Semences*, s. d.). Les données relatives à la localisation des pathogènes sont quant à elles issues de Baćanović-Šišić (s. d.), de Klaedtke (2024b) et de Dutta et al. (2016). D'autres ressources complémentaires peuvent être trouvées sur Vigi-semences et dans la « Regulated Plant List » de « l'International Seed Federation » (*ISF Pest List*, s. d.; *Vigi-Semences*, s. d.).

Il serait intéressant, dans le cadre d'une poursuite du travail réalisé dans le cadre de ce dossier, de compléter ce tableau avec des degrés de gravité et des fréquences d'apparition des maladies en Europe.

Hôte	Agent pathogène	Type d'agent pathogène	Localisation du pathogène sur la semence
Aneth	<i>Erwinia carotovora subsp. carotovora</i>	Bactérie	n.d.
Aneth	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Bactérie	n.d.
Aneth	<i>Xanthomonas campestris pv. carotae</i>	Bactérie	n.d.
Asperge	<i>Asparagus virus 2</i>	Virus	n.d.
Asperge	<i>Fusarium oxysporum f. sp. asparagi</i>	Champignon	Embryon + endosperme + dans le tégument
Basilic	<i>Botrytis cinerea</i>	Champignon	n.d.
Basilic	<i>Fusarium oxysporum f. sp. basilicum</i>	Champignon	Embryon + endosperme + dans le tégument
Basilic	<i>Peronospora lamii</i>	Champignon	n.d.
Bette	<i>Cercospora beticola</i>	Champignon	n.d.
Betterave	<i>Beet mild yellowing virus</i>	Virus	n.d.
Betterave	<i>Beet western yellows virus</i>	Virus	n.d.
Betterave	<i>Cercospora beticola</i>	Champignon	n.d.
Betterave	<i>Peronospora farinosa f. sp. betae</i>	Champignon	n.d.
Betterave	<i>Phoma betae</i>	Champignon	n.d.
<i>Brassicaceae</i>	<i>Alternaria brassicae</i>	Champignon	Sur le tégument
<i>Brassicaceae</i>	<i>Alternaria brassicicola</i>	Champignon	Sur le tégument
<i>Brassicaceae</i>	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>	Champignon	n.d.
<i>Brassicaceae</i>	<i>Phoma lingam</i>	Champignon	n.d.
<i>Brassicaceae</i>	<i>Pseudomonas syringae pv. alisalensis</i>	Bactérie	n.d.
<i>Brassicaceae</i>	<i>Pseudomonas syringae pv. maculicola</i>	Bactérie	n.d.
<i>Brassicaceae</i>	<i>Xanthomonas campestris pv. campestris</i>	Bactérie	Sur le tégument
Broccoli rabe	<i>Alternaria brassicae</i>	Champignon	Sur le tégument
Broccoli rabe	<i>Pseudomonas syringae pv. alisalensis</i>	Bactérie	n.d.
Carotte	<i>Alternaria dauci</i>	Champignon	Sur le tégument
Carotte	<i>Alternaria radicina</i>	Champignon	Sur le tégument
Carotte	<i>Cercospora carotae</i>	Champignon	n.d.
Carotte	<i>Xanthomonas campestris pv. carotae</i>	Bactérie	n.d.
Céleri	<i>Cercospora apii</i>	Champignon	n.d.
Céleri	<i>Phoma apiicola</i>	Champignon	n.d.
Céleri	<i>Pseudomonas syringae pv. apii</i>	Bactérie	n.d.
Céleri	<i>Septoria apiicola</i>	Champignon	n.d.
Chou-fleur	<i>Alternaria sp.</i>	Champignon	n.d.
Coriandre	<i>Cilantro yellow blotch virus</i>	Virus	n.d.
Coriandre	<i>Pseudomonas syringae pv. coriandricola</i>	Bactérie	n.d.
Cresson de fontaine	<i>Septoria sisymbrii</i>	Champignon	n.d.
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Acidovorax avenae subsp. citrulli</i>	Bactérie	Localisation superficielle : sous le tégument ou dans la couche « périsperme - endosperme » + embryon
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Cladosporium cucumerinum</i>	Champignon	Sur le tégument
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	Champignon	Embryon + dans le tégument

Hôte	Agent pathogène	Type d'agent pathogène	Localisation du pathogène sur la semence
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Cucumber mosaic virus</i>	Virus	n.d.
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Didymella bryoniae</i>	Champignon	n.d.
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Champignon	Dans le tégument + embryon
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Fusarium solani f. sp. cucurbitae</i>	Champignon	Embryon + endosperme + dans le tégument
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Pseudomonas lachrymans</i>	Bactérie	n.d.
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Squash mosaic virus</i>	Virus	n.d.
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Tobacco ringspot virus</i>	Virus	Embryon
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Zucchini yellow mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Épinard	<i>Cladosporium variable</i>	Champignon	Sur le tégument
Épinard	<i>Cucumber mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Épinard	<i>Stemphylium botryosum</i>	Champignon	n.d.
Épinard	<i>Verticillium dahliae</i>	Champignon	Dans le tégument
Fève	<i>Ascochyta fabae</i>	Champignon	n.d.
Fève	<i>Broad bean stain virus</i>	Virus	n.d.
Fève	<i>Broad bean true mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Haricot	<i>Bean common mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Haricot	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Champignon	Embryon + dans le tégument
Haricot	<i>Pseudomonas syringae pv. phaseolicola</i>	Bactérie	Embryon
Haricot	<i>Xanthomonas campestris pv. phaseoli</i>	Bactérie	n.d.
Laitue	<i>Lettuce mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Laitue	<i>Sclerotinia sclerotiorum, S. minor</i>	Champignon	n.d.
Laitue	<i>Septoria lactucae</i>	Champignon	n.d.
Laitue	<i>Verticillium dahliae</i>	Champignon	Dans le tégument
Laitue	<i>Xanthomonas campestris pv. vitians</i>	Bactérie	n.d.
<i>Liliaceae</i>	<i>Aspergillus niger</i>	Champignon	Endosperme
<i>Liliaceae</i>	<i>Botrytis allii</i>	Champignon	n.d.
<i>Liliaceae</i>	<i>Pseudomonas syringae pv. porri</i>	Bactérie	n.d.
<i>Liliaceae</i>	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Nématode	Dans la semence
<i>Liliaceae</i>	<i>Botrytis allii</i>	Champignon	Sur les semences
Maïs	<i>Ustilago maydis</i>	Champignon	n.d.
Oignon	<i>Alternaria porri</i>	Champignon	n.d.
Panais	<i>Phoma complanata</i>	Champignon	n.d.
Persil	<i>Septoria petroselini</i>	Champignon	n.d.
Pois	<i>Ascochyta pinodes</i>	Champignon	n.d.
Pois	<i>Ascochyta pisi</i>	Champignon	n.d.
Pois	<i>Fusarium oxysporum f. sp. pisi</i>	Champignon	Embryon + endosperme + dans le tégument
Pois	<i>Pea early browning virus</i>	Virus	n.d.
Pois	<i>Pea seedborne mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Pois	<i>Pseudomonas syringae pv. pisi</i>	Bactérie	n.d.
Poivron	<i>Colletotrichum species</i>	Champignon	Embryon + dans le tégument
Poivron	<i>Cucumber mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Poivron	<i>Pepper mild mottle virus</i>	Virus	n.d.
Poivron	<i>Tobacco mosaic virus</i>	Virus	Sur le tégument + embryon
Poivron	<i>Tomato mosaic virus</i>	Virus	Endosperme + sur le tégument
Poivron	<i>Xanthomonas campestris pv. vesicatoria</i>	Bactérie	Endosperme
Tomate	<i>Alfalfa mosaic virus</i>	Virus	n.d.
Tomate	<i>Alternaria solani</i>	Champignon	Sur le tégument
Tomate	<i>Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis</i>	Bactérie	n.d.
Tomate	<i>Colletotrichum coccodes</i>	Champignon	Embryon + dans le tégument
Tomate	<i>Cucumber mosaic virus</i>	Virus	n.d.

Hôte	Agent pathogène	Type d'agent pathogène	Localisation du pathogène sur la semence
Tomate	<i>Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici</i>	Champignon	Embryon + endosperme + dans le tégument
Tomate	<i>Pseudomonas syringae pv. tomato</i>	Bactérie	Sur le tégument
Tomate	<i>Tomato Brown Rugose Fruit Virus (ToBRFV)</i>	Virus	Dans le tégument + sur le tégument
Tomate	<i>Tomato mosaic virus</i>	Virus	Endosperme + sur le tégument
Tomate	<i>Xanthomonas campestris pv. vesicatoria</i>	Bactérie	Endosperme + embryon

Glossaire

Remarque préliminaire : les définitions présentées dans le cadre de ce glossaire ont été élaborées en lien avec la santé des plantes.

Agent pathogène / Parasite : microorganisme (bactérie, champignon, mycoplasme ou virus) capable de provoquer une maladie sur une plante-hôte en l'infectant.

Albumen : tissu de réserve de la graine, nourrissant l'embryon pendant la germination.

Antagoniste : qui agit contre, adversaire.

Autocontrôle : vérification de l'état sanitaire des cultures.

Bactériophage : virus qui infecte et détruit des bactéries spécifiques.

Bioagresseur : terme générique qui regroupe tous les organismes vivants (pathogènes, ravageurs, adventices) susceptibles d'altérer la croissance, la santé ou le rendement des plantes.

Biodiversité fonctionnelle : ensemble des organismes (micro et macrofaune, flore spontanée, etc.) dont les actions contribuent directement à des services utiles aux cultures (régulation des bioagresseurs, fertilité des sols, pollinisation, résilience des systèmes).

Biotrophe : parasite qui ne peut vivre et se multiplier que sur, ou dans, son hôte vivant. Ce sont des parasites obligatoires car ils ont besoin de leur hôte pour vivre.

Blotter test : test de santé des semences standardisé (protocoles de « *l'International Rules for Seed Testing* » (ISTA)), via l'observation des structures fongiques sur graines ou plantules qui sont cultivées dans des conditions précises.

Contamination : présence d'un agent pathogène à la surface de la semence, sans qu'il pénètre à l'intérieur des tissus (sur le tégument).

Cotylédon : première feuille embryonnaire de la plantule, apparaissant pendant la germination.

Culture-piège : culture implantée pour attirer et concentrer un ravageur sur une plante spécifique, afin de protéger la culture principale.

Cryptogamique (maladie cryptogamique) : maladie des plantes causée par des champignons ou d'autres organismes filamenteux parasites (par exemple mildiou, oïdium, rouille...). Synonyme : maladie fongique.

Embryon : partie de la graine qui constitue la future plante. Elle est composée d'une radicule et d'un cotylédon (monocotylédone) ou de deux cotylédons (dicotylédone).

Endosperme : ensemble des réserves nutritives de la graine qui a également une fonction de soutien au développement et de protection de la jeune plante. En anglais, le terme « endosperm » est utilisé pour l'albumen des angiospermes. En français, on distingue en général « endosperme » (gymnospermes) et « albumen » (angiospermes), bien que « endosperme » soit parfois employé au sens large pour tout tissu de réserve entourant l'embryon.

Eucaryote : qui possède un noyau structuré, séparé du reste de la cellule par une membrane.

Fongique : qui est lié aux champignons ou causé par des champignons (par exemple une maladie fongique). Synonyme : maladie cryptogamique.

Haute résistance (HR) : haute capacité de résistance d'une variété.

Holobionte : terme désignant des entités vivantes constituées d'un organisme pluricellulaire (animal, plante, champignon) et de l'ensemble des micro-organismes qui lui sont étroitement associés, formant ensemble un être à part entière.

Hôte : voir « plante hôte ».

Immunologique : qui concerne le système immunitaire ou les réactions entre antigènes et anticorps (par exemple un test immunologique qui détecte un agent pathogène grâce à des anticorps).

Infection : présence et développement d'un agent pathogène à l'intérieur de la semence (dans le tégument, l'albumen ou l'embryon).

Inoculum : ensemble des structures d'un agent pathogène (spores, mycélium, bactéries, virus, nématodes, etc.) capables d'initier une infection sur une plante.

Itinéraire technique : ensemble des opérations culturales appliquées à une culture.

Latent (maladie latente) : maladie dont l'agent pathogène est présent dans l'organisme mais qui ne présente pas de symptômes cliniques apparents.

Lot (de semences) : quantité définie de semences d'une même variété, homogène, produite, manipulée et conditionnée dans des conditions identiques, et identifiée par un numéro unique.

Maladie : altération de l'état de santé d'une plante, se manifestant par des troubles fonctionnels ou morphologiques et causée par des agents pathogènes ou des facteurs environnementaux.

Micropousses : plantes récoltées à un stade juvénile, juste avant que les premières vraies feuilles apparaissent, pour être consommées en salade.

Microbiologique : qui concerne les micro-organismes (bactéries, champignons, virus, etc.). Une étude microbiologique se réalise en laboratoire.

Microbiote : ensemble des micro-organismes (bactéries, champignons, etc.) vivant dans un environnement donné (par exemple sur ou dans une graine, un sol, un organe) et interagissant avec leur hôte.

Microlaboratoire : dans le contexte de ce document, un microlaboratoire est un laboratoire d'analyses peu coûteux et réalisable par une personne souhaitant effectuer des analyses à l'échelle d'une petite exploitation semencière. L'idée phare derrière ce terme est de rendre les techniques d'analyses accessibles à des personnes qui s'équipent et se forment de manière autonome.

Milieu semi-sélectif : milieu de culture formulé pour favoriser la croissance d'une bactérie phytopathogène ciblée tout en limitant le développement de la flore microbienne concurrente, afin de pouvoir l'isoler et l'identifier.

Nécrotrophe : parasite qui se nourrit majoritairement de matière organique morte.

Nuisible : organisme qui induit des dégâts aux plantes en général, mais aussi aux animaux. Le terme semble plus générique que « bioagresseur », qui se rapporte spécifiquement aux plantes cultivées avec une notion de perte économique.

Organismes de Quarantaine (OQ) : organismes nuisibles aux végétaux (insectes, maladies, adventices, etc.) qui présentent un risque économique ou environnemental important pour une zone donnée, qui y sont absents ou peu présents, et qui font l'objet d'une surveillance et d'une lutte obligatoires définies par la réglementation.

Organismes réglementés non de quarantaine (ORNQ) : organismes nuisibles déjà présents sur le territoire, qui se transmettent principalement par les semences et plants, et dont la présence sur ce matériel a une incidence économique jugée inacceptable ; ils font donc l'objet d'exigences réglementaires visant à limiter leur niveau dans les lots commercialisés, sans pour autant chercher à les éradiquer complètement.

Parafilm : film semi-transparent et très élastique qui permet de réaliser des joints étanches à l'air et à l'humidité.

Parasite : organisme qui vit sur ou dans un hôte. Il se nourrit aux dépens de cet hôte.

Passeport phytosanitaire : document qui accompagne du matériel de reproduction (semences, plants) et qui atteste qu'il y a eu un contrôle au niveau de l'absence de certaines maladies jugées dangereuses au niveau de la législation.

Pathobiome : ensemble constitué par un ou plusieurs agents pathogènes et la communauté de micro-organismes avec laquelle ils coexistent dans un environnement donné, lorsque ces interactions influencent l'installation, l'expression, la transmission ou l'évolution de la maladie.

Pathogène : organisme vivant capable de provoquer une maladie chez un autre organisme vivant.

Porte-graines : plante cultivée dans l'objectif d'en récolter ses semences.

Procaryote : dépourvue de noyau et d'organites (mitochondries, chloroplastes, réticulum endoplasmique, etc.).

Prophylaxie : ensemble des mesures préventives mises en place pour limiter l'apparition ou la propagation de maladies, ravageurs et adventices dans les cultures.

Phytosanitaire : qui concerne la santé des plantes. Les mesures phytosanitaires se rapportent à l'ensemble des mesures et pratiques visant à prévenir, contrôler ou limiter les risques liés aux bioagresseurs des plantes, afin de garantir la santé des cultures.

Plante hôte / Hôte : plantes sur lesquelles un organisme nuisible peut vivre, se nourrir ou se reproduire, assurant ainsi sa survie dans son environnement naturel.

Protiste : organismes eucaryotes, souvent unicellulaires (certains peuvent être pluricellulaires simples, c'est-à-dire sans tissus différenciés).

Radicule : partie de l'embryon contenue dans la graine, qui deviendra la racine principale lors de la germination.

Ravageur : acarien ou insecte qui cause des dommages aux plantes (Biocontrol - Ravageurs, s. d.).

Résistance intermédiaire (RI) : capacité moyenne de résistance d'une variété.

Résistance : capacité génétique d'un organisme ou d'une variété à empêcher ou limiter la progression d'un bioagresseur, et/ou à limiter les symptômes et/ou les dégâts qu'il peut potentiellement générer. Cela permet donc à la plante de rester en bonne santé.

Santé des plantes : état de bien-être général des végétaux, leur permettant de croître, se développer et résister aux maladies et ravageurs, tout en exprimant leur potentiel génétique optimal. Elle implique également la capacité à supporter les stress environnementaux.

Sensibilité : incapacité d'une plante hôte à se développer de manière normale, sans symptômes ni dégâts, en présence d'un bioagresseur.

Sérologie : méthode immunologique rapide et fiable basée sur la reconnaissance spécifique du pathogène par des anticorps, particulièrement adaptée au dépistage en champ ou laboratoire simple.

Société semencière : entreprise qui commande des semences à un multiplicateur afin de les commercialiser au consommateur.

Suspenseur : structure qui ancre l'embryon dans l'albumen et assure, au début de l'embryogenèse, le transfert de nutriments et de signaux de croissance entre l'albumen et l'embryon chez les angiospermes.

Tégument : enveloppe externe de la graine qui sert à la protection de la graine, et parfois à sa dissémination.

Test bandelette de type « flux latéral » : test immunologique rapide réalisé sur une petite bandelette, où un extrait d'échantillon migre par capillarité et révèle, sous forme de lignes colorées (ligne témoin et ligne de test), la présence ou l'absence d'un agent cible (par exemple un virus ou une bactérie).

Test de germination : mesure, sur un échantillon, du pourcentage de semences qui germent dans des conditions favorables.

Test ELISA : test immunologique réalisé sur microplaque, qui utilise des anticorps liés à une enzyme pour détecter et/ou doser spécifiquement un antigène ou un anticorps dans un échantillon (la réaction enzymatique produit une coloration mesurée par un lecteur).

Test sérologique : test de détection de pathogène qui repose sur la reconnaissance antigène–anticorps et l'utilisation d'anticorps spécifiques, généralement révélée par un signal coloré ou visible.

Thermothérapie : utilisation contrôlée de la chaleur (eau chaude, vapeur, air chaud) à des températures et durées choisies pour réduire ou éliminer des agents pathogènes sur ou dans les semences, tout en préservant au maximum leur faculté germinative.

Tolérance : capacité d'une plante (ou d'une variété) à maintenir une croissance et une production satisfaisantes malgré la présence de pathogènes, sans nécessairement empêcher l'infection mais en limitant ses effets. C'est donc une résistance incomplète.

Traçabilité : capacité à suivre et documenter l'origine, les différentes étapes de production, de transformation et de distribution d'un lot (de semences, dans notre cas), afin de pouvoir remonter à son histoire en cas de problème ou de contrôle.

Transmission horizontale : passage d'un pathogène d'une plante à une autre par contact, outils ou vecteurs, sans lien parent–descendance.

Transmission verticale : passage d'un pathogène de la plante-mère à sa descendance (par graines ou multiplication végétative).

Triangle de la maladie : modèle qui montre qu'une maladie n'apparaît que si coexistent un hôte sensible, un agent pathogène et un environnement favorable.

Turgescence : état dans lequel les cellules végétales sont gonflées d'eau, ce qui met leurs parois sous tension et donne rigidité et tenue aux organes souples de la plante (feuilles, tiges, jeunes pousses).

Unicellulaire : constitué d'une seule cellule

Vecteur : organisme vivant qui transporte et transmet un agent pathogène (virus, bactérie, champignon, etc.) d'une plante infectée vers une plante saine, permettant ainsi la propagation des maladies.

Virus latent : virus présent dans un organisme sans provoquer de symptômes visibles, mais capable de se réactiver et de causer une maladie lorsque certaines conditions sont réunies.

