



MANUEL

DE FORMATION

- PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION -

FONDEMENTS DE LA PROTECTION DES CULTURES



COLEACP

Ce manuel de formation a été conçu et réalisé par les services Formation et Information & Communication du COLEACP. Cette publication a été rédigée par Bruno Schiffers en collaboration avec Christine Moreira pour les chapitres 1 à 5.

La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de programmes de coopération financés par l'Union européenne (Fonds Européen de développement – FED) et en particulier du programme Fit For Market (FFM) cofinancé par l'Union européenne et l'Agence Française de Développement (AFD).

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne et de l'AFD.

Le COLEACP dispose de la propriété intellectuelle de l'ensemble du document.

Cette publication fait partie intégrante d'une collection COLEACP, composée d'outils de formation et de supports pédagogiques. Tous sont adaptés aux différents types d'apprenants et niveaux de qualification rencontrés dans les filières de production et de commercialisation agricoles.

Cette collection est disponible en ligne pour les membres du COLEACP.

L'utilisation de tout ou partie de la publication est possible dans le cadre de partenariats ciblés et selon certaines modalités. Pour cela, contacter le COLEACP à network@coleacp.org.

- PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION -

FONDEMENTS DE LA PROTECTION DES CULTURES

- Chapitre 1 : Importance des ennemis des cultures et nécessité de les protéger1**
- Impact des ennemis des cultures sur la protection et nécessité d'une stratégie de protection des cultures
 - Généralités sur les ravageurs, les maladies et les adventices
 - Infestation des cultures, dégâts en production et en post-récolte
 - Les défis posés à la protection des cultures
- Chapitre 2 : Épidémiologie, dynamique et identification des populations de ravageurs16**
- Épidémiologie des populations de ravageurs
 - Dynamique des populations de ravageurs
 - Biologie et identification des insectes ravageurs
 - Les acariens
 - Les myriapodes
 - Les nématodes phytoparasites
 - Les rongeurs et les oiseaux nuisibles
- Chapitre 3 : Développement et identification des maladies des plantes.....41**
- Introduction
 - Les maladies dues aux agents pathogènes
 - Les champignons phytopathogènes
 - Les procaryotes (bactéries et molliculites) phytopathogènes
 - Les virus et viroïdes phytopathogènes
- Chapitre 4 : Concurrence et identification des plantes adventices.....67**
- Généralités sur la biologie et la nuisibilité des plantes adventices
 - Classification et identification des adventices
 - Facteurs cultureux favorisant le développement des adventices
 - Exemples d'adventices nuisibles

Chapitre 5 : Techniques d'observation et méthodes d'échantillonnage	85
<ul style="list-style-type: none">• Méthodes d'observation et d'échantillonnage au champ des populations de ravageurs• Méthodes d'observation des champignons et bactéries• Les seuils de risque, les modèles de prévision et les avertissements agricoles• Détection des organismes de quarantaine (échantillonnage) et certificats phytosanitaires	
Chapitre 6 : Développer une stratégie de protection des cultures.....	113
<ul style="list-style-type: none">• Objectifs et principes généraux de la lutte phytosanitaire• Les différentes étapes d'intervention• Principales stratégies• Stratégie de protection des cultures : étude de cas	
Chapitre 7 : Traitements chimiques des cultures et des produits récoltés	131
<ul style="list-style-type: none">• Généralités sur les produits phytosanitaires• Propriétés et modes d'action des insecticides• Propriétés et modes d'action des fongicides• Propriétés et modes d'action des herbicides• Les usages particuliers des pesticides (appâts, traitement de semences)• Gestion de la résistance aux pesticides	
Chapitre 8 : Bonnes pratiques d'application des traitements phytosanitaires	163
<ul style="list-style-type: none">• Traitement et traçabilité des opérations• Organisation du chantier, vérification des appareils et prévention des contaminations• Calculs et mesures du volume appliqué/ha et des doses• Préparation et chargement de la bouillie• Principes de réglage des appareils• Origine du phénomène de dérive• Nettoyage et entretien des appareils	
Chapitre 9 : Caractéristiques des pulvérisateurs et des buses	193
<ul style="list-style-type: none">• Présentation des appareils de pulvérisation• Les pulvérisateurs à dos• Le pulvérisateur à jet projeté porté ou tracté par un tracteur• Le pulvérisateur à jet porté à flux radial• Réglage et calibrage des appareils• Annexes : Exemples de calcul	

Chapitre 10 : La gestion et l'élimination des effluents et des déchets225

- L'épuration des effluents par les bioépurateurs
- Le nettoyage du pulvérisateur
- Le rinçage, la collecte et l'élimination des emballages
- L'élimination des déchets de produits
- Traitement et élimination des déversements accidentels
- Gestion des produits phytosanitaires non utilisables
- Annexes : Procédés d'épuration des effluents

Abréviations et acronymes les plus utilisés.....260

Références bibliographiques268

Sites Web utiles271

Chapitre 1

Importance des ennemis des cultures et nécessité de les protéger

Impact des ennemis des cultures sur la protection et nécessité d'une stratégie de protection des cultures.....	2
Généralités sur les ravageurs, les maladies et les adventices.....	7
Infestation des cultures, dégâts en production et en post-récolte	9
Les défis posés à la protection des cultures.....	11

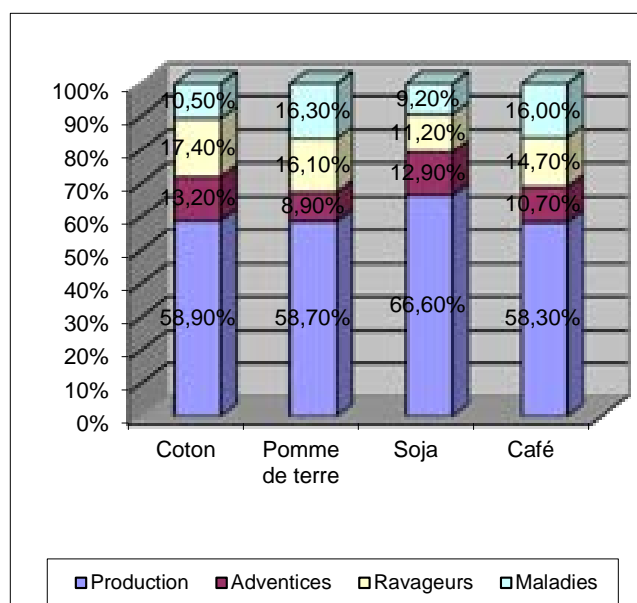
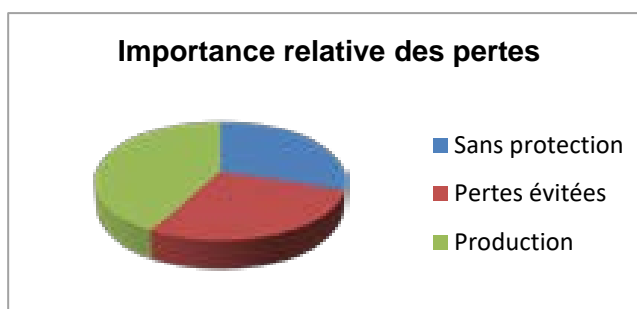


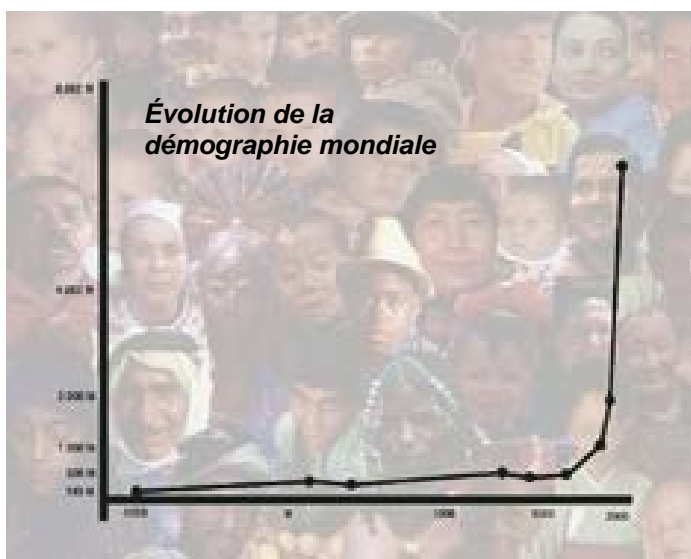
1.1. Importance des ennemis des cultures et nécessité de les protéger

Sous l'action combinée des maladies, des attaques des ravageurs et de la concurrence des adventices, on estime que **près de 50 % de la production agricole mondiale** est perdue avant ou après la récolte. Les estimations de pertes, par région et par culture, publiées en 1965 par H.H. CRAMER ont été revues en 1990 par E.C. OERKE et d'autres auteurs pour les 8 plus grandes cultures (coton, soja, riz, maïs, pomme de terre, café, blé et orge).

Ils mettent en évidence la **différence substantielle** qui existe entre la « production potentielle » des variétés utilisées et les « rendements réellement enregistrés », l'attribuant pour la plus large part aux dégâts causés par les parasites aux cultures, même dans les régions où les techniques agronomiques les plus récentes sont employées.

Ainsi, OERKE estime que la chute de production est comparable d'une région à l'autre quand des techniques de production modernes sont utilisées, mais sans stratégie de protection. En coton, par exemple, les rendements pourraient chuter jusqu'à 15,9 % de la production potentielle, à comparer aux 60 % actuellement atteints en utilisant les divers moyens de protection.





L'explosion de la croissance démographique, entamée durant les dernières décennies, se poursuivra au moins jusqu'en 2100, la population mondiale passant de plus de 6 milliards à environ 11,5 milliards d'humains à la fin du XXI^e siècle. Par ailleurs, l'augmentation moyenne du niveau de vie dans certaines régions où la croissance économique est forte et rapide conduit également à un accroissement des besoins alimentaires mondiaux.



Or, il n'y a que deux possibilités pour accroître la production : **augmenter la superficie cultivée** d'une part, et **améliorer la productivité par hectare** d'autre part.

Selon le type d'économie où ils se trouvent, et le contexte économique dans lequel ils vivent, les agriculteurs – dont le but est de s'assurer un revenu décent et croissant (ce qui ne passe pas nécessairement par une productivité maximale à l'hectare) – agissent de préférence sur l'un et/ou l'autre de ces facteurs. Ainsi, tant que des terres facilement cultivables sont disponibles, il peut être plus intéressant pour eux d'accroître plutôt les superficies travaillées que de recourir aux intrants (engrais et pesticides).

Néanmoins, dans pratiquement toutes les régions du monde, **les agriculteurs sont à présent confrontés d'une part à la limitation des terres arables disponibles, d'autre part à une baisse de la fertilité des sols (dégradation des sols, érosion).**

La seule issue pour eux à moyen et long termes est donc **d'augmenter la productivité à l'hectare** et de **réduire les pertes en post-récolte.**

Dans les pays en développement, il conviendra que les ressources vivrières, et notamment céréalières, augmentent de quelque 70 % d'ici 2020 pour que les 6,5 milliards d'habitants prévus y connaissent une sécurité alimentaire.

La quasi-totalité de cette augmentation de l'approvisionnement alimentaire devra provenir des pays en développement eux-mêmes. La satisfaction de cette augmentation prévisionnelle exigera une augmentation durable des rendements des principales cultures céréalières et légumineuses, et une réduction des déperditions agricoles provoquées par les parasites.

Puisque les possibilités d'expansion de l'irrigation et des superficies agricoles arables sont limitées, les **stratégies futures** devront s'axer sur **l'augmentation de la productivité des sols et des ressources hydriques disponibles**. Il n'existe sans doute pas de gaspillage plus grand de ces ressources que d'investir du temps, de l'argent et du travail à la production alimentaire pour les voir balayés, tout ou partie, par des infestations de parasites (voir tableau). Selon le niveau des pertes et des coûts concernés, une amélioration de la lutte phytosanitaire semble constituer un volet stratégique important de l'augmentation des ressources alimentaires existantes dans les pays en développement.



Les **fertilisants**, souvent sous-utilisés, peuvent apporter des gains de production immédiats, pour autant que des variétés sélectionnées pour leur potentiel élevé soient employées.

La **protection des plantes** met en œuvre des méthodes culturales, génétiques, mécaniques, biologiques et chimiques, utilisées dans des stratégies à la fois préventives et curatives. La réponse des cultures aux techniques de protection n'est pas toujours aussi facile à mettre en évidence, car de nombreux facteurs environnementaux et climatiques interagissent.

Production réelle et pertes estimatives de huit récoltes de 1988 à 1990, par parasite et par région (en billions de \$ US)

Région	Production réelle	Causes des pertes			
		Pathogènes	Insectes	Adventices	Total
Afrique	13,3	4,1	4,4	4,3	12,8
Amérique du Nord	50,5	7,1	7,5	8,4	22,9
Amérique latine	30,7	7,1	7,6	7,0	21,7
Asie	162,9	43,8	57,6	43,8	145,2
Europe	42,6	5,8	6,1	4,9	16,8
Ex-Union soviétique	31,9	8,2	7,0	6,7	22,1
Océanie	3,3	0,8	0,6	0,5	1,9

Source : E. Oerke et al., « Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops » (*Production et protection des cultures : pertes estimatives des principales cultures vivrières et de rapport*), Amsterdam, Elsevier, 1995.

Cependant, les **informations lacunaires sur les pertes réelles provoquées par les parasites** et les gains réels et potentiels de la lutte phytosanitaire constituent une profonde entrave à la formulation d'une stratégie destinée à améliorer la lutte phytosanitaire. Si l'ensemble des pertes provoquées par les parasites s'élève jusqu'à 50 %, comme l'ont indiqué certains chercheurs, les États et les organisations telles que la Banque mondiale et le CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research* – Groupe consultatif sur la recherche agricole internationale) devront sans doute consacrer davantage de ressources à la réduction de ces pertes.

Le recours aux intrants disponibles (fertilisants et pesticides) peut augmenter substantiellement la production, et par conséquent diminuer le besoin de cultiver des terres « marginales », préservant les sols les plus fragiles de la déforestation, de l'érosion et de la dégradation rapide.



Mais quand les rendements progressent grâce aux intrants, à la sélection variétale, à l'irrigation et à l'amélioration des itinéraires techniques, les cultures deviennent aussi **plus attractives** pour les ravageurs et souvent **plus sensibles** aux maladies ou à la concurrence des mauvaises herbes.



Ceci conduit, pour sauvegarder le potentiel de production, à **la nécessité d'employer des moyens efficaces de surveillance des cultures et de protection.**



1.2. Généralités sur les ravageurs, les maladies et les adventices

Un champ ou une parcelle cultivée sont des milieux artificiels où la biodiversité naturelle a largement disparu. En concentrant les espèces cultivées, l'agriculteur favorise les populations déprédatrices et les épidémies responsables de la diminution du rendement à l'hectare de la culture. Les dégâts occasionnés aux productions agricoles et aux denrées stockées par les ravageurs, les parasites et les mauvaises herbes représentent souvent **plus d'un tiers des récoltes**.

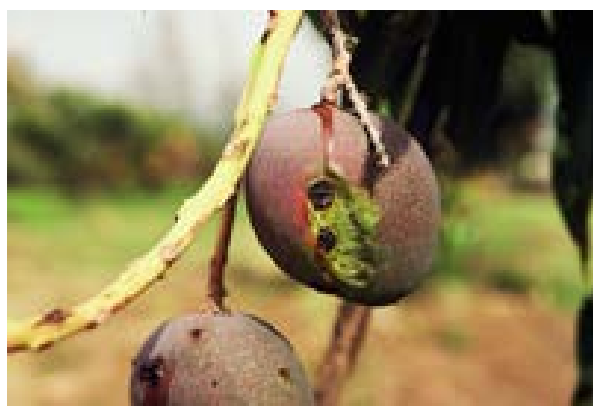
Les agents responsables de ces pertes non négligeables sont essentiellement les **insectes phytophages** qui sont de loin les plus nuisibles, les **nématodes**, les **champignons**, **virus et bactéries**, **sans oublier les adventices**. Des stratégies de protection des cultures et des moyens de lutte contre ces ennemis sont alors nécessaires afin de maintenir un niveau élevé de production.

Ravageurs des principales cultures dans le monde (Source : Bayer CropSciences, Liste des ravageurs, 2001)

Coton	mouches blanches, pucerons, cicadelles (surtout dangereux parce que vecteur de maladies virales), hétéroptères, chenilles de la capsule
Maïs	ver fil de fer, oscinie, puceron (comme vecteur de maladies virales)
Céréales	pucerons (surtout dangereux parce que vecteur de maladies virales)
Cultures légumières	pucerons, mouches blanches, cicadelles, thrips, chenilles de la feuille et du fruit, mouches mineuses
Plantes d'ornement	pucerons, mouches blanches
Riz	cicadelles, pyrale du riz, charançon aquatique, tordeuse des feuilles
Fruits à noyau	pucerons, cochenilles, mineuse de la feuille, carpocapse, cheimatobie
Agrumes	cochenilles, pucerons, mineur de la feuille, mouches blanches, psylles
Pomme de terre	pucerons (dangereux surtout comme vecteur de maladies virales), cicadelles, doryphore
Colza	méligèthes, altises d'hiver, charançons
Bananier	nématodes

Maladies fongiques touchant les principales cultures dans le monde (Source : Bayer CropSciences, Liste des ravageurs, 2001)

Céréales	oïdium, rouilles, rhynchosporiose, septorioses (<i>septoria</i>) et maladie des taches brunes, caries et charbons
Riz	pyriculariose (<i>pyricularia</i>), rhizoctone (<i>rhizoctonia</i>) et autres maladies foliaires
Cultures légumières	fontes des semis, rouilles, pourritures des feuilles et des fruits, pourriture grise, oïdium et mildiou, maladies du feuillage et des fruits (ex. : alternariose, cercosporiose, etc.)
Pomme de terre	mildiou, rhizoctone, gale argentée
Vigne	oïdium et mildiou, pourriture grise
Fruits à pépins	tavelures, oïdium, moniliose
Fruits à noyau	moniliose
Mangue	cercosporiose
Arachides	<i>rhizoctonia</i> , <i>sclerotinia</i> , cercosporiose, rouille
Banancier	cercosporiose (maladie de Sigatoka touchant le système foliaire du banancier)
Colza	sclérotiniose, <i>phoma lingam</i>
Caféier	rouille du café



Cependant, une lutte rationnelle et efficace contre les ennemis des cultures implique une connaissance minimale de leur mode de vie, de leur biologie et de leurs principales caractéristiques afin de pouvoir les identifier de la façon la plus sûre et la plus rapide possible sur base des symptômes observés, pour une intervention efficace et rentable.



1.3. Infestation des cultures, dégâts en production et en post-récolte

Les ennemis des cultures peuvent agir sur celles-ci de **façon précoce**, dès le semis. Il est plus que nécessaire de posséder des **semences saines**, de qualité et désinfectées (non virosées, indemnes de toutes bactérioses et non colonisées par des larves d'insectes ravageurs) et de réaliser **les pépinières** dans de bonnes conditions sanitaires, à l'abri des nématodes, des virus, des insectes vecteurs de maladies, etc.

Des **pratiques culturales inadéquates** (choix de la parcelle et du type de sol, rotation inadaptée, destruction des insectes auxiliaires, mauvais désherbage, mauvaise élimination des débris des cultures après récolte, outils aratoires contaminés, blessures de taille...) peuvent aussi être responsables d'infestations massives.

Des **inspections phytosanitaires fréquentes des parcelles** et des vergers, l'utilisation de pièges, les analyses régulières du sol, le relevé des plantules de mauvaises herbes, l'observation des plantes malades, s'imposent afin de déceler le début des attaques, de suivre et au besoin de tenter d'enrayer leur développement.

- Les **insectes broyeur**s dévorent les différentes parties des plantes (chenilles de lépidoptères, larves et adultes de coléoptères, sauterelles et criquets orthoptères). Les **insectes piqueurs-suceurs** sucent la sève des végétaux et affaiblissent la plante. Ils sont aussi vecteurs de viroses (mouches blanches, cochenilles, jassides, pucerons, punaises, thrips). Certains insectes causent des dégâts aux plantes en raison de la ponte des œufs. Le développement de la larve au sein des tissus végétaux s'accompagne d'une consommation de ces tissus (mouches des fruits, mouches mineuses qui creusent des galeries dans les feuilles). Les insectes souterrains s'attaquent quant à eux aux racines et aux tubercules (courtilières, vers gris). Les insectes peuvent également être responsables de dégâts considérables dans les denrées stockées (grains, farines, viandes, etc.). Certains insectes, qui sont reconnus comme « organismes de quarantaine », doivent être détectés dans les produits récoltés (idéalement avant leur expédition).
- Les **champignons et les bactéries** pénètrent par les racines, les tiges, les feuilles et les fruits par les blessures, les ouvertures naturelles ou directement par les surfaces intactes, provoquant l'apparition de taches de différents coloris ou des pourritures. Ces dégâts rendent les fruits et légumes impropres à la consommation et interviennent aussi bien au champ qu'après la récolte. De nombreux champignons, et bactéries sont responsables de dégâts en post-récolte et la plupart des virus infectent les fruits et légumes au champ et se développent pendant le stockage surtout dans des conditions de température confortables. En-dehors des dégâts directs qu'ils causent aux plantes et aux fruits et légumes, les champignons peuvent aussi contaminer les denrées par les toxines (« mycotoxines ») qu'ils libèrent ou par l'induction chez les plantes de produits de défense naturels (les « phytoalexines »), certains de ces composés

étant particulièrement dangereux pour la santé du consommateur même à faibles concentrations (des normes de concentrations admissibles ont d'ailleurs été fixées par la Commission européenne). L'envahissement des produits stockés par des champignons, grâce aux conditions favorables (température et/ou humidité trop élevées) est généralement la cause de la contamination par les mycotoxines telles les aflatoxines ou les ochratoxines.

- Les **nématodes** envahissent les racines qui gonflent (galles) et le système racinaire devient noduleux ; des racines secondaires se développent et l'alimentation en eau et en éléments nutritifs ne se fait plus : la plante devient chétive, jaunit et flétrit. En effet, l'absorption d'eau est très souvent « gênée ». L'assimilation du potassium est diminuée, parfois celle du sodium également. On observe souvent une concentration plus forte des autres éléments minéraux dans les organes aériens. Chez la pomme de terre, le *Ditylenchus destructor* provoque l'inversion des taux relatifs de sucrose et d'amidon.
- Les **adventices** quant à elles peuvent avoir une nuisibilité directe sur la culture, car elles ont un effet de concurrence par rapport aux éléments nutritifs et l'eau, et ce, dès le début du développement de la plante cultivée. Ceci affecte par conséquent l'assimilation chlorophyllienne de la plante cultivée et donc sa croissance. De plus, certaines adventices ont une rapidité de croissance supérieure à la culture mise en place et peuvent donc être responsable d'un étouffement de la plante en cours de développement. Enfin, les adventices peuvent héberger différents parasites (virus, bactéries, champignons et insectes ravageurs) et peuvent être donc source d'infestation.

Ainsi, les dégâts occasionnés par les différents ravageurs et parasites des plantes, aussi bien au champ qu'en post-récolte, sont nombreux et possèdent une importance variable suivant le stade d'infestation, la robustesse de la plante et la précocité de l'intervention qui doit demeurer efficace et respectueuse des normes de qualité et environnementales.

Le type d'intervention (lutte phytosanitaire) devra être adapté, en considérant :

- les organismes à combattre (efficacité) ;
- la sensibilité des cultures (sélectivité) ;
- l'objectif poursuivi (limiter le développement, prévenir une infestation, éradiquer un ravageur ou une maladie, etc.) ;
- les exigences réglementaires (normes de qualité phytosanitaires) et celles des cahiers de charge (référentiels qualité) ;
- la compétence des opérateurs ;
- l'usage sécurisé et les moyens de protection ;
- les objectifs de compétitivité (rentabilité de la lutte) ;
- l'impact sur l'environnement (rémanence, protection des abeilles, etc.).



1.4. Les défis posés à la protection des cultures

1.4.1. Les limites du modèle de production actuel

Si la mission assignée à l'agriculture – produire plus au meilleur coût – a bénéficié à l'ensemble de la société, il en est résulté des incidences défavorables pour l'environnement. Non sans mal, tout le monde s'accorde aujourd'hui à reconnaître le **caractère polluant de l'agriculture intensive** telle qu'elle est pratiquée dans de nombreuses régions du monde. Face aux dommages environnementaux et socio-économiques provoqués par des pratiques agricoles considérées jusqu'il y a peu comme les plus en pointe, craintes et irritation de l'opinion publique progressent en Europe et ailleurs. La préservation de l'environnement par le producteur est aujourd'hui explicitement perçue comme un indice de respect du consommateur, au moins autant que la garantie de la qualité sanitaire du produit.

De manière générale, **la protection chimique des cultures**, même si elle est le plus souvent efficace, **ne donne plus entièrement satisfaction**, non seulement par rapport à la durabilité des agro-écosystèmes (perte de diversité biologique, dégradation de la qualité physico-chimique du milieu), mais aussi à cause de son efficacité toujours plus limitée par la manifestation de résistances des ravageurs, des modifications des spectres parasitaires et par l'apparition de graves déséquilibres dans le milieu (pollution des eaux, contamination du sol et de l'air).

Il devient donc nécessaire pour les producteurs de **réorienter leurs choix** et leurs modèles de production dans une direction plus compatible avec un développement durable. « *La protection des cultures est ainsi placée à la croisée des chemins* » (Deguine, CIRAD).

Aujourd'hui face aux exigences croissantes de l'Europe en termes de **qualité sanitaire** et face à la progression des exigences commerciales de la **grande distribution**, les producteurs doivent impérativement **corriger leurs pratiques**, non seulement pour délivrer des produits conformes à la réglementation (ex. : respect des LMR et autres normes) et pour sauvegarder leurs parts de marché, mais aussi pour **produire de façon « éthique »** en respectant l'environnement.

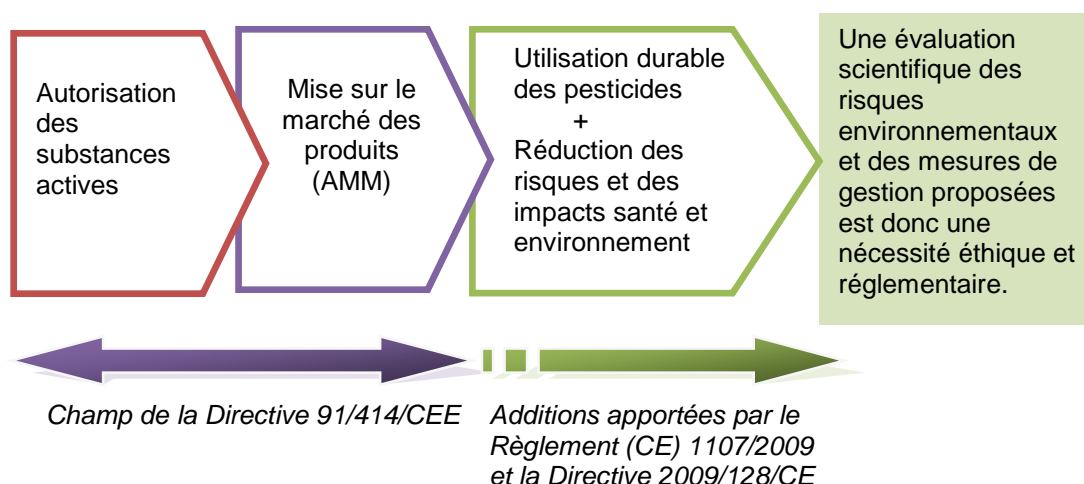
Il ne suffit plus en effet aux producteurs de considérer l'efficacité et la rentabilité des traitements, ni même les seuls aspects « sanitaires » de leurs méthodes de protection des plantes, le marché leur ayant imposé petit à petit des critères touchant au respect de l'environnement, à la protection de la biodiversité, à l'éthique des méthodes mises en œuvre. Par ailleurs, dans un marché international de plus en plus concurrentiel, les systèmes de culture intensifs très consommateurs d'intrants risquent de conduire à des impasses économiques. Leur nécessaire évolution devrait passer par un allègement significatif des quantités d'intrants pour réduire les coûts de revient et les coûts indirects (ex. : épuration des eaux contaminées).

Faute d'évaluation et d'information scientifique objective de l'impact des méthodes de lutte sur l'environnement et sur la possibilité d'améliorer significativement les pratiques

phytosanitaires actuelles, **la place réservée à la lutte chimique dans les itinéraires techniques de production sera clairement remise en question.**

L'industrie agro-alimentaire et la grande distribution sont d'ailleurs friandes d'introduire dans leurs cahiers de charge toujours plus d'« exigences environnementales » (ex. : GLOBALG.A.P., Charte PERFECT, Terra Nostra, Hypermarket C1000, Ethical Trading Initiative – ETI, Agriculture raisonnée...), de certifications de type ISO 14001, ou de type PPP comme en Tunisie (Production Plus Propre, basée sur la prévention intégrée de la pollution), d'éco-labels tels que le « Label écologique » de l'UE (23 groupes de produits différents, et plus de 250 certificats déjà décernés à plusieurs centaines de produits en Europe).

Le « **questionnement environnemental** » transparaît aussi dans **les exigences renforcées et les restrictions de plus en plus fortes** concernant les autorisations de mise sur le marché des substances actives, à l'image de l'évolution récente de la révision de Directive européenne 91/414/CEE¹ qui remet en cause la rentabilité économique du développement de nouvelles familles de substances actives. Cette Directive européenne 91/414/CEE a été remplacée à la fois par **un nouveau règlement**² (encadrant les autorisations de mise sur le marché – AMM – des produits de protection des plantes – PPP) et une **nouvelle Directive**³ portant sur l'utilisation durable des pesticides et la réduction des risques et des impacts négatifs des PPP, notamment par le développement et la vulgarisation de Bonnes Pratiques.



Au niveau européen, l'utilisation durable des pesticides est l'une des sept stratégies thématiques du sixième programme communautaire d'action pour l'environnement (2002

¹ Directive du Conseil du 15 juillet 1991, concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (JOCE, L 230 du 19 août 1991).
² Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil (JOCE, L 309 du 24 novembre 2009).
³ Directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable (JOCE, L 309 du 24 novembre 2009).



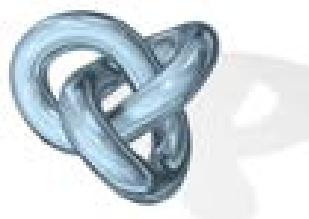
2012). Celle-ci vise « la réduction sensible des risques et de l'utilisation des pesticides dans une mesure compatible avec la protection nécessaire des cultures ».

Ainsi, dans le cadre des réglementations européennes pour la protection des eaux (ex. : Directive sur les nitrates, Directive-cadre sur l'eau), sont prévus des « Codes de Bonnes Pratiques » pour l'utilisation des intrants (engrais et pesticides). Dans le même ordre d'idées, on peut aussi citer les « Contrats de rivière » (gestion des bassins versants), les « Chartes qualité », etc.

Ces différentes « Bonnes Pratiques » n'auront de réelle efficacité sur l'évolution des pratiques agricoles que **si leur efficacité peut être démontrée, mesurée** et qu'elles sont **acceptées par les producteurs** au travers d'une concertation et d'une adhésion volontaire motivée par une prise de conscience de ceux-ci de la nécessité de changer leurs pratiques pour préserver leur outil de production. Il restera néanmoins à évaluer l'impact de nouvelles techniques de protection sur la qualité des produits, l'environnement et la santé de l'opérateur.

Les défis qui se posent aux producteurs en matière de protection de leurs cultures sont donc nombreux et l'équation est de plus en plus complexe à résoudre :

- Mettre ses cultures dans les meilleures conditions possible (notamment au niveau de leur environnement et de leur alimentation) pour éviter l'apparition et le développement des ennemis de ses cultures.
- N'intervenir que quand c'est justifié pour sauvegarder sa marge économique et la qualité commerciale de ses produits. Éviter tous les traitements de simple « assurance » et être capable de démontrer que chaque intervention était nécessaire.
- Identifier la ou les méthodes les plus efficaces, les plus adaptées au niveau de risque, les combiner et veiller à ce que l'impact sur la culture et sur l'environnement soit le plus faible possible. Être capable de démontrer que la méthode d'intervention choisie était la meilleure.
- Respecter la réglementation nationale, internationale et les exigences ou restrictions de cahiers de charge privés dans le cadre des certifications.
- Garder une trace de toutes les opérations effectuées pour protéger les cultures et les produits récoltés. Notamment, pouvoir reconstituer dans le détail les mesures et les dosages effectués.
- Conserver un bénéfice suffisant.





D'un côté, la conséquence immédiate de l'imposition d'exigences commerciales par la **grande distribution** – poussée plus par des arguments « marketing » que pour des raisons techniques avérées – et d'un autre côté, l'aboutissement du processus de révision des réglementations **conduiront à la réduction du choix des producteurs quant à ses méthodes de lutte**, voire même au rejet des moyens chimiques de protection de ses cultures.

On assiste à une mondialisation de la prise de conscience de l'impact environnemental des activités humaines, en raison du caractère global d'un certain nombre de questions d'environnement, comme l'effet de serre qui menacerait la planète entière de réchauffement, ou la conservation de la biodiversité, dont les pays du Sud sont les principaux détenteurs, et les pays du Nord les principaux utilisateurs. Dans la récente « Déclaration de Libreville » (2008), 80 ministres de la Santé et de l'Environnement venus des 53 États africains se sont engagés à mieux coordonner leurs actions afin de réduire les risques pour la santé liés à l'environnement. Ils ont pointé « l'importance des risques liés à l'environnement et l'émergence de nouveaux risques environnementaux ».

Les producteurs des pays du Sud qui exportent sur les marchés internationaux sont confrontés aux mêmes exigences, en matière d'éthique, que par exemple les producteurs européens. Le management des risques phytosanitaires nécessite de développer des compétences nouvelles pour l'ensemble des intervenants des filières de production.

1.4.2. Nécessité d'une approche scientifique intégrée des méthodes de protection et de leur impact

C'est grâce à une **analyse scientifique des pratiques actuelles et des alternatives** proposées que l'on pourra démontrer en toute objectivité aux producteurs l'intérêt d'adapter ou de changer les méthodes de protection de ses cultures, et lui proposer des solutions alternatives efficaces.

L'incidence de la pollution environnementale par les intrants, la contamination de l'air, des sols et de l'eau, la perte de biodiversité, rappellent que les risques engendrés par l'interaction constante entre les activités agricoles et l'environnement sont nombreux, de natures très diverses, et parfois catastrophiques dans leurs conséquences⁴.

⁴ Voir INRA-CEMAGREF, « Les pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux », *Expertise scientifique collective Inra-Cemagref*, Versailles, Quae, 2005.

La complexité de ces interactions en appelle à la contribution de la recherche pour l'élaboration des « plans d'action » et le choix de mesures efficaces et viables pour la gestion de ces risques⁵.

Seule une approche telle que l'**analyse de risques**, reposant sur des bases scientifiquement établies, systématique et intégrée permettra de **déterminer objectivement l'impact des pratiques phytosanitaires des producteurs sur la sécurité sanitaire des produits et sur l'environnement**.

Bien que récemment utilisée dans le domaine de l'impact environnemental de certaines activités industrielles et agricoles⁶, l'OCDE admet que l'analyse de risques est un outil qui permet de développer des objectifs de préservation et de restauration moins limitatifs que les objectifs génériques habituellement choisis par les décideurs faute d'information suffisante. Grâce à l'application de cette méthode, les risques d'impacts environnementaux, liés à la protection des cultures, seront évalués par une **approche systématique et scientifique**, et ils pourront ainsi être classés en fonction de leur gravité et de leur fréquence.

Prenant en compte les contraintes réglementaires, techniques, économiques et sociales, les résultats de cette analyse permettront tout d'abord une **gestion plus rationnelle** dans le recours aux produits de protection des plantes, ensuite le développement adéquat de méthodes alternatives et enfin **le choix de mesures appropriées** de prévention de la contamination du milieu, voire celle de l'opérateur.

Élaboré à la suite de l'analyse de risques, le « Plan d'action » est généralement composé d'un **ensemble cohérent d'actions qui contribueront** toutes, de façon directe ou indirecte, **à réduire au maximum les risques** de pollution ponctuelle et diffuse, préserver la qualité du milieu (eau, sol, air) et garantir la qualité sanitaire et phytosanitaire des produits récoltés.

Le producteur intégrera cet ensemble d'actions dans la démarche de mise en conformité de son système de production (autocontrôle et/ou certifications privées de type GLOBAL-G.A.P.). Il lui permettra d'**afficher** une « **Politique qualité** » pour son entreprise, avec des objectifs précis et cohérents par rapport à ses capacités réelles (ressources humaines, ressources financières et disponibilité de la technologie localement). Il est donc indispensable que les associations de producteurs participent à l'élaboration des plans d'action. Le projet tentera de développer un « **modèle** » qui permette d'intégrer et de coordonner les différentes mesures de maîtrise des risques environnementaux.

⁵ Voir CALVET et al. Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales, Paris, France Agricole, 2005.

⁶ Voir EFSA, *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Plants*. EFSA Scientific colloquium summary report, 2007.

Chapitre 2

Épidémiologie, dynamique et identification des populations de ravageurs

Épidémiologie des populations de ravageurs	17
Dynamique des populations de ravageurs.....	18
Biologie et identification des insectes ravageurs.....	19
Les acariens	28
Les myriapodes.....	31
Les nématodes phytoparasites	32
Les rongeurs et les oiseaux nuisibles.....	37



2.1. Épidémiologie des populations de ravageurs



L'épidémiologie se définit comme l'étude du développement d'une population de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, rongeurs, oiseaux) au sein d'une population hôte (plantes cultivées d'une parcelle ou d'un verger).

Le commerce international et le transport aérien ont favorisé également l'introduction d'un grand nombre de ravageurs dans de nouvelles régions du monde. En l'absence d'ennemis naturels liés à ces ravageurs par une relation co-évolutive, ces derniers causent souvent dans leur nouvel habitat des dommages considérables aux cultures.

C'est pourquoi, des mesures réglementaires internationales ont été adoptées pour limiter l'extension de ravageurs potentiellement dangereux : il existe des listes (Listes A1 et A2 de l'OEPP¹, Organisation européenne pour la protection des plantes, ou les organismes repris dans les Directives européennes²) d'« **organismes de quarantaine** » (ex. : *Helicoverpa armigera*, en ce qui concerne les exportations de fruits et légumes vers l'Europe) pour lesquels des précautions particulières sont requises de la part des producteurs (ex. : **Certificats phytosanitaires**³ délivrés par les autorités compétentes du pays exportateur).

La détection de ces organismes de quarantaine (insectes, bactéries, champignons...) **dans des lots de légumes peut entraîner leur destruction immédiate**. Certains organismes ne sont pas présents en Europe, d'autres sont présents en Europe, mais pour limiter leur extension, la destruction des lots infestés reste obligatoire.

- ¹ « EPPO A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests as approved by EPPO Council in September 2009 », www.eppo.org/QUARANTINE/quarantine.htm.
- ² Consulter les Annexes de la Directive 2000/29/CE (et sa modification Directive 2002/89/CE) concernant les mesures de protection contre l'introduction dans la Communauté d'organismes nuisibles aux végétaux ou aux produits végétaux et contre leur propagation à l'intérieur de la Communauté (JOCE, L 169 du 10 juillet 2000, p. 1).
- ³ Modèle de Certificat phytosanitaire dans l'Annexe VII de la Directive 2000/29/CE.

2.2. Dynamique des populations de ravageurs

Si certaines espèces apparaissent régulièrement chaque année, en égale quantité, il en est d'autres, par contre, qui après avoir semblé disparaître, resurgissent brusquement pour, à nouveau pour se raréfier pendant une ou plusieurs années.

Le danger représenté par un ravageur dépend de l'espèce et de la plante hôte et son importance numérique est la résultante de deux groupes de facteurs antagonistes : d'une part, les **facteurs biotiques** (fécondité, nombre de générations annuelles, possibilités de développement sur les plantes hôtes de la région considérée ; d'autre part, les **facteurs abiotiques** (climat, concurrence alimentaire, ennemis tels que les parasites, les prédateurs et les maladies).



L'abondance des pluies, leur date de démarrage, leur répartition influe de manière directe sur le ravageur, ses ennemis et sur la plante. Le rôle de la température est moindre que dans les régions tempérées.

La plus ou moins grande abondance d'une espèce déprédatrice dépend donc de divers paramètres qui interfèrent et rendent souvent très aléatoires et très scabreuses les prévisions d'infestation à longue échéance.

La présence d'adventices (« mauvaises herbes ») ou de repousses, en bordure des parcelles cultivées ou même dans une culture, peut constituer un réservoir d'infestation (virus, maladies fongiques, insectes, acariens, nématodes...).








2.3. Biologie et identification des insectes ravageurs

Les insectes appartiennent à l'embranchement des arthropodes caractérisé par des individus à corps segmenté. La classe des insectes est un ensemble remarquablement vaste. Les insectes comptent de nos jours +/- 800 000 espèces (il en existerait plusieurs millions), soit 80 % des espèces animales décrites actuellement. Ils occupent tous les milieux puisqu'ils s'adaptent aux conditions les plus difficiles. Leur prolificité est remarquable.



Les principaux ravageurs des cultures appartiennent à différents ordres et sous-ordres auxquels sont rattachées des familles (tableau ci-dessous).

Principaux ordres et familles de ravageurs

Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Dictyoptères	Insectes de grande taille, plats Épines sur le tibia Tête triangulaire Antennes filiformes Pièces buccales broyeuses et fortes Lucifuges	<i>Blattidae</i>	Blatte ou cafard 	Ravageurs des denrées stockées de toutes sortes
Orthoptères	Ailes pouvant être mises en toit Ailes postérieures pliées en éventail « Cuisses » postérieures renflées adaptées au saut Organes de stridulation Broyeurs	<i>Gryllotalpidae</i> <i>Gryllidae</i> <i>Acrididae</i>	Courtillière Criquet 	Pomme de terre, mil, maïs, sorgho et céréales diverses

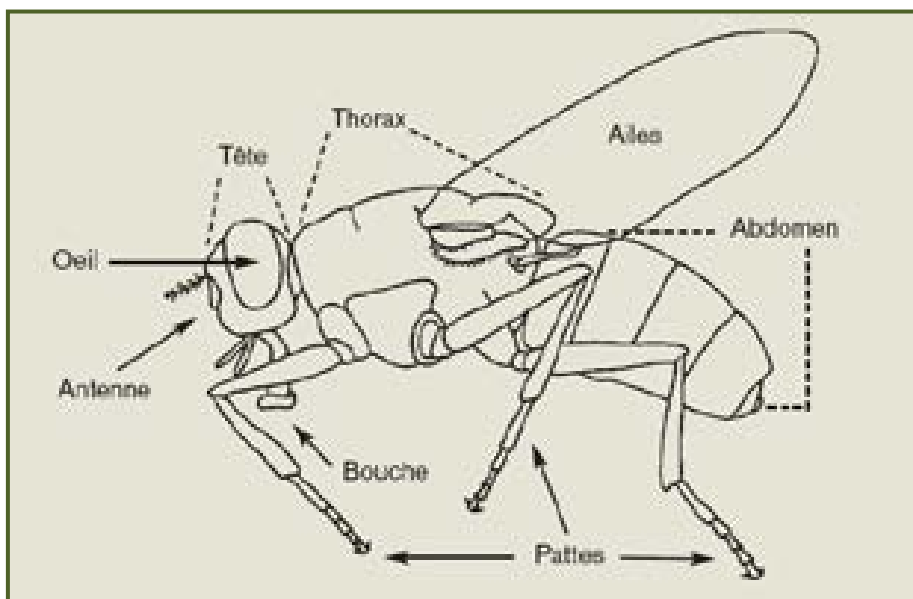
Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Homoptères	<p>Insectes de petite taille</p> <p>Pièces buccales longues (en stylet), suceuses</p> <p>Ailes membraneuses transparentes</p> <p>Larves et adultes polyphages (injection de salive corrosive, absorption de sève, transmission maladies virales)</p>	<p><i>Aphididae</i></p> <p><i>Aleyrodidae</i></p> <p><i>Jassidae</i></p>	<p>Puceron</p> <p>Mouche blanche</p> <p>Cicadelle</p> 	<p>Diakhatou, chou</p> <p>Tomate</p> <p>Aubergine, diakhatou, gombo</p>
Hétéroptères	<p>Insectes de taille moyenne</p> <p>Pièces buccales piqueuses-suceuses</p> <p>Ailes antérieures avec une partie chitineuse et une partie membraneuse</p>	<p><i>Pentatomidae</i></p> <p><i>Miridae</i></p> <p><i>Reduviidae</i></p> <p><i>Coreidae</i></p>	<p>Punaise</p> 	<p>Manioc, riz, banane, millet, sorgho</p>
Coléoptères	<p>Tête chitinisée avec 2 gros yeux</p> <p>Antennes à insertion latérale</p> <p>Ailes antérieures chitineuses, en étui sur les ailes postérieures membraneuses seules fonctionnelles</p> <p>Pièces buccales broyeuses</p> <p>Pattes marcheuses</p>	<p><i>Chrysomelidae</i></p> <p><i>Cantharidae</i></p> <p><i>Coccinellidae</i></p> <p><i>Cerambycidae</i></p> <p><i>Scolytidae</i></p> <p><i>Bruchidae</i></p> <p><i>Curculionidae</i></p>	<p>Chrysomèle</p> <p>Cantharide</p> <p>Coccinelle</p> <p>Longicorne</p> <p>Scolyte</p> <p>Bruche</p> <p>Charançon</p> 	<p>Tomate</p> <p>Cucurbitacées</p> <p>Arachide, pois</p> <p>Patate douce</p>



Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Lépidoptères	<p>Quatre ailes recouvertes d'écailles formant des dessins souvent colorés</p> <p>Trompes suceuses</p> <p>Nocturnes (antennes filiformes) et diurnes (antennes en forme de massue)</p> <p>Phytophages, mineuses des cultures</p>	<p><i>Tortricidae</i></p> <p><i>Pyralidae</i></p> <p><i>Noctuidae</i></p> <p><i>Pieridae</i></p> <p><i>Nymphalidae</i></p>	<p>Carpocapse</p> <p>Pyrale</p> <p>Noctuelle</p> <p>Vers gris</p> <p>Chenilles défoliatrices et légionnaires</p> 	<p>Pommier, abricotier</p> <p>Tomate, coton, melon</p> <p>Pomme de terre</p> <p>Coton</p> <p>Aubergine</p> <p>Poivron, piment</p>
Diptères	<p>Ordre vaste et varié</p> <p>Appareil buccal piqueur ou suceur</p> <p>1 seule paire d'ailes fonctionnelles</p> <p>Nervation alaire complexe</p>	<p>Nématocères (antennes courtes et annelées : <i>Cecidomyiidae</i>, <i>Agromyzidae</i>)</p>	<p>Cécidomyie</p> <p>Mouche du chou, de la carotte, de la mangue</p> <p>Mouches mineuses...</p> 	<p>Céréales</p> <p>Légumes</p> <p>Arbres fruitiers</p> <p>Agrumes</p>

Les insectes possèdent quelques caractéristiques bien spécifiques. Comme tous les arthropodes ou articulés, ils possèdent un **revêtement externe rigide** sous forme d'une série de segments plus ou moins modifiés. Ce tégument, constitué de plaques résistantes et articulées **à base de chitine**, est un squelette externe, une **protection contre les agressions de l'environnement**.

Le corps de l'adulte est divisé en trois parties bien distinctes : la **tête** qui porte les pièces buccales, les antennes et les yeux ; le **thorax** sur lequel sont **fixées trois paires de pattes** caractéristiques des insectes et les **ailes** ; l'**abdomen segmenté** et **sans pattes**. Leur taille peut varier de quelques millimètres à plusieurs centimètres de long.



Représentation schématique du corps d'un insecte

Au cours de leur cycle de développement, les insectes subissent des transformations plus ou moins importantes appelées métamorphoses dont les étapes successives sont : l'œuf, la larve, la nymphe, l'adulte (Figure ci-dessous).

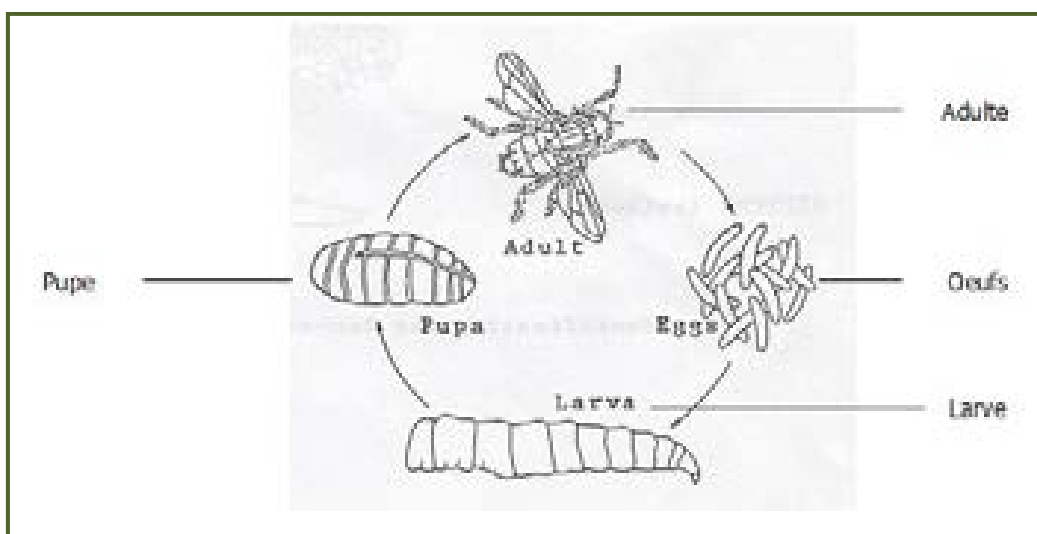
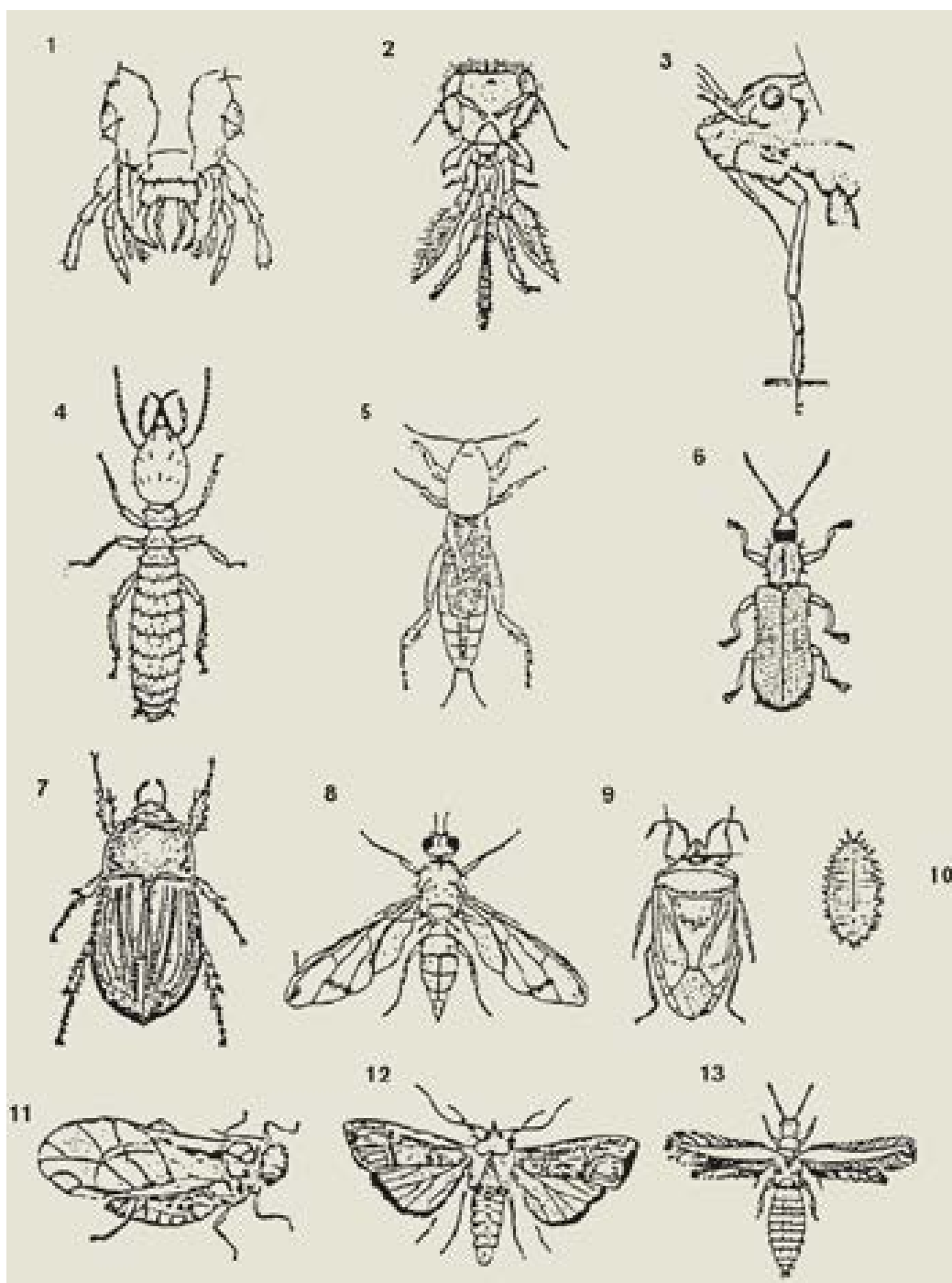


Illustration du cycle de vie d'un insecte

Les insectes peuvent provoquer des dégâts à différents stades, mais **les plus nuisibles sont généralement les stades larvaires** (chenilles qui rongent les feuilles, larves qui creusent des galeries dans la plante ou dans les fruits). Au stade adulte, les dégâts surviennent aussi par la transmission de maladies. C'est leur **mode d'alimentation** qui conditionne le dégât causé !





Pièces buccales et dessins de quelques insectes importants en agriculture (illustration des grands ordres d'insectes ravageurs).

- | | | |
|---|--|---------------------------|
| 1) Appareil buccal broyeur | 6) Coléoptère (<i>Chrysomelidae</i>) | 11) Homoptère (puceron) |
| 2) Appareil buccal lécheur-suceur | 7) Coléoptère (<i>Scarabeidae</i>) | 12) Lépidoptère |
| 3) Appareil buccal piqueur | 8) Diptère | 13) Thysanoptère (Thrips) |
| 4) Isoptère (termite) | 9) Hétéroptère | |
| 5) Orthoptère (<i>Gryllotalpidae</i>) | 10) Homoptère (cochenille) | |

Le mode de nutrition de l'insecte détermine l'aspect des dégâts (piqûres, morsures, coupures...), d'où l'importance en outre de connaître la systématique, les caractéristiques alimentaires et la biologie des insectes.

- Chez les insectes à **métamorphose complète** (coléoptère, diptère, lépidoptère), présentant *quatre stades bien distincts l'un de l'autre*, c'est plus souvent **le stade larve mobile** (chenille chez les lépidoptères, l'asticot chez les diptères) qui **provoque les dégâts** aux plantes cultivées, les adultes ne sont généralement pas nuisibles aux cultures sauf chez certains coléoptères.
- Chez les insectes à **métamorphose incomplète**, *la larve ressemble déjà fortement à l'adulte* sauf qu'elle est plus petite et ne possède pas d'ailes : **tous les stades sont mobiles et peuvent être nuisibles** aux cultures. C'est le cas des jassides, pucerons et mouches blanches (Homoptères), des sauterelles (orthoptères) et des thrips (thysanoptères). Il est possible d'identifier assez facilement les larves d'insectes de ces trois ordres principaux de ravageurs.

La **reconnaissance** des ravageurs et un **diagnostic** efficace se basent sur plusieurs éléments dont une surveillance des cultures et donc une observation de l'infestation directement au champ, des signes d'attaques sur les végétaux, et ce, à tous les stades.

Exemple de dégâts d'insectes :

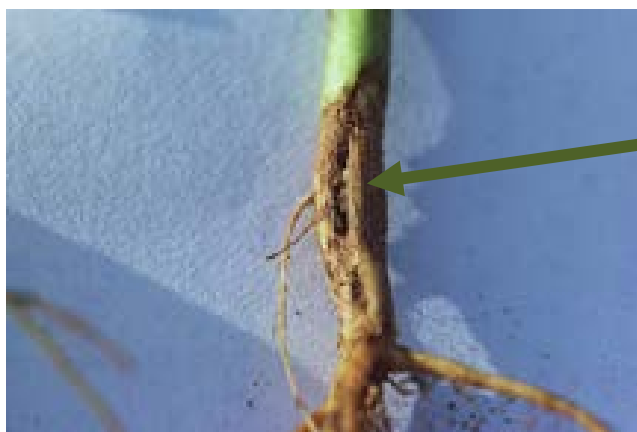


Dégâts de la mouche mineuse (galeries)



Colonies de pucerons qui envahissent les feuilles





Asticot de mouche
dans le collet d'une
tige de haricot

Identification des larves d'insectes

Ordre	Types de larves	Caractéristiques
LÉPIDOPTÈRE : « Chenille « typique »		4 paires de fausses pattes abdominales et 1 anale 3 paires de pattes thoraciques
	« Fausse arpeuteuse »	
COLÉOPTÈRE : « Larve »		Pas de pattes abdominales 3 paires de pattes thoraciques
DIPTÈRE : « Asticot »		Sans pattes (apode)

2.4. Les acariens

2.4.1. Caractéristiques des acariens



Les acariens **ne sont pas des insectes**, même s'ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes. Ils font partie de la classe des **arachnides**. Ils possèdent généralement **quatre paires de pattes** au lieu de trois chez les insectes. Ils sont très petits (0,20 à 1 mm de long) et souvent invisibles à l'œil nu. Ils ne possèdent **ni ailes, ni antennes** ; la tête, le thorax et l'abdomen sont fusionnés.

Leur reproduction est ordinairement sexuée : ovipare ou vivipare.

Ils possèdent un développement complexe passant parfois par 6 stades larvaires et 2 à 3 stades nymphaux ; leur développement est fortement favorisé par temps chaud et sec ; de fortes pluies réduisent rapidement leurs populations. Les **larves, nymphes et adultes sont mobiles** et se **nourrissent** en suçant le contenu cellulaire des organes attaqués entraînant des déformations, des décolorations, le brunissement des feuilles et l'affaiblissement généralisé de la plante (exemple de l'**acariose bronzée** de la tomate).

Les acariens intra-tissulaires ont souvent **une réelle importance économique**. Leur cycle est souvent compliqué et le potentiel de reproduction de ces ravageurs est très élevé en raison d'une grande fécondité.



Dégâts d'une attaque d'acariens





Dégâts d'une attaque d'acariens

C'est au sein de **trois familles d'acariens** que l'on retrouve les principaux ravageurs des cultures maraîchères :

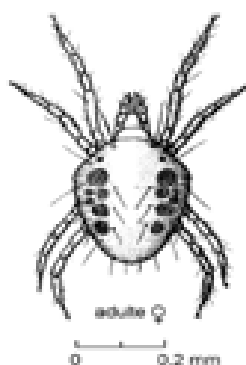
2.4.2. Les *Tétranychidae*

Ces acariens sont pourvus d'un corps ovale, convexe et sclérifié. Ils se déplacent assez rapidement à la surface des feuilles. Ils possèdent en outre 4 paires de pattes et se reproduisent sans interruption en climats chauds.

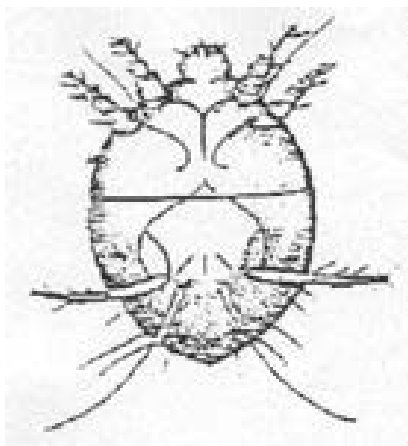
Les principales espèces rencontrées sur végétaux sont : *Eotetranychus telarius*, *Tetranychus urticae*, *Tetranychus neocaledonicus*, *Panonychus ulmi*, *Paratetranychus pilosus*.



Tetranychus urticae



2.4.3. Les Tarsonémidae



Les acariens de cette famille ont aussi un corps ovale et sont de plus petite taille et sont à peine visibles. Ils sont aussi pourvus de 4 paires de pattes.

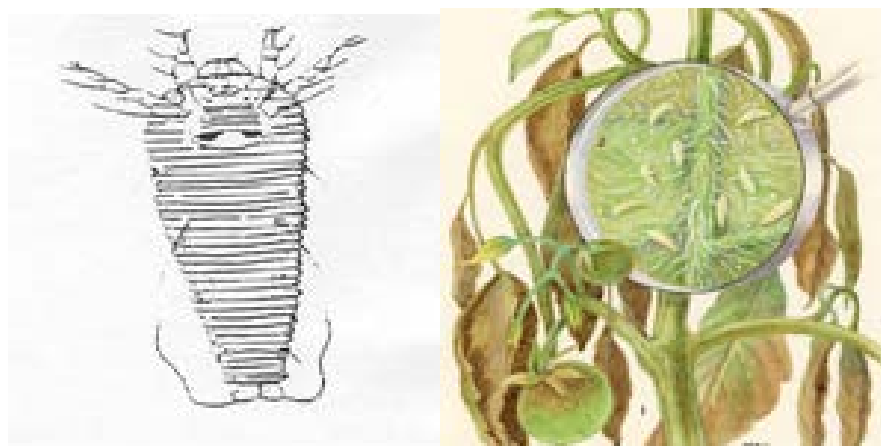
Les espèces fréquentes sont *Tarsonemus pallidus* et *Polyphagotarsonemus latus*.



Tarsonemus pallidus

2.4.4. Les Eryophyidae

Ils sont par contre pourvus d'un corps long, étroit et mou ; de 2 paires de pattes et sont aussi **invisibles à l'œil nu**.



Exemple : *Aculops lycopersici*, acariose bronzée sur tomate.



Parmi les espèces nuisibles aux cultures, on recense : *Eriophyes pyri*, *Eriophyes vitis*, *Eriophyes ribis*, *Eriophyes tiliae*. Les acariens des farines *Tyroglyphus farinae* font partie de ce groupe.



2.5. Les myriapodes

Les myriapodes ou **mille-pattes** sont des animaux invertébrés arthropodes dont le corps est composé de segments semblables ayant chacun une paire de pattes (chilopodes) ou deux paires (chilognathes ou diplopodes). Ils sont dépourvus d'ailes et possèdent une paire d'antennes. Les mâles sont plus rares que les femelles. Les phytophages se rencontrent dans **trois ordres** :

2.5.1. Les luidés



Ils sont allongés et s'enroulent en spirale ; le corps comprend plus de 30 segments. Ces ravageurs **détruisent les semences avant la levée** en dévorant l'amande par pénétration des téguments de la graine au niveau du hile. Ils peuvent blesser la plantule par leurs prélèvements de nourriture. Ces lésions peuvent donner lieu au développement de micro-organismes et entraînent la mort de la plantule.

Les diplopodes sont nombreux lorsque le précédent cultural est une jachère d'herbes à éléphant (*Pennisetum purpureum*), une culture d'arachide ou de riz pluvial.

2.5.2. Les polydesmidés



Le corps comprend 20 anneaux. L'espèce nuisible *Polydesmus angustus* **attaque les plantules** de haricot, carotte, oignon...

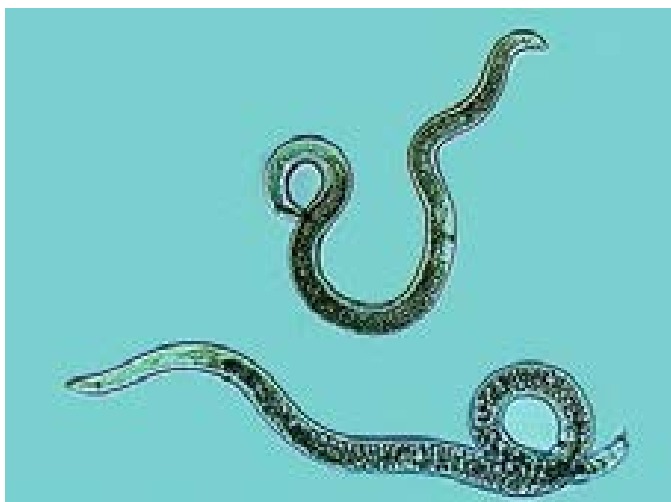
Éviter de semer du blé après maïs, sorgho dans les terrains humides.

2.5.3. Les symphyles

Ce sont des myriapodes possédant 12 paires de pattes. L'espèce *Scutigera immaculata* est très nuisible en **dévorant les graines** de maïs, haricot, fève, pois, concombre. Éviter d'utiliser des fumiers pailleux qui favorisent la pullulation du ravageur.



2.6. Les nématodes phytoparasites



Les nématodes sont des **vers microscopiques** normalement cylindriques et allongés (*nêma* en grec = fil), sans tête bien définie, à symétrie bilatérale et enfermés dans une cuticule assez résistante ornementée ou annelée.

Cette **annélation est tout à fait superficielle** et ne correspond à aucune division interne de l'organisme, contrairement à d'autres vers (annélidés).

La taille des nématodes est très variable : l'ascaris du cheval peut atteindre 30 cm, certaines espèces atteignent le mètre, mais ce n'est pas le cas des espèces de nématodes phytophages, dont le diamètre varie entre 10 et 40 microns et la taille oscille entre 200 microns et 1 cm.

Les tailles et diamètres varient fortement en fonction du stade (larve ou adulte) ou du sexe de l'animal. Ces animaux sont donc petits et difficiles à mettre en évidence sans observations précises (rarement visibles à l'œil nu, ils nécessitent des techniques de mise en évidence particulières).

On peut considérer que **leur corps est constitué de trois tubes emboîtés** l'un dans l'autre : un fourreau externe ou cuticule, un tube digestif et les organes reproducteurs.

Le **premier tube** est un fourreau externe comprenant la cuticule externe, l'épiderme et le système musculaire (4 faisceaux musculaires longitudinaux). On distingue encore à la tête de l'animal, la capsule céphalique où la cuticule est plus épaisse ; la tête est aplatie, plus ou moins tronquée ou un peu allongée. On peut parler chez les nématodes de squelette hydrostatique ; il y a à l'intérieur du corps une haute pression qui maintient le corps en turgescence. La cuticule doit donc être suffisamment épaisse et inélastique pour résister à cette pression interne.

Le **second tube** est constitué essentiellement par le tube digestif ; l'appareil digestif est simple et constitué des organes suivants : bouche, souvent entourée de soies sensorielles ou papilles et organes chimio-récepteurs (les amphides). Après la bouche vient la cavité buccale avec le stylet plus ou moins long, l'œsophage avec les trois glandes périœsophagiennes, le bulbe médian. Enfin vient l'intestin terminé par le rectum et l'anus.

À côté du tube digestif, le **troisième tube** ou cavité générale du corps renferme les gonades (appareil reproducteur). Les femelles ont de 1 à 2 « ovaires » ; le vagin est situé

soit à mi-longueur du corps (en position ventrale), soit à la partie terminale du corps (la position de la vulve est un caractère de reconnaissance des genres). Le système nerveux est rudimentaire ; un anneau nerveux entoure l'œsophage d'où partent les nerfs qui cheminent dans l'épiderme. Il n'y a pas d'appareil circulatoire.

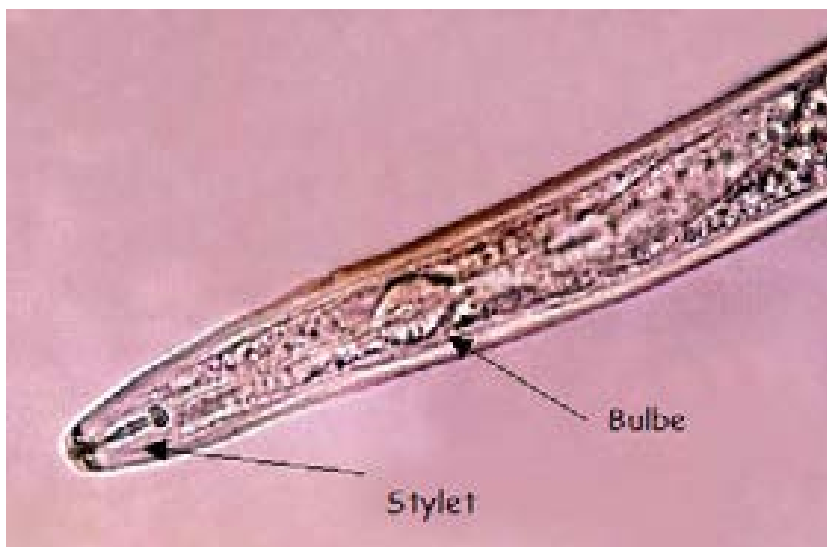
Le cycle évolutif de tous les nématodes phytophages comprend **cinq stades distincts** : quatre stades larvaires terminés par une mue (L1, L2, L3 et L4) et un stade adulte. C'est entre le stade L4 et le stade adulte qu'apparaissent les organes sexuels (ovaires et spicules). À l'exception des nématodes sédentaires, chez les autres espèces, les larves se distinguent surtout par leurs tailles respectives ; mais, hormis les organes sexuels, elles possèdent tous les autres caractères des nématodes adultes, ce qui permet au spécialiste de les identifier.

La systématique des nématodes est récente donc instable et constamment remise en question. Les phytoparasites sont limités à 15 familles contenant 111 genres. Les nématodes forment une classe parmi les némathelminthes.

La classe des nématodes est divisée en deux sous-classes :

- La sous-classe des **Phasmidia** contient l'ordre qui nous intéresse : les *Tylenchida*. Cet ordre contient des nématodes à évolution plus poussée que celui des *Rhabditida*, dont les représentants sont saprophytes, bactériophages, mycophages, phytophages.
Exemples :
 - *Tylenchus* : parasite de champignon
 - *Anguina* : parasite des organes aériens
 - *Ditylenchus* : parasites des parties aériennes des plantes et des bulbes
 - *Belonolaimus* : ectoparasites migrants de racines)
 - *Scutellonema*
 - *Helicotylenchus*
 - *Rotylenchus*
 - *Pratylenchus* (*P. vulnus*, *penetrans*, *thornei*, *neglectus*...)
 - *Radopholus* (*R. similis*)
 - *Globodera* (*G. rostochiensis*, *punctata*, *pallida*)
 - *Heterodera* (*H. schachtii*, *avenae*, *carottae*...) : femelles formant des kystes
 - *Meloidogyne* (*M. arenaria*, *javanica*, *hapla*, *incognita*, *javanica*, etc.) : femelles formant des galles
- La sous-classe des **Adenophorea** (= **Aphasmidia**) contient en particulier l'ordre des *Dorylaimida* dont les représentants n'ont pas de phasmides (organe sensoriel) et sont (les seuls nématodes) **vecteurs de viroses** :
 - Longidoridés : *Xiphinema* et *Longidorus*
 - Trichodoridés : *Trichodorus* et *Paratrichodorus*

Le nématode, guidé par ses amphides (chimio-récepteurs), approche de la racine et perce avec son stylet une cellule de celle-ci. Il y injecte les sécrétions de la glande œsophagienne : celles-ci lysent le contenu (le « digèrent »), qui est alors aspiré par le lumen du stylet vers l'intestin au travers du bulbe médian (qui sert de pompe aspirante-refoulante). C'est le mode d'alimentation de tous les nématodes migrants.



Extrémité antérieure d'un nématode phytoparasite : la présence d'un stylet est caractéristique.

Les sécrétions du nématode peuvent aussi conduire à la formation de structures nourricières particulières (cas des nématodes sédentaires – ex. : *Heterodera* ou *Globodera*), voire de galles sur les racines (ex. : *Meloidogyne*).

Il est rare de pouvoir relier un symptôme particulier à une maladie vermiculaire. Le diagnostic précis – par extraction et identification – est toujours obligatoire.

Une analyse de sol s'impose pour identifier et compter le nombre de nématodes par gramme de sol (**déterminer si le seuil d'infestation est atteint**).

Dans le cas des nématodes à galles (*Meloidogyne*), un comptage sur les racines du **nombre de galles** (et éventuellement des masses d'œufs) suffit.

Dans le cas des nématodes à kystes (*Heterodera* ou *Globodera*), un comptage du **nombre de kystes** présents dans le sol ne suffit, pas car une partie des kystes peuvent être vides. En cas d'infestation ancienne de la parcelle, le nombre de larves qui pourront réellement infester les plantes sera inférieur à celui estimé par un comptage des kystes (surestimation du risque).

Du point de vue de leur comportement vis-à-vis des plantes, les nématodes peuvent être séparés en **deux catégories** d'importance inégale :

- d'une part, ceux qui ont tout leur cycle dans le sol et ne s'attaquent qu'aux racines. Ce sont les plus nombreux ;
- d'autre part, ceux qui s'attaquent aux parties aériennes des plantes : bulbes, tiges et parfois feuilles.

- Les **nématodes des racines** : il existe des parasites externes qui ne pénètrent jamais à l'intérieur des racines, mais se contentent de les piquer avec leur stylet (ectoparasites migrants ou sédentaires) et des parasites internes qui creusent dans le cortex des racines des cavités en détruisant les cellules et en se nourrissant de leur contenu et qui ont leur cycle en tout ou en partie qui se fait dans les tissus végétaux ; ils sont migrants (si tous les stades – larves et adultes – restent en général vermiformes) ou sédentaires (si les femelles se renflent et restent fixées à un endroit où elles se nourrissent) : ce sont les endoparasites sédentaires. Chez ces nématodes, la pénétration de la plante a lieu pendant les premiers stades de développement (habituellement au deuxième stade larvaire ou J2). Les larves s'enfoncent dans le parenchyme et s'établissent sur un site nourricier en induisant la formation chez l'hôte de cellules transformées, plus grandes et polynucléées, et qui servent à fournir au nématode les éléments nutritifs nécessaires (« cellules géantes » du syncytium). Après la dernière mue, la femelle grossit de plus en plus, ce qui la rend immobile ; elle se transforme en kyste (**nématodes à kystes**, *Globodera* ou *Heterodera*) ou provoque la formation de galles sur les racines (**nématodes à galles**, *Meloidogyne*). Le kyste peut survivre longtemps dans le sol, même en absence de plantes-hôtes. D'autre part, même lors de conditions favorables, une fraction des kystes (de 10 à 40 %) n'éclosent pas, ce qui maintient un potentiel d'infestation dans le sol.



Racine infestée de
« galles »
(*Meloidogyne* spp.)

- Les **nématodes des parties aériennes** : certaines espèces de nématodes phytophages sont capables de migrer hors du sol et de s'attaquer aux parties aériennes des plantes. Ils se déplacent à la surface des tiges et des feuilles dans la pellicule d'eau qui les recouvre lors d'une pluie ou d'une rosée. Quand cette pellicule d'eau disparaît, ils passent à l'état de vie ralentie (anabiose) et ne reprennent leur activité que quand elle se reconstitue. On peut notamment citer :
- le nématode des tiges et des bulbes (*Ditylenchus dipsaci*)
 - les nématodes des feuilles (*Aphelenchoides* spp. et *Anguina tritici*, agent de la « nielle » du blé, *Aphelenchoides besseyi* sur riz).

À la suite des attaques, généralement on ne voit que **des zones où la végétation est moins dense, les plantes plus petites, réparties en taches d'inégale importance**. Souvent **les plantes infestées flétrissent au soleil**, car l'absorption d'eau est freinée par l'altération du système racinaire. Au niveau du système racinaire, les dégâts vont des nécroses superficielles, dues aux piqûres de nématodes ectoparasites, à la déformation complète de la racine par production de galles sous l'action des endoparasites (exemple : les divers *Meloidogyne*). L'absorption d'eau est très souvent gênée. L'assimilation du potassium est diminuée, parfois celle du sodium également.



Dégâts de *Radopholus similis* : chute de plants infectés après un coup de vent, commune d'Ajoupa Bouillon, Martinique (Photo IRD - Patrick Quenehervé).

Des interactions entre les nématodes et les organismes pathogènes existent : effet synergique entre virus et nématodes ; action de *Globodera rostochiensis* aggravée par la présence de *Rhizoctonia solani* ou *Verticillium dahliae*, etc. Des variétés de tomate résistantes à *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* devenaient sensibles à l'égard de ce pathogène en présence de *Meloidogyne incognita*. Les *Meloidogyne* semblent briser la résistance en provoquant chez la plante de profonds changements dans la physiologie : ceux-ci la prédisposeraient aux attaques de *Fusarium*.

2.7. Les rongeurs et les oiseaux nuisibles



Il s'agit essentiellement de quelques mammifères et espèces d'oiseaux. Parmi les mammifères nuisibles, il faut distinguer les occasionnels (cervidés, sangliers, éléphants, lapins) et ceux contre lesquels il convient de lutter pour protéger les cultures ou les récoltes (**rongeurs** : campagnols, mulots, rats).

Les oiseaux peuvent devenir dangereux par leur nombre et justifient la mise en œuvre de moyens de protection des cultures.

2.7.1. Les rongeurs

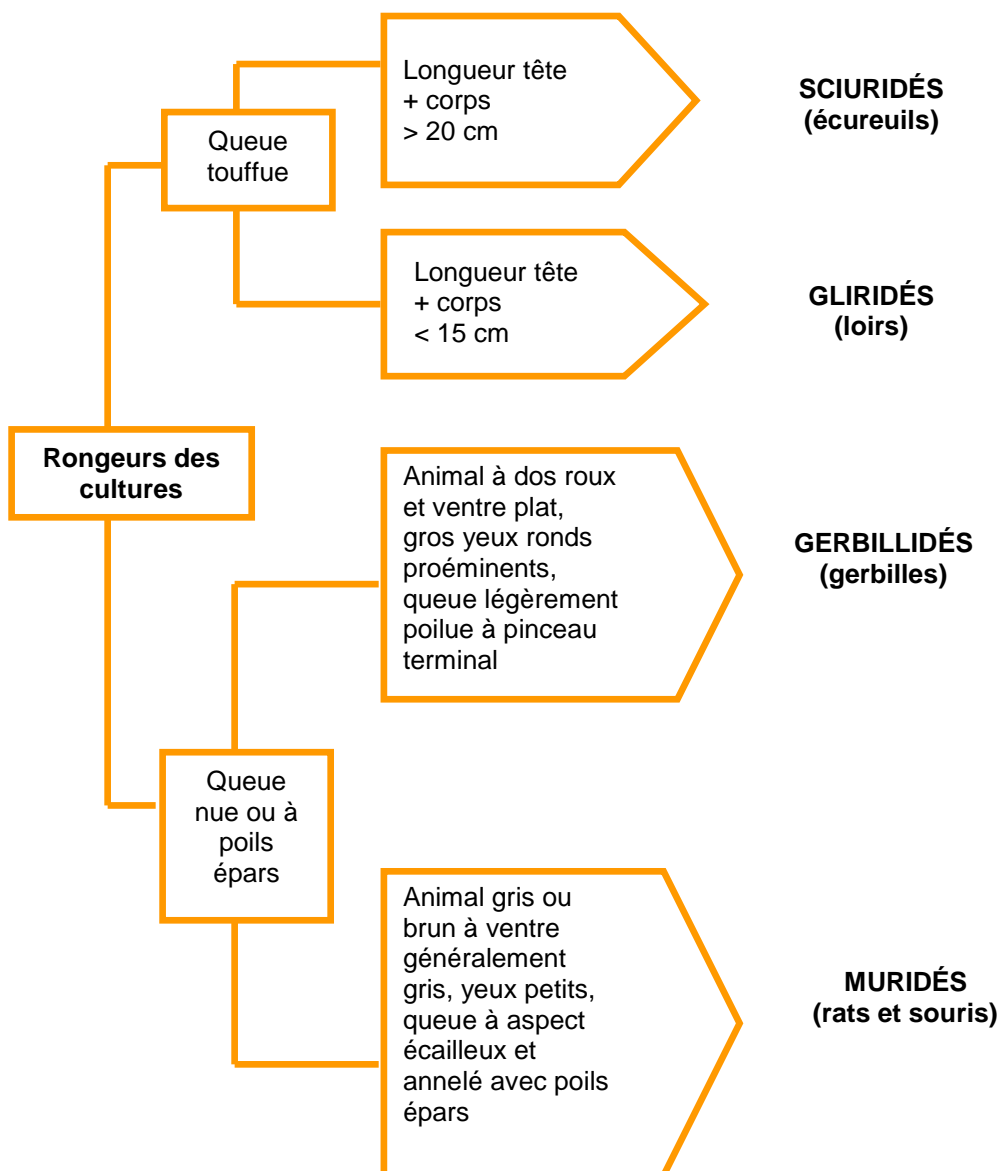
Dans les zones intertropicales, l'immense variété des rongeurs amplifie le danger potentiel qu'ils font peser sur les récoltes. Beaucoup de rongeurs consomment la même nourriture que l'homme et représentent donc pour celui-ci des concurrents directs. Partout, les cultures subissent les prélèvements des rongeurs et les pertes peuvent être importantes ; les dégâts sont ponctuels dans l'espace et le temps, ou bien généralisés. Il faut rappeler que certains rongeurs peuvent être vecteurs de maladies importantes pour l'homme.

Il est **essentiel d'identifier les rongeurs** responsables des dégâts agricoles, car la connaissance des caractéristiques de chaque espèce permet de conduire une lutte rationnelle (animaux diurnes, nocturnes, granivores, herbivores, terricoles, arboricoles...).

Il est également nécessaire de **connaître les périodes de reproduction** de ces petits mammifères et le cycle d'abondance afin de pouvoir intervenir avec le maximum d'efficacité en évitant tout gaspillage. C'est pourquoi la connaissance d'un minimum de systématique et de biologie de ces petits mammifères est indispensable à qui veut mener une lutte sur le terrain.

L'ordre des rongeurs comprend plus de 1 700 espèces de mammifères parmi les 4 200 connues, soit 40 % des espèces de cette classe. Les rongeurs les plus communs et les plus abondants sur le continent africain appartiennent à 3 familles : les **sciuridés**, les **gerbillidés** et les **muridés**.





Les sciuridés (les écureuils) sont strictement terrestres et fousseurs comme le « rat palmiste », *Xerus erythropus* et d'autres arboricoles comme l'écureuil de Gambie, *Heliosciurus gambianus*.

Les gerbillidés sont particulièrement présents dans les savanes soudano-sahéliennes ainsi que dans les déserts. Leur pelage est clair, leurs yeux relativement volumineux et les pattes sont allongées. Les principaux genres représentés en Afrique de l'Ouest sont *Gerbillus*, *Taterillus* et *Tatera*.



Le Gerbillus

Les muridés regroupent les « rats » et les « souris » ; certains « rats » sont cosmopolites comme *Rattus norvegicus*, le surmulot et le *Rattus rattus*.



Rattus norvegicus



Rattus rattus



Les problèmes posés par les rongeurs dans les cultures sont essentiellement dus au comportement alimentaire de ceux-ci. Les dégâts peuvent revêtir divers aspects aussi bien **quantitatifs** que **qualitatifs**, certains rongeurs portant leur choix sur un organe particulier d'une plante cultivée ; d'autres espèces par contre, ne se manifestent qu'après l'apparition d'un stade végétatif bien déterminé : ainsi, les tomates ne sont consommées qu'après maturation. La plupart des cultures tropicales peuvent être attaquées, mais les dégâts économiquement importants concernent les céréales, les palmiers, la canne à sucre, les cultures maraîchères nouvellement implantées : tomates, poivrons, melons...

Les principales méthodes de lutte conseillent de détruire les rongeurs lors du minimum annuel de densité. Dans les régions tropicales à saison des pluies unique, la période la plus favorable se situe en fin de saisons des pluies, au début de la campagne agricole. Dans les régions à double saison des pluies, la reproduction des rongeurs est continue. Le traitement préventif est rarement entrepris en région sèche pour des raisons matérielles et psychologiques, l'agriculteur attendant pour agir l'apparition des premiers dégâts deux ou trois mois plus tard.

Le traitement curatif est le plus souvent effectué avec des rodenticides sur appâts (grain de céréales, support artificiel...) qui agissent sur l'hémophilie de ces petits mammifères. Il existe aussi des gaz asphyxiants pour les rongeurs dans leurs terriers.

Une lutte indirecte est possible en modifiant l'environnement par l'entretien des cultures, par la destruction de tout adventice et de tout abri potentiel pour rongeur, en empêchant la reconstitution de milieux favorables à ces animaux en périphérie des champs : nettoyage des digues et diguettes en permanence. Il est aussi conseillé de respecter le calendrier cultural afin d'éviter la conjonction d'un stade végétatif sensible avec de hautes densités de rongeurs. Enfin, il faut protéger les champs à l'aide de barrières anti-rats métalliques et électrifiées, en plastique souple ou en grillage et aussi entretenir la faune des prédateurs (oiseaux de proies diurnes, nocturnes tels que les chouettes, les échassiers tels que les hérons, les aigrettes et garde-bœufs).

2.7.2. Les oiseaux

Dans beaucoup de zones tropicales du globe, les oiseaux (surtout les granivores) occasionnent des pertes parfois considérables aux céréales ainsi qu'aux fruits et légumes. L'importance de ces déprédations et l'identité des responsables sont encore souvent mal connues.

Relativement peu de familles d'oiseaux comprennent des ravageurs, mais des familles telles que les **sturnidés** (étourneaux) ou les **plocéidés** (tisserins) ravagent presque toutes les cultures céréalières et les cultures maraîchères (tomates, pois, haricot...). Ces cultures (fleurs, fruits) sont attaquées par des étourneaux et des moineaux souvent en raison de l'attraction causée par l'eau d'irrigation.

Les principales espèces ravageuses sont le travailleur à bec rouge *Quelea quelea*, le gendarme *Ploceus cucullatus*, le moineau doré *Passer luteus* et le travailleur à tête rouge *Quelea erythrops*



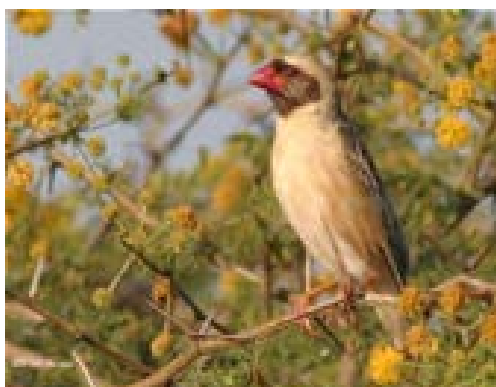
Ploceus cucullatus



Quelea erythrocephala



Passer luteus



Quelea quelea ou travailleur à bec rouge

La lutte contre les oiseaux a toujours existé. La lutte traditionnelle est caractérisée par la coupe d'arbres portant les nids de *Quelea* afin de protéger préventivement les récoltes contre l'attaque des jeunes oiseaux. Le gardiennage des champs par les enfants qui lancent des projectiles sur les oiseaux ou qui les effraient à l'aide d'objets bruyants est aussi utilisé. L'usage de protections physiques telles que les filets ou des barrières en fibres est préconisé. La propreté des champs, l'absence de perchoirs à proximité des champs ou à l'intérieur de ceux-ci diminuent l'attaque des oiseaux. L'usage de répulsifs auditifs ou visuels et le piégeage restent le meilleur moyen de protection.

Sans vouloir ignorer que des dégâts ponctuels et/ou saisonniers importants peuvent être causés par les oiseaux, **il convient aussi de rappeler le rôle essentiel joué par les oiseaux comme auxiliaires des cultures !**

Les oiseaux consomment des quantités considérables d'insectes ravageurs, les rapaces limitent les populations de certains rongeurs...

Protéger leur habitat est donc souvent bénéfique pour le producteur.



Chapitre 3

Développement et identification des maladies des plantes

Introduction	42
Les maladies dues aux agents pathogènes.....	46
Les champignons phytopathogènes.....	48
Les procaryotes (bactéries et molliculites) phytopathogènes.....	61
Les virus et viroïdes phytopathogènes.....	65



3.1. Introduction



Un important facteur de réduction de la production : les maladies qui détruisent les tissus nécessaires à la photosynthèse des plantes !

La maladie est une **anomalie dans la structure** ou **la fonction** d'une plante causée par un facteur irritant continu (agent causal ou **agent pathogène**). Il s'agit d'un processus qui ne se présente donc pas instantanément comme c'est le cas pour une lésion.

Les maladies peuvent être divisées en deux principaux groupes : **infectieuses** (ou biotiques) et **non infectieuses** (ou abiotiques).

3.1.1. Les maladies infectieuses (biotiques)

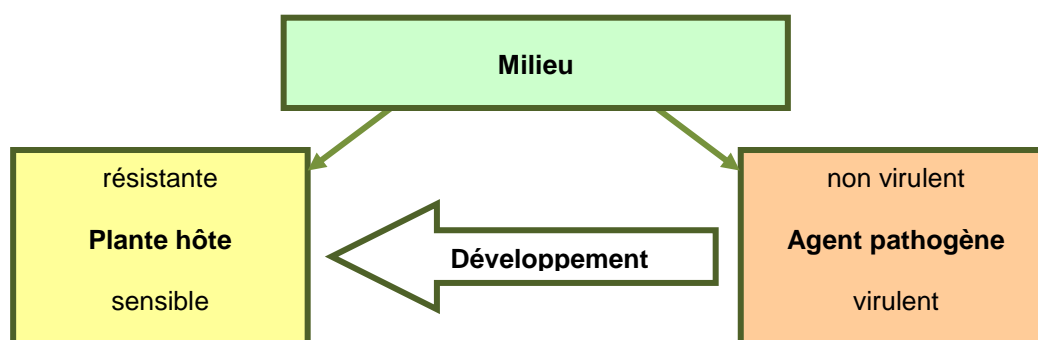
Les maladies infectieuses sont causées par des micro-organismes (**champignons, bactéries, virus, mycoplasmes** et rickettsies) qui peuvent être transmises par divers vecteurs (vent, eau, contacts entre végétaux, nématodes, insectes, etc.) à d'autres plantes saines, ou être présents dans le sol, provoquant ainsi la maladie chez les nouveaux **hôtes sensibles**. Un germe pathogène est donc un organisme vivant, éventuellement virulent c'est-à-dire qui peut provoquer une maladie chez la plante.

Les maladies infectieuses des plantes ne se développent que si les **3 conditions** suivantes sont remplies :

- la plante hôte doit être **sensible** (et/ou « sensibilisée »),
- l'agent pathogène doit être **virulent** et capable d'attaquer la plante,
- l'**environnement** doit favoriser le développement de la maladie (c'est-à-dire favoriser la sensibilité et la virulence).



Conditions influençant le développement des maladies



❑ Sensibilité (ou résistance) des plantes

La sensibilité d'une plante dépend de 2 paramètres :

- les **conditions (l'état) des cellules et des tissus** des plantes avant l'infection : les facteurs de **résistance passive** comprennent la résistance des parois cellulaires (et des cuticules) qui peuvent rendre difficile ou impossible la pénétration du pathogène depuis l'extérieur et sa propagation à l'intérieur des tissus. La viabilité d'un agent pathogène dépend également de l'activité métabolique des cellules. La résistance passive peut être renforcée par une amélioration des méthodes culturales.
- **la faculté des cellules de réagir** d'une manière particulière à un agent pathogène : la **résistance active** se manifeste seulement à partir du moment où l'infection commence. Deux types sont bien connus et apparemment très répandus dans la nature :
 - la **réaction d'hypersensibilité d'une plante** à l'infection, qui aboutit à une nécrose rapide, à une isolation des cellules atteintes, et à un rejet du foyer d'infection. En sélectionnant une variété particulière de plante pour favoriser l'hypersensibilité, il faut prendre en considération les facteurs de rendement, de qualité de la culture, etc. (ex. : la résistance aux attaques de *Fusarium*, mais également de nématodes).
 - la **résistance induite**, autre forme de réponse à l'infection de la part de la plante, avec la production de phytoalexines qui possèdent une activité fongistatique ou fongicide (ces phytoalexines, qui s'accumulent dans les tissus peuvent être toxiques pour le consommateur).

❑ Virulence de l'agent pathogène

Le plus important facteur de la virulence d'un agent pathogène est **sa faculté de produire des enzymes et des toxines**, et de les transmettre à la plante. Selon le type de maladie, l'infection peut avoir lieu :

- soit à travers la cuticule intacte,
- soit par pénétration mécanique,
- soit par des blessures,
- soit par les orifices naturels existants à la surface de la plante : stomates de l'épiderme, lenticelles du suber (liège), hydátodes (stomates aquifères) du bord de la feuille.

❑ L'influence du milieu

Les facteurs du milieu environnant (température, lumière, éléments nutritifs – et spécialement l'azote disponible dans le sol –, densité, port des plantes, etc.) influencent largement à la fois la **sensibilité de la plante** et la **virulence de l'agent pathogène**. Aucun de ces facteurs n'influence toutes les plantes de la même manière. C'est pourquoi il est important de se familiariser avec ces effets d'environnement favorables au développement d'une maladie spécifique considérée comme importante dans la région considérée.

3.1.2. Les maladies non infectieuses (abiotiques)

Les **maladies non infectieuses** sont provoquées par une diversité de facteurs d'environnement défavorables, nutritionnels, mécaniques ou autres (ex. : tassement du sol, pollution de l'air, arrière-effet d'herbicide, fumure inadaptée, carences nutritionnelles, excès d'engrais, irrigation inadaptée – ex. : pourriture apicale sur tomates –, coups de soleil – fréquents sur le melon, par exemple –, etc.), et ne peuvent être transmises à des plantes saines.



*Pourriture apicale
(ou Blossom end rot) de la
tomate.
Cette affection est causée
par une irrigation déficitaire
et irrégulière qui perturbe
l'assimilation du calcium.*

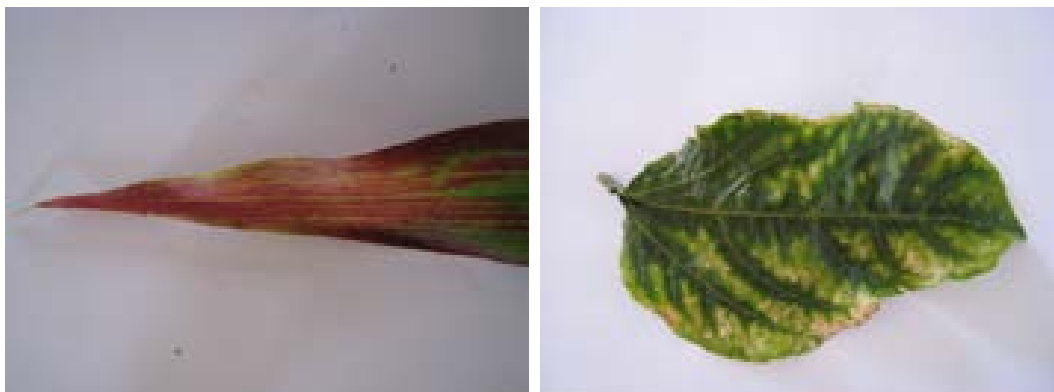
Parmi les maladies non infectieuses qui nuisent au développement des plantes et à la production, en affectant la qualité des produits, les **carences en éléments nutritifs** majeurs (N, P, K, Ca, Mg) ou mineurs (les « oligoéléments ») jouent un grand rôle.

Exemples de carences sur haricot :

Les carences en phosphore se manifestent par des colorations vert foncé du limbe, un port érigé et le brunissement des feuilles âgées suivies de leur chute.

Les carences en potassium provoquent des colorations vert foncé et des décolorations inter-nervures, le bas des feuilles s'enroulant vers le bas



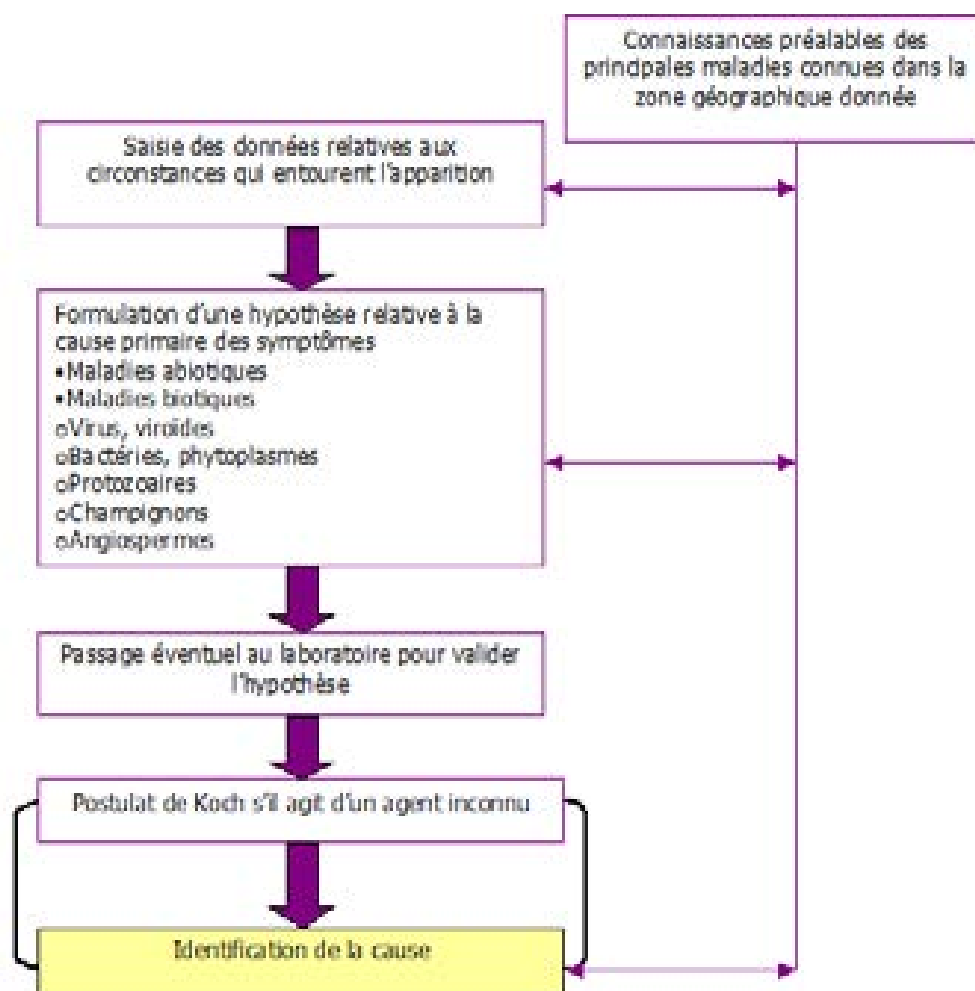


Exemples de manifestations de carence

Certains éléments présents dans le sol peuvent s'avérer carrément toxiques pour les cultures (ex. : les chlorures dans le cas du haricot vert). La bonne santé des plantes et la production sont donc dépendantes d'une **fertilisation adaptée** à la culture, apportée au bon moment (un fractionnement des apports est souvent souhaitable) et sous une forme adéquate (nature chimique de l'engrais, solubilité, etc.) (ex. : éviter les engrais contenant du KCl sur haricot).

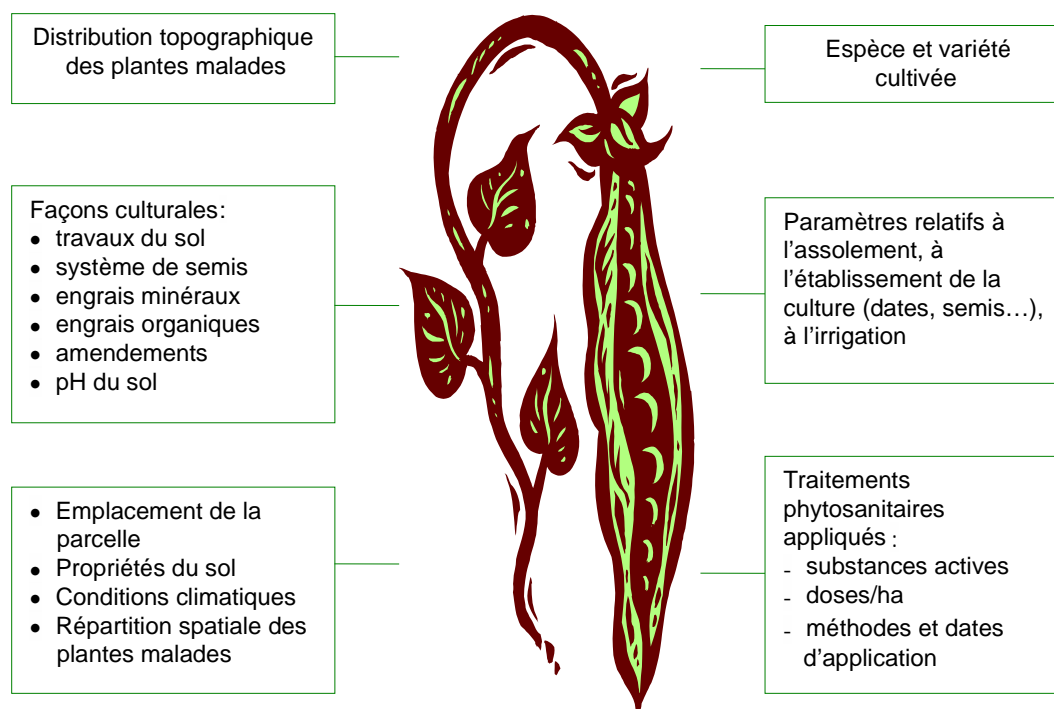
3.2. Les maladies dues aux agents pathogènes

Bien qu'on mette en œuvre un arsenal de lutte considérable, les maladies des plantes dues aux champignons, bactéries et virus constituent toujours une cause de perte importante. Dans les pays industrialisés, celles-ci **s'élèvent à près de 40 %** et concernent toutes les étapes de la chaîne alimentaire depuis la production jusqu'à la transformation industrielle et la commercialisation. Leur niveau est bien plus élevé encore (plus de 50 %) dans les pays ACP, qui payent le plus lourd tribut à ce gaspillage de ressources alimentaires. D'où la nécessité de connaître l'épidémiologie, la biologie des différents agents pathogènes afin de pouvoir **poser un diagnostic** le plus précis sur base des symptômes observés en champ ou en laboratoire.



Principales étapes du diagnostic d'un agent phytopathogène
(Source : P. Lepoivre, *Phytopathologie*, 2003)

Les deux figures reprennent respectivement les principales étapes du diagnostic d'un agent phytopathogène, ainsi que l'ensemble des éléments à analyser lors du diagnostic d'une maladie.



*Ensemble des éléments à analyser lors du diagnostic d'une maladie
(Source : P. Lepoivre, Phytopathologie, 2003)*

3.3. Les champignons phytopathogènes

3.3.1. Caractères généraux des champignons

Les champignons forment un **groupe très hétérogène** dont la caractéristique essentielle commune est la nutrition hétérotrophe par absorption, celle-ci pouvant prendre la forme du saprophytisme, du parasitisme ou de la symbiose.

Les champignons, uni- ou pluri-cellulaires, sont réunis au sein du règne des *Fungi*, qui comprend d'une part quatre phylums (les *Chytridiomycota*, les *Zygomycota*, les *Ascomycota* et les *Basidiomycota*), et d'autre part, le groupe des **deutéromycètes** (champignons sans reproduction sexuée). Le nombre d'espèces fongiques est estimé à 1,5 million, dont environ 100.000 sont décrites. Parmi ces espèces connues, **plus de 10 000 sont responsables de maladies chez les végétaux.**



L'appareil végétatif est appelé **thalle** qui peut être unicellulaire (levures) ou filamenteux. L'ensemble des filaments ou **hyphes** forme le **mycélium**.

Le thalle filamenteux peut différencier différents organes : les **appressoria** ou organes de fixation et de pénétration en forme de ventouse, les **suçoirs** se formant dans la cellule de la plante qui assurent le prélèvement des substances nutritives et l'échange de molécules diverses et **les boucles** qui capturent les proies (champignons prédateurs de nématodes).

La plupart des champignons possèdent **deux modes de reproduction** : la reproduction **asexuée** (ou végétative) et la reproduction **sexuée** (ou parfaite).

- *Les spores sexuées* assurent fréquemment la conservation des champignons pathogènes pendant la période d'arrêt de la végétation en saison froide ou sèche et constituent les sources d'inoculum (infection) primaire assurant la récurrence de l'épidémie.
- *La reproduction asexuée* est rapide et répétitive ; elle permet de produire un grand nombre de spores assurant l'extension secondaire des maladies lors du développement explosif des épidémies dans les cultures en végétation active (voir tableau).

Caractéristiques des formes de reproduction sexuée et asexuée en relation avec la conservation et la dissémination des champignons (Source : P. Lepoivre, *Phytopathologie*, 2003) :

Dispersion spores d'origine asexuée	↔	Survie spores d'origine sexuée
<ul style="list-style-type: none"> • Formes des spores très variables (véhiculants) • Produites en très grand nombre • Petite taille • Sans substance de réserve • Sans dormance 		<ul style="list-style-type: none"> • Nombre limité de formes • Produites en petit nombre • Grande taille • Avec substance de réserve • Dormance

3.3.2. Caractéristiques taxonomiques des champignons et principales maladies fongiques (selon Lepoivre, 2003)

Il existe différents systèmes de classification, dont une **basée sur les caractères morphologiques**, qui permettent d'aller jusqu'à l'espèce et la forme spécialisée (« f.sp. ») (Celle qui montre une spécificité parasitaire du champignon vis-à-vis d'une espèce hôte particulière : par exemple *Fusarium oxysporum* f.sp. *Lycopersici*, fusariose pathogène pour la tomate). Il existe aussi des classifications moléculaires basées sur **l'analyse du génome** des agents pathogènes.

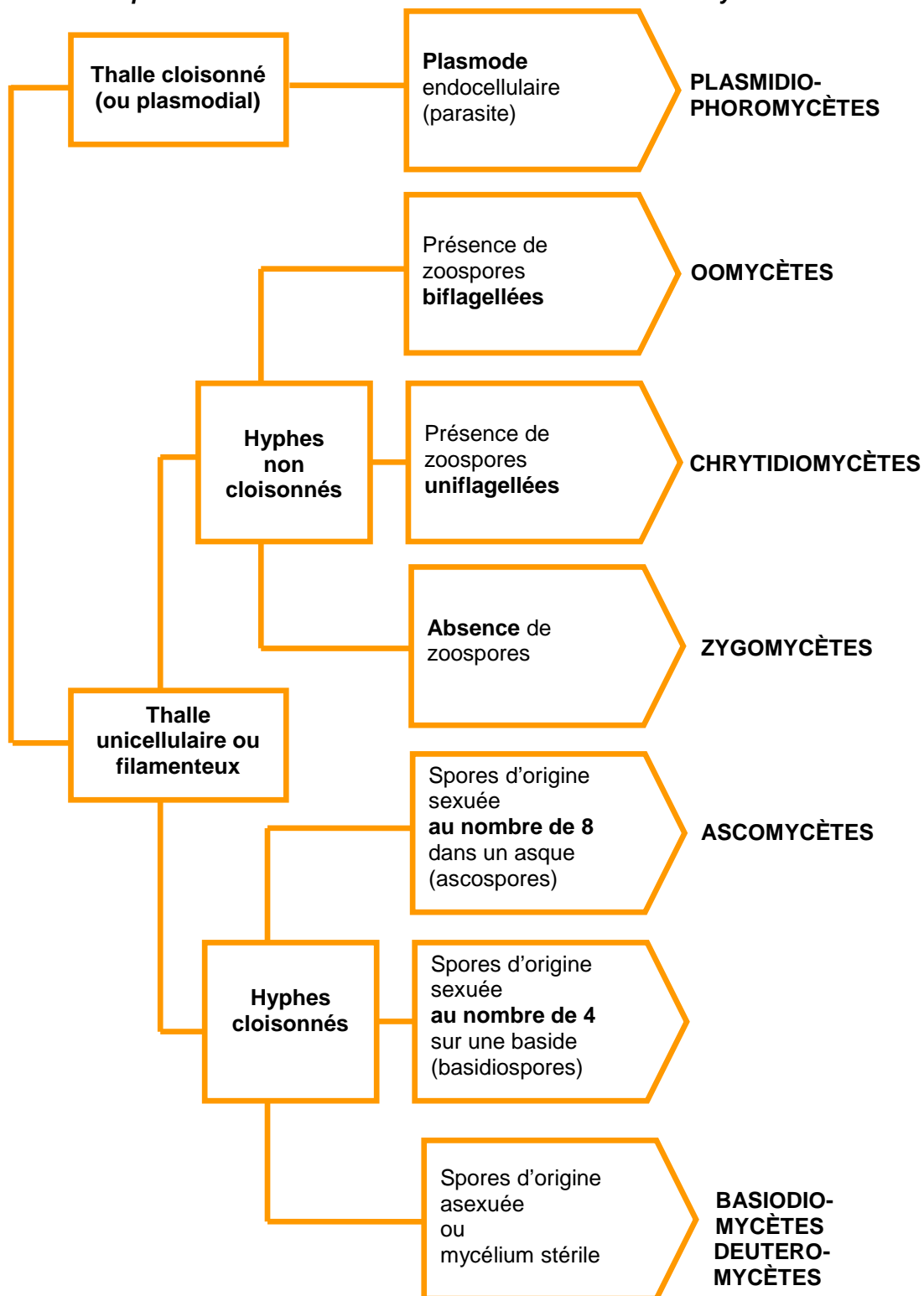


Fusarium oxysporum sur tomate (Photo P. Jones)

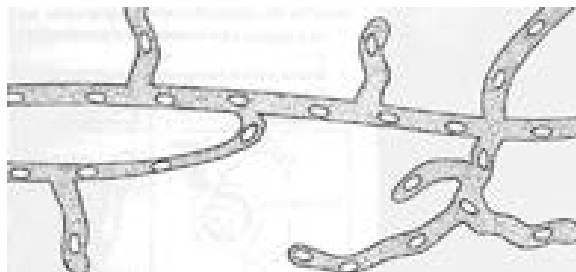
Clé taxonomique des champignons phytopathogènes :

Caractéristiques :

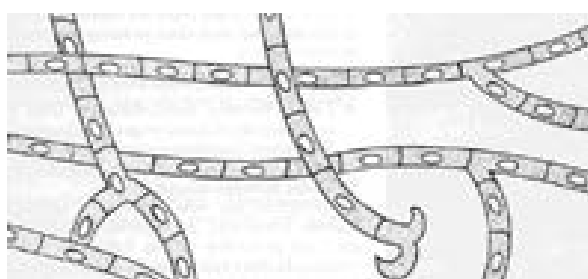
Phylums :



Une observation simple, au microscope, permet de voir si les thalles et les hyphes sont cloisonnés ou non cloisonnés.



Hyphes non cloisonnés



Hyphes cloisonnés


*Caractéristiques détaillées des différents champignons
 et des principales maladies fongiques*

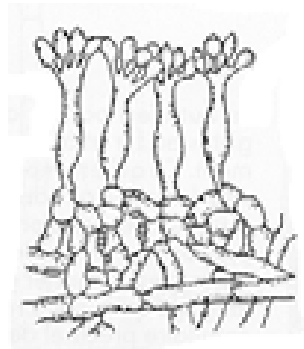
Phylums	Caractéristiques	Phytoparasites (exemples)	Maladies (exemples)
<i>Plasmodiophoromycota</i>	Parasites obligatoires d'organes souterrains et de tiges de plantes (hypertrophie et hyperplasie des tissus infectés) à reproduction sexuée Dissémination par zoospores (irrigation), outils, terre, organes contaminés	Champignons des genres <i>Plasmodiophora</i> , <i>Polymyxa</i> et <i>Spongora</i>	Rhizomanie de la betterave (transmise par <i>Polymyxa betae</i>)



Oomycota	<p>Reproductions asexuée (zoospores) et sexuée (oospores)</p> <p>Saprophytes dans sols et parasites de semis</p> <p>Conservation dans sols</p>	<p>Champignons de la classe des oomycètes, dans laquelle on trouve les péronosporales avec 3 familles principales : <i>Pythiaceae</i>, <i>Peronosporaceae</i> et <i>Albuginaceae</i></p>	<p>Fontes des semis (<i>Phytium</i> sp.) Mildiou de la pomme de terre (<i>Phytophthora infestans</i>). Mildious (famille des <i>Peronosporaceae</i>) Rouilles blanches (familles des <i>Albuginaceae</i>)</p>
Chytridiomycota	<p>Spores mobiles : zoospores monoflagelées</p>	<p>Champignons de la classe des chytridiomycètes dont 2 genres (<i>Olpidium</i> et <i>Synchritium</i>) réunissent des parasites de végétaux</p>	<p>Viroses</p>
Zygomycota	<p>Division de la classe des zygomycètes en 3 ordres importants : les mucorales, les entomophorales et les glomales</p> <p>Les mucorales sont saprophytes, sur fruit, à reproductions sexuée et asexuée (sporangies disséminés par le vent).</p> <p>Les entomophorales sont des parasites d'animaux (insectes, tels les pucerons, par exemple).</p>		<p>Pourritures sur fruit (mucorales)</p>



<p>Ascomycota</p>	<p>Reproduction sexuée (asques). Classification basée sur les asques, les ascocarpes et les ascospores</p>  <p>Ascospores</p> <p>Parasites internes de l'appareil aérien et des fruits (ordre des taphrinales).</p> <p>Parasites obligatoires se développant sur feuilles, jeunes pousses, boutons floraux et fruits (ordre des érisyphales).</p> <p>Phase saprophytique dans débris végétaux en voie de décomposition (genres <i>Monilinia</i> et <i>Botryotinia</i>)</p>	<p>Champignons des genres <i>Taphrina</i>, <i>Erysiphe</i>, <i>Claviceps</i>, <i>Mycosphaerella</i>, <i>Venturia</i>, <i>Sclerotinia</i>, <i>Monilinia</i></p>	<p>Déformations d'organes par hyperplasie et hypertrophie (cloques des feuilles, balais de sorcière des rameaux, pochettes des fruits) causées par le genre <i>Taphrinia</i></p> <p>Les blancs ou oïdium (ordre des érysiphales)</p> <p>Ergot des graminées (<i>Claviceps purpurea</i>)</p> <p>Pourritures et momification des fruits (<i>Monilinia</i> et <i>Botrytis</i> spp.)</p>
--------------------------	---	--	--

<p>Basidiomycota</p>	<p>Production de basidiospores Parasites obligatoires attaquant feuilles et tiges (rouilles et charbons sur céréales)</p>  <p>Basidiospores</p>	<p>Champignons de la classe des urédomycètes (ordre des urédinales), et des ustilaginomycètes (ordre des ustilaginales)</p>	<p>Rouilles (ordre des urédinales).</p> <p>Charbons (ordre des ustéginales)</p>
-----------------------------	--	---	---

<p>Deutéromycètes</p>	<p>Champignons « imparfaits » à reproduction asexuée (spores générées par mitose)</p> <p>Parasites des feuilles et tiges des plantes annuelles ou pérennes</p> <p>Formation de conidies dispersées par le vent, l'eau, les insectes et les outils</p>	<p>Champignons de la classe des hyphomycètes, des coelomycètes et des agonomycètes</p>	<p>Déformations d'organes, agents maculicoles (sur feuillage).</p> <p>Fontes des semis (anthracnose du haricot et du pois (si transmission par les graines de plantes annuelles). Chancres (pénétration par les blessures).</p> <p>Maladies vasculaires (<i>Fusarium</i> spp., <i>Verticilium</i> spp.) sur cultures protégées, plantes maraîchères et ornementales, le coton, bananier et arbres forestiers.</p>
------------------------------	---	--	---

La conservation prolongée des fruits et légumes avant leur consommation pose des problèmes phytosanitaires nombreux et spécifiques. Parmi les champignons responsables de maladies de post-récolte, on distingue les **parasites de blessures** (entrant par des ruptures accidentelles dans la cuticule), tels que *Botrytis cinerea* et *Penicillium* sp., et les **parasites latents** entrant par des ouvertures naturelles (comme les lenticelles et ne donnant de symptômes qu'après un temps de latence plus ou moins long).

Les contaminations des fruits ou des légumes par les parasites de blessures peuvent se produire au verger ou au champ, mais proviennent majoritairement d'un **inoculum présent dans les locaux** (dans les cageots de récolte, sur le matériel de stockage ainsi que dans les salles de la station de conditionnement).

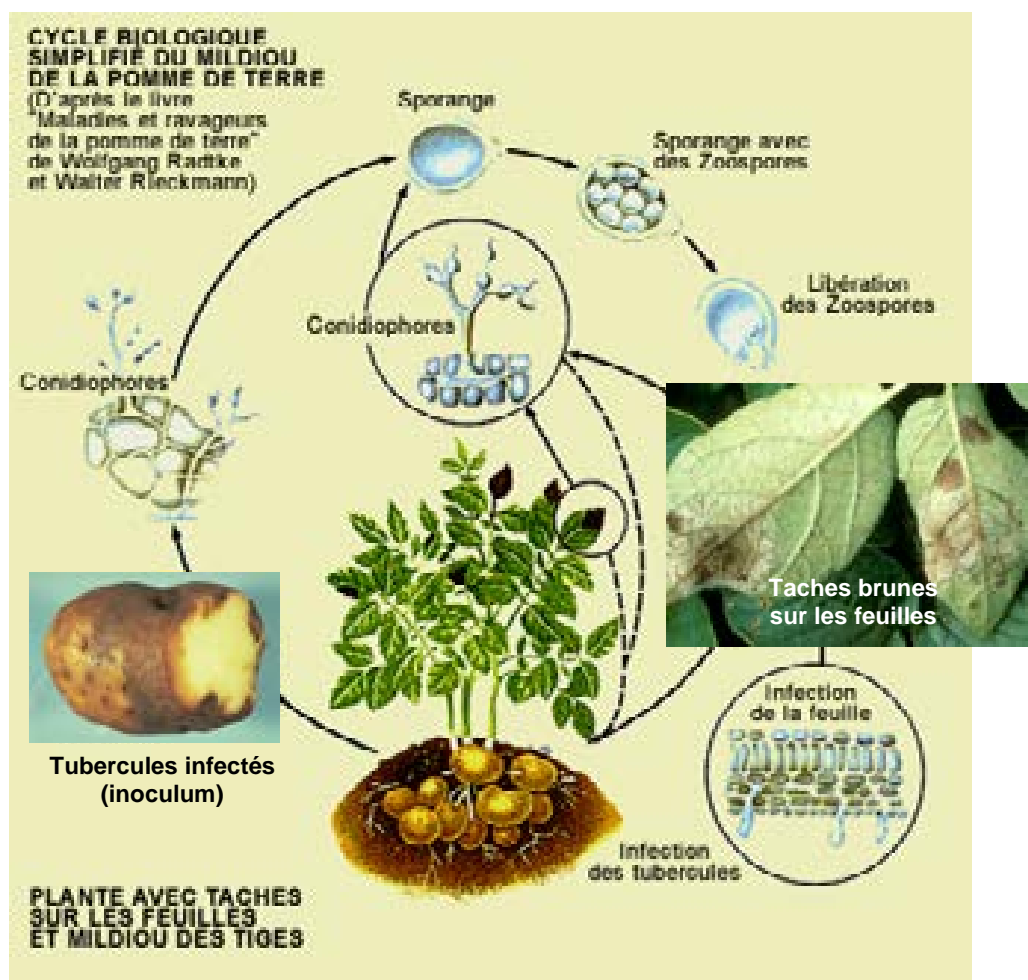
Les contaminations des fruits par les parasites latents **se produisent au verger avant la cueillette** par des conidies, qui proviennent de tissus infectieux sur les arbres fruitiers eux-mêmes (chancres et nécroses sur les rameaux).



Les champignons présents sur les fruits peuvent produire des toxines (« **mycotoxines** ») qui posent un important problème de santé pour le consommateur (ex. : les « aflatoxines », libérées notamment par *Aspergillus flavus*), car beaucoup sont reconnues cancérigènes. Le champignon *Alternaria* est souvent présent sur les fruits et légumes et peut libérer des mycotoxines.

3.3.3. Cycle parasitaire des champignons phytopathogènes

Pour qu'une épidémie se développe, un certain nombre d'évènements doivent s'enchaîner. L'amorce de l'épidémie repose sur un **inoculum primaire** qui assure l'infection primaire de la culture (ex. : des **tubercules infectés**). Les tissus alors infectés deviennent à leur tour infectieux amorçant ainsi la dynamique épidémique au cours de laquelle le cycle de base se reproduira un certain nombre de fois.

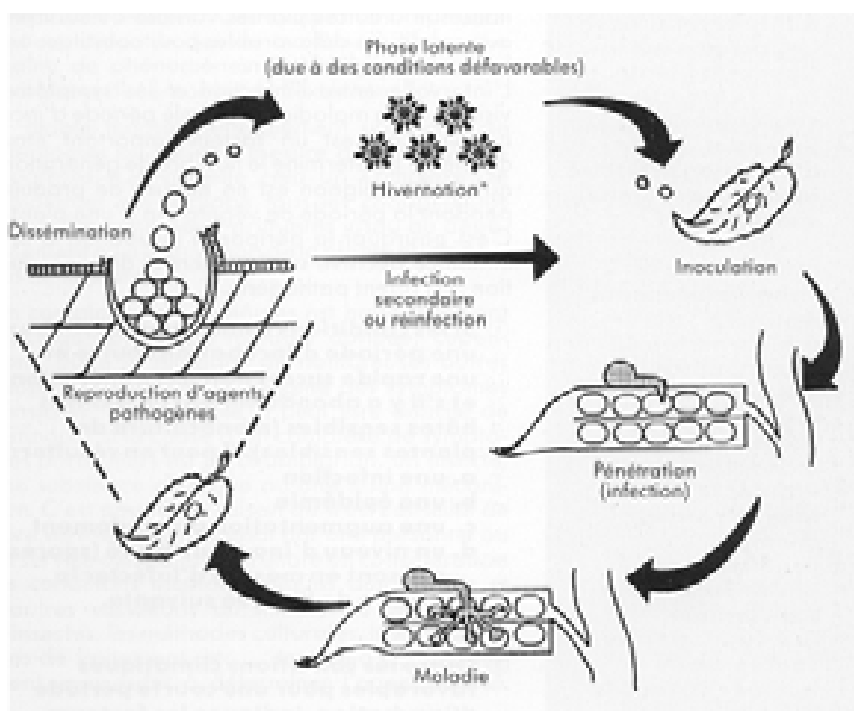


Le déroulement de l'épidémie impose donc l'existence d'une **phase de conservation** de l'inoculum, suivie d'une succession de **phases d'infection** et de **phases de dispersion**. Il faut donc arriver à interrompre le cycle pour lutter contre la maladie !

❑ La conservation

Nombre de champignons phytopathogènes possèdent des structures spécialisées résistantes vis-à-vis des facteurs défavorables du milieu. Certains forment des **sclérotes**, dont la germination produit du mycélium ou des organes sexués de fructifications ; d'autres forment des **rhizomorphes** se développant à partir d'un site infecté et capables de coloniser de nouveaux hôtes ou de nouveaux substrats. Enfin, les **spores** d'origine sexuée (et parfois d'origine asexuée) peuvent constituer également des formes de conservation de l'inoculum en conditions de milieu défavorable. Les spores de résistance des *Plasmodiophoromycota*, les oospores des *Oomycota* et les chlamydospores de *Fusarium oxysporum* sont **capables de survivre à l'état latent** pendant de nombreuses années **dans le sol** en l'absence de plante hôte. Les téliospores des *Basidiomycota* assurent également la conservation du parasite entre deux ou plusieurs saisons de culture.

Cycle de base d'une maladie due à des champignons phytopathogènes

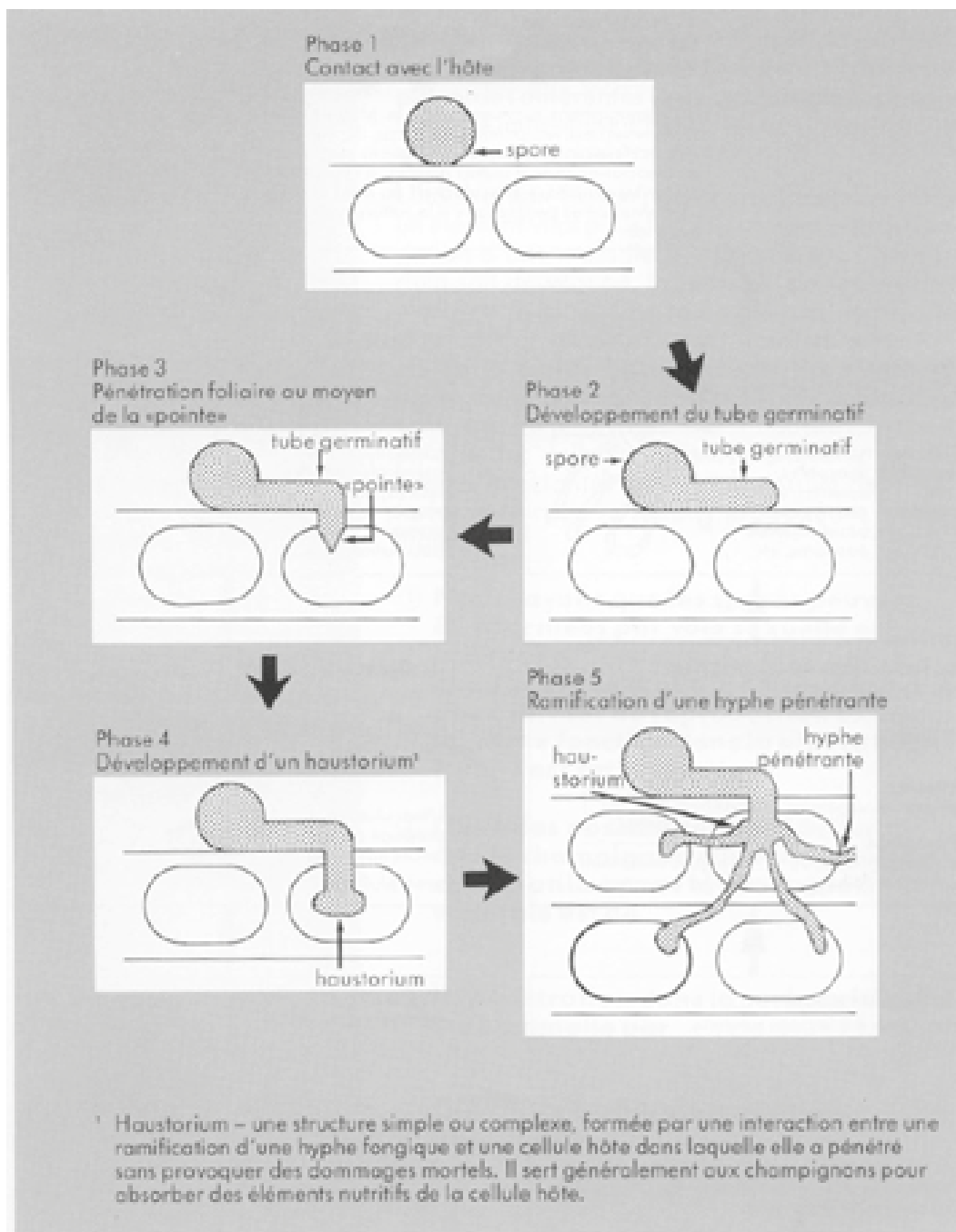


La végétation naturelle, les **plantes adventices** et les organes de propagation des plantes (tubercules, boutures, semences...) contribuent à conserver et à disséminer les parasites possédant un large spectre d'hôtes.

❑ L'infection

L'infection d'une plante par un champignon passe le plus souvent par les étapes de germination de la spore et de pénétration du tube germinatif avant l'établissement d'une relation trophique. Il existe différentes étapes lors de l'infection d'une plante pathogène par des champignons phytopathogènes qui sont : **la fixation à la cuticule, la germination des spores, la formation de l'appressorium, et le percement de la cuticule et du suber.**

Lors de la **fixation à la cuticule**, à la surface des feuilles, on observe très généralement que les spores des champignons pathogènes sont rapidement fixées à la cuticule de l'hôte et résistent au lavage de la surface sur laquelle elles ont été déposées.



La **germination** d'une spore de champignon aboutit généralement à la formation d'un **tube germinatif** qui apparaît quelques heures après que la spore ait été en contact avec la plante. La plupart des spores germent en présence d'eau et d'oxygène sans exiger de

sources alimentaires extérieures. La germination débute par un gonflement qui correspond à une pénétration d'eau.

La formation de l'**appressorium** est la troisième étape de l'infection. Lors de la pénétration dans la feuille (par percement de la cuticule ou par passage entre les cellules de garde d'un stomate), le tube germinatif forme une structure plus ou moins différenciée, l'appressorium.

Le **perçement de la cuticule** permet une pénétration du champignon phytopathogène dans une feuille intacte. Mais cette pénétration peut aussi se faire via les stomates. Le suber étant généralement résistant à l'arsenal enzymatique des microorganismes, les tissus subérisés constituent un obstacle naturel que rencontrent les champignons phytopathogènes lors des premières étapes de l'infection au niveau des rameaux, des tiges et des racines.

Une fois toutes ces étapes franchies, il s'établit une relation trophique entre le champignon et la plante parasitée au sein de laquelle le champignon utilise comme base alimentaire les cellules végétales.

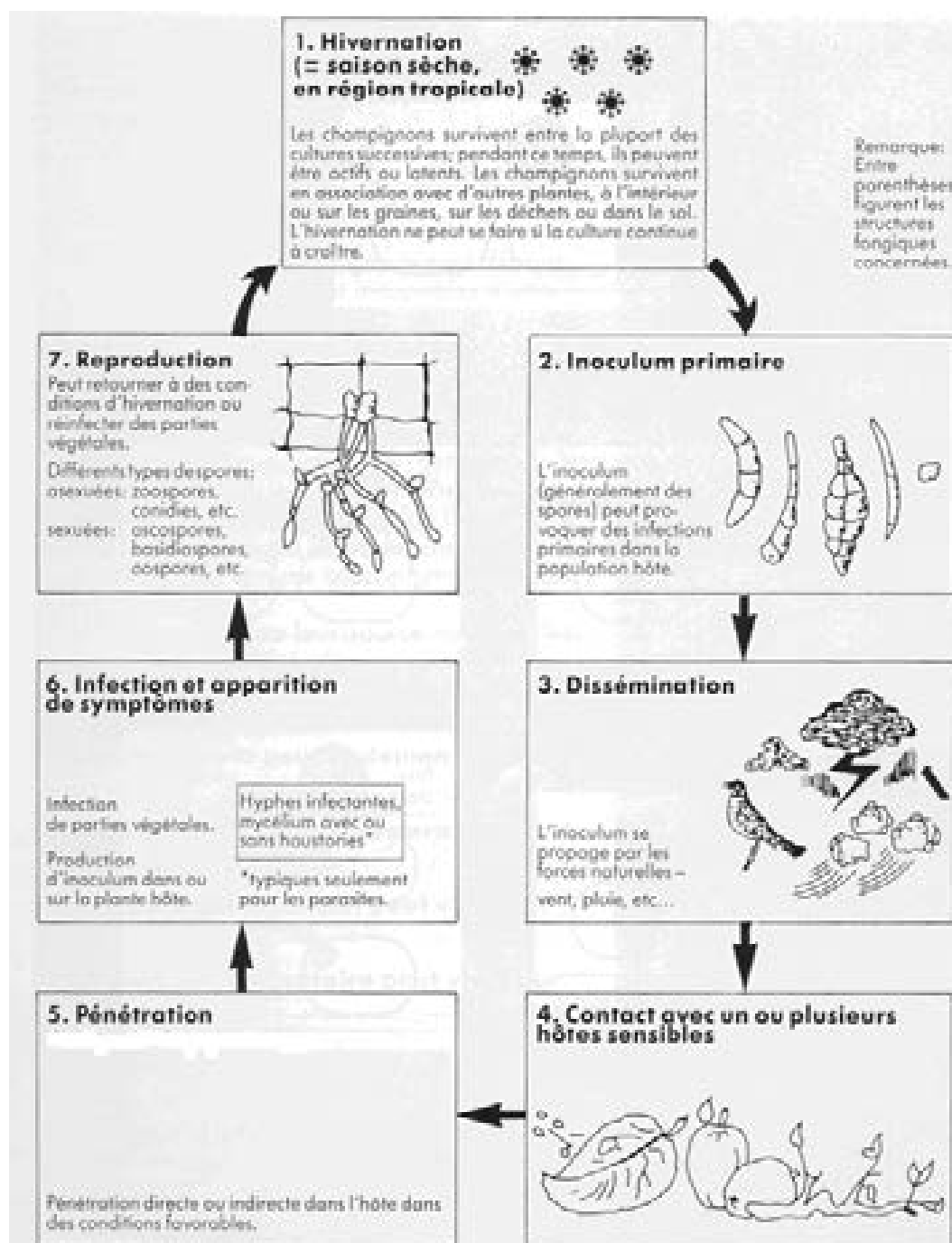
❑ La dispersion

La libération et la dissémination des organes de propagation des champignons sont assurées par une grande diversité de mécanismes :

- Chez les péronosporales, une forte réduction de l'humidité dessèche rapidement l'axe du sporangiophore, qui se contorsionne violemment en projetant les spores.
- Les conidies de nombreux deutéromycètes sont propulsées par un mécanisme analogue.
- Chez de nombreux *Ascomycota*, l'asque renferme un liquide qui permet la décharge violente des germes à 2 ou 3 cm du point initial.
- Chez certains champignons, des mucilages enrobent les spores et leur permettent de s'extruder des pycnides sous forme de longues colonnes pouvant atteindre 1 cm quand l'humidité est élevée.

Alors que la libération des spores résulte fréquemment de phénomènes actifs, leur dispersion est généralement passive. Chez beaucoup de champignons, la dispersion est anémophile (par le vent), ou elle se fait par les gouttelettes d'eau en suspension (brouillard). Le choc des gouttelettes d'eau peut faire éclater les fructifications percutées de plein fouet (irrigation par aspersion).

L'outillage des travailleurs ainsi que les vecteurs vivants (animaux, hommes) sont également des agents possibles de dispersion de particules fongiques. Les mucilages des particules fongiques les font adhérer aux insectes ou acariens ou parfois même attirent les vecteurs (cas des rouilles).



Les différentes étapes d'infection d'une plante par un champignon phytopathogène

3.3.4. Structure des populations de champignons phytopathogènes

La structure d'une population fongique caractérise :

- 1) **la variabilité génétique** existant en son sein,
- 2) les relations phylogéniques entre individus au sein de la population et des sous-populations,
- 3) la manière dont **cette variabilité évolue** dans le **temps** et **dans l'espace**.

Certains mécanismes accroissent la variabilité génétique (recombinaison génétique d'origines sexuelle et parasexuelle, mutations et flux géniques dus aux migrations). D'autre part, des pressions de sélection s'exercent sur le pathogène (gènes de résistance, environnements biotique et abiotique...) et limitent cette variabilité.

La caractérisation de la structure des populations permet **d'évaluer le poids relatif des différents facteurs d'évolution d'un pathogène** et constitue un paramètre important dans **la résolution de nombreux problèmes phytopathologiques** (choix des gènes de résistance, déploiement de variétés résistantes...).

3.4. Les procaryotes (bactéries et molliculites) phytopathogènes

3.4.1. Caractères généraux des procaryotes

Les procaryotes regroupent l'ensemble des **organismes unicellulaires** ne possédant pas de noyau différencié. Parmi les procaryotes phytopathogènes, on distingue les **bactéries *sensu stricto*, pourvues d'une paroi** et les molliculites (phytoplasmes et spiroplasmes). Cette paroi, chez les bactéries, est rigide et entourée d'une couche muqueuse (**capsule**). Elle joue un rôle important dans les processus de reconnaissance qui déterminent le devenir de la relation parasitaire.

Les bactéries phytopathogènes sont pourvues d'une membrane cytoplasmique, leur matériel chromosomique se présente sous forme d'une plage irrégulière dans le cytoplasme et elles possèdent des fragments d'ADN circulaires. Elles sont en outre dotées de structures extérieures à la paroi (capsules, polysaccharides, etc.), qui jouent un rôle de fixation, de protection ou qui sont impliquées dans leur mouvement. La mobilité de ces cellules est assurée par des **flagelles** qui répondent à un stimulus chimique extérieur (chimiotactisme).

Il existe des classifications phénotypiques et des classifications moléculaires des procaryotes, s'appuyant sur des caractères morphologiques et biochimiques.

La première subdivision établie au sein des bactéries repose sur la **coloration de Gram**, coloration des parois de la bactérie :
si oui → « Gram+ », si non → « Gram- ».

3.4.2. Systèmes de classification

Il existe des classifications phénotypiques et des classifications moléculaires. Les premières s'appuient traditionnellement sur des caractères morphologiques et biochimiques, mais leur caractère peu discriminant réduit leur utilisation pratique. Les propriétés physiologiques et métaboliques sont plus largement utilisées, pour autant que le micro-organisme puisse être cultivé dans les milieux de culture requis. Les techniques moléculaires ciblant les séquences en acides nucléiques connaissent un essor considérable pour résoudre les problèmes d'identification.

Il existe aussi des niveaux taxonomiques en usage dans la classification des procaryotes phytopathogènes (voir tableau suivant).

Niveaux taxonomiques utilisés dans la classification des procaryotes phytopathogènes
(Source. P. Lepoivre, *Phytopathologie*, 2003)

Niveaux	Rang taxonomique	Nomenclature
Niveaux supraspécifiques	Domaine Règne Section Classe Ordre Famille Genre Espèce	<i>Bacteria (Eubacteria)</i> <i>Proteobacteria</i> <i>γ-Proteobacteria</i> <i>Zymobacteria</i> <i>Pseudomonadales</i> <i>Pseudomonadales</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Pseudomonas syringae</i>
Niveaux intraspécifiques	Pathovar Race (ou biotype)	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>

3.4.3. Principaux taxons et maladies provoquées par les bactéries phytopatogènes

Au sein des bactéries **Gram⁻**, les **Proteobacteria** constituent un groupe très diversifié. Il contient **4 sections** (α , β , γ , et ϵ), comprenant des agents phytopathogènes :

1. La section des **α -Proteobacteria** renferme les genres **Agrobacterium et Rhizobium** (groupe des **bactéries vasculaires** responsables de **flétrissement** dû à l'occlusion des vaisseaux par les bactéries elles-mêmes). Mis en contact avec une blessure d'une plante hôte sensible, *A. tumefaciens* introduit dans les cellules de la plante un fragment d'ADN qui code pour la prolifération des cellules végétales (tumeurs sur arbres fruitiers et en pépinière).
2. Les genres **Burkholderia et Ralstonia** sont classés dans la section des **β -Proteobacteria**. Les bactéries appartenant au premier genre induisent des symptômes de **pourritures**, de flétrissements ou de nécroses. Parmi ces bactéries, *Ralstonium solanaceae* est responsable de maladies vasculaires sur de nombreuses cultures en régions tropicales.
3. La section des **γ -Protéobacteria** contient les genres **Pseudomonas, Erwinia, Pantoea et Xanthomonas**. Les bactéries du genre *Pseudomonas* sont responsables de **nécroses foliaires ou de dépérissement des rameaux**. Le genre **Erwinia** est responsable d'importantes maladies des plantes (le groupe des agents causant des **pourritures molles** et le groupe *Amylovora*, le feu bactérien).
L'espèce **Xanthomonas campestris** est ubiquiste et comporte plus d'une centaine de pathovars. Enfin, cette section contient l'espèce **Xylella fastidiosa**, non cultivable sur milieu et **qui colonise le xylème**.

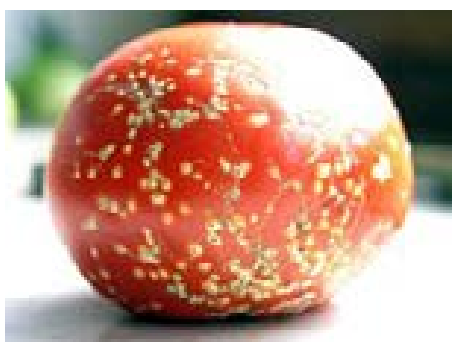


Pseudomonas syringae pv.
phaseolicola sur haricot

4. La section des ϵ -**Proteobacteria** contient plusieurs espèces de bactéries inféodées **au phloème**. C'est le cas des *Liberobacter*, responsables du *greening* (verdissement) des *Citrus* en Afrique du Sud notamment, et transmis par des psylles.

Les bactéries **Gram+** contiennent la section des **Clostridia** (bactéries anaérobies) et la section des molliculites contenant les **phytoplasmes et les spiroplasmes**. Les maladies à **phytoplasmes** sont particulièrement importantes dans les pays tropicaux en raison de l'activité ininterrompue des insectes vecteurs. Les phytoplasmes occasionnent des **symptômes** affectant l'appareil reproducteur ainsi que l'appareil végétatif (pourritures molles). Les principaux symptômes induits par le **spiroplasmes** sont le **nanisme, des chloroses, des jaunisses, une réduction de la taille des fruits et des feuilles ainsi que des flétrissements**. Deux types de spiroplasmes sont connus ; le premier type possède dans la nature un nombre limité de plantes hôtes et le second possède un très large spectre de plantes hôtes.

On retrouve aussi au sein de ces bactéries Gram+, **les corynébactéries**, dont les espèces les plus dommageables sont *Clavibacter michiganense* sbsp. *sepedonicum* provoquant la maladie annulaire de la pomme de terre tandis que *C. michiganense* sbsp. *michiganense* cause le flétrissement (chancre bactérien) de la tomate. Ce groupe contient également le genre *Streptomyces*.



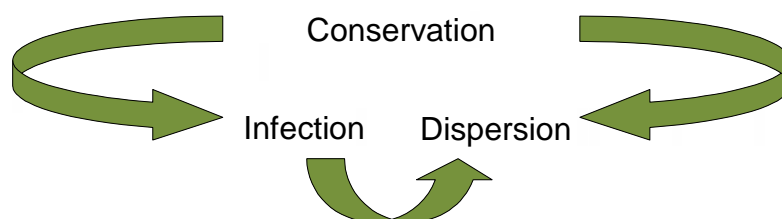
Chancre bactérien sur tomate
(*C. michiganense* sbsp. *Michiganense*)

3.4.4. Cycle parasitaire des bactéries

Les **bactéries** établissent avec les plantes une gamme de relations allant de la symbiose au parasitisme, mais la distinction entre parasitisme et saprophytisme n'est pas tranchée.

La dynamique épidémique exige l'enchaînement de plusieurs événements qui constituent le cycle infectieux de base : phase de conservation de l'inoculum, phase d'infection et phase de dispersion (figure ci-dessous).

Les phases essentielles du cycle infectieux de base chez les bactéries phytopathogènes.



3.5. Les virus et viroïdes phytopathogènes

3.5.1. Caractères généraux des phytovirus



Melons infestés par un virus (Photo B. Schiffers)

Les phytovirus sont des entités infectieuses porteuses d'information génétique (ADN ou ARN), **parasites obligatoires** des cellules vivantes d'une plante hôte dont ils utilisent la machinerie métabolique pour réaliser leur propre synthèse protéique.

L'inoculation d'un virus à une plante saine requiert la blessure préalable d'une cellule par rupture de la paroi, suivie du transfert de l'inoculum au contact de la membrane cytoplasmique.

L'infection d'une plante par un virus résulte du passage de l'entité infectieuse de cellule à cellule à travers les plasmodesmes. Ce mouvement à courte distance implique la formation d'une protéine de mouvement. Une fois l'infection (locale ou systémique) initiée, les **symptômes** peuvent être **diversifiés**, allant des **altérations de couleur** jusqu'au **rabougrissement** ou aux **malformations des plantes**.

Les phytovirus se présentent sous forme de structure isométrique, de bâtonnets rigides ou filamenteux, ainsi que de particules bacilliformes. Les différents types de génomes viraux sont divisés en 7 groupes fondamentaux en fonction du type d'acide nucléique (ADN ou ARN) contenu dans le virion (particule virale) et des stratégies utilisées pour leur réplication. L'analyse des populations de virus à ARN montre une grande variabilité qui résulte soit du réassortiment de fragments génomiques soit de recombinaisons, mutations ponctuelles, délétions ou insertions. Les viroïdes sont constitués exclusivement de virus à ARN monocaténaire circulaire.

3.5.2. Transmission des virus et viroïdes

On distingue :

- 1) **les transmissions verticales** à la descendance de la plante infectée par propagation générative ou végétative ;
- 2) **les transmissions horizontales** à d'autres plantes de la même espèce ou d'autres espèces par blessure mécanique par contact entre protoplasmes et par vecteurs animaux (puçerons, nématodes, cicadelles...), végétaux ou fongiques.

❑ Transmission verticale

La plupart des phytovirus ne sont pas transmis par les semences ou par le pollen provenant de pieds mères infectés. Par contre, la **multiplication végétative des plantes infectées entraîne l'infection généralisée de la descendance, d'où l'importance pratique considérable de la production de matériel exempt de virus**. L'élimination des virus se fait principalement par culture de méristèmes et/ou thermothérapie.

❑ Transmission horizontale

La transmission horizontale d'un virus peut s'opérer par **transmission mécanique, par greffe, par la cuscute, par des champignons et par des vecteurs animaux (acariens, nématodes et surtout par des insectes piqueurs-suceurs)**.

Les virus transmis par les animaux peuvent être classés en 2 grandes catégories, les virus non circulants et les virus circulants :

- Les virus non circulants sont transportés par les pièces buccales lors de la transmission ; ils comportent les virus « non persistants » et les virus semi-persistants (piqûre d'acquisition et d'inoculation de courte durée).
- Les virus circulants circulent dans le vecteur via le canal alimentaire, le système digestif, l'hémolymphe, les glandes salivaires et le canal salivaire par lequel ils sont introduits dans une nouvelle plante. Ils sont de type « persistants ».

3.5.3. L'épidémiologie de la transmission des phytovirus

Les paramètres épidémiologiques de l'extension des maladies virales transmises par les vecteurs dépendent de **divers facteurs relatifs au vecteur lui-même, à ses hôtes, ainsi qu'à leurs rapports respectifs avec l'agent pathogène considéré ou avec l'environnement**.



Plant de courgette virosé

La connaissance précise de ces paramètres peut conduire à la **mise en place de systèmes prévisionnels permettant de conduire une lutte efficace**. Le comportement des **insectes vecteurs** en conditions naturelles détermine les stratégies de lutte utilisées contre l'extension des viroses : élimination des sources de virus portant l'inoculum pendant l'interculture, l'interférence avec le comportement des vecteurs et protection rapprochée des cultures.

Chapitre 4

Concurrence et identification des plantes adventices

Généralités sur la biologie et la nuisibilité des plantes adventices	67
Classification et identification des adventices	74
Facteurs culturaux favorisant le développement des adventices	77
Exemples d'adventices nuisibles	80



4.1. Généralités sur la biologie et la nuisibilité des plantes adventices

4.1.1. Généralités sur les plantes adventices

Une mauvaise herbe est une **plante herbacée** ou, par extension, une **plante ligneuse** qui, à l'endroit où elle se trouve, est **indésirable** (ainsi, il est fréquent de devoir supprimer certains arbres gênant l'installation d'une plantation). Hormis les champs cultivés, les vergers, les plantations, les pâtures, etc., certaines plantes sont indésirables dans des cas particuliers : bordures des canaux d'irrigation, plans d'eau et rivières envahies par les herbes aquatiques et les algues, coupe-feu dans une forêt, ronces envahissantes dans les jeunes plantations, terrains industriels (autour des bâtiments industriels), certains cimetières, parkings, voies de chemin de fer, gazon des terrains de golf, terrains de tennis, routes et bords des routes, aéroports, zones de stockage, bassins de rétention, etc.



Pousse d'amarante dans les haricots (Photo B. Schiffers)

L'étroite parenté entre les « bonnes » et les « mauvaises » herbes, en particulier **lorsqu'elles appartiennent au même genre**, rend le désherbage particulièrement difficile. C'est le cas du riz cultivé (*Oryza sativa*) avec les adventices *Oryza longistaminata* et *Oryza brevigulata*, de l'avoine cultivée et la folle avoine, la carotte cultivée et la carotte sauvage, etc.

Les plantes nuisibles et les plantes utiles occupent un **terrain commun**, le sol qui les porte. Considérées dans leurs relations avec le sol (ou mieux avec un certain « volume de sol »), les différences entre la plante utile et les plantes nuisibles sont très importantes. Volontairement introduite dans un champ, la plante cultivée a une vie toute



tracée dont les étapes sont connues à l'avance (il existe même des « échelles » reprenant les différents stades de croissance).

Au contraire, les inconnues concernant les plantes nuisibles sont beaucoup plus nombreuses : **comment en effet prédire pour un champ l'évolution d'une flore adventice** comptant 10, 20 espèces ou encore davantage qui vont apparaître et se développer en cours de culture ?

Par exemple, une culture de blé d'hiver subira l'assaut de **plusieurs vagues d'adventices** : après les semis, pendant l'hiver, au cours du tallage, durant la montaison, et de l'épiaison jusqu'à la récolte.

L'**abondance des graines**, la **capacité de reproduction** et de **propagation** sont des avantages non négligeables des adventices. En effet, celles-ci se reproduisent soit par graines, soit par multiplication végétative : rhizomes, bulbes, drageons, fragments de racines ou de tiges. Ce dernier mode de reproduction est assez courant chez certaines plantes annuelles et surtout chez de nombreuses plantes vivaces (ex. : chiendents).

Les causes de multiplication et de dissémination des mauvaises herbes sont variées : abondance des semences et longue conservation dans le sol, transport des graines par le vent qui apparaît sans doute comme le facteur le plus habituel de la dissémination des semences, par l'eau qui joue un rôle primordial (soit il s'agit d'eau de pluie ou les rigoles voire les rivières dans la dissémination des espèces aquatiques), par les animaux qui contribuent également à cette propagation, en emportant soit fixée à la surface de leurs corps les fruits ou les semences, soit en rejetant avec les excréments les graines des mauvaises herbes.

Le fumier, mal décomposé, peut constituer un excellent moyen de dissémination. La mise en culture de semences mal triées, l'utilisation de la moissonneuse-batteuse, les façons culturales facilitant la multiplication de certaines plantes vivaces et l'emploi d'herbicides insuffisamment polyvalents auxquels résistent certaines mauvaises herbes contribuent également à la dissémination.

Enfin, les adventices bénéficient des progrès de l'agronomie : fumures rationnelles, irrigations, notamment pour les espèces résistantes aux herbicides qui profitent au même titre que la culture de la réduction de la concurrence. Non seulement les adventices sont nombreuses, mais **elles sont de plus très résistantes** vis-à-vis des causes de destruction ; en effet, l'imperméabilité plus ou moins accusée de leurs téguments leur permet de résister à une dessiccation prolongée et à l'enfouissement dans des couches profondes et peu aérées.

Cette imperméabilité rend les graines dures, c'est-à-dire qu'elles ne germent pas, même quand elles se trouvent dans des conditions favorables d'humidité et de chaleur. Certaines peuvent conserver leur pouvoir germinatif durant un laps de temps très long pouvant atteindre pour certaines espèces une dizaine d'années. Certaines plantes germent même relativement très mal l'année de leur production et c'est seulement lorsqu'elles ont 3 à 5 ans d'âge que leur pouvoir germinatif est le plus élevé.

4.1.2. Nuisibilité directe (effet de concurrence)

Les adventices sont des concurrentes redoutables pour les cultures, principalement lorsque celles-ci sont **en début de développement**.

Même dans un champ bien préparé et labouré, les mauvaises herbes germeront et feront concurrence aux plantes cultivées. Les besoins des mauvaises herbes peuvent dépasser ceux des plantes cultivées, c'est dire que les réserves du sol sont vraiment épuisées par les adventices.



Concurrence entre plantes cultivées (haricot) et adventices (Cyperus)
(Photo B. Schiffers)

De plus, de nombreuses mauvaises herbes **se développent plus vite que les cultures** et les étouffent. Les rendements chutent et parfois la récolte est anéantie. Le nombre d'adventices nécessaires pour qu'un effet significatif sur le rendement soit observé peut être parfois assez faible : ainsi, en culture de betterave, la présence de 6 à 7 chénopodes au m² dans la culture est suffisante pour affecter la production.

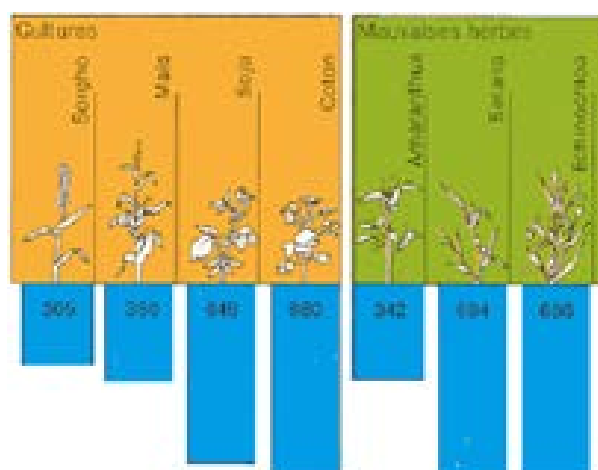
Parfois, les mauvaises herbes prennent purement et simplement la place des plantes cultivées, si celles-ci tardent à occuper le terrain (oignon). Différents éléments doivent être pris en considération pour expliquer cette concurrence des mauvaises herbes à l'égard des cultures. On peut retenir entre autres : une morphologie bien adaptée et une physiologie très active ou particulière. D'autres plantes excrètent des substances toxiques pour les cultures, soit par les racines, soit par les feuilles.

Il faut insister sur le fait que **la concurrence des adventices dans les cultures commence dès leur levée**. Même au stade plantules, des plantes adventices auront un effet sur le rendement futur de la culture.



Perte de rendement (en %) dans le maïs du fait de peuplements connus de dicotylédones annuelles non combattues ayant levé en même temps que la culture

Dicotylédones annuelles	% avec 1 plante/m ²	% avec 5 plantes/m ²
Grande herbe à poux	13	36
Chénopode blanc	12	35
Amarante	11	34
Lampourde	6	22
Herbe à poux	5	21
Moutarde des champs	5	18
Abutilon	4	15
Renouée persicaire	3	13
Renouée liseron	2	10
Morelle noire de l'Est	2	7



Consommation d'eau d'espèces cultivées et d'adventices

Les seuils de nuisibilité économique aideront à déterminer si la densité de peuplement et les répercussions des mauvaises herbes sur le rendement justifient le recours à des mesures de lutte, c'est-à-dire si la valeur de la perte de rendement évitée compense le coût du traitement envisagé.

Les plantes adventices absorbent une partie de l'eau et des éléments nutritifs, et privent partiellement les plantes cultivées d'air et de lumière. Une réduction des ressources en eau, qui transporte les éléments nutritifs, affecte directement l'assimilation chlorophyllienne.

Les périodes de germination et de développement des graminées telles que *Digitaria horizontalis* et *Rottboellia cochinchinensis* coïncident avec la période de semis du coton et entrent directement en concurrence avec le cotonnier pour la quête en eau, en nutriments (azote, potassium, phosphore) et la lumière. Des essais ont démontré que les pertes de rendement sont proportionnelles au retard du sarclage et peuvent varier de 7 % (pour un retard de 12 jours) à 45 % (pour une parcelle non sarclée). La récolte de coton peut être difficile et salie, avec un **déclassement de la fibre** dans une parcelle fortement infestée d'adventices. Enfin, signalons que les cultures à développement végétatif important comme le maïs n'échappent pas à la concurrence des plantes indésirables.

4.1.3. Nuisibilité indirecte

- Les mauvaises herbes hébergent de nombreux ravageurs, ainsi que des maladies nuisibles aux cultures. Ce sont des plantes hôtes secondaires pour les **pucerons**, de nombreuses **rouilles**, pour certains **nématodes**, ainsi que pour de nombreux **virus** (transmis par les pucerons et les nématodes notamment), **acariens** (tétranyques), limaces. Leur présence constitue un couvert pour les **rongeurs** nuisibles, ce qui entraîne une baisse du rendement et de la qualité. Les cultures enherbées assurent des conditions favorables au développement de certaines maladies.
- La présence d'adventices ne facilite pas les travaux de récolte (l'envahissement peut être tel que la récolte mécanique est impossible !), de désherbage, de buttage, etc. ce qui augmente les pertes et les frais de production.
- Le taux d'humidité des grains récoltés peut être plus important (nécessité de séchage après récolte).
- Les graines étrangères et les débris végétaux dans les récoltes dévalorisent celles-ci et peuvent même les faire refuser quand il s'agit de cultures destinées à la production de semences ou à la conserverie (graines d'adventices toxiques).
- Dans les prairies et autres cultures fourragères, certaines plantes peuvent **provoquer des troubles** ou être **toxiques** pour les hommes et/ou les animaux (ex. : la nielle, le colchique, la renoncule âcre, la grande et la petite oseille, millepertuis, etc.). Enfin, les racines de certaines mauvaises herbes gênent l'écoulement de l'eau lors de l'irrigation (envahissement des canaux d'irrigation, obstruction des drains). Dans les **herbages**, certaines espèces de mauvaises herbes ne sont pas consommées par le bétail ce qui entraîne une perte de surface utile à la production.



Hypericum perforatum, Cusiaceae, le millepertuis est photosensibilisant.



4.1.4. Cas particulier des « espèces envahissantes »

Une espèce invasive ou espèce envahissante exogène est une espèce vivante exotique qui devient un agent de perturbation **nuisible à la biodiversité autochtone** des écosystèmes naturels ou semi-naturels parmi lesquels elle s'est établie. Les phénomènes d'invasion biologique sont aujourd'hui considérés comme une des grandes causes de régression de la biodiversité, avec la pollution, la fragmentation écologique des écosystèmes et l'ensemble constitué par la chasse, la pêche et la surexploitation de certaines espèces.

L'introduction délibérée de nouvelles espèces est souvent justifiée par les services que celles-ci peuvent nous apporter (valeur alimentaire, esthétique, halieutique...). Mais, si d'aventure elles deviennent envahissantes, l'importance de ces services devient bien vite négligeable face aux inconvénients qui résultent de leur développement extravagant. Les effets négatifs des invasions biologiques se marquent à quatre niveaux :

- Les impacts sur la santé. Souvent transportés de manière tout à fait accidentelle, certains organismes exotiques indésirables sont d'importants **vecteurs de maladies** et provoquent l'émergence de nouvelles pathologies (moustiques, rats, etc.). Certaines plantes invasives comme l'ambroisie, la berce du Caucase et le faux vernis du Japon sont en outre responsables du développement de fortes **réactions allergiques** et inflammatoires ;
- Les impacts socio-économiques. L'introduction d'espèces exotiques peut provoquer des **dommages économiques importants**. Ceux-ci résultent du développement de différents organismes : insectes ravageurs, champignons pathogènes et rongeurs qui provoquent d'importants dégâts aux cultures et aux forêts, mollusques aquatiques qui favorisent la corrosion des coques de navires et colmatent les filtres et les canalisations des centrales thermiques ou encore plantes au système racinaire puissant capable d'endommager le revêtement des routes et de détériorer des infrastructures.
- Les impacts sur le fonctionnement des écosystèmes. Le développement des espèces invasives a souvent des répercussions importantes sur la stabilité et la productivité des écosystèmes. Ils peuvent **modifier en profondeur le fonctionnement des chaînes alimentaires** et des cycles biogéochimiques, altérer les caractéristiques hydro-morphologique des cours d'eau, etc. Partant, ces dysfonctionnements peuvent à leur tour mettre à mal les services écosystémiques et avoir des répercussions économiques et écologiques majeures (voir encart) ;
- Les **impacts sur les espèces indigènes**. Certaines plantes introduites devenues très invasives ont des impacts considérables sur la biodiversité, soit par la concurrence qu'elles exercent pour l'espace où elles croissent (ex. : *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée) soit indirectement par des substances écotoxiques ou inhibitrices qu'elles émettent pour d'autres espèces, ou simplement parce qu'elles ne sont pas consommables par les herbivores natifs ou d'autres animaux autochtones.

4.2. Classification et identification des adventices

4.2.1. Rappel de quelques définitions

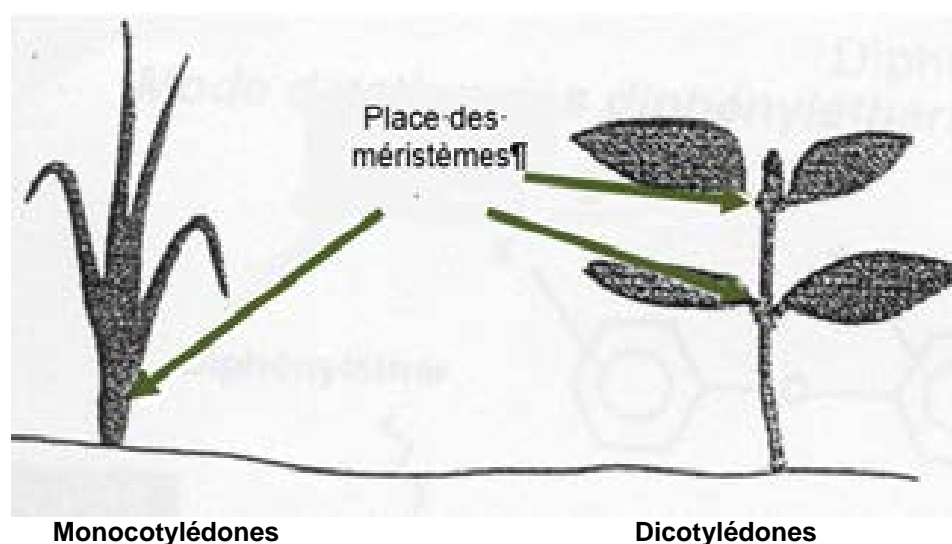
Les « mauvaises herbes » sont également désignées par les termes suivants :

- plantes adventices (du latin *adventicius* : étranger) qui survient accidentellement, sans introduction volontaire ;
- plantes commensales (du latin *cum* : avec, et *mensa* : table) qui mange à la même table, qui vit auprès de ;
- plantes messicoles (du latin *mensis* : moisson, et *colere* : habiter) se dit de toute plante annuelle qui croît dans les champs de céréales.

Scientifiquement, on divise le règne végétal en deux embranchements :

- les cryptogames (plantes sans fleurs) ;
- les phanérogames (plantes à fleurs), qui se subdivisent à leur tour en deux sous-embranchements :
 - les gymnospermes ;
 - les angiospermes (environ 250 000 espèces) comprenant deux classes à avoir : les **monocotylédones** et les **dicotylédones**.

La distinction entre ces 2 classes, ainsi que la **reconnaissance précise** de l'espèce concernée est généralement une nécessité lors du choix d'un moyen de lutte adapté, et particulièrement pour **guider le choix d'un herbicide efficace**.



Comparaison entre monocotylées et dicotylées

MONOCOTYLÉDONES	DYCOTYLÉDONES
<p>Un cotylédon, faisceaux dispersés sans cambium, cambium extra fasciculaire.</p> <p>Ce sont les « graminées ».</p> <p><i>Quelques familles importantes :</i></p> <p>Poacées (ou graminées) (vulpin, folle-avoine, pâturin, agrostide jouet du vent, ray-grass, chiendent, panic, brome...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • des feuilles étroites et allongées, les nervures sont toutes parallèles • la base des feuilles est différenciée en gaine qui enveloppe la tige • les gaines prennent naissance au niveau des nœuds <p>Cypéracées (<i>Cyperus</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • les feuilles sont disposées de façon tristique, le limbe est plié en V sur la longueur ; • les gaines forment un véritable tube ; les tiges sont courtes et restent cachées dans la gaine ; • les axes qui émergent des bouquets de feuilles sont des pédoncules triquètres portant les inflorescences à leur sommet. <p>Liliacées</p> <p>Alliacées</p>	<p>Deux cotylédons, faisceaux conducteurs en cercle avec cambium.</p> <p>Ce sont les plantes à feuilles larges et pétiolées.</p> <p><i>Quelques familles importantes :</i></p> <p>Astéracées (achillée, laiteron, séneçon)</p> <p>Renonculacées (renoncule)</p> <p>Chénopodiacées (chénopode)</p> <p>Polygonacées (renouée)</p> <p>Euphorbiacées (mercuriale)</p> <p>Crucifères (séné)</p> <p>Urticacées (orties)</p> <p>Papavéracées (coquelicot)</p> <p>Fumariacées (fumeterre)</p> <p>Convolvulacées (liseron)</p> <p>Labiées (lamiers)</p> <p>Scrofulariacées (véroniques)</p>



4.2.2. Classification selon le cycle végétatif

Dans la pratique, on sépare généralement les adventices en fonction de leur cycle végétatif et on distinguera :

☐ Les **plantes herbacées** comprenant :

- les **plantes annuelles** : il s'agit des plantes qui ne vivent qu'un an : elles germent, donnent des fleurs et des fruits au cours de la même année (ex. : coquelicot, chénopode). Ces plantes ont généralement une végétation rapide et une longévité courte et dans tous les cas, elles mûrissent et disséminent leurs graines avant l'époque de la moisson. Elles se rencontrent surtout dans les cultures de légumes, de céréales, de betteraves, etc.
- les **plantes bisannuelles** : ce sont les plantes dont le développement complet s'étend sur deux années consécutives, germant et se développant la première année, mais ne donnant des fleurs et des fruits que l'année suivante. Cette catégorie est peu nombreuse (carotte sauvage, chardon lancéolé, bardane).
- les **plantes vivaces** : sont ainsi appelées les plantes qui peuvent donner des fleurs et des fruits durant plusieurs années consécutives ; elles possèdent généralement d'autres moyens de dissémination. C'est dans les prairies et les herbages que l'on rencontre le plus d'espèces vivaces. On rencontre parmi celles-ci :
 - les plantes à rhizomes,
 - les plantes stolonifères,
 - les plantes à bulbes,
 - les plantes à souches.



*Envahissement de
la culture par
l'Oxalis
(Photo B. Schiffers)*

- Les plantes **vivaces à rhizomes et stolons** sont les plus envahissantes, car elles peuvent, sans produire de graines, coloniser d'assez grandes surfaces (*Cyperus*, chiendent, pas-d'âne, chardon des champs, renoncule, colchique, plantains, pissenlit, etc.).

☐ Les **plantes ligneuses** (généralement vivaces).



4.3. Facteurs cultureux favorisant le développement des adventices

4.3.1. Facteurs influençant l'importance des adventices

Des **rotations raccourcies**, un **travail du sol simplifié** (voire un semis sans labour), **une irrigation par aspersion ou à la planche**, l'absence d'herbicide efficace ou à un prix abordable, l'absence de culture associée..., toutes ces pratiques vont favoriser le développement des populations d'adventices dans les parcelles... et, du fait de la concurrence, avoir une incidence négative sur le rendement.

On peut y ajouter **2 autres points importants** :

- un choix inadéquat du moment d'intervention (intervenir trop tard !)
- traiter des cultures avec un herbicide inefficace ou rendu inefficace à cause de la résistance des adventices.

Les pertes de rendement dépendent en bonne partie du moment de la levée des mauvaises herbes par rapport à celle de la culture. Le **choix du moment de l'intervention** est par conséquent **un élément clé** de la lutte contre les adventices. On définit la **période critique** comme étant l'intervalle dans le cycle biologique de la culture où l'on doit maintenir celle-ci exempte de mauvaises herbes, sous peine de s'exposer à des baisses de rendement.

Les cultures horticoles sont très sensibles à la concurrence exercée par les mauvaises herbes. Elles ont besoin d'être maintenues exemptes de mauvaises herbes depuis les semis, la levée ou le débourrement, jusqu'à la fin de la période critique d'absence de mauvaises herbes.

L'établissement d'une période critique aide à déterminer le moment optimal des interventions, ce qui réduit la nécessité de recourir aux herbicides ayant un effet rémanent qui dure toute la saison et aux applications tardives d'herbicides. Compte tenu des variations au niveau du sol, du climat et de l'avancement de la saison, on définit les périodes critiques en fonction des stades phénologiques de la culture. L'établissement de la période critique vise à maintenir la baisse de rendement attribuable aux mauvaises herbes sous le cap des 5 %. Autrement dit, il s'agit de la période pendant laquelle on doit garder la culture exempte de mauvaises herbes pour ne pas s'exposer à une baisse de rendement supérieure à 5 %.

Si l'on réussit à maîtriser les mauvaises herbes durant la période critique, les mauvaises herbes qui lèveront par la suite ne nuiront pas au rendement et pourront au besoin être détruites avant la récolte par un traitement destiné à dessécher la culture et à faciliter la récolte.

4.3.2. Origine du phénomène de résistance aux herbicides

La résistance à un herbicide traduit la capacité qu'a un peuplement de mauvaises herbes de survivre à un traitement herbicide qui, sous des conditions d'utilisation normales, réussirait à le maîtriser efficacement. La résistance aux herbicides est un exemple d'évolution à un rythme accéléré et illustre le principe de la « loi du plus fort ». Un herbicide peut détruire toutes les mauvaises herbes d'un peuplement d'une espèce en particulier, à l'exception de quelques spécimens ayant le potentiel génétique de survivre à l'herbicide. Les mauvaises herbes résistantes montent en graines et dominant tôt ou tard le peuplement. Celui-ci n'est par la suite plus maîtrisé efficacement par l'herbicide responsable de la sélection.

Les pratiques phytosanitaires et culturales qui conduisent à l'apparition de populations de plantes adventices résistantes aux herbicides dans les parcelles traitées ne sont pas très différentes de celles qui induisent la résistance chez les ravageurs ou chez les agents pathogènes. Par exemple :

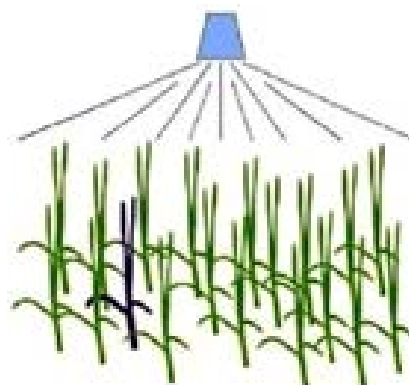
- utilisation répétée des mêmes substances actives ou de substances actives ayant les mêmes cibles d'action sur la même parcelle (des amarantes résistant à l'atrazine peuvent également être résistantes à la métribuzine ainsi qu'à la simazine (résistance croisée). Si le même peuplement d'amarantes est résistant à l'imazéthapyr, il affiche une multi-résistance) ;
- monoculture ou rotation courte ;
- espèce d'adventice présente dans chaque culture de la rotation ;
- adventice avec un fort potentiel de reproduction.
- la résistance risque davantage de se manifester parmi les espèces de mauvaises herbes annuelles, du fait qu'elles produisent un grand nombre de graines (les amarantes, le chénopode blanc et les sétaires en sont de bons exemples).
- la résistance se manifeste souvent à l'égard des herbicides qui sont les plus efficaces à combattre certaines espèces de mauvaises herbes. Ce phénomène s'explique par la sélection intense que ces herbicides imposent sur les espèces qu'ils sont très efficaces à combattre. Ainsi, seuls les spécimens résistants voient leurs gènes transférés d'une génération à l'autre.

Quand on constate que des plantes traitées ne sont pas complètement détruites au milieu d'autres qui présentent les symptômes caractéristiques des plantes intoxiquées par l'herbicide, il est bon de suspecter un début de résistance !

4.3.3. Cas particulier des plantes génétiquement modifiées

On lit souvent que des **plantes génétiquement modifiées (PGM)**¹ sont rendues « résistantes » à des herbicides. Cette expression, usuelle, même chez les professionnels, n'est pourtant pas correcte : ces plantes sont rendues « **tolérantes** » aux herbicides. La plante assimile et transforme la molécule qui normalement lui est nocive. Elle devient tout simplement insensible à l'effet de l'herbicide (ou « résistance/tolérance physiologique »).

¹ On parle aussi d'OGM (organisme génétiquement modifié).



Il y a plusieurs types de tolérances proposées par le génie génétique, mais elles emploient toutes l'une des stratégies suivantes (ou une combinaison des deux) chez une plante génétiquement modifiée (PGM) tolérante :

- a) la PGM produit une nouvelle protéine qui « détoxifie » l'herbicide ;
- b) la protéine cible de l'herbicide est remplacée chez la PGM par une protéine insensible à l'herbicide.

Ce sont essentiellement **quatre types d'herbicides** qui sont concernés par cette technique de génie génétique :

1. le glyphosate (chez le maïs, le soja, le coton, le colza et la betterave),
2. le glufosinate (chez le maïs, le soja, le coton, le colza, le riz et la betterave),
3. le bromoxynil (chez le coton) et
4. une sulfonylurée (chez le coton et le lin).

Les cultures de plantes transgéniques représentent 114 millions d'ha en 2007 soit 8 % de la surface cultivée dans le monde (1,5 milliard d'ha) dont 93,3 % sur le continent américain. Ces quatre espèces représentent plus de 99% des surfaces cultivées en variétés transgéniques. Avec 59 millions d'ha, le soja transgénique est le plus répandu. Il s'agit de variétés résistantes qui simplifient beaucoup la culture. Il est surtout cultivé aux États-Unis (81 % du soja américain) et en Argentine (90 % du soja argentin). Son développement plus récent au Brésil, est lié à la compétitivité de l'économie argentine.

Le maïs transgénique apporte la résistance à la pyrale et en moindre proportion, la résistance aux herbicides (notamment au glyphosate). Il est également le plus développé aux États-Unis (40 % des surfaces en maïs d'après l'USDA – *United State Department of Agriculture*). Le colza de printemps transgénique (canola OGM, 14 variétés résistantes aux herbicides) représentait, en 2009, 55 % des surfaces en colza des États-Unis et 77 % au Canada.

4.4. Exemples d'adventices nuisibles

4.4.1. La lutte contre le striga



Exemple d'infestations par le striga (Photos : Sara, Montréal, ABC Burkina et CIRAD)

❑ Biologie et nuisibilité du striga

« Waongo » en mooré, « sigè » en dioula ou encore le striga en français est une plante de la famille des *Scrophulariaceae* (famille des *Orobanchaceae*), parasite de cultures annuelles d'importance majeure. Elle est bien connue des producteurs dans les zones semi-arides d'Afrique. Selon différents rapports, la perte causée par le striga sur la production agricole en Afrique s'élève à plus de 1 000 milliards de FCFA par an. Depuis des décennies déjà, des recherches sont menées partout en Afrique afin de mettre au point des technologies pour lutter contre le striga.

Deux espèces sont particulièrement redoutables pour les cultures de la zone intertropicale :

- ***Striga asiatica***, à fleurs rouges, qui mesure 13 à 30 cm. Elle est la plus répandue en l'Afrique de l'Est et dans le monde ;
- ***Striga hermontica***, qui mesure environ 50 cm, à fleurs roses – violettes (voir photos ci-dessus). C'est l'espèce la plus fréquemment rencontrée en Afrique et tout particulièrement au Sahel, où elle cause des pertes de rendement estimées de 30 à 75 % au niveau national, mais qui peuvent être de 100 % au niveau d'une parcelle. La plante est particulièrement bien adaptée aux **zones à faible pluviométrie**, avec saison sèche bien marquée et températures annuelles élevées.

Les principales **cultures hôtes** du Striga sont : le **maïs**, le **riz**, le **sorgho**, le **mil**, l'éleusine et la canne à sucre. Les graminées spontanées servent aussi d'hôtes alternatifs au striga : *Heteropogon contortus*, *Cynodon dactylon*, *Rottbelia exaltata*,

Echinochloa colona, *Brachiaria distachya*, *Brachiaria erecta*, *Stenotaphrum dimidiatum*, *Setaria sphacelata*, etc., et il n'est donc pas rare de voir fleurir le parasite au milieu d'une jachère. Une autre espèce de striga (*S. gesnerioides*) cause des dommages sur le niébé.

Les graines de striga passent par une période de dormance, ce qui leur permet d'éviter de germer après une légère humectation accidentelle durant la saison sèche. Après une période de dormance de 4-8 mois, les graines passent par une phase de pré-conditionnement (réhydratation) avant la germination. Le cycle biologique du striga peut alors commencer par une phase souterraine qui dure près de 50 jours. La plante développe tout d'abord un suçoir (appelé haustorium) qui **pénètre ses tissus et se branche sur son système vasculaire**. Pendant cette phase souterraine, le striga prélève de son hôte toutes les substances nécessaires à son métabolisme (eau, hydrates de carbone et autres éléments nutritifs) et présente sa plus grande nuisibilité, car il dépend entièrement de son hôte pour pouvoir se développer (parasite exclusif).



Ce parasitage se traduit par un **mauvais développement** de la plante infestée, une chlorose (jaunissement) suivie d'un **dessèchement progressif des feuilles**, une réduction de la taille de la culture et une mauvaise fructification, et donc une baisse de rendement importante.

Ces symptômes sont liés à une forte carence en éléments nutritifs et à un manque d'eau au niveau de l'hôte, mais il existe probablement d'autres raisons au faible développement de l'hôte (modification de l'équilibre hormonal, toxines, perturbation de la photosynthèse).

Forts dégâts du striga sur riz en phase souterraine
(Photo : Rakotondramanana)

Après émergence, les feuilles se développent et deviennent chlorophylliennes. La plante devient hémiparasite, capable de subvenir à une partie de ses besoins. La tige se développe rapidement et produit une hampe qui portera les fleurs. La floraison commence cinq à six semaines après l'émergence des plantules. Les strigas produisent de minuscules graines, en quantité gigantesque (10 000 à 100 000 graines/plant). Ces graines se présentent sous la forme d'une poussière noirâtre, ce qui fait qu'elles sont facilement disséminées par le vent, les eaux de ruissellement, le bétail, le matériel agricole et l'homme par le biais des semences des cultures et des chaumes contaminés.



❑ Conditions favorables au striga

Le striga est une **plante que l'on associe souvent à la pauvreté**. Il se développe dans des milieux à pluviométrie faible et irrégulière, sur des sols pauvres, à faible teneur en matière organique et en azote. L'augmentation des surfaces cultivées et la réduction de la jachère, les pratiques culturales (labour, monoculture), de faibles restitutions et une érosion intense, les feux de brousse répétés et la multiplication des productions de céréales (plantes hôtes du parasite) entraînent une dégradation rapide des sols et favorisent le développement du striga. Son mode de reproduction (multitude de petites graines facilement transportées) lui permet d'infester rapidement de grandes surfaces. Les petites exploitations défavorisées sont les plus touchées. Elles entrent dans **un cercle vicieux de dégradation** qui favorise le développement du striga, ce qui aggrave encore leur précarité : petites parcelles ne permettant pas la rotation de culture (besoin d'assurer son approvisionnement en céréales de base), pas d'accès aux intrants ni parfois même au fumier, pas de jachère, peu de force de travail, etc.

❑ Méthodes de lutte

Même si les paysans connaissent ce parasite, ils connaissent nettement mieux ses conséquences sur les rendements que son cycle de développement. Le comportement de ce parasite est quasiment inconnu des paysans, ce qui explique leur grande difficulté à lutter contre lui. Les méthodes classiques de lutte curative contre le striga sont le plus souvent peu efficaces (labour, fertilisation minérale, décalage du semis de la culture pour réduire l'infestation, etc.) ou inadaptées et très difficiles à mettre en œuvre (arrachage des plantes à poursuivre sur les chaumes après la récolte, traitements herbicides répétés au 2,4-D, inondation pendant plusieurs semaines, culture-appât mécanisée, fumigation). Citons quelques méthodes employées avec plus ou moins de succès :

▶ **Culture de faux hôtes :**

Cette technique consiste à privilégier des cultures dont les exsudats racinaires sont capables de faire germer les graines des parasites sans pour autant permettre le développement du parasite. On obtient ainsi des « germinations suicides » et la baisse du stock semencier du striga. Les exemples les plus intéressants sont ceux du cotonnier, du soja, du pois de terre (*Voandzeia subterranea*), du pois d'angole (*Cajanus cajan*), de l'arachide (*Arachis hypogea*), du haricot (*Phaseolus vulgaris*), du niébé (*Vigna unguiculata*), qui font germer les graines de *Striga hermonthica* sans être parasités. Mais l'utilisation de « plantes pièges » ne doit pas se faire au détriment de la culture.

▶ **Pratique agronomique :**

C'est la technique de lutte la plus simple qui ne nécessite aucun matériel sophistiqué. Il est fortement conseillé de détruire par le feu les parasites arrachés, car les fleurs de striga fécondées sont capables d'arriver à maturité même après arrachage. Pour obtenir un effet significatif sur le rendement, l'arrachage doit être appliqué régulièrement et pendant plusieurs années.

▶ **Date de semis :**

Le semis précoce permet à la plante hôte d'esquiver les attaques dues au striga dès les premières pluies, au moment où les conditions ne sont pas encore réunies pour la germination des graines du parasite.

- ▶ **Fumure :**
L'apparition du striga dans les cultures résulte d'une monoculture pratiquée pendant trop longtemps et de l'absence d'apport d'intrants. Tout naturellement, on pense que l'apport d'engrais devrait améliorer la situation. Au Togo, l'apport de 120 kg d'urée à l'hectare répartis du démarrage et à quelques jours avant la floraison mâle du maïs permet de réduire le risque d'attaque parasitaire du *Striga asiatica*.
- ▶ **Rotation culturale :**
La pratique de la culture continue est très développée dans l'agriculture de subsistance africaine. Elle provoque une augmentation régulière et spectaculaire du stock de graines de striga dans le sol. **La première mesure à préconiser est la rotation culturale** de telle sorte que la culture sensible ne revienne que tous les 4 ou 5 ans. La rotation culturale peut être optimisée si, dans le cycle de rotation, on introduit une plante faux hôte comme le coton, l'arachide, le soja ou le niébé.
- ▶ **Association culturale :**
Cette technique qui consiste à associer, dans un même champ, une céréale et une légumineuse (arachide, soja ou niébé) permet de diminuer fortement la pression du striga sur la céréale. Les essais réalisés au Togo ont montré que l'association mil/soja diminue de 100 à 70 % le nombre de plants de *Striga hermonthica*.
- ▶ **Le paillage et le semis direct sur couverture végétale permanente :**
Le paillage permet une réduction de la température au sol ce qui réduit la germination du parasite). Mais la difficulté réside dans la mise en œuvre de cette technique, car le paillage nécessite de la biomasse (souvent utilisée pour l'alimentation des animaux, rapidement décomposée par les termites et/ou perdue dans les feux de brousse) et peut être longue et pénible à transporter. On peut utiliser comme alternative une technique de semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) qui permet **la mise en œuvre simultanée** de l'utilisation de plantes pièges, de paillage et d'amélioration de la fertilité du sol, et ce, avec des moyens limités. De très bons résultats ont été obtenus avec cette méthode pour le contrôle du striga².

À l'avenir, l'utilisation du champignon *Fusarium oxysporum*, qui peut nuire au développement et à la reproduction du striga, permettrait une lutte biologique contre ce redoutable parasite.

4.4.2. La lutte contre la cuscute

□ Biologie et nuisibilité de la cuscute

La cuscute (*Cuscuta* spp.) est un genre de 100 à 170 espèces de plantes parasites. Les cuscutes sont des plantes jaunes, orange ou rouges, rarement vertes. Elles sont reconnaissables à leur tige fine, filamenteuse, apparemment sans feuilles, celles-ci étant réduites à de minuscules écailles. Elles ont très peu de chlorophylle.

² Voir O. HUSSON *et al.*, *Le contrôle du striga par les systèmes SCV (semis direct sur couverture végétale permanente)*, Manuel pratique du semis direct à Madagascar, vol. I, Chap. 3, CIRAD, TAFA, FOFIFA, GSMM, AFD (Madagascar), 2008.

Les graines des cuscutes sont relativement petites (1 à 1,5 mm de diamètre). Elles sont produites en grand nombre (2 000 à 3 000 par tige) et recouvertes par un tégument pluristratifié, brunâtre et très coriace dont l'imperméabilité est responsable d'une dormance tégumentaire profonde. Les graines germent à la surface du sol ou un peu en dessous. La germination peut avoir lieu sans hôte, mais la plantule doit atteindre une plante verte avant 5 à 10 jours après la germination pour survivre. Avant d'atteindre une plante hôte, la plantule vit sur les réserves de la graine, comme les autres plantes.



Après que la cuscute a atteint une plante hôte, la tige forme des filaments non chlorophylliens qui s'enroulent autour des tiges de la plante hôte et y enfoncent des suçoirs (haustoriums) qui s'insèrent dans le système vasculaire de l'hôte. La racine d'origine meurt ensuite. La gravité des attaques de cuscutes est très variable selon les espèces, selon l'hôte, la durée de l'attaque...

Elle apprécie particulièrement les cultures maraîchères (tomate, carotte, aubergine).

La cuscute peut se développer et parasiter plusieurs plantes. Dans les régions tropicales, la cuscute se développe de façon plus ou moins continue jusqu'au sommet des arbres et arbustes.

La plante parasite détourne la sève élaborée à son profit ; la branche hôte située au-delà du point d'insertion du parasite est toujours hypotrophiée. Des baisses de rendement sont constatées à cause de la diminution du développement de l'hôte qui se traduit par une réduction de la floraison, de la fructification et de la production, voire par un dessèchement total de l'hôte avant la floraison. En affaiblissant la plante hôte, la cuscute diminue aussi sa capacité de lutte contre les virus ; la cuscute peut aussi participer à la transmission de pathogènes d'une plante à l'autre, si elle est installée sur plusieurs plantes à la fois.

☐ Méthodes de lutte contre la cuscute

- Utiliser des semences certifiées et bien nettoyer les outils. De nombreux pays ont une législation interdisant l'importation de graines de cuscute, obligeant d'avoir des semences de cultures non contaminées par les graines de cuscute.
- Brûler les ronds envahis par la cuscute. On peut aussi employer le glyphosate sur les taches de cuscute en culture de luzerne en appliquant 60 ml du produit commercial (Round-up) dans 500 litres d'eau (buse à fente ou à miroir).
- Lorsqu'un champ est infecté, il convient de planter des cultures non hôtes pendant plusieurs années consécutives.
- Appliquer des herbicides : un herbicide anti-germinatif peut être utilisé.

Chapitre 5

Techniques d'observation et méthodes d'échantillonnage

Méthodes d'observation et d'échantillonnage au champ des populations de ravageurs	86
Méthodes d'observation des champignons et bactéries	97
Les seuils de risque, les modèles de prévision et les avertissements agricoles	102
Détection des organismes de quarantaine (échantillonnage) et certificats phytosanitaires	106



5.1. Méthodes d'observation et d'échantillonnage au champ des populations de ravageurs

On appelle « population » l'ensemble des individus de la même espèce qui vivent sur un territoire (le biotope) dont les limites sont généralement celles de la biocénose dont cette espèce fait partie.



Les populations possèdent un ensemble de caractéristiques telles que la répartition spatiale des individus, la densité, la structure... La **densité d'une population** est le nombre d'individus présents par unité de surface ou de volume.

Sa détermination est importante, car **l'action nuisible d'une espèce dans un milieu dépend en grande partie de sa densité...** avec des exceptions notables comme celle des vecteurs de viroses !

Les méthodes d'évaluation de la densité des populations, indispensables pour fonder une stratégie de lutte, sont très nombreuses et peuvent se grouper en 2 rubriques principales : le **comptage direct** et les **méthodes indirectes (piégeage, extraction...)**, sans oublier les techniques de diagnostic et d'échantillonnage.

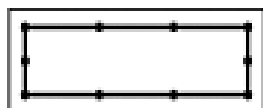
Le « dépistage » est un processus complexe qui nécessite une adaptation selon le type de cultures à observer. Les principales étapes à réaliser par l'observateur sont les suivantes :

- 1) planification de la périodicité du dépistage en fonction du ravageur, de la maladie ou des adventices ciblés et tenue d'un calendrier des activités d'observation et d'échantillonnage ;
- 2) détermination des unités de dépistage (ex. : plantes, feuilles, racines...) et production d'un plan des parcelles de l'entreprise (pour déterminer les zones à prospecter) ;
- 3) détermination des techniques de comptage, d'évaluation et de localisation des ravageurs à utiliser. Trois techniques sont principalement utilisées :
 - dénombrer les parasites présents selon les différents stades de développement ;
 - observer les dommages causés par les parasites et/ou les symptômes causés par les maladies ;

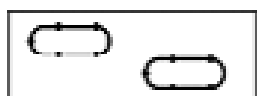
- dénombrer le nombre de plants porteurs d'insectes, d'acariens, de nématodes, etc., ou de dommages, ou de symptômes ;
- 4) détermination des procédures d'échantillonnage en réalisant la planification du circuit de dépistage et en déterminant le nombre d'échantillons à dépister :
- s'il s'agit de détecter des ravageurs ou des problèmes que l'on soupçonne d'être **uniformément distribués** ou dont le schéma de distribution est inconnu, répartir les points d'échantillonnage uniformément :



- si l'on s'agit de détecter des ravageurs ou des problèmes soupçonnés de se manifester **à partie des rangs extérieurs**, répartir les points d'échantillonnage uniformément autour du champ :



- si l'on recherche des ravageurs ou des problèmes soupçonnés de se situer **dans certaines portions du terrain**, il faut concentrer les points d'échantillonnage dans ces secteurs :



- 5) enregistrement des données permettant à l'observateur d'effectuer une quantification des populations de ravageurs présentes et de suivre l'évolution et la répartition des parasites au cours d'une même saison et des saisons culturales successives (notamment en rapport avec le « seuil d'intervention »).

5.1.1. L'observation et le comptage directs

Cette méthode consiste en un choix de plants au hasard ou d'un nombre déterminé de plantes le long d'une rangée de semis et l'observation de la présence du ravageur ou de la maladie sur toutes les parties de la plante. C'est une méthode qui est utilisable tôt dans la saison et qui peut être appliquée aux stades précoces de développement végétatif. Elle présente l'avantage de ne pas être destructive, car aucun prélèvement de matériel végétal n'est nécessaire. Mais elle n'est applicable que lorsque le vent est faible (moins de 12 km/h). Elle implique aussi une bonne connaissance de la systématique des insectes, et des symptômes des maladies.

Dans un milieu ouvert ou une végétation basse, on peut effectuer un comptage direct.

L'emploi d'une loupe pour une observation fine peut être nécessaire. En outre, cette méthode est utilisable dans le cas des oiseaux dont on dénombre les nids ou les couples nidificateurs.

5.1.2. Les techniques de piégeage et de capture

☐ L'« habit pour sol »

Cette méthode d'échantillonnage consiste à faire passer les ravageurs de la plante sur un **morceau de tissu clair** d'environ 20 cm que l'on étend, à l'aide de piquets, **sur le sol** au pied de la plante entre deux rangées adjacentes de semis afin de collecter les insectes et de les compter. Cette méthode n'est évidemment pas valable pour les insectes qui s'envolent rapidement et au moindre contact (criquets, par exemple). Elle est très adaptée aux coléoptères qui souvent se laissent tomber lorsqu'ils se sentent en danger ainsi qu'aux chenilles de lépidoptères.



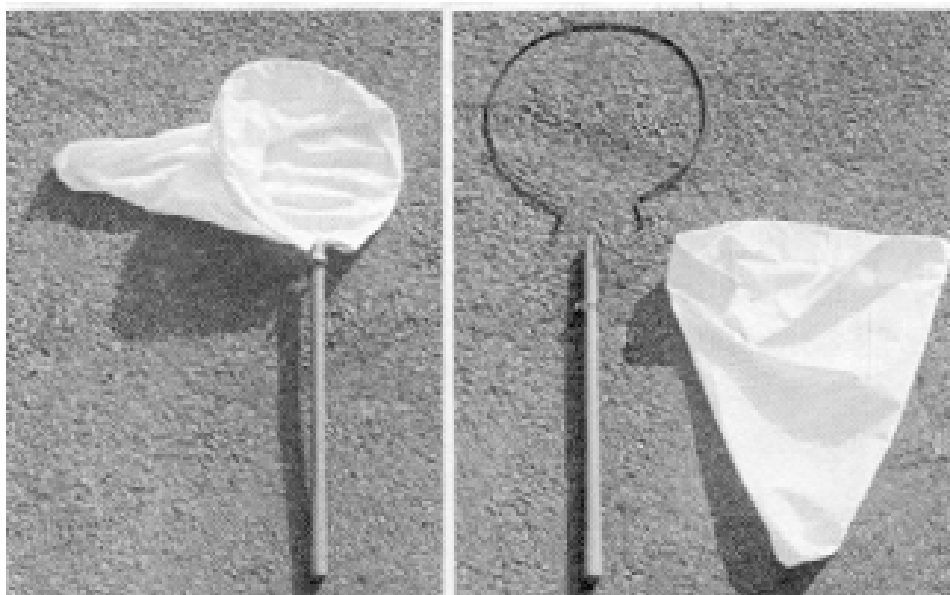
Utilisation d'un tissu de récolte pour sol



Une fois les ravageurs collectés, on peut soit identifier les espèces, les compter au champ même, soit les transférer dans un container adéquat (bouteille en verre, petits tubes en plastique...) et ensuite les emporter au laboratoire pour une détermination ultérieure. Cette méthode est adéquate pour les ravageurs à mouvements lents, mais est limitée par la taille des plants. S'ils sont trop petits ou en sénescence, la technique devient inadaptée. De plus, en secouant le plant, cela peut occasionner une chute des feuilles hors du périmètre délimité par le morceau de tissu et il devient difficile d'effectuer un comptage correct.

❑ Le filet fauchoir

Pendant plus d'un siècle, cette méthode a été la plus répandue pour la capture des arthropodes nuisibles aux cultures. Cela s'explique par le fait que, malgré les difficultés de standardisation, il n'existe aucune autre méthode permettant de capturer autant d'insectes par homme et par heure sans accroître le coût pour l'équipement et l'altération de la culture. Ce filet est composé de trois éléments de base : le **filet conique** proprement dit, l'anneau qui permet de conserver le filet ouvert et le manche, lié à l'anneau, fait en aluminium ou en bois.



Filet fauchoir

L'échantillonnage peut se faire **le long d'une rangée de plantes** en tenant le filet par le manche et en le passant à travers le feuillage. Il est aussi possible d'aller d'une rangée adjacente à l'autre en zigzagant. Malgré le fait que c'est une méthode très adaptée pour la capture des arthropodes, ses résultats sont souvent variables en raison de facteurs environnementaux tels que la température (qui influence le métabolisme des insectes et donc leur faculté à fuir), l'humidité qui joue sur le microclimat et la localisation des insectes, la position du soleil (l'ombre que fait le technicien peut chasser les insectes), la taille des plants (qui sont fragiles lorsqu'ils sont petits), la densité de la végétation (qui peut opposer une certaine résistance mécanique au filet). Lorsque le feuillage est mouillé à la suite d'une pluie, il devient difficile d'employer le filet.

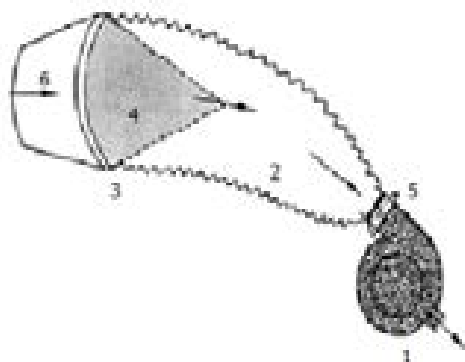
Afin de convertir les captures en estimations absolues de la population, on utilise des méthodes de régression en comparant les estimations de population basées sur les captures avec des densités de population déterminées sur base d'une méthode absolue d'échantillonnage telle que la fumigation en cage ou la récolte de la plante entière.

❑ Les filets aspirants ou *succion nets*

Ils fonctionnent par effet de **succion** comme des pièges fixes ou mobiles pour des échantillonnages de ravageurs au sein d'une culture. Ils sont pourvus d'un aspirateur (ventilateur portable), d'un réservoir à gazoline, d'un conduit d'air flexible, d'un sac de collecte, d'un petit cône et d'une commande.

Le prélèvement doit se faire en sens opposé à la direction du vent. Il est possible d'échantillonner sur une longueur bien déterminée le long d'une rangée en tenant la tête du cône horizontalement et la partie arrondie du filet faisant un angle de 45° avec la rangée avec le dessus de la plante.

Schéma d'un filet aspirateur (succion net) :



- 1 : ventilateur
- 2 : conduit d'air flexible
- 3 : anneau de maintien du cône
- 4 : filet en tulle
- 5 : tamis de protection du ventilateur
- 6 : cône de réglage du diamètre du filet



Utilisation d'un filet aspirateur

Cet outil est utile pour les **ravageurs de petite taille** capables d'être aspirés par le courant d'air et pas effrayés par le bruit de l'appareil et le mouvement de l'opérateur. Cette technique donne de bons résultats pour les mouches, certaines petites larves de lépidoptères, des nymphes et les adultes de certains hémiptères.

Avec cette méthode de capture, la surface de la tête conique correspond à une zone du champ échantillonnée. La population résiduelle peut être déterminée par des observations directes, mais un meilleur calibrage est donné en comparant les résultats avec ceux d'une méthode plus absolue.

❑ Les pièges à phéromones

Dans les cultures maraîchères, fruitières et horticoles, les chenilles de papillons ravageurs et les autres insectes parasites des cultures peuvent causer des dégâts considérables. Le piège à phéromones est un instrument utile pour la détection des insectes ravageurs, il renseigne sur l'importance de l'attaque et aide le cultivateur à déterminer le moment propice pour les détruire.

Les phéromones sont des **signaux échangés entre les individus d'une espèce** et qui influencent leur comportement. Il y a par exemple des phéromones sexuelles qui attirent les papillons mâles situés à une grande distance des papillons femelles. Avec le piège à phéromones, on profite de ce phénomène pour attirer les insectes ravageurs.

Le type de piège qui donne les meilleurs résultats dans la pratique est le piège « Delta ». Ce piège se compose d'un fond englué et d'un toit en matériel durable résistant à l'eau. Au milieu du toit, il y a un crochet pour suspendre le piège. La capsule, qui contient les phéromones, se situe entre le toit et le fond englué. Les mâles, attirés par les phéromones femelles sont piégés et restent fixés sur le fond englué. En contrôlant ce fond, les ravageurs peuvent être identifiés. Par le comptage, on peut se faire une idée de l'importance de leur population et de leur distribution. À partir d'un certain nombre de mâles attrapés, la lutte doit être réalisée. Les phéromones sont spécifiques pour chaque insecte ravageur. La durée d'activité d'une phéromone dépend de sa composition, du nombre de pièges posés, de sa concentration et du climat.

Parmi les pièges à phéromones, on retrouve les **pièges sexuels** qui utilisent des capsules imprégnées de phéromone analogue à la phéromone de la femelle du ravageur recherché. Les pièges sexuels existent pour les lépidoptères, mais également pour d'autres ravageurs, comme certains diptères.

Il existe deux grandes catégories de pièges : les **pièges pour la détection** et les **pièges pour le piégeage massif**.

- **Les pièges pour la détection** (ou *monitoring*) sont utilisés pour **signaler le début de vol d'un ravageur**. Ainsi, l'utilisateur peut gérer de façon raisonnée ses traitements chimiques ou biologiques (pour les apports de trichogrammes, par exemple). Ce sont généralement des pièges englués : les mâles attirés par la phéromone de synthèse restent alors prisonniers. Ce type de piège peut être utilisé pour de nombreux ravageurs en arboriculture, grandes cultures, cultures maraîchères et ornementales, viticulture...
- **Les pièges pour le piégeage massif**, composés d'un entonnoir et d'un réceptacle qui retient les papillons, sont utilisés pour **capturer les lépidoptères en grandes quantités**. Par le biais d'un attractif produit par synthèse, l'objectif est de capturer et de détruire un grand nombre d'insectes ravageurs des cultures. Cette méthode est spécifique et respectueuse de l'environnement. Cette méthode de lutte par piégeage massif permet de contrôler les populations de ravageurs à moyen terme, mais elle n'est pas efficace contre toutes les espèces. Elle est utilisable notamment contre les lépidoptères ravageurs.

❑ Les pièges englués

- *Delta traps*



Le piège delta, fabriqué en général en plastique recyclable ou en carton, est imprégné de phéromones sexuelles, mais aussi de colle emprisonnant les insectes. Ce piège possède une entrée réduite empêchant les insectes d'en sortir.

- *Wing traps*



Le piège en forme d'ailes est lui aussi en papier résistant aux intempéries, avec des faces intérieures engluées, de larges ouvertures pour une plus grande diffusion de la phéromone dans le milieu environnant et un appât à phéromones inoffensives pour les autres insectes. Cependant, le rendement de capture est faible.

- *Nasses (cone traps)*



Ce piège utilise comme appât des phéromones synthétiques fixées à la base d'un filet en cône. Ce cône est placé à même le sol dans l'herbe haute et les insectes qui y pénètrent s'accumulent dans un réservoir au dessus. Ces pièges sont les plus efficaces sur le marché, bien que le délai de piégeage soit 4 à 8 jours plus long que pour les pièges lumineux. Leur efficacité est presque 4 fois plus importante s'ils sont placés au cœur de la végétation et non au-dessus. Ils sont également efficaces en dehors de la parcelle, lors du premier cycle du ravageur (lépidoptères).

❑ Les pièges à eau (*water pan traps*)

Une capsule phéromonale est fixée à une ficelle au-dessus d'un récipient contenant un « mouillant ». Ce liquide composé d'eau savonneuse diminue l'hydrophobie de la cuticule des insectes, qui ne peuvent plus rester à la surface et coulent donc plus facilement au fond du récipient. Un changement régulier du contenu du récipient (toutes les semaines) est nécessaire pour un rendement optimal. Ils sont aussi efficaces que les pièges lumineux, mais sont malheureusement très dépendants des conditions atmosphériques, s'évaporant en cas de sécheresse ou se diluant en cas de pluie.



❑ Les autres pièges

- **Le piège lumineux** (*black light traps*) est surtout efficace pour les lépidoptères et autres insectes nocturnes. La lumière produite par une ampoule de 15 W attire les papillons ou autres insectes qui percutent des plaques métalliques imprégnées de savon. Les insectes glissent alors dans un récipient rempli d'eau savonneuse et y restent prisonniers. Ces pièges sont parmi les plus efficaces en cas de fortes densités, mais ne contiennent pas de phéromones, ils sont donc peu sélectifs. En effet, ils attirent aussi bien les lépidoptères femelles d'une espèce déterminée que d'autres espèces, voire d'autres insectes. Ces pièges peuvent donc rendre difficile le comptage des insectes si des espèces proches y sont mélangées.



- Le piège le plus efficace demeure le **bac coloré** (en **jaune**) et **rempli d'eau savonneuse (pièges à eau)** qui recueille les insectes attirés par la couleur. L'eau a un effet attractif dans le sens où les insectes se dirigent vers les endroits où une plus forte hygrométrie annonce la présence d'eau ; les reflets des lumières solaire et atmosphérique à sa surface ont aussi un effet attractif et enfin, elle occulte un peu les parois du bac et les insectes se focalisent sur l'eau. Les insectes sont attirés sur une distance de 30 à 40 cm.



Ces pièges présentent de nombreux avantages, dont la simplicité et un prix de revient bas, la facilité de ramassage des insectes (on déverse le contenu du bac dans un entonnoir terminé par un tube de matière plastique amovible, qui est ensuite retourné sur un pilulier dans lequel on chasse d'un jet d'alcool la partie retenue), la conservation dans un bon état des insectes (sauf les papillons), et enfin, aucune source d'énergie n'est nécessaire. À noter la spécificité des captures, les insectes étant attirés le plus souvent par une longueur d'onde précise.

- Le **piège Malaise** ressemble à une tente de toile dans laquelle les insectes volants viennent « se perdre » ; dirigés d'une façon passive vers l'extrémité supérieure du " toit ", ils sont récoltés dans un flacon fixé à cette extrémité.
- Le **piège d'émergence** permet de recueillir des populations d'arthropodes du sol. Il est possible d'employer des *extracteurs à sec* ou par *voie humide* :
 - les **extracteurs à sec** (appareil de Berlèse ; appareil de Tullgren ; appareil de Tullgren combiné avec des répulsifs tels que la naphthaline) utilisent une source de chaleur et conviennent pour les micro- et les macro-arthropodes ;
 - les **extracteurs humides** (appareils de Barmann, de Seinhorst ou de Milne) sont souvent constitués d'un tamis contenant l'échantillon de terre sur lequel on répand de l'eau, le tout étant chauffé par une lampe placée au dessus. La teneur en oxygène diminue et les animaux descendent le long d'un tube pour fuir la chaleur et gagnent ainsi un bac d'eau froide où ils sont récoltés. Ces extracteurs par voie humide sont adaptés pour les échantillonnages de nématodes.

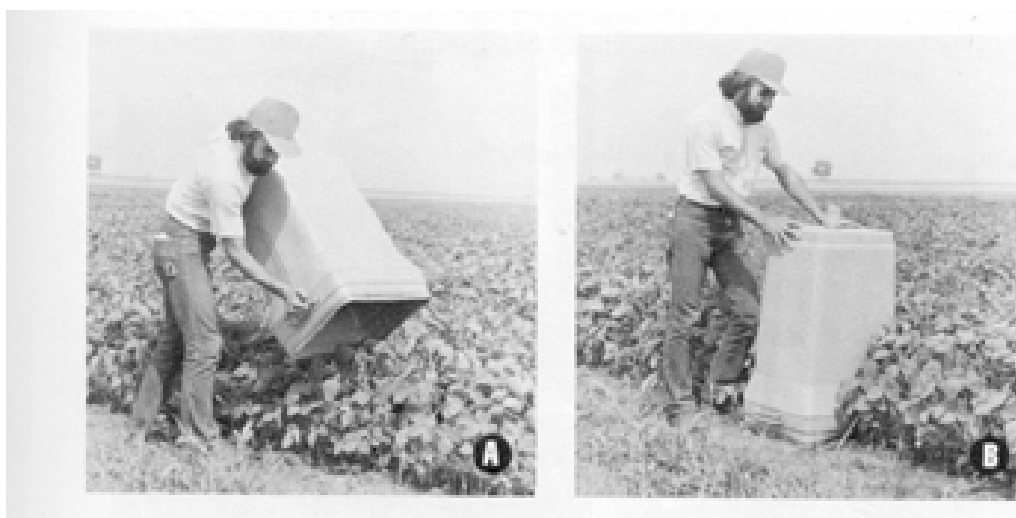
Il existe aussi des méthodes mécaniques **d'extraction par examen direct des échantillons de terre** sans ou avec colorant (nématodes), par **examens directs de sections de sol**, par extraction par **tamissage à sec** (coléoptères), par extraction par **flottaison** (nématodes, acariens, mollusques), par **tamissage humide et flottaison** (méthodes de Ladell, d'Aguilar, Bernard et Bessard, méthode de Salt et Hollick), par **centrifugation et flottaison**, par **sédimentation**, par **élutriation**, et par **macération de substrat**.

5.1.3. Les méthodes absolues d'échantillonnage

Des méthodes précises d'estimation de densités de population sont nécessaires pour des programmes de gestion des populations de ravageurs. Les méthodes décrites ci-dessus sont dépendantes des conditions environnementales, humaines et d'autres facteurs biologiques. La validité des données recueillies grâce à ces techniques ne peut être jugée sur base de leur efficacité qu'en les comparant à une méthode d'échantillonnage plus fiable et moins coûteuse. Les deux méthodes décrites sont basées sur un isolement d'une population sur une surface connue.

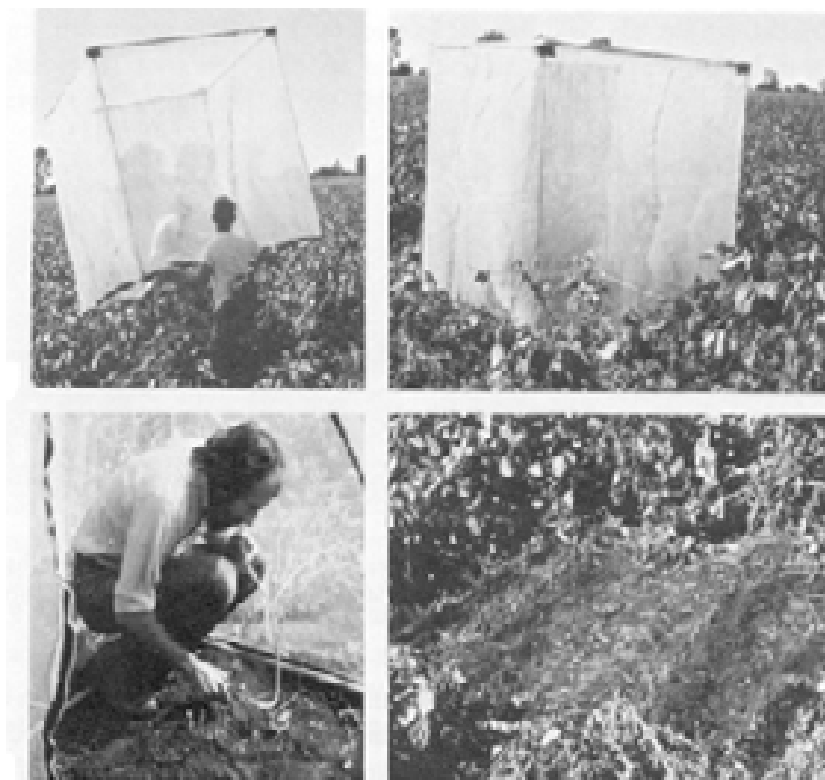
Une première méthode est la **fumigation en cage** (en bois, plastique ou métal légers). La cage doit aussi être pourvue d'une légère ouverture au sommet afin de permettre l'application du fumigant ainsi que d'une plaque de collecte au fond. Un pack aérosol contenant 20 % d'un pyréthrinéoïde constitue un excellent fumigant. 5 à 8 secondes de pulvérisation sont souvent suffisantes pour avoir un effet *knock down* sur les arthropodes à l'intérieur de la cage. Sans retirer la cage, l'opérateur insère un bras à travers le cylindre d'injection et secoue énergiquement la plante. La cage est alors retirée et les insectes sont collectés à la base.

Échantillonnage par fumigation (A : choix de la plante, B : prélèvement)



La seconde méthode consiste en une **récolte de la plante entière** à l'aide d'une cage d'échantillonnage de dimensions 1,8 x 1,8 x 1,8 m en tulle et montée sur un support cubique. Une ouverture est aménagée sur un des côtés de la cage avec une fermeture afin de permettre un accès à l'intérieur de la cage. La cage est placée sur le lieu d'échantillonnage par deux opérateurs dont l'un entre dans la cage munie d'un aspirateur, d'étiquettes et de sacs en plastique. L'aspirateur sert à aspirer les insectes des plantes qui sont ensuite arrachées et mises dans les sacs prévus à cet effet. Les débris végétaux (feuilles, branches) sont aussi collectés et mis dans des sacs séparés. La cage est laissée sur place pendant 1 à 2 heures afin de recueillir les individus tombés dans les trous ou enveloppés de poussière lorsqu'ils se déplacent vers les bords de la cage. Les méthodes d'extraction par voie sèche permettent de « retirer » les insectes des débris végétaux et du sol.

Par une méthode de régression statistique, sous la forme $y = \beta x + \alpha$ avec y correspondant au nombre obtenu par la méthode d'échantillonnage employée et x au nombre obtenu avec la méthode d'échantillonnage absolue (fumigation ou récolte des plants), l'efficacité de la méthode d'échantillonnage choisie est testée.



- 1 : *Transport de la cage dans le champ*
- 2 : *Mise en place de la cage*
- 3 : *Récolte des insectes tombés au sol après prélèvement et ensachage des plants*
- 4 : *Retrait de la cage et surface d'échantillonnage*



5.2. Méthodes d'observation des champignons et bactéries

5.2.1. Méthodes d'observation des symptômes

Une observation précise des symptômes et de leur évolution dans le temps et dans l'espace constitue la première étape du diagnostic. Les symptômes sont parfois suffisamment définis et spécifiques pour permettre d'identifier correctement la cause d'une maladie sans nécessiter d'autres analyses : c'est le cas de certaines affections classiques, comme les rouilles, les oïdiums et les charbons.

Cependant, le plus souvent, les situations rencontrées sont complexes : différents agents peuvent induire des symptômes similaires tandis qu'inversement, un même agent peut produire des symptômes variables selon les situations. De plus, les symptômes les plus visibles ne s'expriment pas nécessairement au site d'action primaire de l'agent causal ; ainsi, certains agents pathogènes responsables de la nécrose du système racinaire ou des tissus vasculaires (**symptômes primaires** ou **symptômes-causes**) provoquent secondairement des flétrissements ou des échaudages des parties aériennes (**symptômes secondaires** ou **symptômes-conséquences**).

L'époque d'apparition des symptômes, ainsi que les **circonstances climatiques** qui ont précédé leur expression possèdent une grande importance dans le diagnostic d'une maladie causée par un champignon ou une bactérie.

Les **précédents cultureaux** ainsi que les différentes **opérations effectuées dans la culture** peuvent interférer avec l'initiation et le développement des symptômes ; seront notamment pris en considération, les fumures minérales (doses et dates d'application), les traitements phytosanitaires (doses, noms commerciaux, appareillages et techniques d'épandage), les travaux du sol, la date de semis ou de plantation et l'origine des lots de semences ou d'organes de propagation.

L'histoire du champ peut révéler même après plusieurs années, des circonstances favorisant l'apparition des symptômes. De même, des démarcations entre symptômes peuvent correspondre après plusieurs années à des limites de parcelles à histoire différente. La répartition spatiale peut apporter des éléments utiles au diagnostic : les fonds de vallée et les versants exposés au nord constituent des stations particulièrement favorables aux dégâts des parasites se développant en conditions un peu plus humides et froides. Les dépressions correspondent souvent à des zones où se manifestent des symptômes d'asphyxie des racines.

La manière dont les plantes malades sont réparties au sein de la culture permet également d'éclairer la nature de la transmission des causes de l'infection ou de leur transmission. Une distribution en lignes parallèles au semis reflète une origine humaine (compaction du sol liée au passage des machines, surdosages d'engrais ou de produits phytosanitaires, répartition linéaire d'un inoculum par les outils). Des plantes malades réunies en plage à l'entrée d'un champ peuvent correspondre à des dépôts de sacs d'engrais (gale à *Streptomyces scabies* dans les zones de stockage des amendements calcaires) ; des plantes malades réparties en petits groupes formant des taches

distribuées aléatoirement dans le champ peuvent révéler une transmission de virus par pucerons. Au contraire, une maladie s'exprimant année après année, au même endroit et dont la surface atteinte croît principalement dans le sens du travail du sol suggère une origine microbienne ou une transmission de virus par nématodes ou par champignons.

À ce stade du diagnostic, il importe de **relever tous les indices** permettant de statuer sur le caractère biotique ou abiotique du problème en passant par un prélèvement d'échantillons. Lorsque l'identification de la cause de la maladie ne peut être établie sur le site, il y aura lieu de **prélever des échantillons en vue d'analyses** subséquentes.

Ce prélèvement doit être effectué avec le plus grand soin, car de sa qualité dépendra la réussite des étapes ultérieures (observations microscopiques, isolement...). Il est toujours préférable de **prélever des plantes entières** (racines comprises), plutôt que de se limiter aux organes qui semblent altérés afin d'identifier les symptômes-causes. Il est également judicieux de prélever des échantillons à plusieurs stades d'évolution de la maladie, notamment des plantes présentant un début de symptômes (en vue d'isoler l'agent pathogène et d'observer ses fructifications) ou montrant un stade avancé de l'infection (présence des organes de conservation du parasite).

5.2.2. Méthodes de diagnostic en laboratoire

Diverses méthodes de laboratoire sont utilisées pour poser le diagnostic. Elles sont l'affaire de spécialistes et de laboratoire bien équipés, et si possible certifiés.

Les techniques de laboratoire se répartissent en **trois catégories** selon leur objectif :

- la détection d'entités infectieuses de l'agent pathogène (**méthodes biologiques**) ;
- la mise en évidence de molécules immunogènes synthétisées par l'agent pathogène (**méthodes immunologiques**) ;
- la détection de séquences d'acides nucléiques spécifiques au génome de l'agent pathogène (**méthodes moléculaires**).

☐ Méthodes biologiques



Un simple examen attentif de la surface des échantillons de plantes malades à l'aide d'une **loupe binoculaire**, ou d'un échantillon au **microscope**, suffit parfois à mettre en évidence des fructifications de champignons ou des exsudats bactériens dont la présence peut fonder le diagnostic d'une maladie parasitaire.

Exemple pratique : la « méthode de l'exsudat » pour confirmation de présence de *Ralstonia solanacearum* (Pourriture brune).

Cette méthode est utilisée dans le cadre de la certification des plants de pommes de terre. *Ralstonia solanacearum* est une bactérie du sol, pathogène des végétaux, Gram-négative responsable de la pourriture brune. Présente dans tous les continents, particulièrement dans les régions tropicales et subtropicales, la bactérie se conserve dans le sol où elle peut survivre plusieurs années. Elle pénètre par les racines et se propage par le système vasculaire ; elle est disséminée par l'eau d'irrigation (eau de surface) ou par le plant. Elle colonise le xylème, causant une pourriture bactérienne ou bactériose vasculaire chez de nombreuses plantes-hôtes appartenant aux solanacées (tomate, morelle, poivron, aubergine, tabac...), mais aussi sur d'autres plantes.



Méthode de détection (extrait de : *Draft du schéma de contrôle de certification de plants de pommes de terre, CDE- Lux Development – AIDCO, 2009*) :

Arracher la plante et vérifier si :

- la tige principale et/ou les racines ne sont pas attaquées par un insecte
- les tiges ne pourrissent pas au niveau du collet (*Erwinia*)
- la tige principale rejette un exsudat :
 - Matériel : verre transparent + couteau + bouteille d'eau claire
 - Méthode : couper la tige principale 5 cm au dessus du collet et la tremper dans un verre d'eau. Attendre 1 à 3 minutes pour vérifier la présence de filaments blancs qui s'écoulent des vaisseaux.

Résultat :

Si on observe les filaments, la plante est bien atteinte de *Ralstonia solanacearum*, il faut donc enlever le sol, les tubercules et les plantes proches.



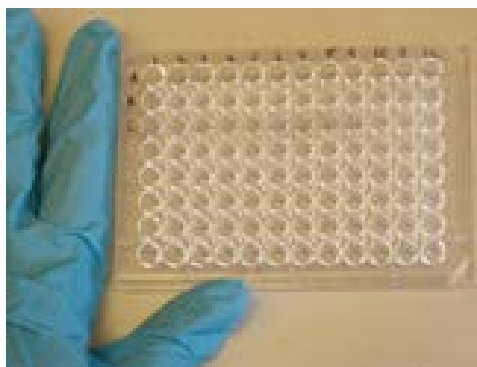
Dans les cas les plus complexes, on recourra à **l'isolement de l'agent** ; les différentes étapes d'un tel travail comprennent : (1) le choix de l'échantillon végétal ; (2) sa désinfection superficielle, son dépôt sur un milieu nutritif et (3) l'observation d'une culture axénique du parasite.

L'identification finale peut aller jusqu'à l'inoculation de l'agent isolé. Cette méthode ne s'applique qu'aux pathogènes capables de se multiplier sur milieu *in vitro* (champignons, bactéries).

Les méthodes biologiques de diagnostic des **parasites obligatoires** (virus, phytoplasmes...) s'appuient sur une série d'opérations : descriptions des symptômes observés, **transmission de l'agent infectieux à des plantes-hôtes** et des symptômes, détermination de la gamme de plantes-hôtes et des symptômes qu'elles expriment, observation au microscope (éventuellement électronique), extraction et purification (dans le cas des virus et viroïdes).

❑ Méthodes immunologiques ou sérologiques

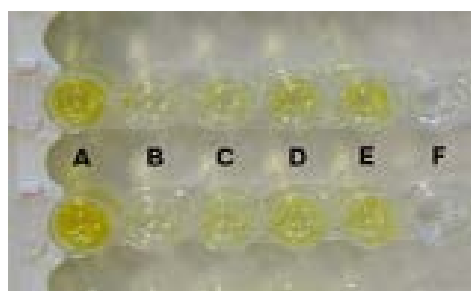
De nombreuses molécules d'un agent pathogène peuvent se comporter comme antigènes en induisant, dans les tissus lymphatiques des animaux à sang chaud, la formation d'anticorps avec lesquels elles réagissent spécifiquement. Plusieurs techniques sérologiques exploitent cette propriété ; elles mettent en œuvre tantôt des anticorps polyclonaux, tantôt des anticorps monoclonaux.



Le marquage enzymatique de ces anticorps a permis le développement de protocoles adaptés à la détection et la quantification des agents phytopathogènes (**test ELISA**).

Le test ELISA (acronyme de *Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay*) est un test immunologique destiné à détecter et/ou doser une protéine dans un liquide biologique.

Les principaux avantages des tests immuno-enzymatiques sont leur **sensibilité** et leur **facilité d'utilisation**. L'obtention des anticorps peut cependant rencontrer des difficultés dans le cas de maladies à étiologie mal définie, ou pour des affections dont l'agent ne peut être cultivé *in vitro* ou purifié aisément.

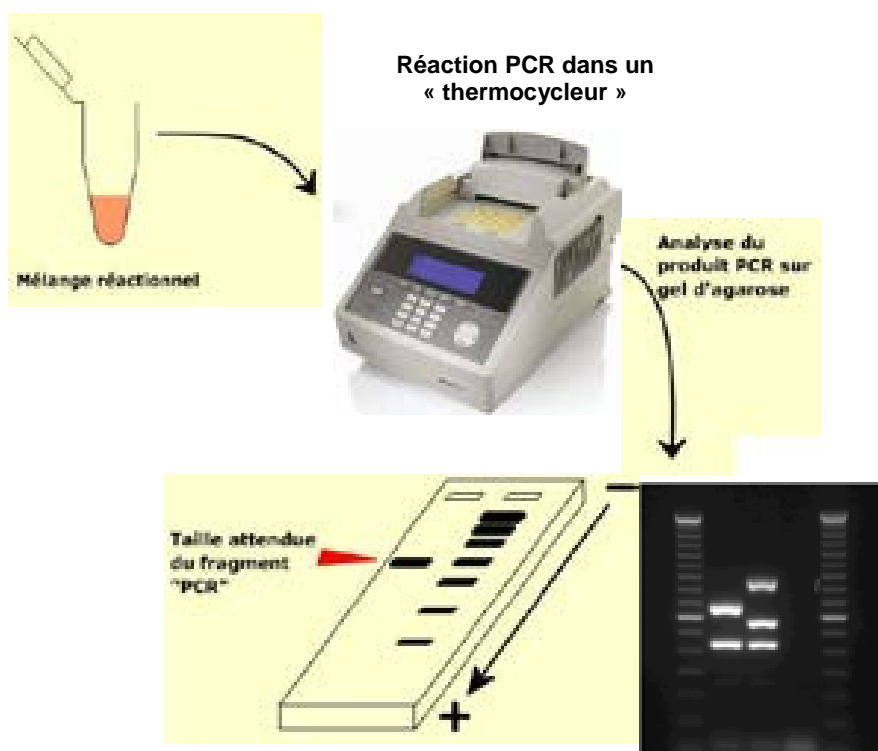


❑ Méthodes moléculaires

Le diagnostic des maladies causées par les viroïdes ne peut être assuré par les méthodes sérologiques. On utilise dans ce cas des techniques de diagnostic basées sur **l'analyse des séquences d'acides nucléiques** de plantes infectées par électrophorèse en gel de polyacrylamide ou sur la caractérisation d'acides nucléiques par hybridation moléculaire.

Le recours à **l'amplification moléculaire**, via la réaction de polymérisation en chaîne (**PCR – Polymerase Chain Reaction**), a permis de **reculer les limites de sensibilité** des techniques de diagnostic basées sur la détection de séquences spécifiques d'acides nucléiques. Le but de la technique est de réaliser un grand nombre de copies d'un segment déterminé d'ADN (ex. : amplifier une région spécifique d'un acide nucléique du virus qu'on veut détecter, et ce, pour rendre le virus « visible »). Pour ce faire, une série de réactions permettant la réplication d'une matrice d'ADN double brin est répétée en boucle. Au cours de la réaction PCR, les produits obtenus à la fin de chaque cycle servent de matrice pour le cycle suivant, l'amplification est donc exponentielle.

Cette amplification produit une **bande sur un gel** (voir figure) qui est spécifique par sa taille du virus qu'on cherche à mettre en évidence. Lorsque cette technique est bien mise au point, elle est à la fois très sensible (amplification possible au départ de quelques cellules infectées par le virus seulement) et très spécifique. La réaction PCR est extrêmement rapide et ne dure que quelques heures (2 à 3 heures pour une PCR de 30 cycles).



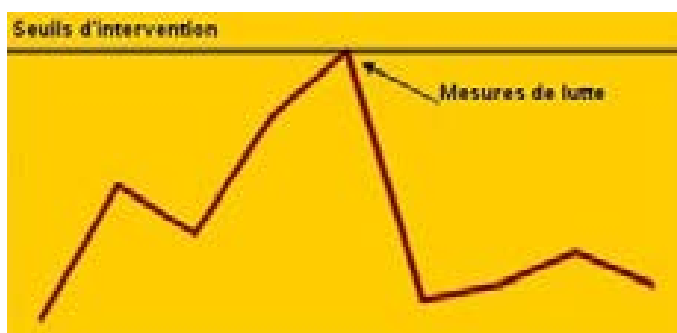
Lecture des résultats sur le gel de polyacrylamide

5.3. Les seuils de risque, les modèles de prévision et les avertissements agricoles

5.3.1. Les seuils de risque

En règle générale, une culture peut supporter un certain **taux d'infestation** d'insectes, de maladies... ou de **concurrence** de la part des plantes adventices : il existe en effet des **phénomènes de compensation** qui font que, jusqu'à un certain niveau, l'altération d'une partie de l'appareil de production ne diminue pas la valeur du produit. La simple observation d'une maladie, d'un ravageur ou d'une adventice dans sa parcelle ne doit donc pas conduire automatiquement le producteur à vouloir prendre une décision d'intervenir pour l'éliminer à tout prix.

Un des principes à respecter dans le cadre de la **lutte intégrée** est de n'utiliser les pesticides que lorsque la densité des ravageurs est telle qu'ils risquent de provoquer des pertes de récolte dont le coût serait supérieur au coût d'un traitement : c'est le « **seuil de nuisibilité économique** » (ou *Economic Threshold*).



En effet, à partir d'un certain niveau de parasitisme, la perte de rendement due à l'infestation justifie une intervention. Le « **seuil d'intervention** » (ou de traitement) est donc la valeur à laquelle l'abondance de ravageurs justifie, par ses dégâts, le recours à des mesures de lutte.

Évolution du parasitisme en fonction du temps

Ces seuils ne sont pas seulement des « nombres d'individus » ou des « % de dégât », ils peuvent être beaucoup plus précis. Dans le cas des adventices, le seuil de nuisibilité est basé sur le nombre de plantes/m² qui peut entraîner une chute significative du rendement.

Exemple de seuils de nuisibilité de quelques ravageurs

Ravageurs	Seuil de nuisibilité
Cultures de canne à sucre	3-4 vers blancs/souche
Colza d'hiver	8 pieds sur 10 portant des traces de morsure d'altise, de la levée au stade 3 feuilles
Pois de conserve	1 thrips en moyenne/plante

Exemple de seuils de nuisibilité des adventices en cultures de céréales

Mauvaises herbes	Seuil de nuisibilité (plantes/m ²)
Vulpin	30
Agrostis	20
Gaillet gratteron	0,1 – 0,5
Pensées sauvages	5 – 10
Renouées	2

Notons que cette règle générale n'est **pas d'application** dans le cas des vecteurs de virus (quelques insectes ou quelques nématodes peuvent infecter de nombreuses plantes), ni dans le cas des organismes de quarantaine pour lesquels le seuil de risque peut être égal à zéro (la seule « présence » étant interdite).

Pour intervenir opportunément, et notamment **pour rationaliser l'emploi des pesticides**, la notion de seuil d'intervention, adapté à la pression parasitaire réelle, est préconisée. La modulation des niveaux des seuils d'intervention est réalisable en **intégrant dans les paramètres de décision** :

- des données agronomiques (modes de culture, stades phénologiques de la culture, sensibilité variétale) ;
- des éléments climatologiques et géographiques ;
- des données de biologie, entomologie, pathologie ou malherbologie générale ;
- des données relatives aux méthodes de lutte disponibles (méthodes alternatives) et aux propriétés du produit phytosanitaire (mode d'action, rémanence, sélectivité, modalités d'emploi...) ;
- des données économiques (valeur économique de la culture, coût des différentes méthodes de lutte).

En pratique, l'intervention sur seuil n'est pas facile à mettre en place, car elle implique :

- d'évaluer le **degré d'infestation** de la culture correctement (échantillonnage ?) ;
- d'estimer dans quelle mesure cette infestation pourra se développer ;
- d'estimer les risques pour la culture ou la récolte en fonction du degré d'infestation, du stade phénologique de la culture, de sa sensibilité et des conditions climatiques ;
- d'évaluer la relation existant entre le revenu espéré (en fonction de la valeur monétaire de la culture ou de la récolte) et le prix de revient de l'intervention (ex. : produit appliqué ou technique utilisée + coût d'application) ;
- d'évaluer, en fonction de la technique envisagée, si une intervention sera suffisante ou si plusieurs interventions seront nécessaires.

Notons qu'il n'est pas simple de fixer des seuils d'intervention, et que chaque cas est particulier. Il convient d'accorder une grande attention à la connaissance et à la maîtrise de la **dynamique des populations**, tout particulièrement des ravageurs et des auxiliaires. La perception de cette dynamique, ainsi que l'estimation du nombre de ravageurs susceptibles d'être supportés par une culture, font appel à des études biologiques qui doivent fournir aux agriculteurs des outils de décisions simples : méthodologie et techniques d'évaluation des niveaux de populations et modélisation des infestations.

Sur le terrain, **ces paramètres complexes sont difficiles à évaluer** et exigent des connaissances, une formation et un encadrement que les agriculteurs n'ont pas toujours l'opportunité d'avoir. De plus, **la relation entre symptômes, dégâts et pertes est complexe**. De même, l'appréciation financière des pertes fait intervenir de nombreux facteurs économiques difficilement maîtrisables par les agriculteurs (évolution et système de formation des prix des produits agricoles).

Ces seuils, au fil des essais, sont donc **revus périodiquement**, car ils doivent s'adapter aux évolutions des techniques culturales et de la sensibilité des variétés cultivées.

Aussi, en l'absence de ces évaluations, on se situe dans le domaine des traitements préventifs (ou « de sécurité »), c'est-à-dire les « **traitements calendaires** » (traitements systématiques, réalisés sur base d'un calendrier). Néanmoins, ces interventions programmées peuvent être raisonnées grâce à l'utilisation de produits efficaces contre le ravageur cible, sélectif, respectueux de l'homme et de l'environnement. Des programmes de protection de transition sont ensuite proposés, intégrant progressivement les interventions sur seuil.

5.3.2. Les avertissements agricoles

Connaissant la biologie des ennemis à combattre, leur dynamique de population en fonction des conditions environnementales ainsi que les seuils de nuisibilité, il est possible de construire un système de lutte à grande échelle (région) en émettant des « **bulletins d'alerte** » à l'intention des producteurs (messages radio, *e-mails*, SMS...).

Ces bulletins sont souvent payants, envoyés à des abonnés, émis par des organismes assurant une veille sanitaire d'intérêt agricole sur un territoire donné, concernant l'émergence attendue ou inhabituelle de parasites ou pathogènes des cultures (fruitiers, vigne, grandes cultures, légumes, espaces verts).

Un réseau d'experts et de stations contrôle, en temps réel, l'évolution des maladies (bactériennes, fongiques, parasitaires, etc.) ainsi que le contenu de pièges à insectes dispersés sur le territoire considéré et dans les principaux types de cultures. Quand un pathogène, un ravageur des cultures, ou une espèce indésirable pour l'agriculture est présent dans des proportions posant problème immédiatement, ou que **les conditions jugées favorables à son développement sont réunies** (température, humidité), des **prévisions (messages d'alerte)**, parfois basées sur des modèles mathématiques, sont envoyées aux bénéficiaires de la veille.

Inversement quand un ravageur disparaît de l'environnement, les avertissements préviennent les producteurs abonnés pour éviter un traitement inutile. Les données issues des plans de surveillance des parasites de quarantaine sont également mises à profit.

Des conseils sur les stratégies et moyens de lutte peuvent y être ajoutés par des spécialistes.

Sans aller jusqu'à mettre en place des réseaux sophistiqués de surveillance et mobiliser des experts, il n'est pas compliqué :

- de procéder à des observations systématiques et de noter les résultats pour tenter de mettre en évidence une progression des symptômes, du nombre d'insectes, etc. ;

- de mettre en cage, à l'extérieur, des pupes ou des chrysalides de papillon pour détecter la période d'éclosion et de ponte des ravageurs ;
- de mettre en place des pièges pour capturer les insectes ;
- de mesurer la température, l'humidité et la pluviométrie pour détecter les périodes qui sont favorables à une infestation potentielle.

Les courbes ou tables de Mills, éditées en 1944, étaient la première tentative d'employer des « prévisions » afin d'aider les cultivateurs à synchroniser l'application de soufre sur leurs cultures en fonction de l'apparition potentielle de la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*).

Elles relient en effet les heures nécessaires d'humidité de la feuille, en fonction de la température, à la probabilité de leur infection par la maladie.

Le premier traitement fongicide est appliqué dès que les conditions d'infection sont réunies, et les applications suivantes sont appliquées selon l'activité résiduelle du pesticide et les autres prévisions d'infection.

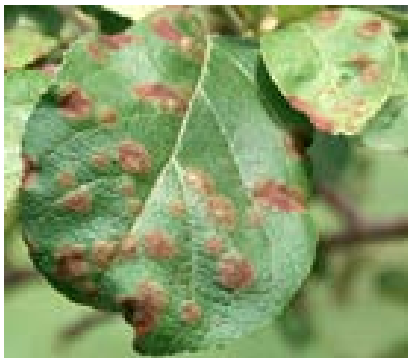


Table de Mills modifiée

Température moyenne		Période (h) avec une humidité ¹			Période
F	C	80%	Moyenne	40%	d'incubation (en jours) ²
75	23,3	10	17	26	---
77	25	11	18	27	---
79	26,1	12	19	28	---
80-78	27,2-23,9	13	20	29	1
82	28,9	15	22	31	2
84	30,1	17	24	33	3
86	31,4	19	26	35	4
88	32,8	21	28	37	5
90	34,1	23	30	39	6
92	35,4	25	32	41	7
94	36,7	27	34	43	8
96	38,1	29	36	45	9
98	39,4	31	38	47	10
100	40,8	33	40	49	11
102	42,2	35	42	51	12
104	43,6	37	44	53	13
106	45,0	39	46	55	14
108	46,4	41	48	57	15
110	47,8	43	50	59	16
112	49,2	45	52	61	17
114	50,6	47	54	63	18
116	52,0	49	56	65	19
118	53,4	51	58	67	20
120	54,8	53	60	69	21
122	56,2	55	62	71	22
124	57,6	57	64	73	23
126	59,0	59	66	75	24
128	60,4	61	68	77	25
130	61,8	63	70	79	26
132	63,2	65	72	81	27
134	64,6	67	74	83	28
136	66,0	69	76	85	29
138	67,4	71	78	87	30
140	68,8	73	80	89	31
142	70,2	75	82	91	32
144	71,6	77	84	93	33
146	73,0	79	86	95	34
148	74,4	81	88	97	35
150	75,8	83	90	99	36
152	77,2	85	92	101	37
154	78,6	87	94	103	38
156	80,0	89	96	105	39
158	81,4	91	98	107	40
160	82,8	93	100	109	41
162	84,2	95	102	111	42
164	85,6	97	104	113	43
166	87,0	99	106	115	44
168	88,4	101	108	117	45
170	89,8	103	110	119	46
172	91,2	105	112	121	47
174	92,6	107	114	123	48
176	94,0	109	116	125	49
178	95,4	111	118	127	50
180	96,8	113	120	129	51
182	98,2	115	122	131	52
184	99,6	117	124	133	53
186	101,0	119	126	135	54
188	102,4	121	128	137	55
190	103,8	123	130	139	56
192	105,2	125	132	141	57
194	106,6	127	134	143	58
196	108,0	129	136	145	59
198	109,4	131	138	147	60
200	110,8	133	140	149	61
202	112,2	135	142	151	62
204	113,6	137	144	153	63
206	115,0	139	146	155	64
208	116,4	141	148	157	65
210	117,8	143	150	159	66
212	119,2	145	152	161	67
214	120,6	147	154	163	68
216	122,0	149	156	165	69
218	123,4	151	158	167	70
220	124,8	153	160	169	71
222	126,2	155	162	171	72
224	127,6	157	164	173	73
226	129,0	159	166	175	74
228	130,4	161	168	177	75
230	131,8	163	170	179	76
232	133,2	165	172	181	77
234	134,6	167	174	183	78
236	136,0	169	176	185	79
238	137,4	171	178	187	80
240	138,8	173	180	189	81
242	140,2	175	182	191	82
244	141,6	177	184	193	83
246	143,0	179	186	195	84
248	144,4	181	188	197	85
250	145,8	183	190	199	86
252	147,2	185	192	201	87
254	148,6	187	194	203	88
256	150,0	189	196	205	89
258	151,4	191	198	207	90
260	152,8	193	200	209	91
262	154,2	195	202	211	92
264	155,6	197	204	213	93
266	157,0	199	206	215	94
268	158,4	201	208	217	95
270	159,8	203	210	219	96
272	161,2	205	212	221	97
274	162,6	207	214	223	98
276	164,0	209	216	225	99
278	165,4	211	218	227	100
280	166,8	213	220	229	101
282	168,2	215	222	231	102
284	169,6	217	224	233	103
286	171,0	219	226	235	104
288	172,4	221	228	237	105
290	173,8	223	230	239	106
292	175,2	225	232	241	107
294	176,6	227	234	243	108
296	178,0	229	236	245	109
298	179,4	231	238	247	110
300	180,8	233	240	249	111

¹ Température moyenne pendant période d'humidité continue en Fahrenheit ou Celsius
² Période résiduelle pour la pommiculture (voir loi de régression)
³ Nombre de jours après lesquels la maladie est attendue

Infection des feuilles par la tavelure.

5.4. Détection des organismes de quarantaine (échantillonnage) et certificats phytosanitaires

La défense des cultures contre leurs ennemis constitue une **question d'intérêt général**, qui requiert une **organisation** capable de **prévenir l'introduction** d'un agent phytopathogène dans un pays ou une zone déterminée et de délivrer les certificats exigés pour la commercialisation des produits végétaux.

Dans le premier cas, **les cultures des pays ou régions indemnes sont l'objet prioritaire** de la réglementation. Dans le deuxième cas, l'objectif prioritaire de la réglementation est de **protéger le produit commercialisé et son utilisateur**. La marchandise peut ne pas constituer un risque phytosanitaire en soi, mais elle peut être porteuse d'organismes nuisibles.

Depuis mars 2005, de nouvelles règles européennes et de nouvelles obligations concernant les **emballages en bois** sont entrées en vigueur¹. La Directive a pour objet d'aligner la législation européenne par rapport aux dispositions de la « Norme internationale pour les mesures phytosanitaires - NIMP n° 15 » de la FAO relatives aux « Directives pour la réglementation de matériaux d'emballage à base de bois dans le commerce international ». Désormais, tout matériel d'emballage en bois originaire de pays tiers utilisé dans le cadre d'exportations de denrées vers l'Europe devra faire l'objet d'une certification phytosanitaire. Les produits visés sont notamment le matériel d'emballage en bois sous forme de caisses, boîtes, cageots, ainsi que palettes, caisses-palettes et autres plateaux de chargement. Les pays tiers exportateurs sont donc tenus de procéder à un examen phytosanitaire des produits du bois qu'ils utilisent et d'apporter la preuve que le bois a été écorcé, a subi un traitement thermique approprié à 56°C, ou une fumigation appropriée, ou encore une imprégnation chimique sous pression.

5.4.1. Convention internationale de protection des végétaux (CIPV)

C'est en 1951 que fut signée, sous l'égide de la FAO, la Convention internationale de protection des végétaux (CIPV). Cette convention fut révisée en 1997 suite aux Accords du Cycle de L'Uruguay de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), en particulier l'accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires (Accord SPS). La convention découle d'une collaboration internationale en matière de protection des plantes et de prévention de la dissémination des agents nuisibles aux végétaux (animaux, virus, procaryotes, champignons, adventices). Elle affirme la nécessité de mesures phytosanitaires techniquement justifiées, transparentes et respectueuses de l'Accord SPS et fournit un cadre qui garantit que les réglementations phytosanitaires

¹ Directive 2004/102/CE du 5 octobre 2004, modifiant les annexes II, III, IV et V de la Directive 2000/29/CE du Conseil sur les mesures de protection contre l'introduction dans la Communauté d'organismes nuisibles aux végétaux ou aux produits végétaux et contre leur propagation à l'intérieur de la Communauté.

mises en place ont une base scientifique justifiant leur application et qu'elles ne constituent pas des obstacles déguisés au commerce international.

Une des mesures les plus importantes dans le cadre de la CIPV consiste à dresser l'inventaire des organismes nuisibles particulièrement dangereux, dont l'introduction dans la Communauté doit être interdite, et des organismes nuisibles dont l'introduction par l'intermédiaire de certains végétaux ou produits végétaux doit être également interdite.

5.4.2. Procédures d'évaluation des risques

Toute réglementation phytosanitaire doit reposer sur une **évaluation du risque** selon une procédure qu'a codifiée la FAO (**procédure PRA**). L'« analyse du risque phytosanitaire » est un processus consistant à **évaluer les preuves biologiques** ou autres données scientifiques ou économiques pour déterminer si un organisme nuisible doit être réglementé, et la sévérité des mesures phytosanitaires éventuelles à prendre à son égard.

Cette procédure concerne les agents nuisibles répondant à la définition d'un organisme de quarantaine. Selon la CIPV, un organisme de quarantaine est un organisme nuisible qui présente une nuisance économique potentielle pour la zone géographique concernée et qui n'est pas encore présent dans cette zone, ou bien qui est présent, mais avec une distribution restreinte et faisant l'objet d'une lutte officielle.

La procédure d'évaluation des risques prendra en considération des critères de nature géographiques, biologiques et économiques tels que la probabilité d'établissement du pathogène, son potentiel de dissémination et les conséquences économiques de son introduction dans une zone géographique où il est absent. Une fois le niveau de risque évalué, l'ensemble des moyens susceptibles de réduire ce risque à un niveau acceptable sont envisagés. Le principe de l'« impact minimal » que recommande la CIPV est d'adopter des mesures de quarantaine dont le caractère contraignant soit proportionné au niveau du risque.

Une des exigences essentielles d'une évaluation des risques est de pouvoir disposer d'informations précises et fiables sur la distribution géographique de l'agent considéré. À cet égard, la FAO, les RPPO (Organisations intergouvernementales régionales) et diverses organisations internationales (CAB, UE...) publient des documents permettant de suivre l'émergence d'agents pathogènes et leur distribution dans le monde.

5.4.3. Contrôle des organismes de quarantaine

L'inspection des envois constitue un élément essentiel de la gestion des risques phytosanitaires, et c'est la procédure phytosanitaire la plus fréquemment employée pour établir la présence ou non d'organismes nuisibles et/ou la conformité aux exigences phytosanitaires du marché de destination.

Bases de l'échantillonnage

Chaque lot doit être contrôlé. Il n'est souvent pas réalisable d'inspecter une expédition tout entière, si bien que l'inspection phytosanitaire porte généralement sur des échantillons issus des lots expédiés.

Une « **expédition** » peut comprendre un ou plusieurs lots de produits. Lorsqu'elle compte plus d'un lot, l'inspection visant à établir la conformité devra peut-être donner lieu à plusieurs examens visuels distincts, ce qui implique d'**échantillonner les lots séparément**. Dans ce cas, les échantillons relatifs à chaque lot devraient être isolés et identifiés de manière à ce que le lot concerné puisse être clairement repéré si une inspection ou une analyse ultérieure montre qu'il n'est pas conforme aux exigences phytosanitaires.

L'exercice d'échantillonnage dans le lot commence par l'**identification de l'unité d'échantillonnage** la mieux indiquée (ex. : n fruits, unité de poids, sachet, carton) en fonction du produit². En général, on considère les fruits ou les légumes lors du tri en station ou lors du conditionnement.

Dans l'élaboration du plan d'échantillonnage, le niveau d'acceptation pour un organisme de quarantaine doit être fixé à **zéro**, et le **calcul du nombre d'échantillons** doit être fait sur cette base.

Pour calculer le nombre d'échantillons à examiner (n) sur une population (= un lot) de fruits/légumes (N), il faut considérer 2 cas de figure :

- ▶ L'échantillonnage de **lots de petite taille** : la taille de l'échantillon (n) $>$ 5 % de la taille du lot (N).
Dans ce cas, quand une unité est prélevée dans le lot, **la probabilité** que la prochaine unité prélevée soit infestée change. L'échantillonnage, sans remplacement dans un lot de petite taille, se base sur une distribution hypergéométrique.
- ▶ L'échantillonnage de **lots de grande taille** : la taille de l'échantillon (n) $<$ 5 % de la taille du lot (N).
Dans ce cas, pour les lots de grande taille suffisamment mélangés, l'échantillonnage se base sur une distribution binomiale ou une distribution de Poisson.

Attention !

Même si aucun individu (œuf, larve ou adulte) n'est détecté dans l'échantillon observé, la probabilité qu'un organisme soit présent, même à un très faible niveau, demeure. Le seul contrôle *a posteriori* n'est donc pas en soi une garantie de conformité phytosanitaire.

On a recours à un échantillonnage aléatoire simple. En pratique, **l'opérateur utilisera les Tables extraites de la Norme NIMP n° 31** (*Méthodes d'échantillonnage des envois* (FAO, CIPV 2008)).

❑ Calcul du nombre d'unités à examiner dans les lots de petites tailles

Dans la **Norme NIMP n° 31 - Méthodes d'échantillonnage des envois** (FAO, CIPV 2008), l'opérateur trouvera 4 tables³ indiquant le nombre minimal d'échantillons à examiner selon le nombre de fruits/légumes dans un lot et le niveau de confiance choisi (80 %, 90 %, 95 %, 99 %).

² Distribution non agrégée.

³ Les Tables sont disponibles sur le site de l'IPPC (www.ippc.int) à la page d'accueil : cliquer sur « NIMP adoptées » pour obtenir la norme NIMP n° 31.

90 %, 95 % ou 99 %). Généralement on considère qu'un niveau de confiance de 95 % est suffisant.

L'effectif à prélever se détermine à partir du niveau de détection et du % d'efficacité.

Tailles minimales de l'échantillon pour des niveaux de confiance de 95 pour cent, selon la taille du lot, le niveau d'acceptation étant de 0 :

Nombre d'unités dans le lot	P = 95 % (niveau de confiance)				
	% niveau de détection × efficacité de détection				
	5	2	1	0,5	0,1
25	24*	-	-	-	-
50	39*	48	-	-	-
100	45	78	95	-	-
200	51	105	155	190	-
300	54	117	189	285*	-
400	55	124	211	311	-
500	56	129	225	388*	-
600	56	132	235	379	-
700	57	134	243	442*	-
800	57	136	249	421	-
900	57	137	254	474*	-
1 000	57	138	258	450	950
2 000	58	143	277	517	1553
3 000	58	145	284	542	1895
4 000	58	146	288	556	2108
5 000	59	147	290	564	2253
6 000	59	147	291	569	2358
7 000	59	147	292	573	2437
8 000	59	147	293	576	2498
9 000	59	148	294	579	2548
10 000	59	148	294	581	2588
20 000	59	148	296	589	2781
30 000	59	148	297	592	2850
40 000	59	149	297	594	2885
50 000	59	149	298	595	2907
60 000	59	149	298	595	2921
70 000	59	149	298	596	2932
80 000	59	149	298	596	2939
90 000	59	149	298	596	2945
100 000	59	149	298	596	2950
200 000 et plus	59	149	298	597	2972

Exemple d'application :

Pour un lot d'environ 2 000 fruits, si on estime qu'en moyenne le pourcentage de fruits infestés est de 2 %, il faut prélever 143 fruits (environ 7 % des fruits).

Le niveau de confiance de 95 % signifie qu'en moyenne seulement 5 % des fruits infestés ne seront pas détectés.

□ **Calcul du nombre d'unités à examiner dans les lots de grandes tailles**

Dans la **Norme NIMP n° 31 - Méthodes d'échantillonnage des envois** (FAO, CIPV 2008), l'opérateur trouvera 2 tables (l'une selon la loi binomiale, l'autre selon la loi de Poisson) indiquant le nombre minimal d'échantillons (n) à examiner dans les lots de grande taille selon le niveau de confiance choisi (95 % ou 99 %). L'effectif à prélever se détermine à partir du niveau de détection et du % d'efficacité.

Tailles minimales de l'échantillon pour des niveaux de confiance de 95 ou 99 %, selon les valeurs de l'efficacité, le niveau d'acceptation étant de 0 :

n selon la loi binomiale					
% d'efficacité	P = 95 % (niveau de confiance)				
	% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1
100	59	149	299	598	2 995
99	60	150	302	604	3 025
95	62	157	314	630	3 152
90	66	165	332	665	3 328
85	69	175	351	704	3 523
80	74	186	373	748	3 744
75	79	199	398	798	3 993
50	119	299	598	1 197	5 990
25	239	598	1 197	2 396	11 982
10	598	1 497	2 995	5 990	29 956

n selon la loi binomiale					
% d'efficacité	P = 99 % (niveau de confiance)				
	% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1
100	90	228	459	919	4 603
99	91	231	463	929	4 650
95	95	241	483	968	4 846
90	101	254	510	1 022	5 115
85	107	269	540	1 082	5 416
80	113	286	574	1 149	5 755
75	121	305	612	1 226	6 138
50	182	459	919	1 840	9 209
25	367	919	1 840	3 682	18 419
10	919	2 301	4 603	9 209	46 050

Tailles minimales de l'échantillon pour des niveaux de confiance de 95 ou 99 %, selon les valeurs de l'efficacité, le niveau d'acceptation étant de 0 :

n selon la loi de Poisson					
% d'efficacité	P = 95 % (niveau de confiance)				
	% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1
100	60	150	300	600	2 996
99	61	152	303	606	3 026
95	64	158	316	631	3 154
90	67	167	333	666	3 329
85	71	177	353	705	3 525
80	75	188	375	749	3 745
75	80	200	400	799	3 995
50	120	300	600	1 199	5 992
25	240	600	1 199	2 397	11 983
10	600	1 498	2 996	5 992	29 958

n selon la loi de Poisson					
% d'efficacité	P = 99 % (niveau de confiance)				
	% niveau de détection				
	5	2	1	0,5	0,1
100	93	231	461	922	4 606
99	94	233	466	931	4 652
95	97	243	485	970	4 848
90	103	256	512	1 024	5 117
85	109	271	542	1 084	5 418
80	116	288	576	1 152	5 757
75	123	308	615	1 229	6 141
50	185	461	922	1 843	9 211
25	369	922	1 843	3 685	18 421
10	922	2 303	4 606	9 211	46 052

Exemple d'application :

Pour un lot d'environ 400 000 fruits, si on souhaite pouvoir détecter avec une confiance de 95 % une infestation de 1 % des fruits avec une efficacité de 80 %, il faut prélever de 353 à 375 fruits, soit environ 0,1 % des fruits à examiner. Le niveau de confiance de 95 % signifie qu'en moyenne seulement 5 % des fruits infestés ne seront pas détectés.



5.4.4. Mesures phytosanitaires mises en œuvre

Mesures de quarantaine et d'éradication

Les règlements phytosanitaires peuvent interdire les importations, soumettre leur autorisation à une inspection phytosanitaire préalable ou imposer une désinfection de la marchandise. Une fois le premier foyer d'un agent de quarantaine déclaré, on peut chercher à enrayer son extension par un règlement imposant l'obligation de constat de la maladie, l'application de mesures déterminées en vue de son éradication ou de sa limitation, voire même parfois l'abandon de la culture de certaines espèces ou variétés sensibles.

Certification

Les certificats phytosanitaires sont **émis par une autorité qualifiée** qui doit garantir que le produit est libre de toute maladie couverte par les lois de quarantaine. La délivrance des certificats phytosanitaires est donc confiée à des fonctionnaires techniquement qualifiés et dûment autorisés par l'organisation nationale de la protection des végétaux pour agir pour son compte et sous son contrôle, disposant des connaissances et des renseignements nécessaires de telle sorte que les autorités importatrices puissent accepter les certificats phytosanitaires des autres états comme des documents dignes de foi. Pour l'Europe, le Certificat phytosanitaire doit être établi selon le modèle repris dans l'Annexe VII de la **Directive 2000/29/CE**.

Pour les organismes dits « de qualité », la certification garantit à l'utilisateur que le produit est propre à l'usage pour lequel il l'achète.

Coût/bénéfice des mesures réglementaires

Un règlement phytosanitaire préventif ne sera adopté qu'après avoir comparé le coût de l'application de ces mesures administratives et celui des moyens de lutte qu'il faudra mettre en œuvre si la maladie était introduite dans le pays.





Chapitre 6

Développer une stratégie de protection des cultures

Objectifs et principes généraux de la lutte phytosanitaire	113
Les différentes étapes d'intervention	116
Principales stratégies	119
Stratégie de protection des cultures : étude de cas	128

6.1. Objectifs et principes généraux de la lutte phytosanitaire

6.1.1. Bases de la lutte phytosanitaire

À long terme, la lutte phytosanitaire n'a de sens que si elle est envisagée dans le cadre d'une démarche globale, d'une **stratégie réfléchie**, qui ne peut se construire que sur la base de connaissances fondamentales solides :

- suivi des cultures (agronomie) et **connaissance des données biologiques** concernant les parasites (dont, nuisibilité des parasites et actions des parasitoïdes) ;
- connaissance et étude de l'agro-écosystème (dont, **sensibilité de la culture** aux parasites en fonction des stades, de la variété...) ;
- connaissance de tous les **facteurs environnementaux et cultureux** qui favorisent ou défavorisent non seulement les maladies, ravageurs et adventices, mais aussi leurs antagonistes ;
- connaissance des **méthodes de protection non chimiques** et des produits alternatifs ;
- connaissance des propriétés biologiques et physico-chimiques des **produits phytosanitaires** (dont, mode d'action, dose efficace, rémanence et effets secondaires, formulations) ;
- connaissance de la **réglementation** : substances autorisées et interdites, restrictions d'emploi, dosage autorisé, délais avant récolte (DAR), limites maximales en résidus autorisées (LMR) et ceci en relation avec les marchés de destination des produits ;
- maîtrise des **bonnes pratiques** phytosanitaires (BPP) et des techniques d'application ;
- connaissance des **exigences commerciales** relatives aux pratiques autorisées dans la culture pour obtenir une certification.

La lutte phytosanitaire a beaucoup évolué :

- **Lutte chimique « aveugle »** : basée sur un calendrier de traitements, établie en estimant un risque récurrent (mais non spécifique à la parcelle de production) ; disparaît, car non rentable.
- **Lutte chimique « conseillée »** : évitant les traitements systématiques d'assurance, sur base de conseils, d'avertissements organisés, d'itinéraires techniques éprouvés.
- **Lutte chimique « dirigée » ou « raisonnée »** : risque encouru au niveau de la parcelle, fait appel à la notion de « seuil économique de dégât » et à une sélectivité des pesticides à l'égard des auxiliaires ; elle demande une qualification des producteurs et une assistance technique.
- **Lutte « intégrée »** : basée sur la gestion des populations d'organismes nuisibles par l'intégration, et non la juxtaposition de toutes les techniques de prévention et de lutte, culturale, génétique, mécanique, biologique, de manière à réduire le recours à la lutte chimique ; elle implique une prise en compte et une connaissance de l'ensemble de

l'agro-écosystème comme des produits introduits dans le schéma d'intervention ; elle exige un très haut niveau de qualification des opérateurs.

6.1.2. Lutte phytosanitaire et agriculture durable

En 1987, le Rapport Brundtland soulignait que dégradation, pollution et absence de croissance vont de pair dans les pays en développement. Il se prononçait pour une politique de croissance qui prenne en considération les contraintes de l'environnement et définissait le concept de « **développement durable ou soutenable** ».

Dans le rapport *Our Common Future*, la Commission des Nations Unies pour l'environnement et le développement donne la définition suivante :

« Le développement durable est un développement qui satisfait les besoins du présent sans risquer que les besoins des générations futures ne puissent plus être satisfaits ».

G. Bruntland, *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford. Oxford University Press. 1987.

Le développement durable en agriculture impose de **connaître et de limiter l'impact sur l'environnement des intrants utilisés**, et notamment celui des pesticides sur la santé des opérateurs et sur le milieu. Cela nécessite tout d'abord la compréhension de l'agro-écosystème, et ensuite la connaissance de la toxicité, de la dégradabilité et de la mobilité des pesticides utilisés dans le sol, dans l'eau et dans l'air, les effets sur la biodiversité, en vue de réduire par tous les moyens les effets secondaires indésirables des traitements.

La **production agricole intégrée** représente la dernière étape d'une stratégie visant à l'optimisation, dans des conditions économiquement satisfaisantes pour l'agriculteur, de chacun des éléments du polynôme « *qualité/quantité/coût de production/protection de l'environnement/respect des standards* ». Dans le bilan global de la production agricole intégrée d'une entreprise entrent tous les impacts des activités agricoles sur l'environnement.

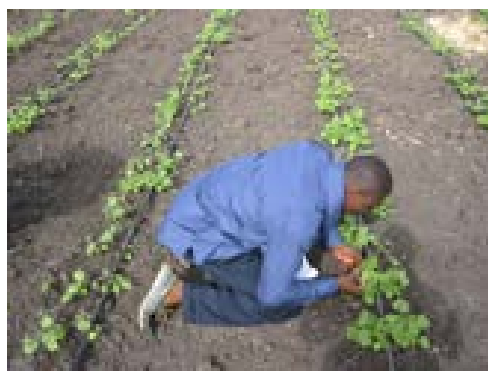
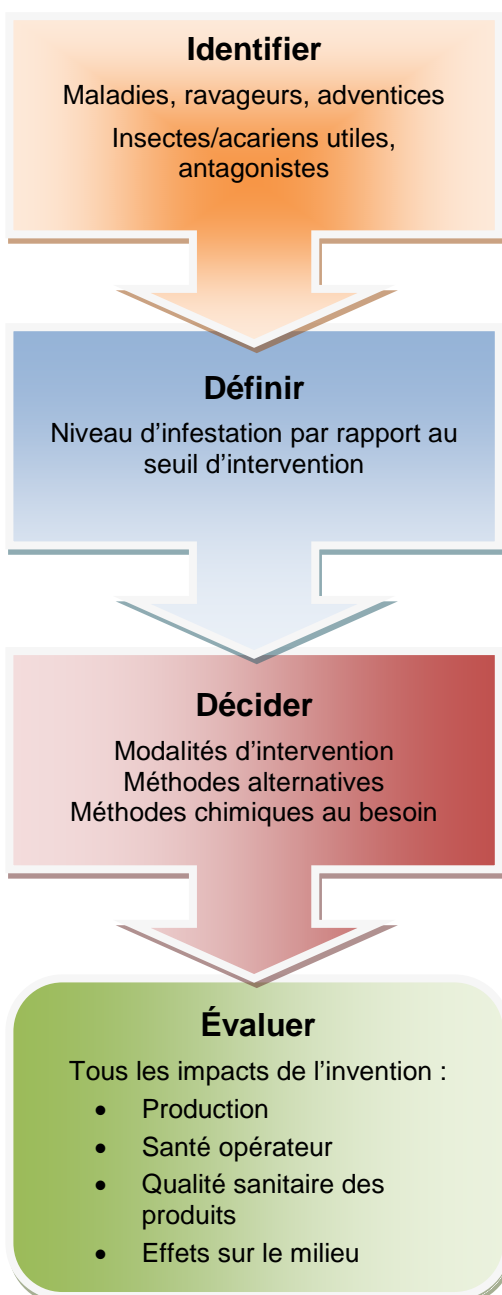
À cet égard, la protection des cultures et des produits récoltés est au centre des débats quand il s'agit de mettre en place des pratiques qui s'inscrivent dans cet objectif. La production agricole intégrée associe la notion de **régulation intégrée** des ravageurs et maladies à un système de fertilisation raisonnée et de sélection variétale appropriée aux itinéraires techniques proposés. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que « l'arbitre » final reste le consommateur qui souhaite acheter **un produit sain, de qualité et financièrement abordable**.

Il s'agit de mettre en place une agriculture compétitive qui prend en compte de manière équilibrée : les objectifs économiques des producteurs, le respect de l'environnement, les attentes des consommateurs, les exigences des distributeurs et celles des industries de transformation. Pour les producteurs, la récompense de ces efforts doit être leur maintien sur les marchés internationaux, et si possible la croissance de leurs parts de marché (ex. : croissance du marché « bio » des bananes).

6.2. Les différentes étapes d'intervention

6.2.1. Principe de la démarche

La démarche à suivre pour mettre en place une lutte phytosanitaire efficace implique donc une série d'étapes que l'on peut grossièrement schématiser comme suit :



6.2.2. Étape n° 1 : Identifier

- Identification et inventaire des parasites (biologie, écologie, étiologie).
- Évaluation du système de culture : génotypes, valeur économique, rôle dans l'exploitation, système de rotation, sensibilité en fonction des stades.
- Relations avec les ennemis naturels présents, d'une part et avec leurs plantes hôtes d'autre part.

6.2.3. Étapes n°s 2 et 3 : Évaluer et comparer au seuil d'intervention

Évaluer si l'intervention ou le traitement envisagé est nécessaire implique de connaître, en terme de perte potentielle de production, la nuisibilité respective des agents pathogènes, des ravageurs ou des adventices identifiés, en fonction de la culture considérée et de son stade de développement et des facteurs du milieu.

En fonction des types de parasites, il existe plusieurs méthodes pour les identifier et évaluer leurs populations :

- **Pour les insectes :**
Les méthodes d'observation, de comptage et de piégeage (piégeage visuel, piégeage coloré, piégeage olfactif basé sur l'utilisation de phéromones)
- **Pour les agents pathogènes :**
L'observation directe (bactéries, virus, champignons). Il faut pouvoir reconnaître l'apparition ou le développement des anomalies, et identifier la cause exacte des symptômes observés (modifications de la couleur, altérations d'organes, modifications anatomiques).
- **Pour les mauvaises herbes :**
L'observation régulière de la parcelle reste le moyen le plus simple pour évaluer les populations d'adventices.

Par contre, leur identification constitue toujours un problème surtout lorsqu'il s'agit de reconnaître les jeunes stades des adventices.

Pour intervenir opportunément, et notamment pour rationaliser l'emploi des insecticides, la **notion de « seuil d'intervention » adapté à la pression parasitaire réelle, est préconisée**. Les méthodes d'observation et les notions de seuil d'intervention ont été développées au chapitre précédent.

6.2.4. Étape n° 4 : Décider des modalités d'intervention

Sélectionner l'intervention, et en particulier le traitement le plus adapté est difficile, l'agriculteur étant presque toujours confronté à un problème complexe de protection phytosanitaire ; en effet, les attaques d'un seul parasite sont plutôt l'exception, du ressort des « fléaux » (les acridiens, les rongeurs, les oiseaux...) qui nécessitent des techniques spéciales d'intervention (ex. : campagnes d'éradication). Dans les autres cas, l'agriculteur exerce son choix, lui-même ou avec l'aide de conseillers (encadreurs, vulgarisateurs...), afin de procéder au meilleur choix du « **paquet technique** » (encore appelé « kit phytosanitaire »).

Les difficultés qui se posent à l'agriculteur portent sur :

- l'identification correcte des ravageurs, maladies ou adventices
- l'estimation des pertes observées et potentielles
- la stratégie d'intervention (timing et la combinaison des interventions)
- le choix réel de la (des) méthode(s) de lutte
- l'absence de mesures préventives et de produits alternatifs efficaces
- la difficulté d'accès à l'information (surtout dans les pays ACP)

6.2.5. Étape n° 5 : Évaluer les impacts

L'effet de(s) l'intervention(s) choisie(s) devra ensuite être évalué dans tous ses aspects, permettant de faire la balance entre les « coûts » et les « bénéfices » de(s) l'intervention(s) :

- efficacité et rentabilité pour l'agriculteur,
- sélectivité pour la culture et les organismes non cibles,
- **respect des Limites Maximales en Résidus ou LMR (sécurité pour le consommateur)**,
- effets secondaires pour l'opérateur, les animaux domestiques et sauvages,
- effets sur l'environnement (sol, eau, végétaux, air),
- effets sur les techniques culturales (ex. : semis direct, mécanisation de la récolte, etc.),
- voire, conséquences sociales induites (ex. : libération du temps de travail en cas de recours à « l'herbicidage »).

Les problèmes les plus importants liés à l'utilisation des pesticides sont :

- Manque de formation
- Choix inapproprié du pesticide
- Mauvaise qualité des formulations ou produits inadaptés à l'usage (conditionnement trop volumineux ; formulation inadéquate pour la technique d'application disponible)
- Le manque de compétence des opérateurs, qui entraîne des applications non conformes (non-respect des doses, non-respect des volumes de bouillie/ha, dérive, mauvais entretien du matériel, etc.)
- Non-respect des délais de carence (DAR) et manque de traçabilité
- Absence ou le refus du port des équipements de protection individuelle (EPI)
- Stockage dangereux

L'intérêt et les modalités de chaque intervention peuvent figurer dans un **Itinéraire technique validé** (par exemple, par l'analyse des résidus sur les produits récoltés et la mesure de l'efficacité biologique du traitement) qui garantit le respect des « **Bonnes Pratiques Agricoles** » (**BPA**) pour obtenir une protection optimale, tout en respectant les valeurs des LMR (limites maximales applicables aux résidus).

6.3. Principales stratégies



6.3.1. La lutte chimique conventionnelle et raisonnée

Le succès de la lutte phytosanitaire a été essentiel pour obtenir les très élevés rendements agricoles des trente dernières années, tant dans les pays industrialisés du Nord que dans le Sud en développement. Les **pesticides chimiques** en ont été l'outil principal. Sans eux, on n'aurait probablement pas assisté à la surabondance de blé et de maïs dans le Nord, ni à la « Révolution verte » qui a permis à plusieurs pays du Sud d'atteindre l'autosuffisance alimentaire.

La lutte chimique conventionnelle contre les maladies ou les ravageurs des cultures constitue essentiellement en l'emploi de **produits phytopharmaceutiques**. Ces derniers, plus généralement dénommés **pesticides**, sont des substances utilisées pour protéger les récoltes contre leurs ennemis, assainir les locaux et exercer une action physiologique sur la croissance des végétaux.

Il s'agit souvent de produits agissant sur les acariens, les insectes, les nématodes, les champignons, les mauvaises herbes et les bactéries. Les producteurs ont été tellement impressionnés par la diminution spectaculaire initiale des dégâts sur les cultures et le gain de production à l'hectare, qu'ils ont été tentés d'utiliser toujours plus de produit, dilapidant ainsi leurs ressources tout en contaminant les eaux souterraines et les sols. S'y sont ajoutés d'autres problèmes : appareils de pulvérisation souvent mal entretenus, présence de substances chimiques nuisibles à la santé, conseils de sécurité incompréhensibles pour les paysans ou ignorés.

Les paysans pratiquant l'agriculture de subsistance dans les pays ACP n'ont, en fait, guère recours aux pesticides (comme on le voit dans les figures suivantes), mais même s'ils n'en font qu'un usage limité à certaines cultures comme le coton, le café, l'ananas, ou la banane, **ils en subissent les conséquences** :

- conséquences pour leur santé et le milieu du fait d'un mauvais usage ;
- conséquences économiques de l'emploi de ces produits par leurs voisins et concurrents qui peuvent mettre sur les marchés de grandes quantités de denrées à des prix très concurrentiels.

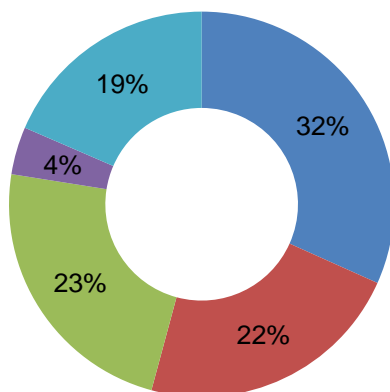
❑ Évolution dans l'usage des pesticides

Le jus de tabac (nicotine) a été l'un des premiers insecticides de l'ère moderne, l'arsenic et le soufre ayant été utilisés dans l'Antiquité. Mais la lutte chimique ne s'est développée qu'à partir du XIX^e siècle, avec l'utilisation de produits d'origine végétale (roténone et pyrèthre) ou minérale (cuivre et arsenic). C'est en 1939 que P. Muller découvre les propriétés du DDT, qui sera commercialisé en 1943. Les organophosphorés apparaissent en 1950 (malathion), et remplacent progressivement les organochlorés, à qui l'on reproche de s'accumuler dans les chaînes alimentaires et l'environnement, et ce bien qu'ils aient une toxicité aiguë souvent plus élevée. En 1973, les pyréthrinoïdes font leur apparition (perméthrine), suivis de nombreuses autres molécules possédant une activité biologique encore plus élevée (ex. : herbicides sulfonyle-urées, insecticides néonicotinoïdes, etc.) ce qui permet de **réduire progressivement la dose appliquée par hectare** (jusqu'à seulement quelques grammes de substances active/ha).

Le marché mondial (environ 40 milliards de dollars) est globalement stable depuis quelques années (2000). Il faut noter que certains événements climatiques récents (chaleur et sécheresse en Europe, pluie en Océanie) influencent fortement ces chiffres. En Europe et en Amérique du Nord, les herbicides représentent 70 à 80 % des produits utilisés (notamment à cause de la forte augmentation des cultures de maïs) tandis que sous les tropiques, 50 % des produits appliqués sont des insecticides. La diversification des cultures, avec l'amélioration du niveau de vie dans certains pays, modifie également cet équilibre, ainsi la Chine a converti l'équivalent de la surface de l'Angleterre de rizières en cultures maraîchères, entraînant une diversification des produits mis en œuvre¹.

Marché mondial des pesticides (source : ORP, 2010)

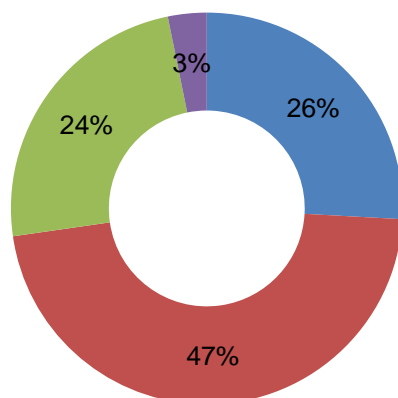
■ Europe ■ Amérique Nord ■ Asie ■ Afrique ■ Amérique Sud



¹ Selon l'ORP, Observatoire des résidus de pesticides. Consulter : www.observatoire-pesticides.gouv.fr/.

Répartition par type de produit (source : ORP, 2010)

■ Fongicides ■ Herbicides ■ Insecticides ■ Divers



S'il en est résulté pour le consommateur un meilleur approvisionnement en aliments, l'usage inapproprié et/ou excessif des pesticides entraîne cependant **divers effets secondaires indésirables** notamment **sur l'environnement et la santé humaine**.

La contamination de l'environnement et l'absorption de résidus de pesticides contenus dans l'alimentation et l'eau potable ont bien évidemment des répercussions néfastes sur la santé. Ces effets indésirables ont amené plusieurs organisations internationales, comme la FAO (Code international de conduite FAO, Rome 1985), l'OCDE, l'UNEP ou l'UE à agir auprès des gouvernements afin qu'ils révisent leurs réglementations de production, d'achat, de mise sur le marché et d'utilisation des pesticides.

Au niveau européen, c'est la Commission européenne qui réglemente, au travers d'une série de règlements et de directives², la mise sur le marché et l'emploi des pesticides. Elle a pour but d'harmoniser dans les États membres de l'Union européenne la procédure d'évaluation des produits phytosanitaires.

L'apparition sur le marché de nouvelles substances plus actives, l'amélioration des techniques de traitement, la nécessité de réduire les coûts de production, le développement des traitements sur seuil, la pression de la société pour un meilleur respect de l'environnement et pour une meilleure sécurité sanitaire, les politiques nationales et européennes de réduction volontaire d'emploi des pesticides, ont ensemble conduit à une stagnation, voire à une réduction, des volumes tandis que la valeur moyenne des produits augmentait du fait de la croissance spectaculaire des coûts de développement de ceux-ci.

² Citons : le Règlement (CE) 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques ; la Directive 2009/128/CE instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable ; le Règlement (CE) 1185/2009 relatif aux statistiques sur les pesticides ; le Règlement (CE) 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges (règlement CLP) ; la Directive 2009/127/CE relative aux machines destinées à l'application des pesticides.

❑ Évolution des principes de la lutte chimique

La prise en compte de l'importance et de la fréquence des dégâts exercés par un complexe de ravageurs ou de maladies a conduit, dans une première phase de développement de la lutte chimique, les agronomes à préconiser des programmes d'**interventions systématiques** justifiés par l'analyse du « **risque d'infestation** » et **calés généralement sur la phénologie de la plante** (« calendrier de traitement »). Les programmes calendaires étaient basés sur une probabilité de rencontrer un ravageur à un instant donné du cycle cultural. Le choix des matières actives sera réalisé en conséquence. La dose de matière active à appliquer était fonction non seulement de l'ennemi visé, mais également dépendant de la tenue du produit après application (rémanence). La base de la lutte chimique traditionnelle consistait uniquement à déterminer par des essais : la *fréquence* des interventions, le *choix des produits* et leur *dose d'utilisation*.

Mais les traitements systématiques **coûtent cher au producteur** (certains n'étant pas nécessaires) **et ont des effets pervers** : destruction des insectes auxiliaires qui limitaient naturellement les populations de ravageurs (« effet boomerang ») et développement de populations d'insectes, d'acariens ou de maladies résistant aux produits.

Peu à peu, la lutte chimique basée essentiellement sur les traitements calendaires a été **remplacée par des interventions plus raisonnées, basées sur des observations** réalisées en champ ou des prédictions d'infestations (ex. : les « avertissements »), et sur l'emploi de produits plus spécifiques et plus sélectifs.

La lutte chimique raisonnée a pour objectifs de **diminuer le nombre de traitements** et de **réduire la pression de sélection** sur les parasites. Pour *diminuer le nombre de traitements*, on doit intervenir en se basant sur les « seuils d'intervention ». Pour *réduire la pression de sélection*, on ne doit appliquer un pesticide que lorsque que son usage est devenu incontournable, puis associer des mécanismes de toxicité différents, avant de limiter les applications répétées d'une même famille chimique.

Rappel sur les « seuils d'intervention »

On distingue trois états d'une population de ravageurs :

- celui où elle évolue librement, avec ou sans superposition des générations, mais à un niveau moyen que l'on peut définir comme le « seuil d'équilibre naturel » ;
- si la plante ne peut compenser les dégâts commis par le ravageur, il y a perte par rapport au potentiel de production. La densité de ravageurs que l'on estime supportable pour la culture conduit à la notion de « seuil de nuisibilité ». Si le seuil d'équilibre est supérieur au seuil de nuisibilité, l'agriculteur envisage d'intervenir : c'est le « seuil d'intervention » ;
- la population qui est maintenue en deçà de ce seuil peut subsister alors sans susciter d'inquiétude particulière des agriculteurs. C'est une notion importante, car de nombreux agriculteurs considèrent qu'il est nécessaire d'éliminer tous les individus d'une population déprédatrice, ce qui n'est ni réaliste, ni rentable.

6.3.2. La lutte biologique

La lutte biologique est une méthode qui consiste à combattre un ravageur, par l'**utilisation** ou la **promotion de ses ennemis naturels**, ou une maladie, en favorisant ses **antagonistes**. La lutte biologique est surtout dirigée contre les ravageurs (insectes, acariens et nématodes).



On considère comme étant des ennemis naturels des ravageurs des cultures les organismes prédateurs, parasitoïdes ou infectieux (champignons entomophages, viroses) limitant la fréquence et la sévérité des pullulations.

- ▶ Les **prédateurs** consomment immédiatement les proies qu'ils capturent ou les utilisent pour nourrir leur progéniture. On classe dans cette catégorie les neuroptères, chrysopidés et hémérobiidés, de même que de nombreuses espèces de coléoptères, de diptères (mouches), de thysanoptères (thrips), d'hyménoptères vespides (guêpes à papier) et sphécidés (guêpes sphécoïdes), d'araignées et d'acariens carnivores. Les prédateurs sont habituellement inféodés à un type d'habitat bien particulier où ils « dévorent » toutes les proies qu'ils parviennent à capturer. Chez les espèces dont les larves sont également prédatrices, la femelle dépose ses œufs dans des endroits susceptibles d'abriter un grand nombre de proies appropriées. La plupart des prédateurs sont qualifiés de généralistes parce qu'ils attaquent indifféremment de nombreux types de proies. Leur action régulatrice s'étend donc à l'ensemble des ravageurs présents dans le milieu, même si les attaques sont habituellement dirigées vers la proie la plus abondante.
- ▶ Les **parasitoïdes** sont des insectes qui déposent leurs œufs sur ou dans le corps d'un insecte appartenant à une autre espèce. Leurs larves consomment les tissus de l'hôte et finissent par le tuer. Certaines familles de diptères (ou mouches) et d'hyménoptères font partie de ce groupe. Les parasitoïdes font habituellement preuve d'une grande spécificité quant au choix de l'hôte et ne peuvent survivre que si cet hôte est présent dans le milieu. Compte tenu de cette spécificité, ils ne représentent pas de danger pour les autres organismes. Les parasitoïdes font preuve d'une grande habileté à repérer leurs proies même lorsque la densité de la population de l'hôte est faible.
- ▶ On appelle **agent pathogène** tout microorganisme qui infecte les cellules et les tissus d'un hôte et s'y multiplie. Les champignons, les virus, les bactéries et les protozoaires comptent tous des espèces entomopathogènes. L'infection se produit par ingestion de nourriture ou par pénétration à travers les téguments des insectes. Dans certains cas, l'infection est transmise par la femelle à sa progéniture. Dans certaines conditions, l'épidémie s'étend sur de très vastes superficies (épizooties) et peut entraîner l'élimination presque totale du ravageur. Les agents pathogènes sont plus nombreux lorsque les populations des ravageurs atteignent des seuils élevés et peuvent souvent mettre fin à des pullulations.

L'importation d'ennemis naturels pour combattre ces nouveaux ravageurs occupe petit à petit une place importante en lutte biologique. En premier lieu, il faut établir l'origine du ravageur et identifier ses principaux ennemis naturels dans son milieu d'origine, établir lequel de ces ennemis naturels présente le plus grand potentiel et, à ce titre, mérite d'être importé, puis assurer son implantation dans les régions où le ravageur est devenu un problème. Les parasitoïdes, du fait de leur spécificité constituent habituellement des candidats de choix, mais diverses espèces de prédateurs ont également été introduites avec succès.

Même si en pratique les succès de la lutte biologique, utilisée seule, sont limités, cette méthode a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et d'essais dans le monde entier. Elle était d'ailleurs parfois utilisée intuitivement depuis longtemps par les paysans forts de leurs observations. Elle prend tout son sens et révèle ses potentialités quand elle est associée aux autres méthodes de lutte dans le cadre plus global de la lutte intégrée.

6.3.3. La lutte intégrée

La promotion de la Lutte phytosanitaire intégrée (LPI) constituerait l'un des moyens permettant de réduire l'utilisation des pesticides chimiques, notamment dans les pays ACP. À l'heure actuelle, vingt ans ou davantage encore après l'introduction de ce concept aux États-Unis, il n'existe aucune définition universellement acceptée de la LPI. Pour certains, la LPI fait partie d'une démarche large, menant à une agriculture « sans produits chimiques ». Pour d'autres, il s'agit d'un système menant à l'utilisation la plus efficace des pesticides chimiques. Mais tous en conviennent : la LPI exige une plus vaste adoption des démarches non chimiques en matière de lutte phytosanitaire.

Selon la définition de la FAO, **la lutte intégrée** contre les parasites (LIP) est :

« un système de lutte qui, en tenant compte du milieu où vit l'espèce parasite et de la dynamique démographique de celle-ci, fait appel à toutes les techniques et méthodes appropriées en les conciliant autant que possible, de façon à maintenir les populations de parasites à des niveaux assez bas pour ne pas causer de préjudice économique ».

Autrement dit, la lutte intégrée (IPM = *Integrated Pest Management*) est une **démarche** qui vise à **contenir les dégâts causés par les parasites à des niveaux économiquement acceptables dans le cadre de la production locale au moyen de méthodes de lutte autant que possible naturelles.**

Elle privilégie la **prévention des infestations** par le recours à **des techniques culturales adaptées** et le **recours à la lutte biologique** aux dépens des pesticides qui ne sont utilisés qu'à bon escient et de façon sélective, lorsqu'aucune autre solution n'est disponible ou économiquement viable.

Elle fait également appel aux **ressources phytogénétiques** avec l'utilisation de plantes adaptées aux conditions écologiques, résistantes ou tolérantes à certaines maladies et insectes.

□ Pratiques culturales et protection des cultures

Afin d'implanter les cultures dans des conditions optimales de croissance, il est important de **choisir des sites de cultures appropriés** à la variété que l'on veut mettre en place : exposition, type et structure du sol, pente.

En perturbant la coïncidence (« **décalage de végétation** ») souvent nécessaire entre un stade de développement déterminé de la plante hôte (ex. : stade plantule) et le stade contaminant ou infestant de la maladie ou du ravageur, il est possible de réduire les dégâts occasionnés aux cultures. Pour déterminer la date de semis la plus propice, le cycle de croissance et de développement de la culture doit être confronté à **la dynamique des populations** des ravageurs.

La **rotation des cultures**, l'**association des cultures**, le choix des précédents culturaux, les cultures intercalaires, présentent divers avantages sur le plan phytosanitaire :

- ▶ **Exploiter au mieux la couche arable** : la culture continue d'une même espèce ou son retour fréquent sur une même terre conduit à l'exploitation déséquilibrée des différentes couches du sol. Au terme de quelques monocultures, la couche du sol où la plante prélève ses éléments minéraux commence à s'épuiser. De plus, le système racinaire de certaines plantes produit des exsudats qui s'accumulent dans cette couche de sol et peuvent conduire à une auto-intoxication de la culture (oignons).
- ▶ **Éviter le développement de maladies et de ravageurs** : les maladies et ravageurs spécifiques à l'espèce ou à la famille cultivée peuvent se maintenir d'une année à l'autre dans le sol (ex. : sclérotés de champignons, kystes de nématodes, etc.) ou sur les débris de culture (pupes d'insectes dans les tiges, etc.). Le retour fréquent d'une même culture ou de cultures apparentées peut ainsi **conduire à la prolifération de ces organismes** et au développement des épidémies. La rotation des cultures permet donc de réduire certains risques phytosanitaires. Certaines maladies et ravageurs étant communs à diverses cultures, cela justifie l'intérêt de rotations suffisamment longues et variées. L'introduction dans la rotation de plantes pièges ou de la jachère (longue) peut également réduire l'incidence de certains problèmes phytosanitaires.
- ▶ **Éviter le développement d'une flore adventice spécifique** : l'utilisation répétée des mêmes herbicides sélectifs (ou ayant même mode de sélectivité) conduit habituellement à la sélection d'une flore adventice spécifique qui peut devenir difficile à maîtriser au bout de quelques années. En raison de l'absence de couverture du sol, certaines cultures favorisent par ailleurs le développement des adventices. D'autres, assurant une couverture rapide sont par contre étouffantes pour les adventices. La rotation des cultures permet de bénéficier de l'effet nettoyant (soit naturel, soit en raison de façons mécaniques) de certaines cultures et d'alterner les stratégies de désherbage. Il est ainsi possible de **maîtriser les adventices sur l'ensemble de la rotation**.
- ▶ Il semble que **certaines cultures associées** à d'autres aient une incidence sur la dynamique des ravageurs (favorisant les insectes ou les détournant de la culture principale) ou sur le renforcement de la densité de l'entomofaune utile.

La **destruction des résidus de récolte** est une pratique ancienne et efficace lorsqu'une inter-campagne stricte peut être respectée. Privés de leur plante-hôte, les ravageurs s'adaptent en entrant en diapause ou migrent vers d'autres hôtes ou d'autres lieux. La réduction du nombre de plantes hôtes pendant la saison sèche ou la saison froide rend aléatoire la survie des espèces qui ont un faible pouvoir migratoire. Dans le cas des

insectes monophages ou oligophages, qui survivent à l'état de diapause, une destruction soigneuse des résidus de récolte permet de limiter les populations. Cette opération est effectuée par action mécanique grâce à un gyro-broyage ou en faisant consommer les parties vertes de la plante par des animaux domestiques. Pour les espèces en diapause dans les couches superficielles du sol, le labour est efficace. Les chrysalides, remontées à la surface du sol, sont détruites par la chaleur ou par les prédateurs. Il est également courant, en Afrique, de couper les restes de cultures, notamment les cotonniers puis de les brûler. Cette pratique est peu efficace si l'on détruit seulement les tiges et il faut supprimer aussi les repousses. En effet, on peut observer sur les repousses la multiplication de certains ravageurs (homoptères), ou la concentration d'agents infectieux (virus et mycoplasmes). Le brûlis ne permet pas la maîtrise des mauvaises herbes aux périodes les plus critiques pour les cultures.

S'ils sont praticables, **les labours** permettent à la fois de tuer les espèces présentes à la surface du sol en les enfouissant, et de ramener à la surface celles qui se trouvent en terre, comme les « vers blancs », où elles meurent ou sont dévorées par des prédateurs.

Il existe des **interactions entre la fertilisation et la protection phytosanitaire**. La rentabilisation des apports d'engrais dépend de la mise en place d'un programme de protection phytosanitaire adapté au potentiel de la culture (sélection de variétés utilisant efficacement les intrants chimiques). Qu'elle soit appliquée sur le sol ou via une solution nutritive, la fertilisation doit être équilibrée. **L'utilisation excessive d'azote doit être évitée** : une croissance trop végétative, trop luxuriante favorise le développement de nombreuses maladies, insectes ravageurs et mauvaises herbes. Le raisonnement de la fertilisation s'inscrit dans le contexte actuel où l'agriculteur, sous le poids des contraintes économiques, cherche à limiter les coûts de production et à privilégier la rentabilité immédiate. Dans un même temps, **la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols** (dont la préservation de l'humus) restent un objectif essentiel de la production agricole intégrée. Les plantes légumineuses, cultivées en culture principale ou dérobée, permettent de fixer une quantité d'azote atmosphérique intéressante pour la culture suivante.

❑ Utilisation des ressources phytogénétiques

Pouvoir disposer d'un **matériel végétal résistant**, ou au moins **tolérant** aux maladies et aux différents ravageurs, représente naturellement la solution idéale pour les agriculteurs, bien qu'elle ne soit pas définitive dans la mesure où pathogènes et ravageurs peuvent contourner cette résistance ou cette tolérance.

La sélection de variétés intéressantes, productives et résistantes aux maladies, a été pratiquée intuitivement par les agriculteurs depuis la naissance même de l'agriculture.

- ▶ La **résistance** peut se définir comme la capacité d'une variété à produire une récolte plus abondante, de bonne qualité, que les variétés ordinaires pour une même densité de ravageurs. La résistance à une maladie ou un ravageur peut être totale ou partielle.
- ▶ La **tolérance** indique la capacité d'une variété à se développer et à se reproduire en dépit de l'existence d'une population de ravageurs identique à celle qui endommage une variété sensible. L'utilisation de variétés résistantes et tolérantes favorise également la survie des espèces utiles ; cette méthode s'inscrit donc naturellement dans le cadre de la lutte intégrée.

❑ Utilisation des pesticides dans le cadre de la lutte intégrée

En lutte intégrée, les produits phytosanitaires ne doivent être utilisés :

- que s'ils sont indispensables et qu'aucune autre méthode de lutte ne s'est avérée suffisamment efficace ou représente une charge économique sans mesure avec la valeur du produit commercialisable ;
- que s'ils ne présentent pas de risque pour l'environnement, et spécialement s'ils sont assez sélectifs vis-à-vis des agents antagonistes ou des prédateurs naturels.



Aujourd'hui, une partie importante de la production des cultures maraîchères est réalisée sous contrat pour des sociétés agro-alimentaires qui imposent le respect de **cahiers des charges** qui demandent aux producteurs une **utilisation raisonnée des produits phytosanitaires voire l'application de la lutte intégrée**.

À titre d'exemple, le référentiel GLOBALG.A.P., dans son chapitre consacré à la protection végétale, demande aux producteurs de n'utiliser « *que des produits sélectifs, spécifiques aux ravageurs, plantes adventices et maladies ciblées, et ayant un effet nuisible minimal sur les populations des organismes bénéfiques* ».

Bien que les procédures d'homologation en vigueur dans l'UE imposent au fabricant de **vérifier la sélectivité du pesticide à l'égard d'organismes auxiliaires**, les informations disponibles destinées aux producteurs n'existent quasiment pas ! Faute de disposer d'indications précises et justifiées quant à la sélectivité des produits phytosanitaires vis-à-vis de l'entomofaune utile propre à chaque culture et à chaque région du monde, les producteurs risquent de se trouver lors des audits périodiques dans une situation de non-conformité économiquement très préjudiciable (fermeture du marché ; perte de parts de marché par rapport à la concurrence européenne ; concurrence du secteur « bio » sur le secteur traditionnel).

6.4. Stratégie de protection des cultures : étude de cas

Base de l'étude de cas³

Les cultures maraîchères à La Réunion sont fréquemment soumises aux attaques de plusieurs insectes et acariens ravageurs comme les aleurodes, les chenilles ou les mouches des légumes. La lutte chimique classique ayant montré ses limites, il devient indispensable de s'orienter vers d'autres méthodes comme la lutte intégrée. Un suivi de diverses parcelles expérimentales montre que des auxiliaires peuvent limiter le développement de certains ravageurs en combinaison avec une lutte chimique raisonnée.

□ Étape 1 – Identifier les organismes ravageurs présents



Un inventaire des ravageurs et auxiliaires des cultures maraîchères est réalisé. Les principaux ravageurs sont identifiés, dont : les aleurodes (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum* sur diverses plantes), les mouches des légumes (*Neoceratitis cyanescens* sur tomate, *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi* sur cucurbitacées), les chenilles (*Plutella xylostella* sur chou, *Helicoverpa (Heliothis) armigera* sur tomate) et les thrips (*Frankliniella occidentalis* sur tomate, *Thrips tabaci* sur alliacées).

Certains de ces ravageurs peuvent transmettre de graves viroses aux cultures, comme *B. tabaci*, *F. occidentalis* ou les pucerons. On se focalisera sur les aleurodes (ou « mouches blanches ») dans cet exemple, car ces insectes sont des ravageurs de première importance, notamment suite aux viroses qu'ils peuvent transmettre.

□ Étape 2 – Dépister et évaluer les organismes bénéfiques

Les prédateurs identifiés sont essentiellement des punaises (*Miridae*, *Anthocoridae*), des coccinelles et des syrphes. Les entomopathogènes sont présents, mais restent encore peu étudiés.

Les hyménoptères parasitoïdes sont largement répandus chez les aleurodes, les pucerons, les mouches mineuses et les chenilles. L'inventaire des parasitoïdes des

³ L'étude de cas présentée se base sur l'article de P. Ryckewaert et F. Fabre (CIRAD-3P, La Réunion) consacré à la lutte intégrée dans les cultures maraîchères à La Réunion, AMAS, 2001, Food and Agricultural Research Council, Mauritius.

aleurodes a mis en évidence la présence d'une dizaine d'espèces appartenant aux genres *Encarsia* et *Eretmocerus*.

Afin de suivre la dynamique des populations des deux principales espèces d'aleurodes et de leurs parasitoïdes, des parcelles de tomate sont mises en place. Dans un premier essai, une parcelle de 700 m² plantée début février est partagée en deux moitiés, l'une subissant un traitement hebdomadaire avec des insecticides à large spectre, l'autre restant sans traitements. Les aleurodes sont comptés chaque semaine sur des panneaux jaunes englués tandis que des prélèvements de feuilles avec des nymphes permettent d'estimer le taux de parasitisme. Les observations montrent une augmentation des populations d'aleurodes et de mouches mineuses sur la partie traitée alors qu'elles diminuent sur l'autre partie un mois et demi après la plantation.

Les taux de parasitisme dépassent 80 % sur la partie sans traitements alors qu'ils atteignent à peine 40 % sur la moitié traitée. Ces observations démontrent l'intérêt de privilégier la **lutte biologique naturelle** contre les aleurodes et la nécessité de limiter les traitements chimiques au minimum et seulement avec des insecticides sélectifs.

❑ Étape 3 – Les méthodes d'intervention disponibles :

La lutte culturale consistera en la manipulation de l'habitat (ex. : densité dans les cultures) afin de diminuer les populations de ravageurs. L'environnement est rendu hostile et défavorable au développement des phytophages en employant par exemple des cultivars résistants ou en manipulant l'habitat par la plantation de plantes présentant un attrait pour des ennemis naturels.

La lutte physique consistera en l'utilisation de filets protecteurs et de pièges jaunes englués afin d'intercepter les aleurodes. En serre, la qualité et l'entretien des filtres sont les principales mesures visant à limiter l'introduction des aleurodes. Un mois avant plantation, l'étanchéité des filets et des filtres est révisée minutieusement. Toutes les déchirures sont cousues, les petites ouvertures sont fermées avec du silicone ou un mélange de peinture et de chaux.

La lutte chimique consistera à sélectionner des substances actives et des formulations qui soient efficaces (beaucoup de populations d'aleurodes sont déjà résistantes) et sélectives des parasitoïdes. De deux semaines avant plantation jusqu'à 8 jours avant l'introduction des auxiliaires, des traitements chimiques peuvent être effectués avec des produits autorisés.

Certaines autres méthodes, alternatives, restent au stade expérimental.

❑ Étape 4 – Déterminer les seuils d'intervention



La prédiction des évolutions de populations de ces ravageurs est difficile, les seuils d'intervention sont quelquefois peu représentatifs dans un système de culture tel que les cultures maraichères aux conditions très diversifiées et complexes.

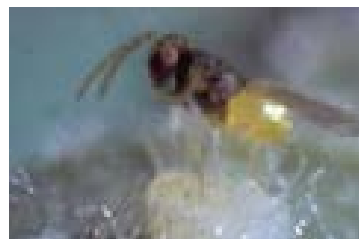
Six à dix plaques engluées jaunes/ha sont placées 8 à 10 jours avant plantation et

maintenus tout le cycle, pour le suivi des populations d'aleurodes. Des traitements peuvent être déclenchés dès la présence de plus de 1 à 2 individus par plaque.

❑ Étape 5 – Combiner les différentes méthodes de lutte disponibles

Des lâchers d'*Encarsia formosa* sont effectués chaque semaine pendant 3 mois. Ils sont raisonnés en fonction de l'apparition de pics de populations.

Les punaises prédatrices telles que *Macrolophus* et *Cyrtopeltis* sont généralement associées à des introductions d'*Eretmocerus mundus* ou *eremicus*, ou d'*Encarsia*.



En période de récolte, la méthode de lutte raisonnée consiste à maintenir une très bonne étanchéité des filets et à pulvériser des insecticides dès le seuil de 5 à 10 individus/plaque.

❑ Étape 6 – Évaluer leurs impacts

Les premières expérimentations menées à La Réunion montrent l'intérêt de la lutte biologique naturelle associée à une lutte chimique raisonnée pour limiter les populations de ravageurs des cultures maraîchères.

Chapitre 7

Traitements chimiques des cultures et des produits récoltés

Généralités sur les produits phytosanitaires	131
Propriétés et modes d'action des insecticides	136
Propriétés et modes d'action des fongicides.....	140
Propriétés et modes d'action des herbicides.....	142
Les usages particuliers des pesticides (appâts, traitement de semences).....	153
Gestion de la résistance aux pesticides.....	155



7.1. Généralités sur les produits phytosanitaires

7.1.1. Définition et généralités sur les produits phytosanitaires

On peut définir le pesticide comme « une substance ou association de substances » :

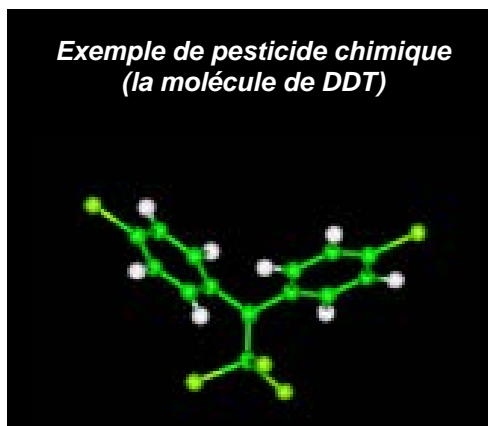
- qui est destinée à repousser, détruire ou combattre :
 - les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales (endo- et ectoparasites) ;
 - les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux ;
- qui est utilisée pour :
 - limiter des pertes de rendements des cultures ;
 - protéger les denrées stockées ;
 - augmenter le confort de l'agriculteur ;
 - limiter le développement de pathogènes pour l'homme et les animaux ;
 - détruire les végétaux indésirables (herbicides, algicides, anti-mousses) ;
 - détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux (défanants, anti-germinatifs, etc.).

Le terme « pesticides » comprend des substances destinées à être utilisées comme régulateurs de croissance des plantes, comme défoliants, comme agents de dessiccation, comme agents d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher la chute prématurée des fruits, ainsi que les substances appliquées sur les cultures, soit avant, soit après la récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport. Les termes « pesticides », « produits agro- ou phyto-pharmaceutiques » ou tout simplement « phytos » sont communément considérés comme synonymes de produits phytosanitaires.

On parle de « **substance active** » (ou de « matière active » ou de « molécule ») pour désigner le **composé actif biologiquement** (ex. : deltaméthrine) et de « formulation » pour désigner le produit commercial prêt à l'emploi ou à diluer dans l'eau (ex. : DECIS 25 EC).

La matière active qui est, le plus souvent, une substance chimique, issue de la synthèse porte un nom commun (ex. : le chlorpyrifos-éthyl, l'endosulfan, etc.) qui correspond à une formule chimique particulière (formule développée).

*Exemple de pesticide chimique
(la molécule de DDT)*



La **formulation** (produit commercial) contient donc une ou plusieurs matières actives (produits binaires, produits ternaires, etc.) à des concentrations bien définies exprimées en g/litre ou en % selon que les formulations soient des liquides (SL, UL, EC, SC) ou des solides (DP, WP, WG).

Elle contient la(les) substance(s) active(s) et des substances ajoutées ou co-formulants (solvants, poudres, émulsifiants, mouillants, biocides, colorant, masque...).

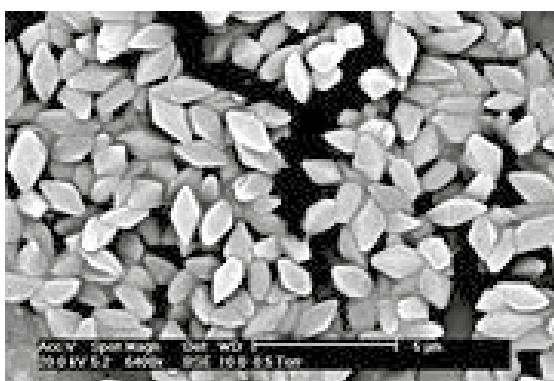


Un produit c'est donc :

- une (ou plusieurs) molécule(s) active(s)
- des adjuvants de formulation
- un emballage
- une étiquette

On distingue parmi les produits utilisés :

- les produits **minéraux** (H_2SO_4 , S, As, Cu... la bouillie sulfo-calcique¹, la bouillie bordelaise²)
- les produits **biologiques** (*Bt*, champignons, virus)



Bacillus thuringiensis ou *Bt*



Le neem

- les produits **végétaux** ou extraits végétaux (ex. : neem, pyrèthre, roténone)
- les **produits issus de la synthèse** (la grande majorité d'entre eux)

Les produits issus de la synthèse sont développés grâce à :

- la recherche par *screening test* (sélection au hasard)
- la recherche par analogie (ex. : pyrèthroïdes)

¹ Obtenue par chauffage d'un mélange de lait de chaux et de soufre (contre la tavelure, la cloque du pêcher et l'oïdium).

² Obtenue par chauffage d'un mélange de chaux éteinte et de sulfate de cuivre (fongicide polyvalent, contre le mildiou).

- la recherche par le *design* des molécules (connaissance du mode d'action, des processus enzymatiques visés, de réactions spécifiques ou étude des relations structure/activité, etc.).

Pour connaître un produit, il faut s'intéresser à :

- son activité biologique (= **usage**), variable selon la cible envisagée ;
- son activité agronomique (= **utilisation, modalités d'intervention**) ;
- ses propriétés physico-chimiques (dont dépendra le type de formulation) ;
- sa toxicité (aiguë, chronique, long terme... et ses valeurs toxicologiques de référence : DL₅₀, DJA, ARfD, AOEL) ;
- ses propriétés écotoxicologiques (comportement dans l'environnement) ;
- ses propriétés économiques (notamment le marché visé).

7.1.2. Classification des produits d'après leur activité biologique

Différents types de produits phytosanitaires sont disponibles pour combattre les ravageurs des cultures, les maladies, les adventices (ou « mauvaises herbes »), etc.

Ainsi, on classe d'après leur activité les produits en diverses catégories :

- les insecticides et acaricides, qui combattent respectivement les insectes et les acariens ravageurs ;
- les fongicides, qui permettent de lutter contre les champignons pathogènes ;
- les herbicides, qui éliminent les mauvaises herbes ;
- les nématicides, qui contrôlent les nématodes phytoparasites ;
- les rodenticides, utilisés contre les rongeurs ;
- les hélicides (ou molluscicides), qui permettent de lutter contre les mollusques (en particulier les limaces) ;
- les régulateurs ou substances de croissance qui agissent sur la physiologie (croissance, mues, etc.) soit des végétaux (ex. : raccourcisseur ou éclaircisseur), soit des insectes (ex. : analogues d'hormones juvéniles, inhibiteurs de chitine, etc.) ;
- les répulsifs ;
- les éliciteurs, qui provoquent la mise en place de mécanismes naturels de défense chez les plantes (spécialement contre les maladies fongiques).

Pour certains produits ayant une activité spécifique, on restreindra l'activité mentionnée. Par exemple, pour un insecticide anti-pucerons spécifique (ex. : le pirimicarbe) on parlera d'aphicide. Autres exemples : les produits ovicides (ex. : certaines huiles minérales), les corvifuges et corvicides, les taupicides, etc.

L'activité proprement dite sera complétée d'une précision portant :

- soit sur son **mode de pénétration** (et/ou de « contact » avec la cible) et/ou de déplacement dans la plante (produits « systémiques » et non systémiques) (insecticides de contact, fongicides systémiques, herbicides de contact, insecticides d'ingestion, etc.) ;
- soit sur son « **positionnement** » (herbicides de pré-levée, herbicides de pré-semis, herbicides de post-émergence, fongicide curatif, etc.) ;

- soit sur sa **sélectivité** (cas des herbicides) (herbicide total, herbicide anti-dicotylédones).

On distinguera l'« activité » du produit de son mode d'« utilisation » ou modalités d'utilisation telles que :

- sa toxicité et les risques d'exposition lors de l'utilisation
- les équipements de sécurité (EPI) recommandés et les premiers soins
- le spectre d'action du produit (les résistances éventuelles)
- la dose/ha ou la concentration/litre de bouillie (en %) (éventuellement adaptée aux cibles ou aux circonstances locales, telles que le type de sol)
- le nombre (maximum) de traitements autorisés/saison
- l'intervalle recommandé entre les traitements
- le(s) moment(s) d'application (et de première application)
- la compatibilité avec les autres produits
- la sélectivité par rapport aux auxiliaires des cultures
- la sélectivité par rapport à la culture
- la préparation de la bouillie
- le volume de bouillie/ha
- le type de matériel d'application (recommandé)
- l'influence des conditions environnementales sur l'efficacité
- les précautions d'emploi relatives à la dérive (zone non traitée, buses antidérive)
- le délai avant récolte à respecter (DAR)
- les conseils pour un bon rinçage de l'emballage et son élimination sans risque
- les risques pour l'environnement et les précautions à prendre (stockage, transport, mise en œuvre, élimination)

La plupart de ces indications devraient figurer sur l'étiquette ou sur la notice d'utilisation du produit.

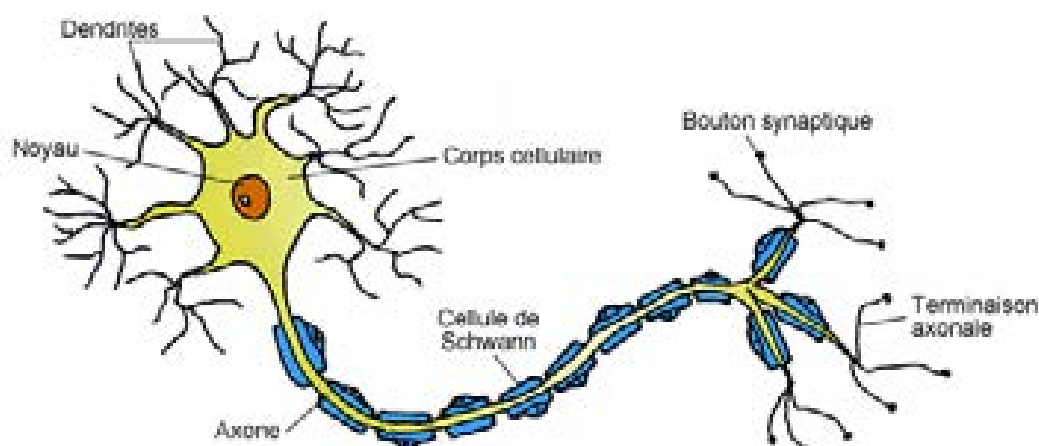
7.2. Propriétés et modes d'action des insecticides

La plupart des insecticides aujourd'hui commercialisés ont des **effets neurotoxiques**. Les produits actifs sur le système nerveux ont des effets :

- sur la transmission ;
- sur la conduction.

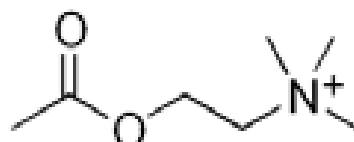
La transmission de l'information, qu'il s'agisse de perception ou d'actions, s'opère au travers du tissu nerveux. Les messages circulent au travers de neurones. Le processus qui accompagne le cheminement de l'information comprend : d'une part, le **potentiel de membrane** et les **flux ioniques** qui en sont la cause, d'autre part les transports synaptiques qui font intervenir différents **médiateurs chimiques**.

Représentation d'un neurone :

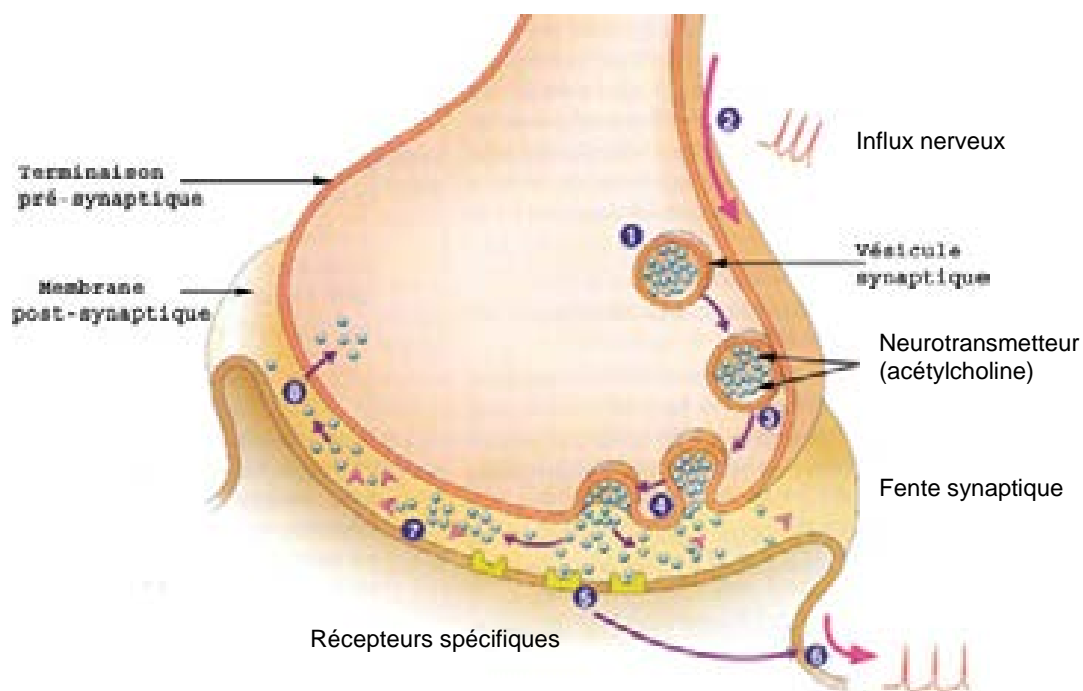


C'est au niveau de ces deux mécanismes que se positionnent la plupart des molécules des insecticides : ainsi, les organochlorés et les pyréthrinoïdes agissent au niveau de la conduction de l'influx ; les organophosphorés et les carbamates agissent au niveau de la synapse chimique. L'inhibition de l'acétylcholinestérase a lieu à l'extrémité de l'axone, **au niveau du bouton synaptique** (endroit de liaison entre deux cellules nerveuses). L'acétylcholinestérase, une enzyme, se trouve dans le sang et dans les synapses des neurones. Elle « libère » l'acétylcholine. Elle peut se lier aux carbamates et OP et devenir inactive !

Acétylcholine : substance chimique libérée par certains neurones au niveau des synapses (=neurotransmetteur). Elle assure la transmission de l'influx nerveux à différents endroits dans l'organisme.



Représentation schématique d'un bouton synaptique :



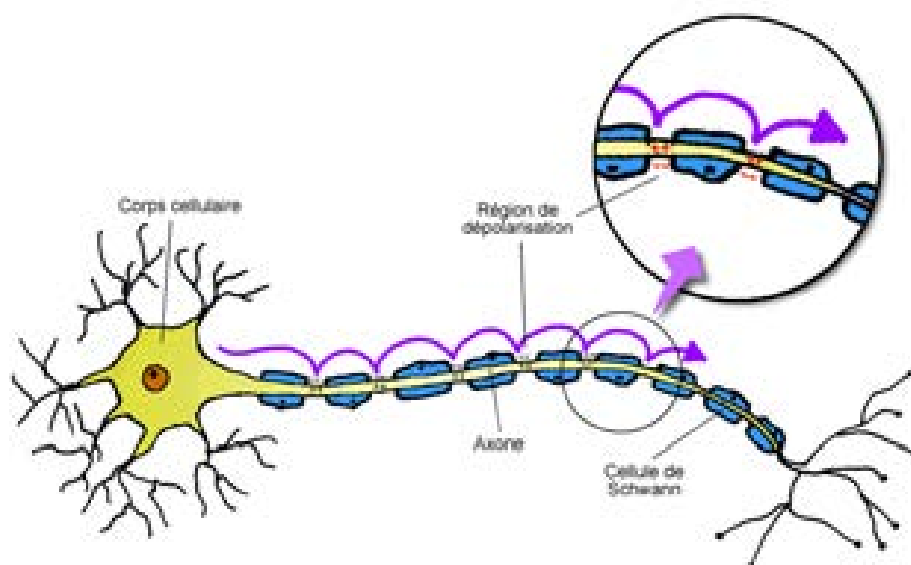
Une cellule nerveuse (neurone) se compose notamment d'un noyau et d'une dendrite (ou axone) terminée par un **bouton synaptique** et une **fente synaptique**, endroit où se fait la transmission des informations de cellule à cellule.

Pour comprendre comment le message nerveux est acheminé jusqu'au cerveau, il est impératif de comprendre comment celui-ci est transmis d'une cellule nerveuse à une autre. Il nous faut donc expliquer le fonctionnement d'une synapse contactant les deux cellules : l'extrémité du prolongement pré-synaptique est formée d'un renflement, le bouton synaptique, riche en neurotransmetteur (ex. : glutamate, acétylcholine), contenu dans de petites vésicules. Un espace sépare le neurite pré-synaptique du neurite post-synaptique appelé la fente synaptique.

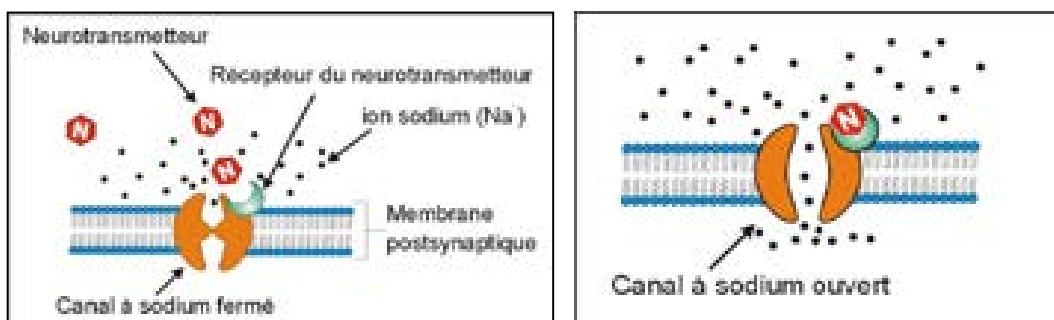
La membrane post-synaptique (qui doit recevoir l'influx) porte des récepteurs spécifiques à ces neurotransmetteurs ; et lorsqu'un influx nerveux atteint le bouton synaptique, il y provoque l'**expulsion du neuromédiateur** (ex. : acétylcholine) dans la fente par éclatement des vésicules : celui-ci atteint les **sites récepteurs** de la membrane post-synaptique et y déclenche un influx nerveux.

Pour que le neurotransmetteur soit libéré, c'est à dire pour que les vésicules éclatent, il faut que le potentiel de récepteur à proximité de la synapse se situe à un certain seuil de dépolarisation ; la quantité libérée augmentera ensuite en fonction du niveau de dépolarisation.

Les organo-chlorés et les pyréthrinoïdes agissent **au niveau des canaux sodium** voltage-dépendant situés sur l'axone. Le canal à sodium, ou canal sodique du potentiel d'action, est un canal ionique spécifique aux ions sodium et responsable de la **dépolarisation du neurone** et de la **propagation du signal nerveux**.



Le canal à sodium s'ouvre lorsque le neurotransmetteur se fixe sur le récepteur, ce qui permet d'inverser la polarité de ces cellules nerveuses excitables dans le but de propager un influx le long du neurone sous forme d'un potentiel d'action (PA). Quand l'insecticide prend la place du neurotransmetteur, il perturbe la transmission du signal (inhibition de la conduction).



En dehors du système nerveux, plusieurs cibles sont envisageables (modification du comportement, dérèglement des fonctions endocriniennes, perturbation de la synthèse de l'endosquelette).

La pénétration de l'insecticide peut emprunter **trois voies**, souvent distinctes, parfois simultanées :

- L'action de **contact** caractérise des produits qui pénètrent au travers de la cuticule, le plus souvent lors du déplacement de l'insecte sur la surface traitée. C'est le fait de la plupart des insecticides anciennement ou actuellement vulgarisés, qu'il s'agisse d'organochlorés, d'organo-phosphorés ou de pyréthrinoïdes, de larvicides ou d'ovicides.

- L'action par **ingestion** nécessite la consommation par l'insecte d'une fraction significative du végétal traité. C'est le cas des régulateurs de croissance, mais aussi celui des insecticides biologiques de type toxines de *B. thuringiensis* ou NPV (Nuclear Polyedric Virus).
- L'action par **inhalation**, caractéristique des fumigants gazeux, mais aussi de certains produits véhiculés par la plante (systémiques)

La plante cultivée est le support de l'action des insecticides, quel que soit leur mode d'action. On distingue à ce niveau plusieurs types d'insecticides en fonction de leur comportement sur le végétal :

- le premier type est **neutre**. Après évaporation des solvants, la matière active reste à la surface du limbe et l'insecte ne pourra entrer à son contact que lors de ses déplacements sur la plante ;
- le second type est **translaminaire**. Doté de propriétés liposolubles, le produit pénètre dans les premières couches cellulaires, et s'il est légèrement hydrosoluble il peut diffuser dans les quelques étages cellulaires du parenchyme, atteignant parfois la face inférieure du limbe ;
- le troisième type est **systémique**. Il s'agit d'un produit hydrosoluble qui est véhiculé dans les vaisseaux conducteurs de sève. La protection n'est donc pas limitée aux seuls organes traités, pour autant que la circulation de sève soit active lors de l'application au niveau de l'organe traité. Ce type d'insecticide est particulièrement adapté aux insectes piqueurs qui se déplacent peu et s'alimentent au niveau de la sève élaborée. Mais en contrepartie, les mouvements de la matière active sont fonction de la physiologie du végétal. Très importants en phase de croissance végétative, ils se ralentissent par la suite et disparaissent en fin de cycle (ce qui peut expliquer en partie les déconvenues de la lutte chimique contre les producteurs de miellat). Enfin, placés dans un milieu chimiquement très actif, ces insecticides sont souvent rapidement métabolisés, d'où une rémanence faible.

Dès son application, l'insecticide est exposé à des agents abiotiques et biotiques qui vont conduire les processus de dégradation et de métabolisation. La dégradation peut être le fait de la température, de la photodécomposition sous l'action des UV, ou de l'hydrolyse. Elle peut aussi résulter de processus métaboliques qui font intervenir des enzymes. C'est le degré de résistance de la matière active à cette dégradation qui caractérise la **rémanence d'un produit, mais c'est plus souvent la croissance de la végétation qui conduit à renouveler les applications.**

N'oublions pas que la durée de vie d'un pesticide est toujours une menace pour l'environnement, et qu'une valeur de demi-vie excessive signifie une exposition prolongée des ravageurs à des doses sub-létales (ce qui accroît le risque d'apparition d'individus résistants). Ce processus de dégradation est parfois utilisé pour concevoir des insecticides moins toxiques pour l'homme, mais dont le processus de dégradation ou de métabolisation conduit à l'apparition de matières actives plus efficaces : on parle alors de « pro-pesticides » (production de méthamidophos par dégradation de l'acéphate ; production de carbofuran par dégradation du carbosulfan ou benfuracarbe).

Il existe divers modes d'application pour les insecticides : au sol (granulés enfouis), en applications foliaires (poudrage, pulvérisation), ou sur les semences (poudrage, enrobage).

7.3. Propriétés et modes d'action des fongicides

Les traitements chimiques sont largement utilisés pour combattre les maladies fongiques et bactériennes. Le chiffre d'affaires mondial des produits phytosanitaires avoisine les 23 milliards d'euros avec une part pour les fongicides de 18 % et de moins de 1 % pour les produits antibactériens. Les quelque 120 matières actives antiparasitaires disponibles sont principalement des **molécules organiques de synthèse**, avec toutefois **quelques substances minérales** dont le **soufre élémentaire** et les **produits cupriques**, ainsi que les **antibiotiques**.

La plupart des molécules antibactériennes et/ou antifongiques utilisables en agriculture agissent directement sur les agents pathogènes. Selon l'action exercée au niveau du cycle parasitaire de base, un fongicide possède une activité préventive ou antipénétrante, curative ou antispore. En fonction de son comportement, le fongicide peut être de surface (ou de contact), pénétrant, translaminaire ou systémique.

- **Les fongicides préventifs** : traitement prophylactique, avant l'infection. Des applications répétées sont nécessaires pour protéger les nouvelles pousses et les nouvelles feuilles, et renouveler le dépôt de fongicide (qui se dilue et se dégrade avec le temps). C'est le cas le plus fréquent, et le traitement le plus sûr, car les champignons se reproduisent vite à partir de quelques cellules infectées. Le traitement préventif est possible jusqu'à la formation de l'haustorium. Sans le développement de l'haustorium, le champignon ne peut se développer et meurt.
- **Les fongicides curatifs** : traitement pendant la phase d'incubation (donc après le début du développement du champignon dans la plante).
- **Les fongicides éradicants** : traitement après l'incubation, dès l'apparition des symptômes d'infestation.
- **Les fongicides antispore** : traitement après l'infection, pour empêcher la dissémination des spores et la propagation de la maladie.

Les fongicides ont des modes d'action beaucoup plus diversifiés que les herbicides ou les insecticides. On distingue :

- les **fongicides à action directe** qui agissent directement sur les parasites (*in vitro*). Les fongicides à action directe ont un ou plusieurs sites d'action biochimiques.
- les **fongicides inactifs in vitro**, qui agissent par l'intermédiaire des plantes-hôtes : ces derniers sont transformés dans la plante en composés phytotoxiques. L'activité peut être due à un métabolite, ou bien ils inactivent des métabolites émis par les parasites et toxiques pour la plante sans inhiber la croissance du champignon, ou bien encore, ils stimulent les réactions de défense de la plante (comme le phoséthyl-AI, responsable de la production de terpènes et de phénols antifongiques, les phytoalexines, par exemple, pour la tomate infestée).

Il existe des **fongicides multisites** et **unisites**. On distingue :

☐ **Les fongicides de contact :**

- Ils ont une **action uniquement préventive**, car ils empêchent surtout la germination des spores du champignon. L'inhibition de la germination des spores est due à un blocage de la respiration des cellules.
- Ils sont **multisites**, c'est-à-dire que leur action se situe à plusieurs niveaux du métabolisme cellulaire (ex. : fongicides à base de soufre, dithiocarbamates).
- Leur **spectre d'activité est souvent très large**.
- Les **phénomènes de résistance ne sont pratiquement jamais observés** avec ces produits, du fait même qu'ils agissent sur plusieurs mécanismes à la fois.

☐ **Les fongicides systémiques et pénétrants :**

Ils possèdent **une certaine action curative**, une partie du fongicide pénétrant *par voie translaminaire*, et diffusant ensuite dans toutes les autres parties de la plante. Ils ont une meilleure efficacité lorsqu'ils sont appliqués préventivement. La part du fongicide non absorbée par les feuilles reste en surface et exerce une **action préventive**.

Ils agissent surtout sur la croissance du mycélium du champignon. **Ces fongicides sont des unisites** : ils agissent sur un processus déterminé (site primaire) ; cette action est suivie d'une multitude de conséquences secondaires masquant l'effet primaire.

Il existe divers modes d'application pour les fongicides :

- Les fongicides **foliaires** : appliqués sur le feuillage.
- Les fongicides **du sol** : traitement du sol contre les champignons transmis par le sol et action systémique contre les champignons transmis par l'air.
- Les fongicides pour le **traitement des semences** : désinfection des semences, contre : les pathogènes en surface ou dans la semence et les pathogènes du sol (fonte des semis). Ils ont une action systémique contre les champignons transmis par l'air.
- Les fongicides appliqués en **post-récolte** : pour désinfecter et protéger les denrées récoltées au cours de leur stockage et de leur transport (ex. : traitement des bananes avec imazalil et/ou thiabendazole).

7.4. Propriétés et modes d'action des herbicides



Culture de céréales envahie par le coquelicot (Photo B. Schiffers)

7.4.1. Efficacité

On attend d'un herbicide qu'il soit **efficace** : qu'il empêche les adventices de se développer (en inhibant leur développement dès la germination) et/ou qu'il détruise les plantes adventices concurrentes déjà développées.

L'efficacité d'un herbicide dépend donc d'une part de son **mode d'action**, de **pénétration** et éventuellement de **transport dans les plantes**, et d'autre part de la dose employée et de la qualité de l'application. Quand un effet à long terme est attendu (ex. : désirer garder un sol propre), sa **rémanence** conditionne aussi l'efficacité. L'efficacité conditionne la rentabilité.

❑ Comment agissent les herbicides ?

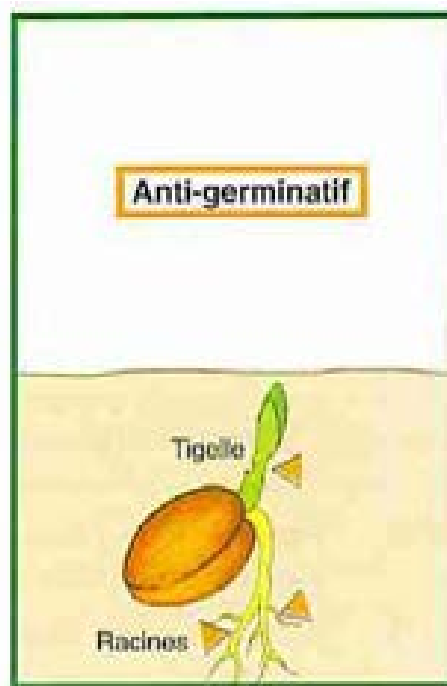
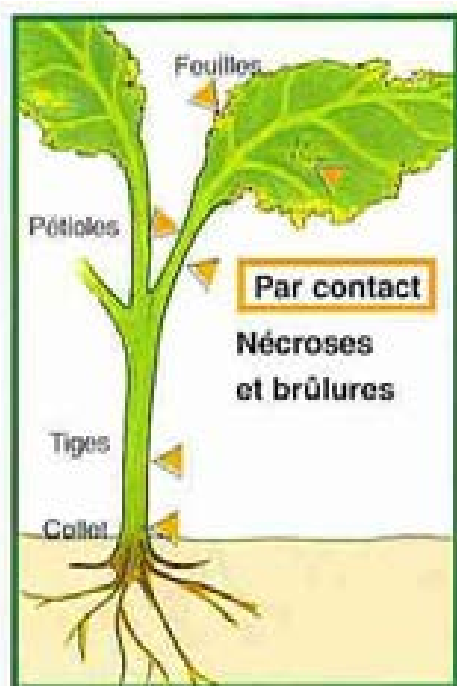
Les herbicides peuvent avoir de nombreux effets sur physiologie, spécialement sur : la photosynthèse, la perméabilité des membranes, la croissance (division cellulaire, élongation (ex. : 2,4-D, 2,4-MCPA, 2,4-DP, MCPP), l'inhibition de la synthèse des lipides, des pigments caroténoïdes ou des acides aminés...



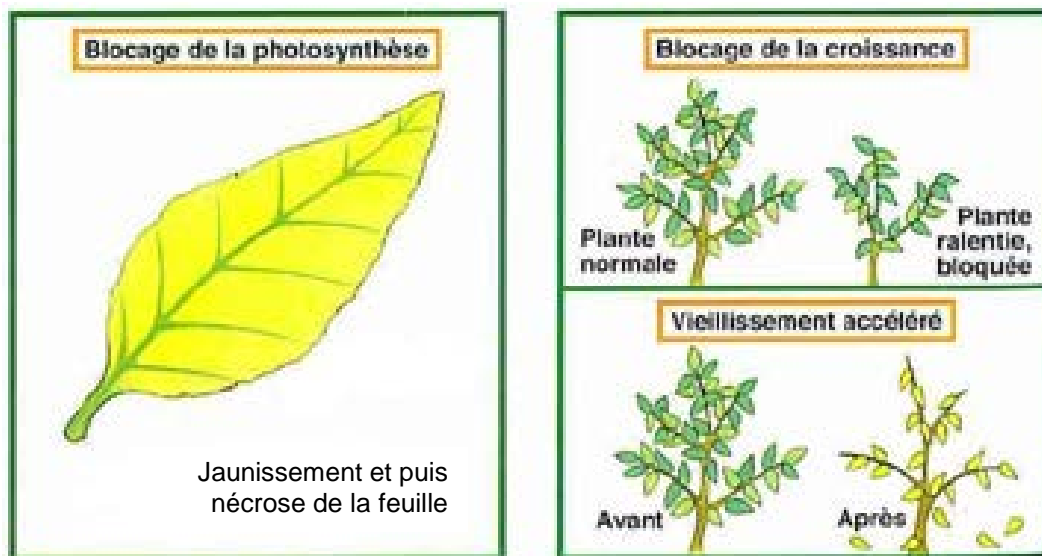
Exemples de mode d'action des herbicides dans les plantes

Sites d'action	Mécanismes affectés	Exemples d'herbicide
Photosynthèse	Transfert des électrons Capture des électrons Eau oxygénée dans tissus	Triazines, urées, carbamates, pyridate Paraquat, diquat
Membranes	Perméabilisation (ions H ⁺)	Phénols, ioxynil, bromoxynil
Zones de croissance	Division cellulaire Élongation cellulaire	Dinitroanilines, carbamates
Synthèse lipides	Synthèse acides gras	Phytohormones
Synthèse pigments	Synthèse caroténoïdes	Aminotriazole
Acides aminés	Inhibition de synthèse	Glyphosate

Les herbicides peuvent agir en détruisant une partie de l'usine biochimique, nécroser les tissus nécessaires à la photosynthèse. Ils peuvent aussi inhiber le développement des racelles ou des jeunes pousses dans le sol lors de la germination.



Les herbicides peuvent agir en perturbant une ou plusieurs fonctions vitales de la plante.

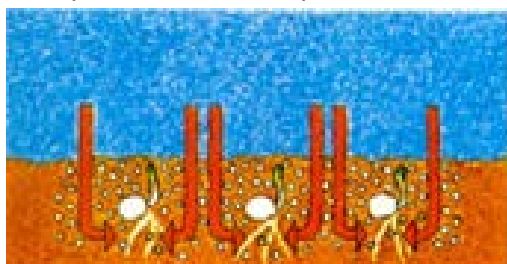


❑ Comment pénètrent les herbicides ?

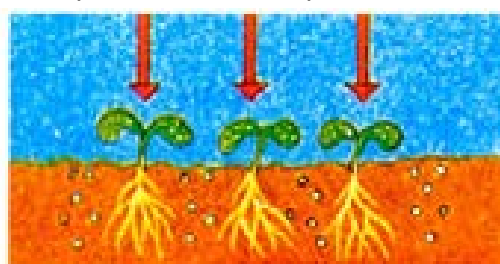
Afin de pouvoir lutter de façon efficace contre les adventices, il faut connaître sa sélectivité et comprendre comment et par où les herbicides peuvent **pénétrer**. Dans les plantes que l'on veut détruire, pour **atteindre la concentration interne critique**, il est nécessaire de faire pénétrer dans chaque plante à un stade donné, une quantité définie d'herbicide. Trois situations sont possibles :

- 1) **Traitement au stade graine en germination** ou **plantule** : des protections superficielles sont présentes, surtout sur les parties aériennes, mais leur franchissement ne pose pas de problème fondamentalement différent de la pénétration dans le symplasma cellulaire.
- 2) **Traitement de plantes développées** : le traitement foliaire nécessite le franchissement de la cuticule et des parois ayant une épaisseur assez forte.
- 3) **Traitement par voie racinaire** : à partir du sol, la région essentielle de pénétration est localisée dans les parties jeunes, constamment renouvelées, correspondant aux poils absorbants ou éventuellement aux mycorhizes.

Absorption de l'herbicide par les racines



Absorption de l'herbicide par les feuilles



Différents facteurs peuvent influencer la pénétration des herbicides :

Facteur considéré	Produits radiculaires	Produits foliaires
Absorption	Par les racines	Par les feuilles
Type de sol	Important	Pas important
Matière organique	Effet important	Effet négligeable
Pluviosité	Effet important (solution)	Effet important (lessivage)
Température	Effet négligeable	Effet très important
Persistance	Généralement persistant	Souvent peu persistant
Problèmes particuliers	Si trop soluble dans l'eau, danger de pollution des nappes	Étalement et adhérence au feuillage nécessaire pour la pénétration
Type d'application	Gouttes de 150 à 500 µm	Effet des adjuvants ! Gouttelettes 150-200 µm

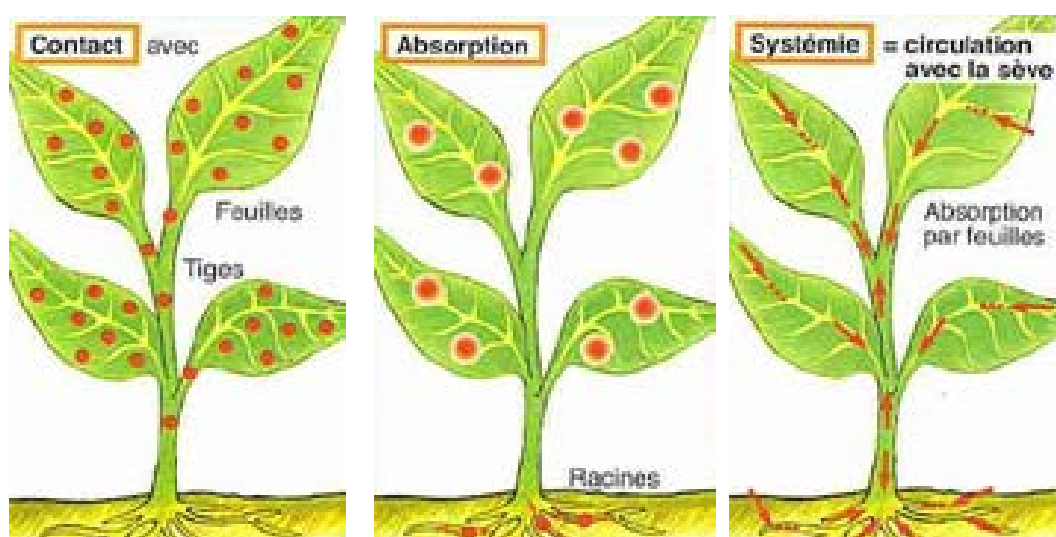
Facteurs qui affectent la pénétration radiculaire :

- Dépendante de la biodisponibilité de l'herbicide (relation avec adsorption) !
- Influencée par le « stress hydrique » (volume racines)

Facteurs qui affectent la pénétration foliaire :

- Propriétés hydrophile/lipophilie de la molécule ?
- Composition épaisseur de la cuticule (poils ?)
- Espèce considérée ?
- Stade de croissance ?
- Organes, port des plantes ?
- Conditions météo ? (stress hydrique, rosée, température, humidité relative)
- Nature de la formulation (s.a. dissoute ou non dissoute ?)

□ Comment voyagent les herbicides dans les plantes ?



Deux types de comportements presque opposés vont permettre de distinguer deux classes parmi les herbicides :

Herbicides de contact	Herbicides systémiques :
<p>Herbicides qui agissent de l'extérieur, peu ou pas transportés par les voies rapides. Ces substances pénètrent dans la plante, mais sont, pour l'essentiel, immobilisées dans les premières couches cellulaires atteintes.</p> <p>Herbicides qui « brûlent » la surface atteinte (une goutte = une brûlure) avec un effet (généralement) rapide : nécrose. Ils détruisent uniquement les parties touchées.</p> <p>Action de (très) courte durée. Ils nécessitent de grandes quantités d'eau lors de l'application (bien mouiller la plante) et/ou un agent mouillant.</p>	<p>Herbicides transportés par les voies rapides que sont le xylème et le phloème (voies apoplastique et symplastique). Distribution de l'herbicide dans toute la plante.</p> <p>Herbicides qui pénètrent par graines, tigelles, radicelles, racines.</p> <p>Pénétration racinaire (radiculaire) (ex. : atrazine (et triazines), diuron (et urées substituées), propachlore, hexazinone, chlorate de soude, bromacil)</p> <p>Pénétration foliaire. (ex. : 2,4-D (et phytohormones), aminotriazole, triclopyr)</p> <p>Pénétration par les racines et par les feuilles (ex. : glyphosate, glufosinate...)</p> <p>Pour les herbicides agissant au stade graine en germination et plantule, les transferts à distance dans la plante n'ont pratiquement pas d'utilité. Il n'en va pas de même pour des plantes plus développées parfois ayant simplement atteint un stade 3 ou 4 feuilles et ayant alors installé un système racinaire non négligeable.</p>

7.4.2. Sélectivité

On attend parfois d'un herbicide qu'il soit **sélectif**. La sélectivité est la propriété qui permet à un herbicide, utilisé dans des conditions normales d'emploi (notamment en employant la dose recommandée/ha), de **respecter les cultures** et de lutter contre les adventices de ces cultures. Pour garder intact le potentiel de rendement, le désherbage doit absolument être sélectif. Une plante affaiblie ou endommagée par des herbicides aura tendance à être plus vulnérable aux différents parasites. La sélectivité dépend non seulement du choix des herbicides, mais aussi des doses, des stades d'application, des conditions climatiques et des variétés. L'industrie proposant de plus en plus de nouvelles variétés, il convient donc d'être particulièrement attentif aux différentes sensibilités



variétales. C'est grâce à la sélectivité qu'un herbicide tue les mauvaises herbes et laisse intactes les plantes cultivées (ex. : destruction de mauvaises herbes comme le pissenlit, le chardon, les orties, etc. dans des gazons). La sélectivité **s'explique de diverses manières** (physiologique, morphologique, agronomique, etc.).



Herbicides totaux :

- Agissent sur tous les végétaux ou parties de végétaux

Herbicides sélectifs :

- Agissent sur une « catégorie de plantes » (anti-graminées, anti-dicotylées) ;
- Agissent seulement sur quelques espèces bien précises
- Sont sélectifs de plusieurs façons : parfois leur sélectivité n'est due qu'à la « position » de l'herbicide (sans que ce dernier ne soit réellement et physiologiquement sélectif par rapport à la plante cultivée)

☐ Sélectivité anatomique



À cause de son port, étalé ou dressé, la plante intercepte une plus ou moins grande quantité de la bouillie. Dans le cas des céréales par exemple, la majorité s'écoule au sol et l'herbicide n'a pas le temps de pénétrer dans la plante.

☐ Sélectivité physiologique



La plante cultivée (ex. : maïs) possède des enzymes capables de « détoxifier » l'herbicide (ex. : atrazine). Elle n'est donc pas affectée par cet herbicide, quelle que soit la dose. Cette propriété est exploitée dans les plantes génétiquement modifiées pour être tolérantes aux herbicides (et non résistantes à proprement parler).

☐ Sélectivité de position



L'herbicide, appliqué sur un sol nu, se fixe (adsorption) dans les premiers cm. C'est dans cette zone superficielle que germent les adventices. Elles sont détruites alors que les semences de la culture se trouvant enfouies plus profondément ne sont pas affectées.

Attention : en cas de lessivage, sur un sol plus perméable ou si le semis n'est pas assez profond, un effet sur la culture peut être observé, car le produit n'est pas réellement « sélectif ».

☐ Sélectivité d'application



La « sélectivité » est obtenue artificiellement, en dirigeant le jet de pulvérisation entre les lignes. Mettre un capot de protection au bout de la lance est généralement nécessaire pour ne pas brûler les plantes de la culture. Différents dispositifs existent pour réaliser ce type d'application (ex. : rouleaux imprégnés avec du glyphosate).



Tous les *essais d'efficacité* doivent obligatoirement s'accompagner d'*essais de sélectivité*, réalisés à différentes doses. Il est donc **très dangereux** :

- d'utiliser un herbicide recommandé pour une culture dans une autre culture sans procéder à un essai préalable !
- d'augmenter la dose d'emploi ;
- de changer de **formulation** : la forme sous laquelle le produit est présenté (ex. : EC, SC ou WP) peut conditionner en partie sa sélectivité (ex. : cas du phénmédiophame). Dans certains, cas il peut même être dangereux de réduire le **volume de bouillie**, car cela a pour effet de concentrer les agents « mouillants » qui peuvent augmenter la pénétration de l'herbicide dans la plante cultivée, provoquant une phytotoxicité inattendue.

Il y a un grand intérêt en désherbage à associer la « sélectivité » à la « rotation culturale » : en effet, les adventices non détruites par un herbicide dans une culture de la rotation pourront être éliminées ultérieurement grâce à la rotation culturale et à l'utilisation d'autres herbicides, sélectifs d'une autre culture (ex. : anti-graminées en betterave, puis anti-dicotylées dans les céréales). On évitera ainsi le phénomène de « **l'inversion de flore** », qui résulte de l'emploi répété des mêmes herbicides sélectifs, voire le développement d'**adventices résistantes** (ou simplement tolérantes).

7.4.3. Spécificité

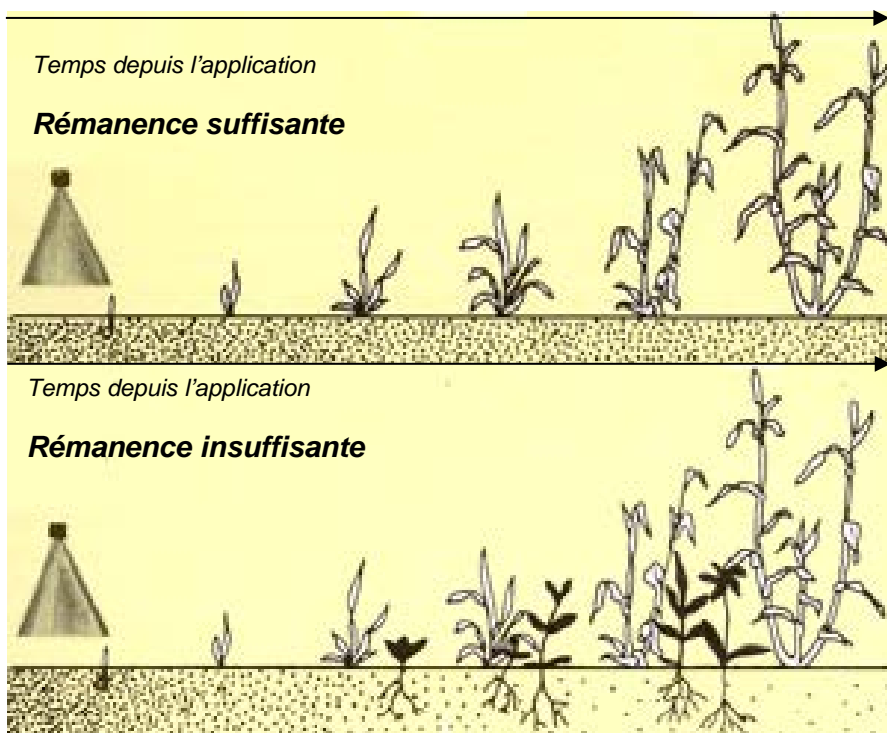
La première spécificité des herbicides concerne les produits dits « **anti-graminées** » et les « **anti-dicotylées** ».

<p>Les graminées (monocotylédones)</p> <p><i>Feuilles allongées</i> <i>Nervures parallèles</i> <i>1 cotylédon (invisible)</i></p>	<p>Les dicotylédones</p> <p><i>Feuilles arrondies, dentelées</i> <i>Nervures en réseau</i> <i>2 cotylédons</i></p>
	

Les herbicides ont des **spectres d'activité** différents, et peuvent être efficaces contre les mauvaises herbes d'une même famille, d'un même genre ou contre une seule espèce. Il existe donc des « tables » indiquant la sensibilité ou non des adventices aux herbicides recommandés pour le désherbage d'une culture.

7.4.4. Rémanence

C'est la durée pendant laquelle les effets de l'herbicide sont perceptibles. La rémanence **doit être suffisante** pour éviter la concurrence des mauvaises herbes pendant la phase (souvent critique) de croissance de la plante cultivée. Mais la rémanence doit être aussi limitée pour **éviter tout arrière-effet** sur la culture suivante (problèmes de « persistance »).



La concentration en herbicide dans le sol devient insuffisante pour empêcher les adventices de se développer

7.4.5. Quels sont les types de traitement herbicide ?

Un traitement herbicide se définit en fonction de sa **période d'application** par rapport à la culture et aux mauvaises herbes.

Traitements de pré-semis



Le produit désherbant est appliqué sur le sol **avant le semis**. On attend qu'il ait détruit la flore adventice pour semer ou on souhaite qu'il inhibe la germination et le développement des adventices durant plusieurs jours ou plusieurs semaines sans interférer avec la germination et le développement normal de la culture. Dans le cas d'une plantation (ex. : pomme de terre, cultures maraîchères), on parle de traitements de pré-plantation.

☐ Traitements de pré-levée



L'herbicide est appliqué le jour du semis ou quelques jours plus tard, **mais avant la levée** de la plante cultivée. On peut distinguer :

- *Traitement de pré-levée de contact* : application sur les adventices sorties de terre, mais avant que les plantes cultivées n'aient traversé la couche protectrice que forme la zone superficielle du sol.
- *Traitement de pré-levée résiduaire* : application sur sol nu, avant l'apparition des plantules de mauvaises herbes, les produits agissant ensuite sur les racines des graines des adventices.

☐ Traitements de post-levée



La sélectivité est morphologique ou physiologique.

- *Traitement avec des herbicides de contact* : agissent en nécrosant les tissus végétaux directement touchés. L'action est généralement rapide.
- *Traitement avec des herbicides à action systémique* : agissent beaucoup plus lentement, car pour être actifs les produits doivent atteindre les méristèmes et créer des désorganisations cellulaires.

Traitement herbicide et stade d'évolution de la végétation

Traitement	Pré-levée (ou pré-émergence)	Post-levée (ou post-émergence)
Cible	Sol	Parties aériennes
Rémanence attendue	Plusieurs semaines ou plusieurs mois	Quelques heures
Stades phénologiques requis pour l'efficacité	Graines en germination et plantules de premiers stades	Plantules et plantes développées
Résultats (effets)	Destruction des plantules au fur et à mesure de leur germination et croissance	Destruction des plantes existantes

7.5. Les usages particuliers des pesticides (appâts, traitement de semences)

7.5.1. Utilisation des appâts



Les appâts ont diverses utilisations. On les utilise soit contre les limaces, soit le plus souvent **contre les rongeurs**.

La substance active est incorporée dans un « bloc » qui contient une matière attractive et consommable, voire un produit qui masque l'odeur du produit toxique.



Les appâts contiennent des produits très toxiques. Ils ne doivent pas entrer en contact avec les denrées. C'est pourquoi il est préférable de les enfermer dans une « boîte d'appâtage » sécurisée spécialement conçue pour mettre les appâts hors de portée des enfants et des animaux domestiques (on parle aussi de « poste d'appâtage »).

Les toxiques utilisés dans les appâts ne doivent pas tuer sur place les rongeurs sous peine de voir l'efficacité des appâts rapidement décliner, l'animal faisant le lien entre le passage dans le poste et la mort de ses congénères.

1 : le rongeur entre dans le poste

2 : il consomme l'appât

3 : il va mourir au loin

7.5.2. Traitement des semences

Durant la germination, les jeunes plantules sont fragiles et sensibles aux maladies ou aux attaques des ravageurs. Les **semences sont donc souvent traitées**, par **poudrage**, par **pelliculage** (film déposé sur la semence) ou par **enrobage** (couche plus épaisse, qui peut aller jusqu'à modifier la forme de la semence). Le cas le plus fréquent est le poudrage ou le pelliculage avec un fongicide à large spectre (ex. : thirame) pour prévenir la « fonte des semis ».



Grâce au traitement des semences, le dépôt peut être réduit, et moins de 1% de la surface cultivée est alors traitée.

La localisation du produit sur la semence et son incorporation au sol conduisent à un rendement d'utilisation supérieur à celui d'une pulvérisation ou de l'épandage d'un granulé, à une contamination minimale de l'environnement et à une exposition réduite, voire nulle, des insectes auxiliaires.

En outre, les traitements industriels de semences sont réalisés dans des installations fermées, sous contrôle, et sont confiés aux soins d'opérateurs entraînés, ce qui permet l'application de produits plus toxiques.



Le traitement par poudrage, ou même par pelliculage, peut être réalisé dans des appareils assez rudimentaires (tambours). Les formulations pour semences (WS, FS) sont disponibles et bien adaptées (bonne répartition, séchage rapide du dépôt, adhésion relativement correcte). L'enrobage des semences (ex. : betterave) nécessite par contre des sphères motorisées et un dispositif de séchage.

Pour l'application d'insecticides, et particulièrement des molécules systémiques, l'enrobage est un vecteur économique (souvent 50 % ou moins de la dose/ha recommandée en épandage suffisent) et performant (protection échelonnée de la culture). Les matières actives peuvent être incorporées à des matrices (polymères), broyées et calibrées, qui seront intimement mélangées aux matériaux d'enrobage pour obtenir un effet de libération-retard de la matière active.

7.6. Gestion de la résistance aux pesticides

7.6.1. Généralités sur le phénomène de résistance

En exploitant les faiblesses des organismes les attaquant, les plantes hôtes et les animaux ont développé des mécanismes de défense, incluant entre autres **la synthèse de toxines** et de **répulsifs**. En contre-partie, les ravageurs ont sélectionné des **mécanismes de détoxification ou d'adaptation** leur permettant de contourner les défenses chimiques de leur hôte.

Il semble qu'à l'heure actuelle, le *pool* génétique de la plupart des organismes vivants contienne déjà des gènes leur permettant de dégrader enzymatiquement ou de modifier les sites de fixation de nombreux produits tels que les insecticides chimiques modernes. Rappelons que la plupart des insecticides de synthèse modernes, dérivent de molécules naturelles (pyréthrinoïdes de synthèse du pyrèthre par exemple). Le processus de sélection a donc pu commencer depuis très longtemps.

C'est dans les années 1910 que Melander signale le premier cas de résistance de la cochenille *Quadraspidiotus perniciosus* ou « pou de San José » aux polysulfures dans les vergers de l'Illinois (USA), il y a donc plus de 92 ans. Les cas de résistance ont ensuite augmenté faiblement jusqu'à l'apparition des insecticides organochlorés (DDT et cyclodiènes) dans les années 1950, apparition qui va marquer l'accroissement considérable du nombre d'espèces résistantes.



Dans les années 1980, seulement 90 nouveaux cas de résistance ont été signalés, en baisse par rapport aux 190 cas des années 1970. Cette baisse pourrait simplement s'expliquer par le fait que la plupart des espèces d'importance agronomique ont aujourd'hui développé un ou plusieurs mécanismes de résistance. Dès lors, les cas nouveaux deviennent plus rares, et concernent seulement les acquisitions de résistance envers d'autres groupes de pesticides. Le nombre de cas de résistance aux insecticides (500 environ) est plus important que celui de résistance aux fongicides (200), lui-même supérieur aux herbicides.

Distribution des espèces résistantes dans les différents ordres d'arthropodes (1991)

Ordres	Nombre d'espèces résistantes
Diptères	177
Lépidoptères	74
Coléoptères	72
Acarieus	71
Homoptères	51
Autres	59
Total	504

Malgré le nombre élevé d'espèces résistantes (plus de 500), pas plus de **quarante insectes, maladies et mauvaises herbes sont responsables de la majorité des problèmes de résistance rencontrés actuellement, la plupart du temps dans des cas d'utilisation intensive de pesticides.**

Le tableau ci-dessous met en relation le nombre d'espèces résistantes et les différentes classes d'insecticides qui existent.

Répartition des espèces résistantes selon les différentes familles d'insecticides (1991)

Familles d'insecticides	Nombre d'espèces	% du total
Cyclodiènes	291	57,7
DDT	263	52,2
Organophosphorés	260	51,6
Carbamates	85	16,9
Pyréthroïdes	48	9,5
Autres	52	10,3

La majorité des espèces résistantes sont d'importance agronomique (56,1 %), mais les insectes d'importance médicale représentent une proportion substantielle (39,3 %), majoritairement les moustiques et les mouches. Seulement 4,6 % sont des auxiliaires (prédateurs, parasites ou pollinisateurs).

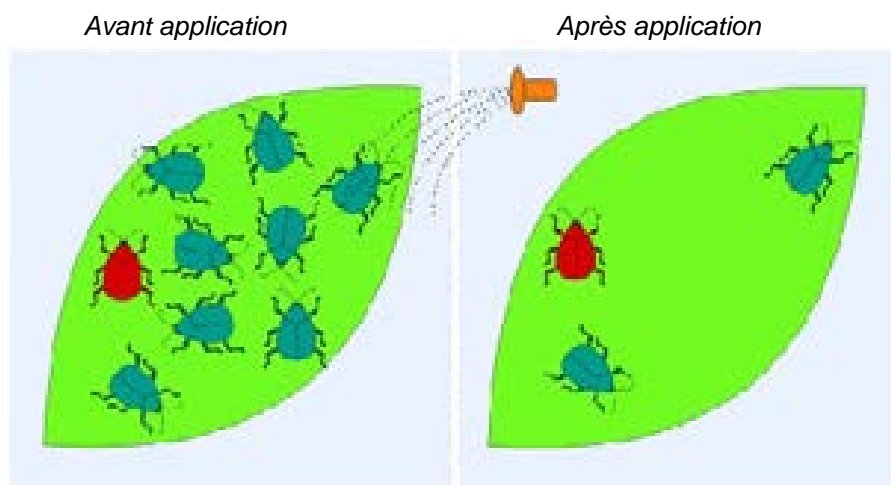
Partout dans le monde, **chaque grande culture** (le coton, le riz, le maïs, les céréales, les fruits et agrumes, les plantes maraîchères) **présente au moins un problème de résistance**, que ce soit avec les insectes ravageurs, les maladies ou les mauvaises herbes.

Les **conséquences** de ce phénomène sont désastreuses pour les utilisateurs qui se trouvent souvent démunis devant le développement de ces populations devenues résistantes. Outre l'inconvénient majeur de ne plus pouvoir lutter contre les cibles visées, ce phénomène se répercute **au niveau industriel** (car le pesticide en cause peut disparaître du marché) et **au niveau environnemental** (car l'augmentation des doses appliquées et la diversification non contrôlée des insecticides sont à la base de contaminations importantes des sols et des nappes aquifères).

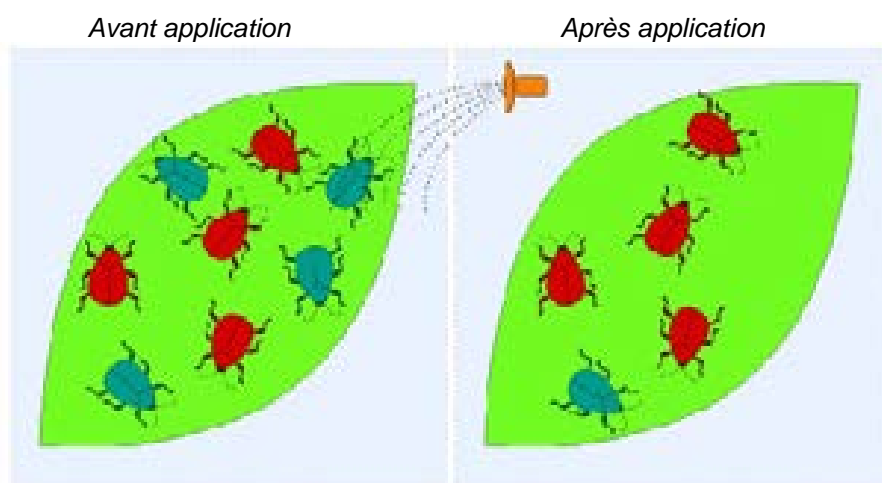
7.6.2. Définition de la résistance aux pesticides

Quand on recourt régulièrement au même composé insecticide (**pression de sélection**), le nombre d'insectes résistants à celui-ci domine dans la population et un **manque d'efficacité** de l'insecticide – voire de la famille chimique dont est issu l'insecticide ou d'un autre insecticide ayant le même mode d'action – est constaté dans la pratique (dégâts plus importants, pertes de rendement).

Premiers traitements :



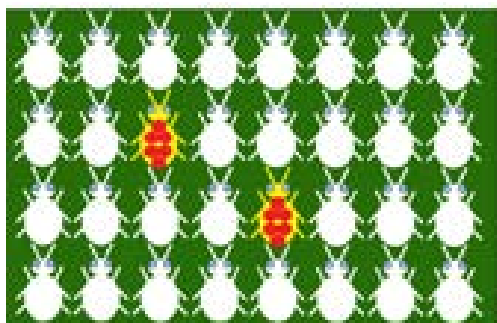
Traitements suivants :



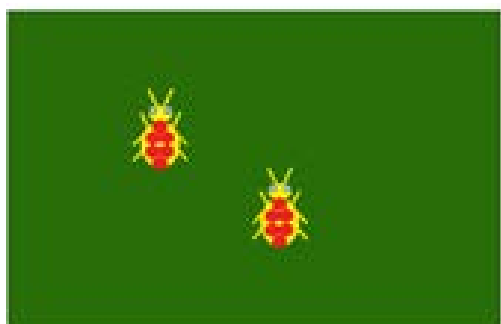
La résistance est définie par l'OEPP (*Guidelines de l'OEPP, avril 2000*) comme « la capacité naturelle qu'ont les individus d'une population de survivre à l'application d'un produit phytosanitaire qui offrirait, dans des conditions équivalentes, une bonne efficacité ». Elle se traduit donc bien par une réduction de la sensibilité des populations de maladies et de ravageurs.

Toutes les espèces animales font naturellement preuve d'une certaine **diversité génétique** grâce notamment aux mutations qui surviennent dans leurs populations.

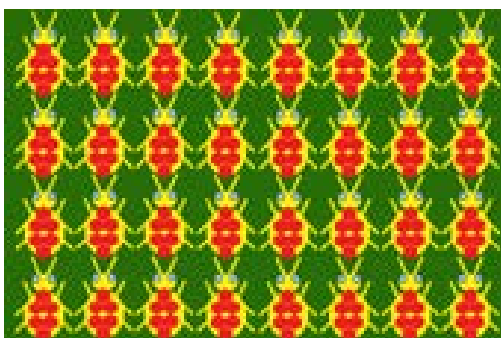
Quand on recourt aux insecticides, par exemple, la **sélection naturelle** favorise les individus les moins sensibles à l'insecticide auquel ils sont soumis. Ces insectes peuvent survivre aux traitements (insectes dits « résistants », qui possèdent des **gènes** de résistance), et se reproduire **en transmettant ce caractère de résistance** à la descendance.



Présence d'un caractère de résistance dans la population des insectes présents dans la zone traitée



Seuls les individus résistants au pesticide sont capables de survivre... et de se reproduire



Si la pression de sélection se maintient (usage répété du pesticide), le caractère de résistance se répand dans toute la population. L'espèce devient résistante !

Le même phénomène peut être mis en évidence pour les fongicides (souches de champignons résistantes) et les herbicides (populations d'adventices devenues résistantes).

Au laboratoire, en travaillant sur un certain nombre de générations successives avec une pression de sélection constante, on peut arriver à sélectionner plus ou moins rapidement des populations d'insectes résistants. Cette résistance acquise se transmet de différentes manières et se maintient sur un nombre plus ou moins grand de générations selon l'insecte et le produit considéré.

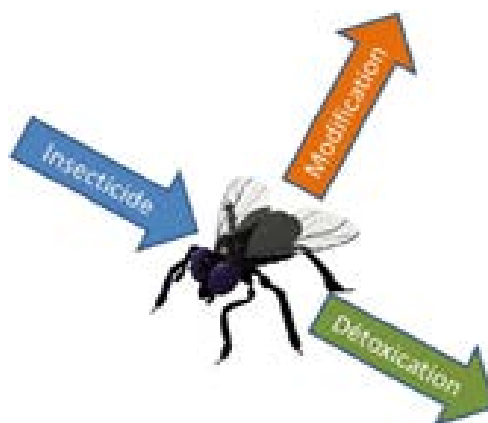
Dans la **pratique agricole** toutefois, **les choses sont beaucoup plus complexes**, et la capacité des insectes à développer et à conserver leur résistance à un produit, n'est donc pas nécessairement observée, car :

- **la pression de sélection n'est pas obligatoirement constante** : alternance de saisons de production et de périodes défavorables (ex. : saison sèche) ; alternance dans les insecticides utilisés et différences dans leur emploi (matières actives, doses/ha, formulations, type d'application) ; périodes d'application ; présence ou absence de prédateurs et/ou de parasitoïdes...
- un **brassage des populations** est possible : migration des insectes hors des parcelles traitées et entrée d'insectes venant de populations sensibles. Les insectes se déplaçant aussi d'une plante-hôte sur une autre plante-hôte (auquel cas ils peuvent rencontrer soit d'autres types d'insecticides, soit les mêmes matières actives).
- **d'autres facteurs du milieu** exercent également une pression de sélection : celle-ci n'est pas nécessairement favorable aux individus les plus résistants aux insecticides.

7.6.3. Quels sont les mécanismes qui entrent en jeu ?

Les pesticides agissent au niveau de cibles physiologiques dont la fonction est indispensable à la vie de l'insecte. Pour édifier valablement une stratégie de prévention et de gestion de la résistance, il est donc important de connaître les mécanismes biologiques et biochimiques impliqués (modes d'action des produits concernés).

Toutefois, les **modifications comportementales** et la **diminution de pénétration** des insecticides sont des mécanismes de résistance relativement rares ou peu efficaces s'ils ne sont pas associés à d'autres mécanismes, en particulier une détoxification efficace. En revanche, la **détoxification par métabolisation** (bio-transformation en molécules facilement excrétables) et la modification des cibles de l'insecticide (ex. : modification d'un site récepteur sur une enzyme) sont généralement à l'origine de taux de résistance très élevés et il faut donc s'y intéresser particulièrement.



7.6.4. Prévention et gestion de la résistance

La prévention et la gestion de la résistance aux insecticides ne peuvent être obtenues que par la compréhension des facteurs intrinsèques qui la produisent, qui expliquent son développement et son extension (progression de la résistance en niveau et dans l'espace).

☐ Risque de résistance en pratique

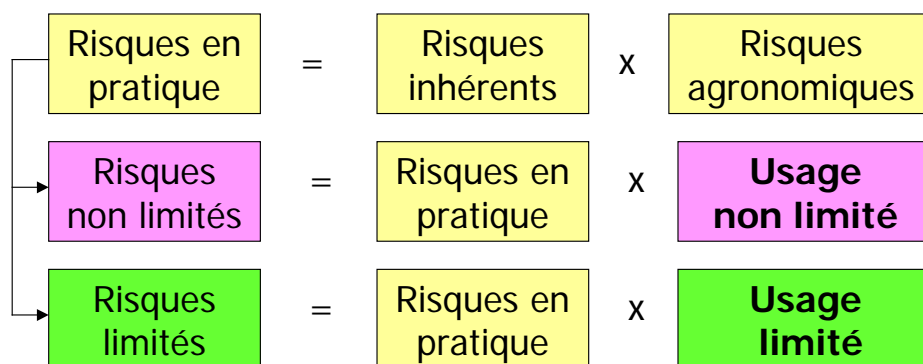
Le risque réel d'observer pour un insecticide une résistance dans la pratique agricole locale (« **résistance en pratique** ») est le résultat d'une combinaison de facteurs propres au(x) produit(s) et à la cible considérée (que nous appellerons **risques inhérents**) et de facteurs liés aux conditions d'utilisation de ce(s) produit(s) (que nous appellerons **risques agronomiques**).

☐ Risque non limité et risque limité

Quand, sur base de ses propriétés et de la cible visée, un produit phytosanitaire est utilisé en pratique sans aucune restriction de ses conditions d'emploi (« **usage non limité** », ex. : traitement calendaire et systématique tous les 14 jours), le risque d'apparition de résistance qui en découle peut être qualifié de « **risque non limité** ». Si ce risque peut être estimé comme faible, le produit pourra continuer à être utilisé sans devoir adapter ses conditions d'emploi.

Mais dans de nombreux cas, la non-restriction d'emploi du produit conduirait à un développement rapide de la résistance. Dans ce cas, l'expérience montre que la mise en place d'une stratégie appropriée de gestion de la résistance peut ramener le risque potentiel initial à un niveau de probabilité acceptable.

La stratégie de gestion du risque de résistance comportant usuellement des restrictions ou des modifications d'emploi du produit considéré (« **usage limité** »), nous parlerons pour ce produit de « **risque limité** », ces restrictions ou modifications d'emploi étant appelées (facteurs) « **modérateurs** ».



La probabilité de développer réellement, dans la pratique locale, une résistance dépend de la combinaison des risques inhérents et agronomiques, lesquels peuvent être limités par la mise en place d'une pratique agricole réfléchie et d'une stratégie de surveillance et de gestion de la résistance.

Risques inhérents au produit

- une rémanence et/ou une persistance d'action élevées
- mode d'action : produit uni-site
- résistance au mode d'action de type monogénique (un seul gène à modifier par mutation)
- métabolisation : molécule facilement dégradée chez l'insecte

Risques inhérents à la cible

- un cycle court (nombreuses générations/culture)
- variabilité génétique élevée (haute probabilité de mutations dans la population) et dispersion génétique aisée dans la population
- existence ou possibilité d'une résistance croisée
- grande vigueur biologique des insectes résistants.

Risques agronomiques

- culture largement répandue avec des rotations courtes, monoculture ou culture pérenne
- techniques d'application utilisées
- autres pratiques culturales associées (phytotechnie, intrants)
- besoin d'un nombre élevé d'applications ou de produit(s) persistant(s) pour garantir un bon contrôle de la cible à cause des caractéristiques de la culture et de son environnement
- utilisation de variétés sensibles (à la cible considérée)
- isolement géographique des populations cibles empêchant la réintroduction dans l'aire traitée d'individus sensibles
- conditions du milieu favorisant la pullulation des insectes
- recours à un seul produit de protection
- absence de méthodes de protection alternatives (IPM)

Sur base de l'examen de ces propriétés (produit et cible), **le risque potentiel** de développement d'une résistance au produit dans le cadre d'un usage non limité (c'est-à-dire sans aucune modification du schéma d'application du traitement) peut être estimé valablement.

❑ **Élaborer une stratégie**

Pour élaborer une stratégie de prévention et de gestion du risque de résistance en pratique, les **quatre recommandations de base suivantes** (« facteurs modificateurs ») pourront être sélectionnées :

➔ **Recours aux Bonnes Pratiques Phytosanitaires (BPP) et aux méthodes de lutte intégrée (ou IPM)**

Des guidelines spécifiques (à une culture) peuvent servir de guide (ex. : Guidelines OEPP, recommandations FAO). Il est recommandé de contrôler :

- la possibilité d'utiliser des cultivars résistants ?
- si des méthodes de lutte non chimiques sont disponibles (prophylaxie) ?
- les méthodes d'application et les compétences des applicateurs ?
- la qualité, le réglage du matériel d'application ?
- la qualité du (des) produit(s) proposé(s) ?
- si une application sur seuil ou un avertissement sont praticables ?
- s'il y a destruction des plantes-hôtes alternatives ?
- quelle est l'influence des autres intrants (ex. : engrais) ?

➔ **Associations ou mélanges d'insecticides**

Proposer l'association (en mélange extemporané, dans la cuve, ou en association dans une formulation binaire ou ternaire) est une méthode efficace pour prévenir le développement de résistance pour autant que l'on utilise un ou des produit(s) dont les propriétés sont complémentaires, mais **dont le mode d'action est obligatoirement différent**.

Les associations dans une formulation prête à l'emploi sont préférables (plus stables et plus efficaces, elles offrent souvent un effet de synergie entre les matières actives). L'association, spécialement quand existe un effet de synergie (ou « potentialisation »), permet en outre une réduction des doses de chaque composé par rapport à la dose efficace lorsqu'il est employé seul, mais chaque composante du mélange doit contribuer significativement à l'efficacité.



L'inconvénient de cette technique est de maintenir dans la culture une pression de sélection de la part de tous les composés de l'association.

➔ **Alternance des insecticides**

Proposer l'alternance n'est efficace que si les produits « partenaires » sont connus pour **appartenir à des groupes différents, et sans existence de résistance croisée entre eux**. Attention des produits appartenant à des familles chimiques éloignées peuvent manifester entre eux une résistance croisée : ainsi, les insectes résistants au DDT (famille des organo-chlorés) peuvent devenir rapidement résistants aux pyréthrinoides, car le site biochimique affecté est le même.

L'intérêt l'alternance est de réduire la durée de la pression de sélection et de permettre au produit « alternatif » d'éliminer les biotypes résistants sélectionnés. En général, le risque de résistance diminue proportionnellement à la fréquence d'application du produit. En effet, en l'absence de l'insecticide, les porteurs de gènes de résistance ont généralement moins de descendants que les autres. L'alternance permet de maintenir les gènes de résistance à une fréquence basse (la fréquence d'un *allèle de résistance*

qui a augmenté pendant que l'on utilisait l'insecticide va décroître et, dans le meilleur des cas, reprendre sa valeur initiale pendant l'on traite avec l'autre insecticide).



L'inconvénient est le risque de voir se développer également une résistance au produit « alternatif ».

➔ Fréquence / programme des applications

Proposer de **réduire le nombre des applications** durant la saison permet normalement de diminuer la pression de sélection. Cette méthode repose sur l'hypothèse que quand le produit n'est plus utilisé les biotypes résistants tendent à régresser ou à disparaître dans la population cible. Pour être vraiment efficace, cette méthode doit être associée à l'association ou à l'alternance des produits.

Il faut prendre en compte la rémanence d'action du produit, l'activité résiduelle d'une unique application pouvant être élevée !

Réduire le nombre des applications signifie souvent « **traiter sur seuil** » (ex. : LEC, ou « lutte étagée ciblée »). La décision d'intervenir avec un insecticide devrait normalement prendre en compte plusieurs facteurs :

- déterminer le nombre d'**insectes ravageurs** dans la parcelle observée par comptage (piégeage, fauchage au filet, pièges à phéromones, etc.) : on définit un « **seuil d'infestation** » ; le seuil d'infestation représente le nombre d'insectes (larves et/ou adultes) qui doivent être présents pour qu'un dégât se manifeste dans la culture.
- évaluer l'importance des populations d'**insectes auxiliaires** (ex. : larves de coccinelles ou de syrphes prédatrices des pucerons) ou d'insectes parasitoïdes (ex. : nombre d'*aphidius*, micro-hyménoptère qui parasite les pucerons) ;
- connaître la dynamique de leurs populations respectives, et l'influence des conditions du milieu (notamment atmosphériques) sur leurs proliférations ;
- connaître le « **seuil économique de dégât** » : lié au seuil d'infestation, il est atteint quand le nombre d'insectes ravageurs présents suffit à causer un dommage dont le coût économique prévisible (tel qu'une baisse significative du rendement) sera supérieur au coût du traitement.

Mais il faudrait intégrer en outre à la décision, **la sélectivité de l'insecticide** vis-à-vis des auxiliaires et/ou des insectes parasitoïdes (on parle de produit « IPM compatible »). En effet, dans le cas où le produit n'est pas sélectif, il peut engendrer un risque d'« **effet boomerang** » (l'effet du produit disparaît, l'infestation reprend de plus belle).



Il est souvent très difficile de maîtriser correctement ces différents facteurs, ce qui limite en pratique l'intérêt des traitements sur seuil (ex. : nécessité de formations intensives).

Chapitre 8

Bonnes pratiques d'application des traitements phytosanitaires

Traitement et traçabilité des opérations	163
Organisation du chantier, vérification des appareils et prévention des contaminations	164
Calculs et mesures du volume appliqué/ha et des doses.....	171
Préparation et chargement de la bouillie.....	175
Principes de réglage des appareils	178
Origine du phénomène de dérive	187
Nettoyage et entretien des appareils	189



8.1. Traitement et traçabilité des opérations

8.1.1. Traitement phytosanitaire, BPP et BPA

Le « traitement » des plantes cultivées ou des produits récoltés avec un produit phytosanitaire vise à les protéger contre l'action néfaste des prédateurs, parasites, maladies ou plantes concurrentes. Ce traitement est le plus souvent une **application par pulvérisation** de la culture. Il peut être associé ou non à d'autres formes complémentaires d'interventions, culturales, physiques et/ou biologiques (lutte intégrée).

Le respect des modalités d'intervention, des consignes de sécurité d'emploi, de stockage et d'élimination des produits non utilisés ou périmés, des emballages vides ainsi que des restes de bouillie, est la base des « **Bonnes Pratiques Phytosanitaires ou BPP** ».

La mise en œuvre des BPP, de la dose autorisée, du volume recommandé et du délai avant la récolte (DAR) représente les « **Bonnes Pratiques Agricoles ou BPA** » qui garantiront au consommateur le respect des normes de qualité sanitaire de la denrée, notamment le respect de la LMR.

Une application raisonnée des pesticides nécessite :

- la formation des agriculteurs au suivi des cultures (**interventions sur seuil**) et des applicateurs aux techniques d'application et à la prévention des risques encourus par eux-mêmes, les animaux et l'environnement ;
- de **définir les modalités d'intervention** les plus efficaces (en combinant : choix du pesticide, nature de la formulation, et techniques d'application) et les plus sûres pour eux-mêmes et pour l'environnement, et permettant de gérer au mieux le risque d'acquisition d'une résistance aux pesticides chez les parasites.

Les composantes de l'efficacité d'un traitement

L'efficacité (au double sens agronomique et économique) :
= opportunité évaluation précise de la situation et nécessité d'intervenir,
+ sélectivité choix de la matière active, de la formulation et de la dose,
+ précision identification des cibles, choix de l'appareil et formation de son utilisateur

Dose : kg(g) ou l(ml) de produit appliqués par hectare (par 100 m²).

Bouillie : toute forme de liquide pulvérisé : produit utilisé tel quel ou produit dilué dans un véhiculant (eau ou dérivé pétrolier). Dans la plupart des cas, la dose sera réglée en maintenant constante la concentration de la bouillie en matière active ou en produit.

8.1.2. Choisir les produits en fonction du cadre réglementaire

Les pesticides, qui seront intégrés dans l'itinéraire technique recommandé pour la culture, doivent être choisis en prenant en compte :

- les **autorisations** de mise sur le marché (législation nationale en vigueur), en respectant strictement les usages autorisés et les doses homologuées ;
- les **précautions** d'usage obligatoires (période d'application, **délais avant récolte (DAR)**, **dose maximale** autorisée, nombre maximal de traitements autorisés, existence ou non de zones non traitées, équipements de protection recommandés sur l'étiquette) et les restrictions d'usage éventuelles (ex. : application uniquement au semis) ;
- l'existence, sur la denrée pour ce composé, d'une **Limite Maximale en Résidus (LMR)**. Si la denrée est exportée, il faut prendre en compte la LMR du marché où elle sera distribuée (LMR nationale, LMR harmonisée au niveau européen ou LMR fixée par le *Codex Alimentarius*).

8.1.3. Organiser une traçabilité complète

Comme pour les autres opérations effectuées dans la culture, il est très important d'**organiser une traçabilité complète des interventions** phytosanitaires, en enregistrant pour chaque traitement au moins :

- la date d'application (par rapport à la date de semis) ;
- le produit utilisé (nom complet, fournisseur, formulation, n° lot, etc.) ;
- la dose d'emploi réellement utilisée (la **mesure effectuée**, et non la dose indiquée) ;
- le volume de bouillie (par ha) ;
- le type d'application (appareil et éventuellement le numéro de l'appareil s'il a été calibré, buse, volume/ha, largeur de travail, vitesse) et les conditions de l'application (pluie, vent, etc.) ;
- le nom de l'applicateur et du responsable du traitement.



Cette traçabilité est d'autant plus importante que l'on cherche à garantir au distributeur et au transformateur que le produit récolté répond aux normes de qualité phytosanitaire, et **particulièrement respecte les LMR autorisées** pour le(s) produit(s) sur cette denrée.

8.2. Organisation du chantier, vérification des appareils et prévention des contaminations



Le grand objectif de la pulvérisation est d'appliquer un volume/hectare de bouillie bien précis avec une répartition la plus régulière possible et avec une taille, un nombre d'impacts et une homogénéité de gouttes appropriées à la culture et au type de traitement.

8.2.1. Le jalonnement des parcelles

En grandes cultures, seul un jalonnement exact permet de conserver la bonne distance de passage établie selon la largeur des rampes. Si la distance de passage est inférieure à la largeur de travail des rampes, la dose est doublée dans les zones de recouvrement des passages. Si la distance de passage est supérieure à la largeur optimale de travail, la partie située entre les passages n'est pas du tout ou pas correctement traitée.

L'erreur de jalonnement est grave pour la culture et pour l'environnement. Les jalonnements approximatifs doivent être proscrits : **le jalonnement au pas est imprécis et est la source de nombreuses erreurs et approximations !**



*Utiliser un décamètre pour mesurer correctement les parcelles
(Photo B. Schiffers)*



Comme pour les épandages d'engrais, les méthodes de jalonnement les plus utilisées peuvent être résumées de la manière suivante :

- sur le terrain nu ou prairie, on pratique le jalonnement en arpentant la parcelle avec un **décamètre ruban** (de 50 m) et trois lignes de jalons ou plus, selon le relief du terrain ;
- lors d'un semis avec un semoir en lignes, on peut procéder à un jalonnement de prélevée ou à un jalonnement de post-levée.



(Photo B. Schiffers)

Pour les traitements arboricoles et viticoles, le jalonnage est, bien entendu, matérialisé par l'écartement inter rangs. Dans ce cas, la largeur de travail (L) à prendre en compte pour les calculs correspond au nombre (n) de largeurs entre rangs (l) traitées à chaque passage : $L = l \times n$.

8.2.2. La protection individuelle

Chaque fois qu'il existe des risques de projection ou de contact avec un produit phytosanitaire, même dilué, porter une tenue imperméable (gants, tablier imperméable, bottes...) : la peau est facilement et rapidement traversée par certains produits dangereux. Ne pas oublier de rincer ces équipements après leur emploi. Dans certains cas, il peut être intéressant d'utiliser des combinaisons jetables. Certains produits peuvent nécessiter l'emploi d'une protection respiratoire lors de la préparation de la bouillie et pendant le traitement.



Pour les appareils sans cuve lave-mains, prévoir sur les lieux de préparation et de manipulation, de **disposer en permanence d'une réserve d'eau claire** facilement accessible permettant de se laver les mains après toute manipulation du produit.

Réserve d'eau claire.

Cette réserve peut être utile pour rincer l'appareil en fin de traitement, mais aussi en cas de contact avec le produit, pour rincer la peau ou les yeux contaminés.

(Photo B. Schiffers)

8.2.3. La protection des points d'eau



Toutes les précautions doivent être prises pour **éviter les débordements de cuve et les écoulements de produits** en dehors du milieu à traiter.

La production de mousse durant la préparation du mélange entraîne un risque de débordement important et d'écoulement vers les caniveaux et égouts.

Dans tous les cas, conformément aux dispositions réglementaires, la vidange par les rampes et la vidange du fond de cuve doivent être effectuées sur la zone de culture ou sur une culture autorisée en évitant le ruissellement, et à l'écart des habitations, des cours d'eau, des mares, des étangs, des puits et des zones de captage d'eau.

Maintenir les robinets d'eau très propres et penser à se laver les mains avant de les manipuler. **Ne pas remplir les cuves avec un tuyau d'eau plongeant et ne jamais utiliser un raccordement direct à un réseau d'adduction d'eau** pour la préparation des traitements si le branchement ne dispose pas d'un dispositif anti-retour ; en cas d'anomalie ou de coupure du réseau pendant le remplissage d'une cuve, le dispositif anti-retour évite le risque de siphonnage du produit de la cuve et la pollution du réseau.

Rincer les emballages correspondant au traitement en cours **au moment de la préparation de la bouillie et incorporer la dilution du rinçage dans la cuve** du pulvérisateur avant de traiter. Après leur rinçage, **percer les emballages** pour éviter toute réutilisation.

8.2.4. Le mode d'emploi des produits



Le **mode d'emploi** de toutes les formulations commerciales phytosanitaires est obligatoirement présent sur l'étiquetage des emballages : spécificité et type d'action, stade d'application, dose/hectare, volume/hectare, précautions d'emploi et risques spécifiques.

Les fabricants ou les sociétés de diffusion de produits phytosanitaires réalisent par ailleurs des fiches de données sécurité des produits (**FDS**) : ne pas hésiter à les demander aux fournisseurs.

Pour chaque type de culture, il est vivement recommandé de prendre connaissance des conseils diffusés par les autorités locales, les instituts techniques locaux, les instances de conseil (groupements de producteurs, centres de recherche, projets locaux, avertissements agricoles...)... sans oublier les « **Itinéraires techniques** » et les « **Guides de Bonnes Pratiques Phytosanitaires** », rédigés par le COLEACP (Programme PIP et autres) qui ont fait l'objet d'essais locaux en collaboration avec les autorités locales pour leur validation et sont régulièrement remis à jour¹.

Il est important de **s'assurer de la qualité et de la fiabilité des informations** et de ne pas se limiter à des informations commerciales.

La consultation de sources autorisées et le respect des règles édictées dans le mode d'emploi, dans les fiches de données de sécurité et dans les documents techniques sont les éléments de base d'un comportement responsable.

8.2.5. La protection de la biodiversité

Prendre connaissance et **respecter les instructions du mode d'emploi** des produits à propos de leur nocivité éventuelle pour les insectes et la faune sauvage, notamment à l'égard des insectes pollinisateurs.

Faire si possible un premier passage au milieu de la parcelle et traiter les bordures à la fin du traitement pour faciliter la fuite des animaux vers l'extérieur de la parcelle. Lors des traitements herbicides, prendre toutes les précautions nécessaires pour ne pas porter atteinte aux végétaux des refuges naturels (haies, clôtures, bosquets...).

8.2.6. La notice d'instructions du constructeur du pulvérisateur

La **notice d'instructions** est le document de référence pour les utilisateurs de pulvérisateurs. En plus de sa fourniture, conformément aux dispositions réglementaires de sécurité (code du travail), cette notice indique à l'utilisateur les informations nécessaires pour :

- adopter les réglages les plus pertinents selon les traitements à réaliser ;
- conserver les caractéristiques initiales de l'appareil ;

¹ Voir le site Web du COLEACP/PIP : www.coleacp.org.

- maintenir le matériel en parfait état de marche ;
- prévenir les anomalies d'application et les surdosages.

Si l'utilisateur ne dispose pas de la notice d'instructions, il doit la demander au concessionnaire ou au constructeur.



8.3. Calculs et mesures du volume appliqué/ha et des doses

En général, la détermination de la quantité de produit à préparer (dose/ha) se fait **par calcul**. Cependant, il existe des méthodes moins précises, mais plus simples qui font appel par exemple à des abaques (disques ou réglettes).

8.3.1. Définition de la dose



Le terme « **dose** » indique la **quantité** de produit formulé à mesurer et à appliquer.

L'étiquetage de chaque produit indique la **dose autorisée par unité de surface** et, suivant le volume de bouillie/ha, la concentration à réaliser selon les objectifs de traitement.

Selon les cas, la dose est exprimée en grammes (ou kg) par hectare (g/ha) ou en millilitres (ou litres) par hectare (l/ha).

Parmi les diverses techniques d'application des pesticides, l'unique objectif est la **répartition la plus homogène** possible de la substance, appelée souvent dose ou quantité, sur une unité de surface. En général, l'hectare a été adopté comme référence d'unité de surface.

À chaque pesticide et à chaque problème (parasites, types de culture...), correspond une dose de pesticide par hectare. Cette donnée est (le plus souvent) validée lors de l'homologation du produit par des essais d'efficacité, de sélectivité et de respect des LMR.

Ce n'est donc ni une donnée empirique ni approximative : le respect de la dose maximale² est l'élément de base du respect des BPA !

La **dose agréée** de produit à appliquer par unité de surface est exprimée le plus souvent en kg/ha (formulations solides comme les DP, WP, WG, GR...) ou en l/ha (formulations liquides comme les SC, EC, EW, SL...)³.

² Il est permis de réduire la dose recommandée, en se rappelant que cela peut limiter l'efficacité ou la persistance d'action et favoriser le développement de résistance. Dans certains cas il est permis de « fractionner » la dose (ex. : traitement avec des herbicides, lutte étagée ciblée en coton). Il faut toutefois continuer à respecter le DAR, même avec une dose réduite.

³ Codes internationaux désignant les types de formulations par deux lettres : DP = poudre à poudrer ; WP = poudre mouillable ; WG = granulés dispersables ; GR = granulés ; SC =

8.3.2. Volume de bouillie et quantité de produit à mesurer

La concentration en produit dans la bouillie dépend de deux éléments :

- de la **dose/hectare** agréée qui est reprise sur l'étiquette du bidon ;
- du **volume/hectare** auquel le traitement se réalise.

L'eau n'est pas nécessaire à l'action biologique d'un produit phytosanitaire. Elle sert seulement à véhiculer le produit. Il n'est pas économique de transporter de grandes quantités d'eau sur les champs. En conséquence, dans les techniques modernes d'application, **le volume de bouillie/ha diminue progressivement.**

Auparavant, 1 000 litres de bouillie par hectare étaient considérés comme un volume approprié. De nos jours, les pulvérisateurs montés sur tracteurs peuvent appliquer avec succès des quantités réduites jusqu'à 50 litres par hectare.

Les volumes/hectare courants sont de l'ordre **de 200 à 400 litres/hectare (pulvérisateurs portés sur tracteur) et de l'ordre de 750 à 900 litres/hectare (pulvérisateurs à dos).**

Le **type de pulvérisateur** dont on dispose va déterminer la fourchette de volume/hectare auquel les pulvérisations vont être effectuées. Plus la contenance de l'appareil est grande, plus le volume/hectare pourra être élevé ; toutefois, pour des questions d'autonomie, le choix d'un volume/hectare dit « raisonnable » s'imposera.

De **nombreux autres facteurs** vont influencer le choix d'un volume/ha : type et développement de la culture, recommandations techniques, type de produit et mode d'action, disponibilité en eau.

Définition du terme « volume/hectare »

C'est le volume de bouillie à épandre sur une surface d'un hectare. Les divers produits et les techniques de traitement utilisés conduisent à appliquer différents niveaux de volume/hectare :

- ultra-bas volume/hectare ou ULV (inférieur à 5 l/ha) ;
- très bas volume/hectare ou TBV (de 5 à 50 l/ha) ;
- bas volume/hectare (de 50 à 100 l/ha) ;
- volume/hectare moyen (de 100 à 250 l/ha) ;
- haut volume/hectare (supérieur à 500 l/ha).

Le volume/hectare est indiqué sur les notices d'emploi des produits. Il convient d'éviter le terme « débit-hectare », couramment employé dans le même sens. De même, il faut éviter la confusion avec le terme « dose » qui se rapporte à la quantité de produit formulé à appliquer par hectare.

suspension concentrée ; EC = concentré émulsionnable ; EW = émulsion aqueuse ; SL = solution aqueuse.

La concentration pouvant influencer le comportement de la bouillie (notamment au niveau de la tension superficielle⁴ qui règle la taille des gouttes obtenues par pulvérisation) et sa pénétration dans la plante, il est préférable de rester dans les recommandations de volume de bouillie/ha du fabricant.

Pour organiser valablement son « chantier de pulvérisation », le producteur doit connaître ou calculer un certain nombre de paramètres tels que : la dose/ha, la surface à traiter, le volume/ha, le volume de bouillie à préparer, le volume de la cuve du pulvérisateur, la surface traitée avec une cuve, etc.

Paramètre utile au chantier	Source
Dose recommandée (kg ou l/ha)	Consulter l'étiquette.
Surface à traiter (m ² ou ha)	Mesurer avec précision la superficie à traiter avec un décamètre. Prendre en compte les zones à ne pas traiter.
Volume de bouillie/ha (l/ha)	Consulter l'étiquette. Procéder au besoin à un étalonnage du volume épandu en fonction des conditions et de l'appareil.
Capacité de la cuve (en litres)	Consulter la notice du constructeur. Mesurer le volume par remplissage.

Paramètre utile au chantier	Formule de calcul
Surface couverte avec une cuve (m ²)	$\frac{10\,000 \text{ m}^2 \times \text{volume cuve (l)}}{\text{volume bouillie/ha (l/ha)}}$
Quantité de produit (l ou kg) à mesurer / cuvée	$\frac{\text{dose agréée (l ou kg/ha)} \times \text{volume cuve (l)}}{\text{volume bouillie/ha (L/ha)}}$
Volume de bouillie nécessaire (l)	$\frac{\text{surface à traiter (m}^2\text{)} \times \text{volume cuve (l)}}{\text{Surface avec une cuve (m}^2\text{)}}$

⁴ La qualité du mouillage d'un liquide sur un solide est le degré d'étalement du liquide sur ce solide. On parle de mouillage total lorsque le liquide s'étale totalement, et de mouillage partiel lorsque le liquide forme une goutte sur le solide. Quand la tension superficielle est élevée, l'angle de contact entre les gouttes d'eau et la feuille est quasi nul : la goutte ne s'étale pas, ce qui ne permet pas la pénétration. La présence des adjuvants de la formulation va réduire cette tension superficielle et permettre l'étalement de la goutte d'eau. Dans le cas d'une goutte de bouillie dispersée dans l'air, l'énergie est minimale lorsque la surface est minimale. Or, la forme correspondant à la plus petite surface possible est une sphère. C'est pour cela que les gouttes d'eau ont une forme sphérique. En réalité, la gravité joue également pour déterminer la forme de la goutte.

Exemples d'application des formules

La surface totale de ma parcelle à traiter est de 5000 m². La dose agréée du fongicide à utiliser est de 1 kg/ha. Après vérification du réglage, le volume pulvérisé est de 200 litres/hectare. Le pulvérisateur dont on dispose a une capacité de cuve de 15 litres.

Quelle quantité de produit faut-il mesurer/cuve et combien de mélanges faut-il prévoir ?

Dose recommandée (kg ou l/ha) :	1 kg/ha ou 1 000 g/ha
Surface à traiter (m ² ou ha) :	5 000 m ²
Volume de bouillie/ha (l/ha) :	200 l/ha
Capacité de la cuve (en l) :	15 l (appareil à dos)
Surface couverte avec une cuve (m ²) :	$\frac{10\,000\text{ m}^2 \times 15}{200} = 750\text{ m}^2$
Quantité de produit à mesurer (g) :	$\frac{1\,000 \times 15}{200} = \mathbf{75\text{ g}}$
Volume de bouillie nécessaire (l) :	$\frac{5\,000 \times 15}{750} = 100\text{ litres}$ soit 7 cuves. Il y aura donc 7 x 75 g à mesurer.

8.4. Préparation et chargement de la bouillie

Pour rappel, la préparation de la bouillie est **une étape délicate** tant pour la santé de l'opérateur que pour le respect de l'environnement. Le produit formulé (spécialité commerciale) est en effet manipulé à l'état **concentré**. Les risques de contamination sont les plus importants lors de cette phase de préparation de la bouillie.

Un personnel formé, le respect des indications fournies par le fabricant et l'application des bonnes pratiques phytosanitaires sont les conditions nécessaires au bon déroulement de cette opération.



Avant tout, il faut lire attentivement l'étiquette du produit.

L'étiquette reprend toutes les informations nécessaires à la bonne utilisation en toute sécurité du produit : la nature du produit (matière active et concentration), les emplois autorisés, les doses, des conseils d'utilisation, de préparation et d'application, la compatibilité éventuelle avec d'autres produits en cas de mélange et surtout les mentions de danger et les conseils de prudence à respecter pour la sécurité des hommes, des animaux et de l'environnement.



La préparation nécessite une protection efficace du manipulateur contre les éclaboussures, les poussières ou les émanations. Pour cela, il faut porter au moins des gants, une combinaison et des bottes. Le port des lunettes et du masque sera raisonné en fonction du niveau de risque du produit. Il est vrai que porter la panoplie complète de protection contre les produits n'est pas facile pour des questions de confort, mais aussi d'image. Mais une protection individuelle efficace et finalement la conservation d'une bonne santé passent par quelques sacrifices.

Il ne faut pas boire, manger ou fumer pendant toute la durée du travail et tant que l'on ne s'est pas changé et lavé les mains. Cette condition est valable pour toutes les phases de la pulvérisation (préparation, pulvérisation et rinçage) de produits phytosanitaires.

8.4.1. Quelques précautions élémentaires

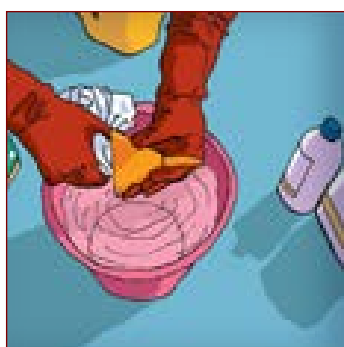
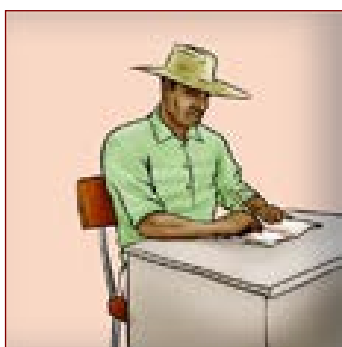
Lors de la préparation proprement dite, il faudra tant que possible essayer de suivre les quelques conseils suivants :

- éviter la contamination avec la peau en adoptant le port des EPI conformément aux prescriptions ;
- préparer la bouillie à l'extérieur, à l'écart des habitations, des cultures, des bâtiments pour les animaux et ceci sur une zone stabilisée, mais jamais sur une aire de lavage ou un sol nu, car les risques de ruissellement vers les égouts et vers les points d'eau seraient trop importants, ainsi que les risques de contamination de sources d'approvisionnement en eau ou les mares pouvant servir d'abreuvoir pour les animaux ;
- tenir éloignés enfants et animaux ;
- si la cuve du pulvérisateur est haute, utiliser un escabeau ou une petite échelle afin d'accéder aisément à l'ouverture de la cuve ;
- utiliser sans aucune hésitation l'incorporateur de produits si l'appareil en est équipé (celui-ci permet également le rinçage des bidons) ;
- dans le cas de l'utilisation de poudres et de poudres mouillables, placer l'ouverture du sac directement dans le récipient ou dans la cuve pour éviter toute volatilisation de poussière ;
- vider les sacs de poudre dos au vent pour éviter l'absorption des poussières ;
- ouvrir les emballages avec un couteau ou des ciseaux sans les déchirer pour éviter le jaillissement de produit et avoir un bord de déversement bien net ;
- utiliser les équipements appropriés pour les mesures des doses : mesures fournies avec les produits (quand c'est le cas), sinon utiliser des éprouvettes graduées pour les liquides, cuiller pour les poudres, seaux ou bidons, entonnoirs, filtres... ; ces équipements seront réservés exclusivement à cet usage et seront marqués ;
- si l'on utilise un tuyau pour le remplissage en eau, ne pas le plonger dans la cuve pour éviter tout risque de refoulement vers le réseau (si possible, utiliser un tuyau muni d'un clapet anti-retour) ;
- s'il y a plusieurs produits, s'assurer de leur compatibilité ;
- prendre son temps, rester vigilant pendant toute la durée du remplissage et surtout ne pas quitter les lieux (ne pas laisser sans surveillance un matériel plein prêt à l'emploi) ;
- on apportera également **un soin particulier au rinçage des emballages et à leur élimination** (ne pas laisser traîner les produits ou les emballages vides bien rincés et rendus inutilisables) ;
- **bien refermer les emballages après usage** de façon à éviter toute perte ou contamination et les stocker en lieu sûr. Garder toujours le produit phytosanitaire dans son emballage d'origine, ne jamais transvaser les produits dans des récipients contenant habituellement boissons ou nourriture ;
- une fois la préparation terminée, **se laver soigneusement les mains**, puis le visage.

8.4.2. Procédure à suivre pour le chargement

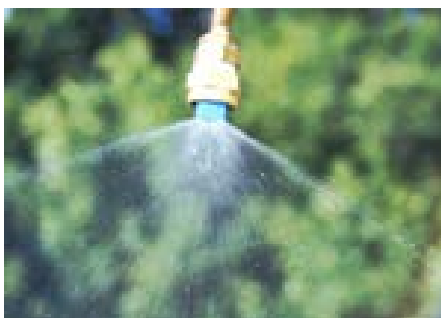
Sauf indications particulières sur l'étiquette :

- Mettre un tiers du volume d'eau dans la cuve.
- Mesurer avec précaution, sans éclaboussures, le produit en utilisant des mesurette de tailles adaptées.
- Ajouter le produit à la cuve, sans éclaboussures ou poussière (gestes délicats).
- Agiter afin d'homogénéiser la bouillie (agitateur ou baguette réservée à cet usage).
- Surtout ne jamais mélanger avec les mains.
- Laisser toujours le filtre sur la cuve et remplir à travers le filtre.
- Terminer le remplissage de la cuve (total ou partiel si c'est le cas) avec la quantité d'eau nécessaire, sans faire mousser le mélange !
- Rincer les ustensiles utilisés pour le dosage (mesurettes, récipient gradué, seau...).
- Rincer au moins trois fois le bidon s'il est vide.
- Verser toutes les eaux de rinçage dans la cuve.
- Après chaque dosage, noter : la date, la quantité mesurée, la parcelle, la culture, le nom du produit, les conditions d'application et le nom de l'opérateur.
- Remplir la fiche de gestion du stock de pesticide.



8.5. Principes de réglage des appareils

8.5.1. Règles de base valables pour tous les types d'appareils



Régler un pulvérisateur, c'est **fixer une quantité de bouillie à épandre par unité de surface, donc fixer un volume/hectare.**

Le réglage de tous les appareils se base sur la formule générale suivante :

$$\text{volume/hectare (l/ha)} = \frac{\text{débit de la buse (l/min)}}{\text{vitesse (km/h) x largeur (m)}} \times 600$$

Chacun des paramètres aura une influence sur le volume épandu/ha :

	Évolution du paramètre	Volume épandu/ha
Débit	↗	↗
Vitesse d'avancement	↗	↗
Largeur de travail	↗	↗

Selon les conditions de traitement souhaitées (en fonction de l'activité du produit et de la culture), les caractéristiques de la pulvérisation doivent être adaptées pour obtenir un bon recouvrement des cibles avec un minimum de dérive. Pour procéder au réglage de l'appareil en vue des performances attendues, on doit procéder aux opérations suivantes :

1. Choisir un type de buse en fonction du volume/ha et de la taille des gouttes ;
2. Mesurer la vitesse d'avancement du tracteur ou du marcheur ;
3. Déterminer le débit nécessaire à la buse pour obtenir le volume/hectare choisi ;
4. Régler la pression de travail compatible avec le type et le calibre de buse utilisés ;
5. Contrôler le débit réellement obtenu.

8.5.2. Régler la taille des gouttes : choisir une buse adéquate

Avant d'entreprendre le réglage d'un pulvérisateur, il faut connaître les caractéristiques de la pulvérisation requise, à savoir **le volume/hectare** et **la taille idéale des gouttes**.



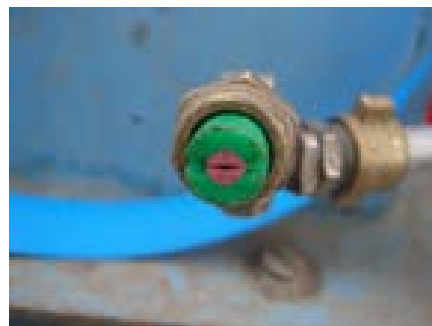
La quantité de liquide à épandre à l'hectare dépend du type de produit, du stade de développement de la culture et des conditions climatiques. Pour les traitements, en général, le volume/hectare peut aller de **100 à 1000 litres/hectare**. Avec certains appareils (cannes centrifuges, ULVA), on peut descendre jusque 10 litres/ha et même moins.

La taille des gouttes est dépendante du mode d'action des produits pulvérisés ainsi que de l'importance du vent. La **finesse des gouttelettes** détermine leur aptitude à ruisseler sur la végétation et à tomber sur le sol : **des gouttelettes fines ont un taux de recouvrement supérieur, mais forment des embruns plus facilement emportés par le vent.**

La **buse** est l'organe permettant de fragmenter la bouillie en gouttelettes sous l'effet d'une **pression** de liquide au travers d'un orifice calibré. Suivant le principe de fragmentation utilisé, elles se classent en buses hydrauliques, centrifuges, pneumatiques, électrostatiques, électrodynamiques...

Malgré les avantages que présentent certaines de ces techniques (réduction du volume/hectare, spectre de gouttes homogènes, phénomène de dérive réduit), les buses à pression de liquide (buses à fente, les buses à turbulence, les buses à miroir et les buses à filet) restent les plus utilisées en pulvérisation agricole.








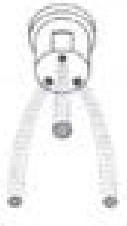

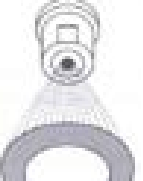
La buse à fente est **la plus utilisée**, car elle est **polyvalente pour tous les traitements** et donne une répartition transversale homogène avec simple ou double recouvrement. C'est une buse ayant un orifice de **forme elliptique** et **produisant un jet plat** (ou jet pinceau). Les deux caractéristiques servant à identifier la buse sont l'angle du jet à la sortie de l'orifice (**le plus courant est 110 °**) et le calibre, qui correspond au débit de la buse à une pression déterminée. Pour obtenir une pulvérisation homogène, sans trop de brouillard, il est conseillé d'utiliser la buse à fente. Elle procure une bonne répartition à partir d'une pression d'environ 2 bars et peut être employée jusqu'à 3 bars avec la plupart des herbicides. Pour les fongicides et les insecticides, on peut éventuellement travailler à des pressions légèrement supérieures, entre 3 et 5 bars



Les **buses à turbulence** sont constituées d'une hélice, d'une chambre de turbulence et d'une pastille à orifice calibré. Le liquide est mis en rotation dans la chambre de turbulence avant de sortir par l'orifice circulaire sous forme d'un jet conique. La répartition sous rampe avec ce type de buse est moins bonne que la buse à fente et le jet produit est plus sensible à la dérive. Elles **sont réservées aux fongicides et insecticides**, parce que la répartition n'est pas idéale, et il y a une plus grande dérive de la bouillie (fines gouttelettes et hauteur de rampe plus importante)

La **buse à miroir** est une buse possédant un déflecteur lisse qui produit un jet plat en éventail. Le jet est essentiellement constitué de grosses gouttes (> 500 microns). Elle est destinée aux engrais liquides : travail à basse pression, production de grosses gouttes. La **buse à tri-filets** est destinée aux engrais liquides : basse pression, peu précise, forme trois jets bâtons constitués de grosses gouttes.

Caractéristiques de jet des différentes buses :

	Buse à fente standard	Buse à fente antidérive	Buse engrais liquide 3 filets	Buse à effet miroir	Buse à turbulence
Forme de la buse					
Forme du jet et trace au sol					
Dérive	Moyenne	Faible	Très faible	Faible	Élevée
Pression idéale	2 - 4 bars	3 - 7 bars	1 - 3 bars	1 - 3 bars	3 - 20 bars



Trace laissée au sol par une buse à turbulence. Le jet forme clairement un cône creux. Les plus fines gouttes se retrouvent à l'extérieur du jet et sont entraînées par le vent (dérive). Ce type de jet turbulent convient bien pour traiter avec des fongicides, car les fines gouttes peuvent adhérer à la face inférieure des feuilles.
(Photo B. Schiffers)

Choix du type de buse selon la nature des traitements à effectuer :

Nature de l'application	Contraintes	Type de buse préconisé	Pression conseillée (bars)
1. Traitement phytosanitaire			
Herbicide	Grande homogénéité de la quantité appliquée, gouttes moyennes	À fente	1,8 à 3
Insecticide, fongicide	Gouttes moyennes, maximum de couverture, brouillard enveloppant, gouttes fines	À turbulence ou à fente	2,5 à 5
2. Fertilisation			
Liquide clair	Éviter les brûlures, gouttes moyennes à grosses	À fente ou à miroir ou tri-filets	1 à 2
Engrais en suspension	Grosses gouttes	À miroir	1 à 2

8.5.3. Régler la vitesse d'avancement : chronométrer

La vitesse d'avancement et l'écartement entre les buses permettent de déterminer le **débit nécessaire pour obtenir le volume/hectare choisi**. Il est de ce fait indispensable de connaître la vitesse de déplacement effective du matériel dans les conditions de travail.

Pour un appareil porté sur un tracteur ou tracté par celui-ci, elle est déterminée par calcul, après avoir mesuré le temps nécessaire pour parcourir une distance déterminée de 100 m, par exemple, de préférence dans un champ, avec la cuve du pulvérisateur **remplie à moitié de sa capacité**.

Pour un appareil à dos, l'utilisateur parcourt une distance de 100 m, avec le pulvérisateur rempli à la moitié de sa capacité et chronomètre le temps passé.



*Chronométrage d'un opérateur.
Dans ce cas, le facteur humain intervient sur le résultat. Chaque opérateur travaille à une vitesse différente.
(Photo B. Schiffers)*

En résumé, pour le choix des buses :

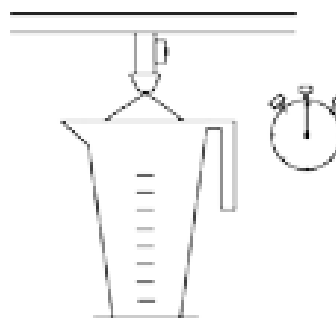
- Tenir compte de la culture à traiter
- Tenir compte du produit à appliquer
- Tenir compte du volume/hectare souhaité
- Tenir compte des conditions de vent : très important, car un vent trop fort provoquera la dérive des gouttes hors de la parcelle.

8.5.4. Ajuster le débit : mesurer le volume émis

Le débit d'une buse, c'est-à-dire le volume de liquide qui s'écoule par unité de temps, dépend de la pression d'utilisation, du calibre de la buse (section de l'orifice de la buse) et de la densité du liquide pulvérisé. La pression d'utilisation ainsi que la nature de la bouillie étant imposées par le type de traitement, le choix du calibre se fait en fonction du volume à épandre et de la vitesse d'avancement.

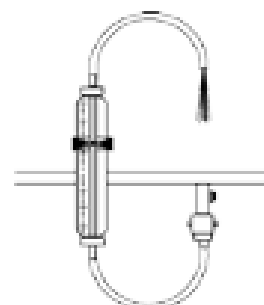
Il existe divers **instruments de calibrage** du débit :

- **Éprouvette ou récipient gradué** : recueillir le liquide pulvérisé par la buse dans l'éprouvette ou le récipient gradué, pendant un temps déterminé (généralement 1 minute) à l'aide d'un chronomètre.

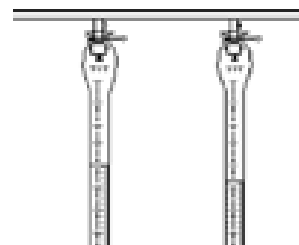


Mesure du débit d'une buse dans un pot gradué avec chronométrage
(Photo B. Schiffers)

- **Le débitmètre à bille** : indique la valeur instantanée du débit à la buse par l'intermédiaire d'une bille qui se positionne en vis-à-vis d'une échelle graduée. Il suffit d'appliquer, en évitant toute fuite, un des embouts du débitmètre sous la buse.



- **Les sachets plastiques** : ce sont des **éprouvettes souples graduées** qui peuvent être fixées sur l'écrou de la buse à l'aide d'une agrafe métallique, et ce, sur tout type de porte-buse.



Pour contrôler le **débit global d'un pulvérisateur à rampes de buses**, on peut :

- faire débiter le pulvérisateur et s'assurer que toutes les buses débitent régulièrement, s'assurer qu'il n'y a aucune fuite ;
- régler la pression sur la valeur donnée par les tableaux des fabricants pour obtenir, avec les buses choisies, le volume/hectare souhaité ;
- couper l'alimentation des rampes ;
- remplir la cuve **à son maximum** (trait de jauge) ;
- faire tourner la pompe au régime de travail ;
- faire débiter l'ensemble des rampes pendant **une durée déterminée t** (en s'aidant d'un chronomètre ou d'une montre. Pulvériser **plusieurs minutes** de manière à avoir la plus grande précision possible) ;
- **mesurer le volume d'eau V** nécessaire pour revenir au niveau maximum de la cuve. Quand l'appareil est muni d'une jauge graduée précise, la mesure du volume débité est lue directement.

Débit réel du pulvérisateur (en l/min)

$$Q = \frac{V}{t}$$

avec

Q	=	débit réel du pulvérisateur (l/min)
V	=	volume d'eau remis dans la cuve (l)
t	=	durée de la pulvérisation (min)

Cette méthode ne permet toutefois que de calculer **le débit moyen des buses** du pulvérisateur.

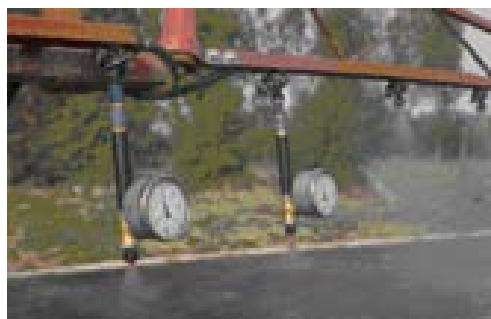
8.5.5. Ajuster la pression

Le **débit** d'une buse et la **pression sont directement liés** (le débit d'une buse est en effet proportionnel à la racine carrée de la pression). Après avoir choisi la buse (et le calibre de la buse, généralement indiqué par un code couleur), il reste à fixer/régler la pression de travail en agissant, suivant le type de régulation, soit sur le retour en cuve, soit sur le débit de la pompe. La pression est réglée en mesurant sa valeur sur un manomètre. Dans le cas d'un appareil à dos, on travaille toujours à la pression maximale, obtenue par un pompage régulier.

On peut mesurer la pression avec un **manomètre**.

Placer un ou plusieurs manomètres étalons en lieu et place d'une ou plusieurs buse(s) de pulvérisation.

Si le **manomètre** équipant le pulvérisateur fournit des indications de pression douteuses ou non fiables, démonter et placer celui-ci sur un **calibrateur ou comparateur de pression**.

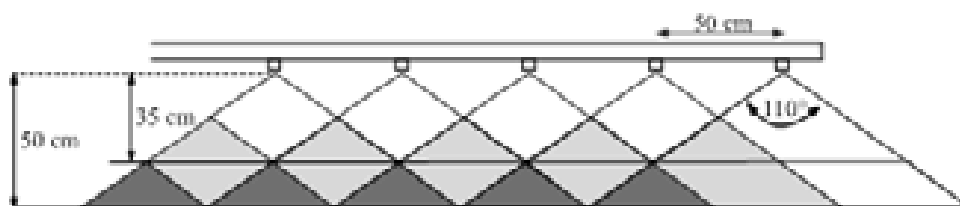


8.5.6. Ajuster la hauteur de travail

La **hauteur de rampe conditionne la régularité de la répartition** au sol ou sur les plantes pour tous les types de buses. Elle doit donc être réglée en tenant compte des caractéristiques de répartition, du type de buses et de leur espacement sur la rampe.

Quand on utilise des buses à fente, il faut placer la rampe au-dessus de la hauteur minimale (**50 cm avec les buses à 110 °** et 90 cm avec les buses à 80 °) **afin que le recouvrement des jets soit suffisant** pour ne pas affecter la répartition, suite aux inévitables variations de hauteur qui se produisent en cours de travail.

Hauteur minimale entre la rampe et la surface à traiter pour des buses à fente de 110° :



Avec les buses à turbulence, on choisit également une hauteur de rampe qui donne un recouvrement des jets. Pour des buses espacées de 50 cm avec un angle nominal du jet de 80° , la hauteur optimale se situe entre 70 et 90 cm de la cible, bien qu'il soit difficile d'obtenir une bonne répartition avec ce type de buse.

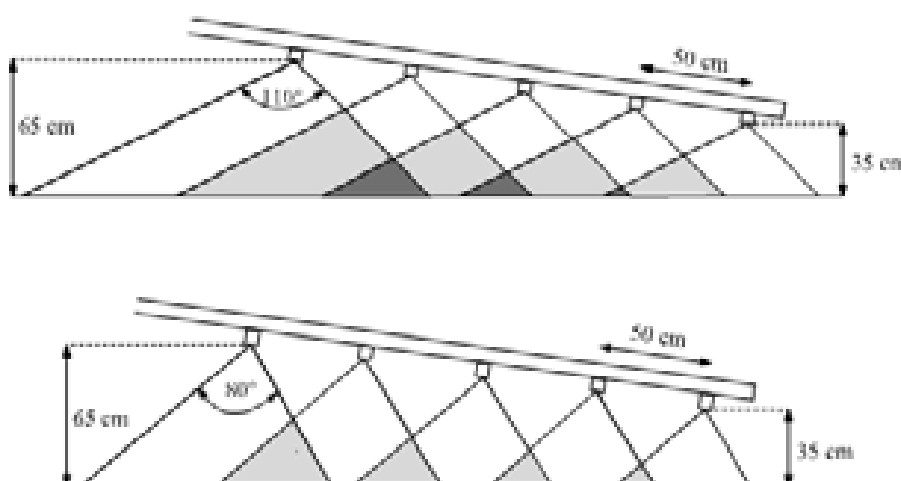
Avec les buses à miroir de nouvelle génération, la hauteur de la rampe doit permettre un léger recouvrement entre les jets. Lorsque ces buses sont placées tous les mètres, il faut positionner la rampe à une hauteur minimale de 90 cm.

Avec les buses tri-filets, c'est l'inclinaison des filets à la sortie de la buse qui détermine la hauteur ; 70 cm sont un minimum pour que les filets retombent verticalement et assurent un espacement régulier entre les bandes formées sur le sol.

Pour les volumes d'eau inférieurs à 100 l/ha, les risques de bouchage sont plus importants et il est parfois conseillé d'utiliser les buses à 80° . Il faut toutefois savoir qu'avec ces dernières, la répartition est plus sensible aux variations de hauteur de la rampe.

La figure suivante illustre un cas où l'extrémité de la rampe se situe à 35 cm du sol. À cet endroit, il n'y a plus de recouvrement suffisant entre les jets des buses à 80° alors que le double recouvrement existe encore pour les buses à 110° .

Influence des mouvements de la rampe sur la répartition transversale avec des buses 110° et à 80° :



Les opérations de réglage et de calibrage **doivent être adaptées à chaque type d'appareil** : appareil à dos, rampe de buses sur tracteur, pulvérisateur pneumatique, canne à disque centrifuge, poudreuse...

Nous présenterons les principes du réglage de ces appareils au prochain chapitre de ce manuel.



8.6. Origine du phénomène de dérive

La dérive est considérée comme l'effet secondaire le plus important de la pulvérisation. Elle peut être définie comme la quantité de produit pulvérisé qui, déplacée par les courants d'air, retombe sur le sol ou s'évapore après avoir parcouru une distance plus ou moins longue. Elle se produit donc au moment même de l'application ou peu de temps après.

Elle donne lieu à une pollution du sol, des eaux et de l'atmosphère et à une contamination des opérateurs.

Les facteurs influençant la dérive sont nombreux et dépendent de paramètres physiques, chimiques ou climatiques et de l'interaction entre ces paramètres.

- ▶ **La taille des gouttes** : les gouttes issues d'une buse de pulvérisation ont une taille et une vitesse variable. La taille des gouttelettes, mesurée en micromètres, est souvent caractérisée par le diamètre volumétrique médian (VMD) désigné également par D50. Le VMD est une valeur statistique qui définit un diamètre médian de gouttelettes, c'est-à-dire le diamètre de la goutte pour laquelle 50% du volume est constitué de gouttelettes plus grosses et 50 % du volume est constitué par des gouttelettes plus fines. La taille des gouttes est **un élément essentiel dans la dérive**.

Les **grosses gouttes** soumises aux lois de la balistique **tombent par gravité**, tandis que **les fines gouttes ont tendance à rester en suspension dans l'air** et à subir l'effet des conditions atmosphériques (transport et/ou évaporation). Plusieurs auteurs ont montré une réduction significative de la dérive pour des gouttelettes de diamètre supérieur à 150 μm . Selon les études, une goutte de 100 μm lâchée d'une hauteur de 3 m avec un vent latéral de 5 km/h se déportera de 15 m, tandis qu'une goutte de 20 μm dans des conditions identiques **peut dériver de 304 m avant d'atteindre le sol**.

- ▶ **La pression** : pour une buse donnée, **une augmentation de pression entraîne** une modification de débit, génère **une diminution de la granulométrie** des gouttes et, par conséquent, **une plus forte sensibilité à la dérive**.
- ▶ **La hauteur de pulvérisation** : ce paramètre **influence le temps de chute**. Plus la hauteur est importante, plus la goutte peut subir l'effet des conditions climatiques. Quand la hauteur de pulvérisation augmente, on se rapproche de la durée de vie limite de la gouttelette, son diamètre de base se réduit et elle devient plus sensible à la dérive.
- ▶ **La formulation du produit** : les propriétés physico-chimiques de la bouillie (notamment la viscosité et surtout la tension superficielle influencée par les émulsifiants, mouillants, dispersants) et influencent la taille des gouttes et donc de la dérive. Ainsi, dans le cas d'application de fines gouttes, l'emploi d'un liquide moins volatil est recommandé pour éviter la diminution de la taille des gouttes, voire la formation d'aérosol qui présente un potentiel de pollution important. Il faut noter que la concentration en produit dans la bouillie ou **l'ajout d'un adjuvant** dans la cuve peuvent modifier considérablement les propriétés de la bouillie.

- ▶ **Les conditions météorologiques** : les conditions atmosphériques ont une **influence importante sur la dérive**. La gouttelette une fois formée est soumise aux paramètres atmosphériques, à savoir **le vent, la température et l'humidité** qui ont tendance à affecter sa trajectoire et/ou sa durée de vie. Le vent agit sur la direction et la trajectoire des gouttes. En l'absence de vent, une goutte lâchée a tendance, sous l'effet de la gravité et de la poussée aérodynamique, à descendre à une vitesse constante. **Les gouttelettes de faible diamètre sont plus exposées aux mouvements de l'air qui ralentissent leur chute, les déportent horizontalement, et par conséquent, les exposent plus à la dérive.**

À partir d'une certaine vitesse de vent (supérieure à 5 m/s), il est conseillé d'arrêter complètement le traitement. La direction, quant à elle, est à prendre en compte afin d'éviter surtout la contamination des zones sensibles et de l'opérateur. Ces paramètres sont très variables sur le terrain, ce qui rend délicate l'obtention de la direction de l'axe de direction des nuages de gouttelettes.

La **température et l'humidité atmosphérique** interviennent dans le processus d'**évaporation** et par conséquent sur sa durée de vie. Cette **durée de vie** est fonction de son diamètre initial et de la température du milieu. Pour que la gouttelette puisse atteindre sa cible, sa durée de vie doit être supérieure à son temps de chute. La prise en compte de cette donnée par l'opérateur est importante quant au choix des conditions adéquates pour pulvériser la bouillie.

- ▶ **La culture** : elle est la cible de la pulvérisation. Elle constitue également un obstacle biologique à la dérive. Par ailleurs, le microclimat généré au voisinage du feuillage pourrait constituer une source de réduction de contamination des zones sensibles (ruisseaux, voisinage, etc.).



Il est indispensable pour l'opérateur d'agir sur ces différents facteurs pour **réduire le risque de dérive** lors de la pulvérisation.

L'utilisation de buses « antidérive » qui augmentent la taille moyenne des gouttes est un des moyens efficaces pour agir dans ce sens.

Comme la dérive ne peut jamais être réduite à zéro, il est en outre recommandé de laisser une **zone non traitée (zone « tampon »)** suffisamment large entre la culture traitée et la zone à protéger (eaux de surface). Le risque doit être évalué en fonction des propriétés écotoxicologiques et physico-chimiques du produit.

8.7. Nettoyage et entretien des appareils

Les magasiniers et chefs de chantier doivent assurer la fourniture d'**appareils en parfait état** ainsi que la totalité des **pièces de rechange** nécessaires avant le début de la saison des traitements.

Les brochures fournies par les fabricants sur l'utilisation, la réparation et les pièces de rechange doivent être disponibles pour consultation.

8.7.1. Rôle de l'opérateur

L'opérateur doit :

- **Nettoyer** et **vérifier** l'équipement à la fin de chaque journée d'application. Accorder une attention particulière à ce nettoyage surtout si le matériel ne doit pas être utilisé pendant quelque temps, car des **résidus de produits** peuvent entraîner la **corrosion** ou le **bouchage** du circuit de distribution (tuyaux, buses...) lors de traitements ultérieurs.
- Prévoir sur le terrain les **pièces de rechange** et les **outils** les plus fréquemment utilisés de façon à ce que les réparations courantes puissent être effectuées sur place (rondelles, buses, colliers de serrage, tournevis, clé à molette, pinces, etc.).
- Si possible, et surtout si un certain nombre de machines sont utilisées simultanément, prévoir sur le champ une machine de rechange pour remplacer celle qui pourrait tomber en panne et gagner le temps de la réparation.
- **Ne pas utiliser de matériel qui fuit** : les fuites peuvent entraîner des **irritations cutanées** et une **mauvaise application**, ce qui peut endommager fortement les cultures.
- **Ne pas utiliser de matériel de mauvaise qualité**, cela peut être dangereux. De mauvaises applications ou des poudrages mal faits impliquent des **résultats médiocres**, peuvent causer des **dégâts aux cultures** et constituent par conséquent une **perte de temps et d'argent**.

8.7.2. L'entretien proprement dit

Comme pour tous les matériels, l'**entretien régulier** du pulvérisateur est indispensable, car il permet d'obtenir un **fonctionnement précis et fiable**, et il accroît la **durée de vie** des appareils.

Lors de l'utilisation et de l'entretien des appareils, il faut respecter scrupuleusement les consignes et modes opératoires définis par la **notice d'instruction** fournie par le constructeur. Cette notice fait partie intégrante du matériel. Si vous ne disposez pas ou plus de cette notice, les notes suivantes ne la remplaceront pas, mais elles peuvent constituer un résumé des recommandations principales réparties en plusieurs étapes.

❑ L'entretien journalier

Avant la **mise en œuvre d'un traitement**, le pulvérisateur doit être **prêt à fonctionner** et **être parfaitement propre**.

Procéder à quelques opérations de contrôle :

- vérifier l'état du circuit de bouillie : il ne doit présenter **aucune fuite** (pompe, anti-gouttes, raccords, tuyauteries...) et **aucun écrasement des tuyaux souples** (colliers, pliures) ;
- vérifier le bon fonctionnement du manomètre (s'il y en a un) ;
- vérifier la pression d'air dans la cloche à air (s'il y en a une) : la pression doit être comprise entre un tiers et la moitié de la pression de travail ;
- vérifier la tension des courroies de transmission ;
- graisser les pièces mobiles (transmissions, cardans) ;
- vérifier le niveau d'huile de la pompe ;
- vérifier l'**état des filtres** et les nettoyer si cela est nécessaire (les remplacer s'ils sont endommagés) ;
- vérifier le fonctionnement des anti-gouttes et des buses ;
- définir la quantité de bouillie strictement nécessaire à la surface à traiter afin d'éviter les surplus ;
- remplir la cuve de rinçage et la cuve lave-mains.

❑ Le rinçage de l'appareil⁵

Le **rinçage est indispensable** après une journée de traitement afin d'**éviter le dépôt de produit** et le **colmatage éventuel**. Chaque fois que l'on change de produit, il faut rincer également afin d'éviter tout accident de culture et aussi la précipitation éventuelle de certains produits. Afin d'éliminer toute trace de produit chimique qui n'aurait pas été enlevée, on peut ajouter un détergent à l'eau de lavage.

Si l'appareil n'est pas muni d'une cuve de rinçage (ou appareil à dos), il faut le vidanger complètement, le rincer abondamment à l'eau ; ensuite, le remplir à 1/3 de sa capacité et le faire fonctionner de manière à faire circuler l'eau « propre » dans tous les circuits du pulvérisateur et vidanger l'ensemble par la ou les buse(s) de pulvérisation.

Il faut toujours essayer de réaliser ces rinçages au bord de la parcelle que l'on vient de traiter, de manière à pouvoir vidanger l'eau de rinçage directement sur la parcelle (pulvériser en marchant plus vite pour répartir le reste de produit éventuel).

Ne jamais vidanger ces liquides de rinçage dans le réseau d'égouttage, dans un plan d'eau, un étang ou à proximité d'un cours d'eau !

❑ L'entretien des buses de pulvérisation

Le nettoyage des buses peut être réalisé soit à l'aide d'une **brosse douce** (style brosse à dent usagée) à l'eau, soit à l'air comprimé (compresseur, bombe de gaz inerte), soit les deux (préférable si possible). Ces opérations peuvent être précédées d'un trempage dans un solvant approprié.

⁵ Plus de détails dans le chapitre 10 de ce manuel.



N'utilisez en aucun cas un fil de fer, une aiguille ou quelque autre objet métallique pour le nettoyage ou le débouchage de la buse, cela pourrait endommager la buse et donc modifier fortement ses caractéristiques.

Ne jamais souffler avec la bouche, sous peine d'irritations ou d'intoxications.

Nettoyez les buses sous l'eau ou avec une tige souple.



Ne pas démonter les buses d'un appareil en fonctionnement et ne pas démonter sans porter de gants.

(Photo B. Schiffers)

L'entretien de fin de campagne

On veillera, une fois la **campagne terminée** à identifier le plus rapidement possible les problèmes éventuels, afin d'y remédier pour que l'appareil soit **remis en parfait état** et soit prêt pour la campagne suivante. Pour cela, veiller à suivre les quelques recommandations suivantes :

- procéder à un **nettoyage intensif des circuits de pulvérisation**, de l'**intérieur de la cuve**, de toutes les **parties extérieures** ;
- stocker l'appareil à l'abri et non pas à l'extérieur ;
- détendre les courroies de transmission ;
- relâcher le système de régulation (de manière à soulager le ressort) ;
- vider l'air de la cloche à air ;
- **graisser les parties métalliques mobiles** (transmissions, cardans, levier de pompage, rampe...) ;
- remplacer l'huile de la pompe ;
- pour les pompes à membranes, les inspecter chaque année et les remplacer si elles sont détériorées ;
- vérifier l'état du manomètre, le remplacer en cas de doute (si possible, établir une comparaison avec un manomètre de référence) ;

- **vérifier l'état des buses de pulvérisation** (comparaison avec une buse neuve ou comparaison par rapport à un test étalon réalisé quand l'appareil était neuf) ;
- vérifier l'état et l'efficacité des protections de cardans et de chaînes, les remplacer si celles-ci sont endommagées ;
- si possible, entretenir les parties où la rouille aurait pu faire son apparition et remettre de la peinture.



*Test de débit des buses et de la rampe avec de l'eau claire, après rinçage soigné de l'appareil.
(Photo B. Schiffers)*

Après une période d'entreposage, **le matériel doit être contrôlé** avec de l'eau pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuites. L'appareil doit ensuite **être ré-étalonné** avant tout mélange ou application de pesticides.

Si toutes ces recommandations sont bien suivies, le pulvérisateur ne devrait pas tomber en panne lors de son utilisation. Toutefois, si ces mesures de maintenance préventives ne sont pas suffisamment appliquées, une usure excessive peut se produire et donc réduire la durée de vie de l'appareil.



Chapitre 9

Caractéristiques des pulvérisateurs et des buses

Présentation des appareils de pulvérisation	194
Les pulvérisateurs à dos	195
Le pulvérisateur à jet projeté porté ou tracté par un tracteur.....	201
Le pulvérisateur à jet porté à flux radial	206
Réglage et calibrage des appareils	208
Annexes : Exemples de calcul	220

9.1. Présentation des appareils de pulvérisation

Le pulvérisateur est un appareil destiné à épandre, soit une bouillie (produit phytosanitaire mélangé à un véhiculant) afin de lutter contre un parasite, soit une formulation liquide destinée à la fertilisation. Avec les appareils les plus couramment utilisés, le liquide sous pression est divisé en gouttelettes par son passage à travers un orifice calibré.

On distinguera notamment :

- le pulvérisateur à dos à pression entretenue ;
- le pulvérisateur à dos pneumatique à moteur thermique ;
- le pulvérisateur à jet projeté porté ou tracté par un tracteur ;
- le pulvérisateur à jet porté à flux radial.

Le pulvérisateur à pression et à jet projeté est, au plan mondial, l'appareil le plus utilisé. Il est le mieux adapté à l'application d'une large gamme de volume/ha de bouillie sur la plupart des cultures de toutes les latitudes. Son principe est simple : la bouillie est amenée sous pression du réservoir jusqu'aux organes de pulvérisation (les buses) par lesquels elle est projetée dans l'air ambiant. Elle s'y disloque sous forme de gouttelettes. La diversité des modèles de ce type d'appareil est considérable.

Dans beaucoup de régions agricoles, la superficie réduite et la dispersion des parcelles, leur accessibilité souvent difficile et les accidents de terrain imposent des appareils portatifs individuels (appareils à dos).

Les pulvérisateurs à dos à pression et à jet projeté répondent bien aux exigences de ces situations. Leur marché étant très étendu, ils font l'objet d'adaptations et d'améliorations techniques constantes. On distingue deux types :

- le pulvérisateur à dos à pression préalable (le réservoir est sous pression) ;
- le pulvérisateur à dos à pression entretenue par pompe à levier.

9.2. Les pulvérisateurs à dos

9.2.1. Les pulvérisateurs à pression préalable



Le réservoir hermétique est mis sous pression par une pompe à piston qui lui est solidaire ou indépendante lorsqu'elle doit servir à une batterie d'appareils. Les appareils de ce type dont la capacité utile n'excède pas 5 litres sont fréquemment utilisés dans le domaine domestique et le secteur de l'hygiène publique. Les plus gros modèles sont réservés aux applications justifiant le travail en équipe avec un encadrement qualifié.

L'appareil étant mis sous pression à l'arrêt, le travail de l'utilisateur pendant toute la durée de pulvérisation est limité à la manipulation de la lance.

La pression et donc le débit diminuent progressivement avec le niveau de vidage du réservoir. La mise du réservoir sous une certaine pression d'air avant d'y introduire la bouillie et le montage au refoulement d'une soupape de régulation de la pression atténuent ces inconvénients.

La mise sous pression d'un réservoir d'une contenance utile supérieure à 10 litres présente un certain danger si des précautions élémentaires ne sont pas prises :

- contrôler à l'achat, la qualité de la fabrication (soudures, rivets...) ;
- surveiller en cours de saison, l'état du réservoir (la fatigue du métal, les chocs et la corrosion peuvent altérer sa résistance) ;
- vérifier régulièrement le bon fonctionnement du manomètre et de la soupape de sûreté.

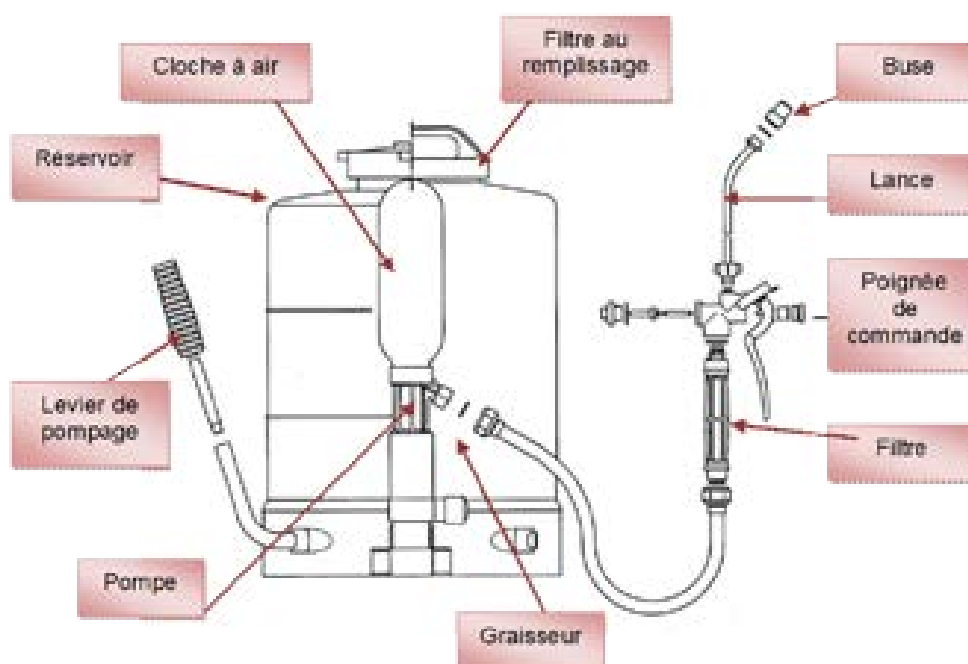
Cet appareil n'est généralement pas utilisé en agriculture, sauf pour de très petits travaux.

9.2.2. Le pulvérisateur à dos à pression entretenue



Caractéristiques et composantes principales de l'appareil :

- une cuve d'une capacité généralement comprise entre 10 et 18 litres ;
- deux sangles pour une fixation rigide sur le dos ;
- une pompe actionnée manuellement afin de mettre le liquide sous pression ;
- deux filtres situés au niveau du remplissage et dans la poignée de commande (parfois un troisième au niveau de l'écrou porte-buses) ;
- une cloche à air pour stabiliser la pression (pas dans tous les cas) ;
- une lance munie d'une poignée de commande et d'une buse de pulvérisation à son extrémité.



En actionnant la pompe, le piston aspire la bouillie et la refoule dans le tuyau de la lance afin qu'elle soit pulvérisée au travers de la buse située à l'extrémité du circuit. Avec ce type de pulvérisateur, **la pression doit être continuellement entretenue** pendant le

traitement par activation du levier de pompage. Plus le mouvement est rapide, plus la pression est élevée ainsi que le débit à la sortie de la buse. Une cloche à air, qui n'est pas toujours présente sur ce type d'appareil, stabilise la pression au cours du pompage. Le réservoir n'est pas pressurisé et peut donc être rempli complètement avec la bouillie.

Quelques **notions de base**, simples, sont à connaître et à respecter lorsqu'un pulvérisateur à dos est utilisé :

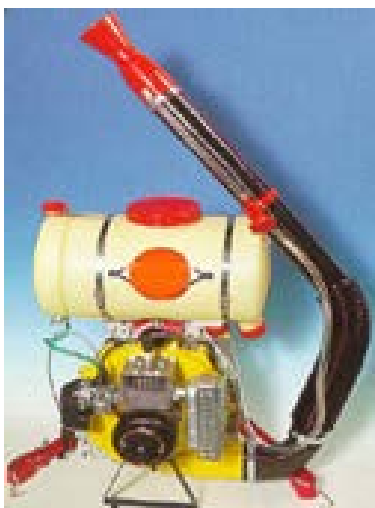
- avant toute utilisation après une longue période de remisage, vérifier s'il n'y a pas de fuites, **graisser les parties coulissantes** de la pompe et effectuer les réglages avec de l'eau ;
- lors de la préparation de la bouillie et lors de la pulvérisation, utiliser les EPI recommandés ;
- incorporer le produit phytosanitaire lorsque la cuve est remplie à moitié et mélanger à l'aide d'un ustensile approprié ; terminer le remplissage en évitant de faire de la mousse ;
- revisser hermétiquement le capuchon afin d'éviter tout écoulement de bouillie lors de l'endossement du pulvérisateur ainsi que lors du travail ;
- éviter de traiter lorsque l'air est trop sec, avant une pluie ou lorsque le vent est trop important (dans tous les cas, toujours pulvériser avec le vent dans le dos) ;
- lors de la pulvérisation (notamment pour un traitement herbicide), tenir la lance en permanence devant soi, à une hauteur constante durant tout le traitement et sans balancements. Ceux-ci peuvent causer un surdosage de 3 à 10 fois la dose avec des conséquences de gaspillage et de pollution ;
- plus le mouvement de pompage est rapide, plus la pression de pulvérisation est élevée, plus le débit à la buse est important, plus le volume/hectare est élevé ;
- plus la pression est élevée, plus les gouttes formées sont fines et donc sensibles à la dérive, moins bonne est la pénétration dans une végétation dense
- pour augmenter le volume/hectare sans augmenter la pression, il faut soit avancer moins vite, soit choisir une buse de calibre supérieur ;
- pour limiter la dérive, utiliser une buse de calibre supérieur (gouttes de taille plus importante), pomper à une fréquence moins élevée, diminuer la distance entre la buse et la cible ;
- après chaque utilisation, rincer abondamment le pulvérisateur avec de l'eau claire et nettoyer les filtres.

9.2.3. Le pulvérisateur à dos à pneumatique à moteur thermique

La pulvérisation pneumatique est caractérisée par l'utilisation d'un courant d'air à grande vitesse pour réduire en fines gouttelettes une veine liquide (bouillie) injectée en son milieu à très basse pression. Le courant d'air facilite également le transport des gouttes jusqu'aux cibles à protéger. À cet égard, elle présente un avantage sur la pulvérisation classique à pression qui dispose uniquement de l'énergie cinétique communiquée aux gouttes lors de leur formation pour les projeter sur une faible distance vers les plantes.

La pulvérisation pneumatique permet de réaliser **des dépôts efficaces** sur la plus grande partie de la surface foliaire avec des **quantités relativement réduites de bouillie**. Cette qualité explique son succès en cultures maraîchères ou ornementales, en viticulture, pépinières, arboriculture à basses et moyennes tiges des régions tempérées où l'on utilise des appareils de capacité variable, équipés d'organes de distribution

(tuyère) adaptés au traitement automatique des différents types de cultures. En cultures tropicales et subtropicales, elle offre la possibilité d'améliorer l'efficacité des traitements en réduisant la quantité d'eau utilisée et en allégeant la contrainte physique des opérateurs.



La structure des exploitations agricoles et l'encadrement technique disponible laissent cependant peu de place au développement d'une mécanisation motorisée très poussée. Les parcelles cultivées ont généralement une superficie réduite et sont souvent dispersées et d'un accès difficile. Seuls, les appareils de poids limité, portés sur le dos de l'opérateur conviennent à cette situation.

Le pulvérisateur pneumatique à dos à moteur thermique (autres appellations courantes : **nébuliseur, brumisateur...**) permet de réaliser des traitements insecticides et fongicides, à l'aide de bouillie huileuse et aqueuse sur une grande diversité de cultures parmi lesquelles : riz, mil, sorgho, ananas, cotonniers, cacaoyers, caféiers, bananiers, jeunes palmiers à huile, jeunes cocotiers et pépinières.

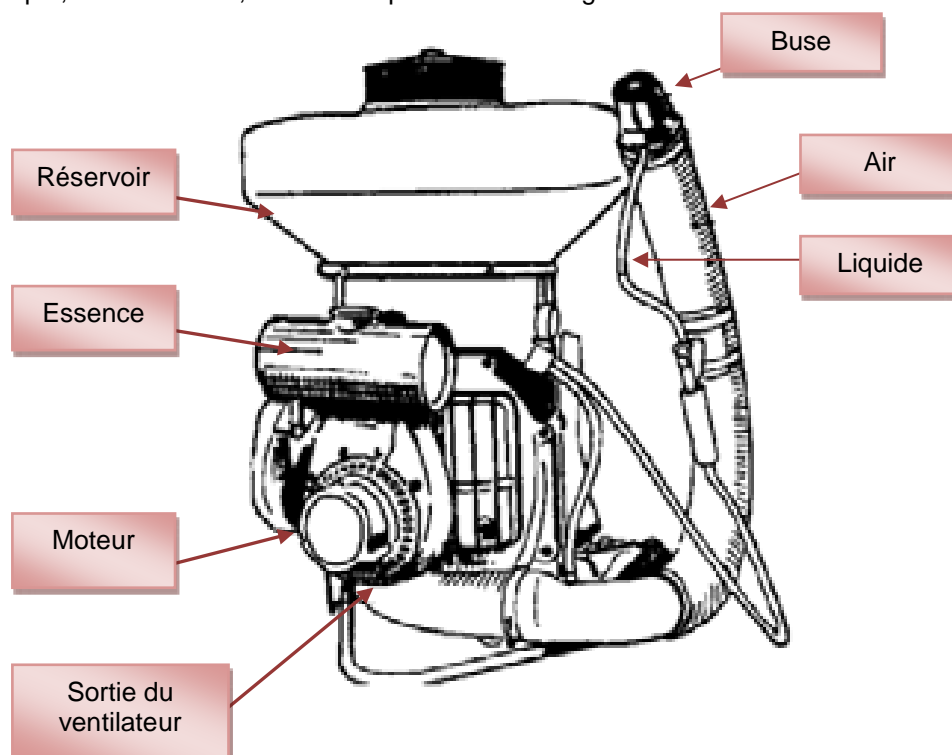
Les résultats ont globalement démontré l'intérêt de la technique. Ils ont confirmé que le niveau de formation et d'apprentissage des opérateurs et l'impossibilité d'avoir recours



aux services d'un encadrement technico-commercial, pouvaient limiter le développement de la mécanisation des techniques d'application des produits phytosanitaires.

Le poids total de l'appareil en pleine charge (réservoir à carburant et à bouillie remplis) ne peut excéder 25 kg. Les matériaux de construction composites, plastiques, alliages métalliques légers... doivent être résistants aux chocs, à l'action corrosive des produits, à la détérioration sous les effets de la lumière ou des températures élevées de l'air.

L'appareil est composé des pièces essentielles suivantes : un châssis support, un bloc moto ventilateur, un circuit de distribution d'air terminé par un tube rigide à poignée et une tuyère de pulvérisation et un circuit de bouillie comprenant réservoir, tuyauterie souple, robinet d'arrêt, filtres et dispositif de calibrage du débit.



Un moteur de faible cylindrée entraîne **un ventilateur** qui produit un **flux d'air à faible volume et vitesse élevée**. Un dispositif Venturi placé dans la tuyère permet **l'aspiration de la bouillie** hors du réservoir qui est refoulée à faible pression au travers d'un tuyau directement au niveau de la sortie d'air où il est « atomisé » et dirigé vers la cible.

Le flux d'air est constant et le débit de liquide (donc le volume/hectare) est réglé au moyen d'une restriction (vanne) positionnée juste avant l'atomisation. L'avantage de cet équipement par rapport aux autres types est que **le débit est stable** (car débit d'air constant), qu'**il est inutile de pomper** et que le traitement des plantes et des arbres est facilité grâce à **une trajectoire des gouttes beaucoup plus longue**. Par contre, comme pour le matériel précédent, il est plus coûteux et aussi plus lourd à porter (25 kg).

Plusieurs paramètres importants doivent être considérés pour que l'application des produits phytosanitaires avec un pulvérisateur pneumatique à dos soit réussie :

- volume/ha retenu pour l'application (UBV ou TBV) ;

- contrôle du débit de l'appareil par rapport à un débit nominal souhaitable ;
- largeur de travail optimale : compte tenu des performances techniques de l'appareil (portée maximum en atmosphère calme), de l'influence du vent (force et direction) et de la température de l'air ;
- hauteur des plantes et densité de la végétation ;
- détermination et maîtrise de la vitesse d'avancement de l'opérateur ;
- contrôle de la répartition de la bouillie.



9.3. Le pulvérisateur à jet projeté porté ou tracté par un tracteur

9.3.1. Principe de fonctionnement

Les pulvérisateurs pour **cultures basses** sont des appareils de traitement à rampes horizontales. Leur mode de pulvérisation est généralement du type à pression de liquide à jet projeté. La pulvérisation est assurée par des **buses à fente montées sur une rampe**, ce qui permet l'emploi de buses de calibres ou types différents (en fonction du traitement à réaliser).

Caractéristiques et composantes principales :

- une cuve principale (de 200 à 4000 litres) ;
- une pompe pour assurer la pulvérisation ;
- une pompe pour assurer le remplissage et l'agitation (pas toujours le cas) ;
- un régulateur de pression ;
- un bloc de distribution (décomposé en plusieurs vannes électriques ou manuelles) ;
- de multiples filtres (au remplissage de la cuve, à l'aspiration de la pompe, au refoulement de la pompe, sur les sections de rampe, aux buses) ;
- une rampe de pulvérisation (de 6 à 36m) avec système d'ouverture-fermeture manuel ou hydraulique, suspension mécanique ou hydraulique, système de positionnement afin de compenser les dénivellations éventuelles du terrain ;
- un incorporateur de produit (pas toujours présent) ;
- une cuve de rinçage (pas toujours présente) ;
- une cuve lave-mains (pas toujours présente).

9.3.2. Différents modèles de pulvérisateurs à rampe

Le pulvérisateur porté

Ces appareils sont les plus couramment utilisés, avec une capacité de cuve de 200 à 1 200 litres, une largeur de rampe allant de 6 à 24 m. Cet appareil est maniable, mais la contrainte au niveau de la force du relevage du tracteur est importante.



❑ Le pulvérisateur traîné

Cet appareil a une plus grande autonomie (cuve de 600 à 4 000 litres), une largeur de travail plus importante également (6 à 36 m), demande plus de puissance motrice, mais n'a aucune contrainte sur le relevage du tracteur. Ces appareils sont moins maniables et peuvent occasionner des dégâts dans les courbes ou virages en bord de champ.



❑ Le pulvérisateur automoteur ou intégré

Ces appareils sont de très grande capacité : jusqu'à 6 000 litres, largeur de rampe jusqu'à 48 m.



9.3.3. Description des composantes principales

❑ La rampe

La structure du châssis de la rampe doit assurer un compromis entre robustesse, rigidité et légèreté, afin d'obtenir une bonne stabilité tant sur le plan horizontal que vertical. Les grandes largeurs amplifient le mouvement des extrémités et entraînent un alourdissement de l'ensemble. La légèreté des matériaux devient une caractéristique de plus en plus recherchée. Pour les rampes de grande dimension, l'acier peut être remplacé par l'aluminium ou la fibre de verre.



La structure peut également être renforcée par un assemblage en treillis, en triangle ou en trapèze. Différents dispositifs de suspension améliorent la stabilité de la rampe. Un tronçon de rampe est une portion de canalisation ayant sa propre alimentation en bouillie. Le choix du nombre de tronçons dépendra essentiellement de la largeur de la rampe.

Le diamètre des conduites doit être suffisant pour éviter les pertes de charge excessives entre l'alimentation et l'extrémité du tronçon. Pour les tronçons d'une longueur supérieure à 4 m, une alimentation par le centre de la section est préférable.



En résumé, pour le choix de la rampe :

- Structure : au-delà de 12 m, structure en treillis nécessaire afin d'augmenter la rigidité de l'ensemble
- Matériau : beaucoup de rampes en acier, développement des grandes largeurs suggérant l'utilisation de matériaux plus légers (aluminium, fibre de verre)
- Largeur : dépend du modèle d'appareil, des conditions d'utilisation, de la largeur du semoir et des performances de chantier recherchées
- Stabilité : au-delà de 12 m, système de suspension nécessaire afin de maintenir la rampe parallèle au sol.

❑ La cuve

La cuve du pulvérisateur sert à la préparation, au brassage, au transport et, exceptionnellement, à l'entreposage de la bouillie. Les principaux paramètres qui caractérisent une cuve sont la capacité, la forme et le matériau de fabrication.

Le système d'agitation présent dans la cuve joue un rôle fondamental dans le maintien des caractéristiques de la bouillie. Des variations de mélange génèrent des sur- ou sous-dosages de matière active au cours de la pulvérisation. L'agitation doit être suffisante et de préférence modulable, par exemple, à l'aide d'une vanne de réglage à l'aspiration de la pompe, surtout lorsque l'on est en fin de cuve. La plupart des systèmes sont hydrauliques, soit à partir du retour en cuve, soit avec un circuit de brassage spécifique.

Le choix de la capacité de la cuve est extrêmement important. Elle est notamment fonction du modèle du pulvérisateur. Il faut aussi tenir compte de la dimension des parcelles, de la dispersion des parcelles et des volumes/hectare souhaités.

En résumé, pour le choix de la cuve :

- Forme : fond en pente pour permettre la vidange complète dans un puisard, absence de recoins, présence de dispositifs antiroulis pour les cuves de grande capacité
- Matériau : cuve en polyéthylène ou polyester (coût plus élevé), avec des parois internes sans aspérités
- Capacité : fonction du modèle de l'appareil, du volume/hectare le plus couramment utilisé, des performances de chantier recherchées, de la dimension et de la dispersion des parcelles.

❑ La pompe

Une pompe doit débiter une certaine quantité de liquide sous pression pour assurer d'une part la pulvérisation et, d'autre part le brassage de la bouillie. Parfois, elle sert également au remplissage de la cuve. Le débit nécessaire dépendra du volume/hectare, de la vitesse maximum d'avancement, de la longueur de la rampe, du modèle de pulvérisateur ainsi que du système de régulation.

En résumé, pour le choix de la pompe :

- À membrane : quasi volumétrique, sensible à certains liquides agressifs, peu coûteuse
- À piston-membrane : remarques identiques à la pompe à membrane
- À piston : strictement volumétrique, adaptée pour les engrais liquides et pour les appareils munis d'une régulation DPA mécanique, prix très élevé
- Centrifuge : non volumétrique, autorise de grands débits, utilisation fréquente comme pompe de remplissage ou de mélange pour les appareils de grande capacité, peu coûteuse.

❑ **Le système de régulation**

Le système de régulation a pour fonction de fixer, de contrôler et de maintenir le volume/hectare décidé par l'utilisateur. La quantité appliquée est fonction de divers paramètres mis en relation par la formule suivante :

$$Q = \frac{D}{V} \times k$$

avec

- Q = volume de bouillie par unité de surface (en l/ha)
D = débit à la rampe (l/min)
V = vitesse d'avancement (km/h)
k = constante (égale à la valeur 600 divisée par la largeur de la rampe).

La quantité appliquée à l'hectare et les caractéristiques de la pulvérisation restent ou non constantes, selon le système de régulation.

Il en existe trois grands types :

1. Système à **pression constante (PC)**
2. Système à **débit proportionnel au régime moteur (DPM)**
3. Système à **débit proportionnel à l'avancement (DPA)**

En résumé, pour d'un système de régulation :

- PC : maintien des caractéristiques du jet, mais pas du volume/hectare si la vitesse change, difficile à maîtriser.
- DPM : maintien du volume/hectare, pour de faibles variations de vitesse (dues aux variations du régime moteur), mais pas des caractéristiques du jet, plus facile à maîtriser.
- DPA : maintien du volume/hectare pour toute variation de vitesse, mais pas des caractéristiques du jet. Il existe deux variantes de ce système : la

mécanique (fiable et simple, nécessite deux pompes) et l'électronique (fiable, précis, mais très coûteux).

La variation des paramètres du tableau est illustrée par des flèches ayant la signification suivante : constant (→), augmentation (↑), diminution (↓) :

Conditions de travail	Paramètres de la pulvérisation	Systèmes de régulation		
		PC	DPM	DPA
Patinage Vitesse ⁽¹⁾ ↓ Régime ⁽²⁾ →	<ul style="list-style-type: none"> débit et pression à la rampe, finesse de la pulvérisation volume/hectare 	→ ↑	→ ↑	↓ →
Montée Vitesse ↓ Régime ↓	<ul style="list-style-type: none"> débit et pression à la rampe, finesse de la pulvérisation volume/hectare 	→ ↑	↓ →	↓ →
Descente Vitesse ↑ Régime ↑	<ul style="list-style-type: none"> débit et pression à la rampe, finesse de la pulvérisation volume/hectare 	→ ↓	↑ →	↑ →

(1) Vitesse d'avancement

(2) Régime moteur



9.4. Le pulvérisateur à jet porté à flux radial (atomiseur)



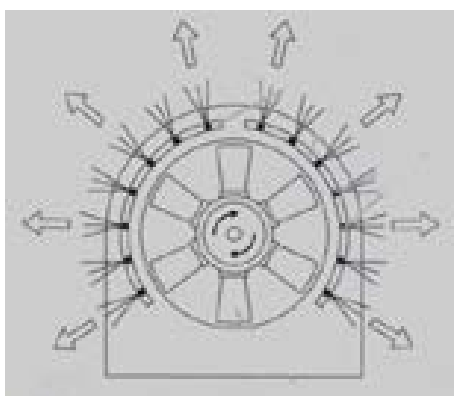
La fragmentation de la bouillie est obtenue par pression du liquide dans des buses et le transport des gouttes est assuré par un courant d'air.

Ces pulvérisateurs peuvent être portés, traînés ou très rarement automoteurs. Ils sont fréquemment utilisés pour l'arboriculture. Leur conception est en général compacte et basse afin de pouvoir circuler facilement dans les plantations et dans les vergers en accrochant toutefois le moins possible les branches.

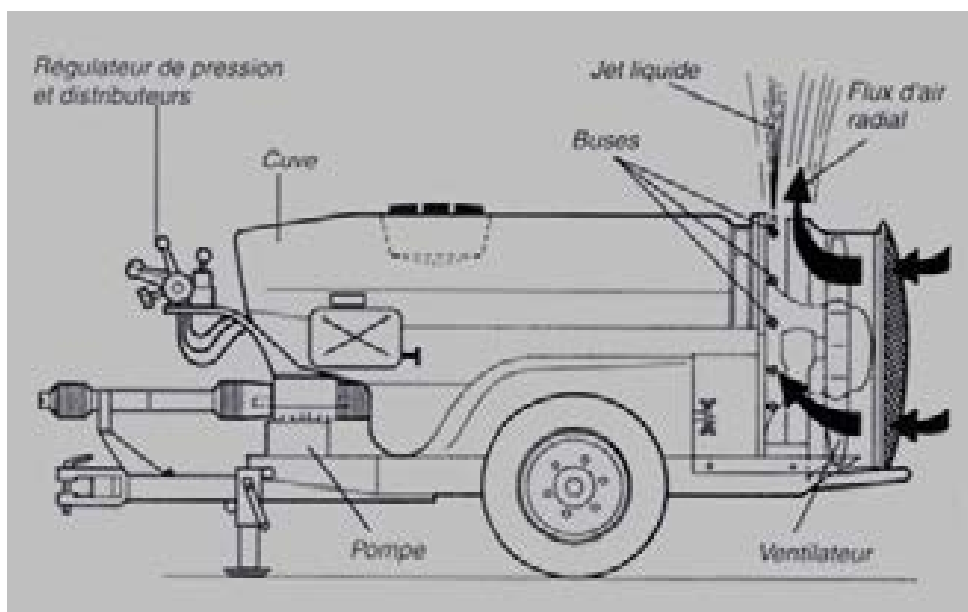
Les appareils portés sont équipés de cuves de 200 à 800 litres, tandis que les modèles traînés ont des capacités de cuve variant de 600 à 2 000 litres.



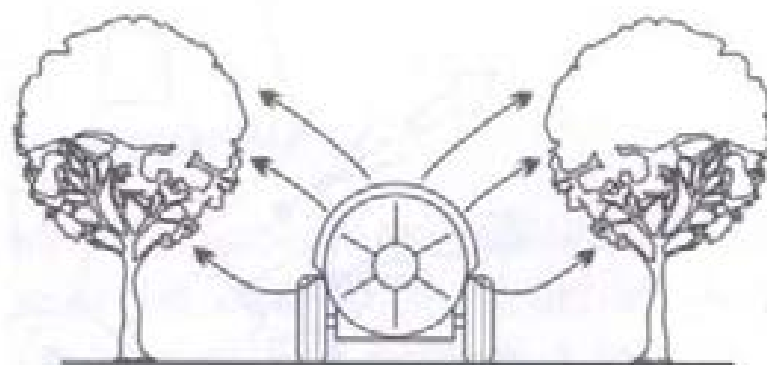
Le circuit de bouillie comprend une pompe volumétrique, des distributeurs, un régulateur de pression, plusieurs filtres et des rampes placées en arc de cercle (ou autrement appelée couronne) sur la périphérie de refoulement d'un puissant ventilateur axial, appelé aussi turbine, et absorbant de 15 à 40 kW selon les matériels. Les rampes portent au total de 12 à 16 porte-buses pouvant être utilisés dans leur totalité ou en partie selon l'objectif recherché et la hauteur de la zone végétale à atteindre.



Le ventilateur est réalisé en alliage léger ou, parfois, en matière synthétique et son diamètre varie entre 0,6 et 1 m. Il est logé à l'intérieur d'un carénage circulaire en forme de tuyère qui transforme la trajectoire axiale de l'air aspiré par l'arrière en un ou deux flux angulaires latéraux réglables, pouvant couvrir au total un angle de 240°. L'entraînement est assuré par la prise de force du tracteur par l'intermédiaire d'une transmission à multiplicateur et à renvois d'angle, comprenant un point mort et, dans certains cas, un embrayage centrifuge. Le débit d'air du ventilateur peut être réglé en agissant sur sa vitesse (de 1 500 à 2 500 tr/min, à l'aide d'une boîte de vitesses), en faisant varier le nombre de pales ou en modifiant le pas des pales.



La bouillie est d'abord fragmentée en gouttelettes par la pression de liquide au niveau des buses. Dès leur sortie des buses, les gouttes sont prises en charge et entraînées par le courant d'air du ventilateur qui les transporte vers le feuillage à traiter.



Selon les matériels, le débit d'air varie de 3 à 25 m³/s et sa vitesse périphérique à la sortie du ventilateur peut varier de 30 à 60 m/s (de 100 à 250 km/h) selon le débit et le réglage de la section de sortie. Ce mode de fonctionnement est commun à tous les pulvérisateurs classiques à jets portés placés en sortie de turbine.

9.5. Réglage et calibrage des appareils

9.5.1. Le calibrage du pulvérisateur à dos à pression entretenue



La plupart des petits producteurs utilisent pour traiter leur culture **un appareil à pression entretenue par un pompage manuel, porté sur le dos**. Son principe de fonctionnement et de réglage est très simple et sera décrit dans le détail au prochain chapitre.

Les produits phytosanitaires pulvérisés avec cet appareil sont épanchés sur les plantes par pulvérisation afin d'assurer une couverture aussi uniforme que possible des feuilles. La bouillie doit mouiller entièrement les feuilles de la plante (faces supérieures et inférieures) et les recouvrir suffisamment pour être efficace, mais elle ne doit pas s'écouler des feuilles. Ce n'est possible qu'avec de **fines gouttes**.

Appareil à dos à pression entretenue.

Le « calibrage » ou « **étalonnage** » d'un appareil à dos **permet de certifier** que, dans des conditions normales d'utilisation, l'appareil permet d'appliquer un volume souhaité de bouillie sur une unité de surface déterminée. Cette opération doit être effectuée régulièrement (**au moins une fois/saison**) pour chaque appareil et **être enregistrée** (avec le numéro de l'appareil). Elle garantit un bon état de fonctionnement de l'appareil (ex. : maintien du débit à la pression maximale) et le respect des « consignes » d'application (ex. : nombre de l/ha à pulvériser à l'instant t).

Plusieurs éléments sont à considérer lors de l'étalonnage :

1) **La pression (en bars)**

Il faudra maintenir un rythme de pompage régulier pour maintenir la pression¹ et s'assurer ainsi d'avoir de fines gouttes qui couvriront les feuilles des plantes. Avec la chute de pression, le diamètre des gouttes grandit et la couverture de la surface des feuilles va en diminuant. Plus les gouttes sont fines (pression élevée, buse à turbulence générant plus de fines gouttes), plus le risque de contamination hors de la parcelle est élevé.

Aucun réglage n'est nécessaire, car la pression maximale dépend de la construction de l'appareil ; par contre, avec l'usure des pièces, elle peut diminuer.

¹ En réalité, la pression obtenue par pompage avec le levier ne reste pas réellement constante. Elle augmente à un maximum et diminue quand l'appareil débite, en suivant le rythme du pompage. Avec ce type d'appareil, il faudrait parler de « pression moyenne ». Cette solution est cependant préférable avec un appareil à pression « préalable » pour lequel la pression chute progressivement au cours du travail.

On peut utiliser un manomètre pour mesurer la pression et la vérifier régulièrement.

2) Le débit (l/min)

Quand l'appareil est bien réglé, la pression permet de débiter assez de fines gouttes qui couvriront régulièrement la surface à traiter.

Les **buses à fente** donnent, à la pression maximale, **un débit bien déterminé**.



Aucun réglage n'est nécessaire. On mesurera le débit à la buse avec un récipient gradué. **Pour changer de débit (et donc de volume/ha), on change de buse.** Il existe des jeux de buses à fente de couleurs différentes en fonction du débit. On notera donc que changer la buse peut modifier le débit de l'appareil. Quand on remplace la buse, il est donc important de ré-étalonner l'appareil en mesurant le débit. Par contre, les buses à turbulence réglables doivent être **utilisées avec précaution**, car elles peuvent se dérégler facilement, ce qui modifie le débit de l'appareil.

3) La largeur de travail

La hauteur de la buse par rapport à la cible conditionne la largeur de travail. La hauteur de la buse permet un étalement du jet et une bonne couverture de toute la surface. Traiter à faible hauteur provoque le dépôt d'un excès de bouillie qui risque de s'écouler des feuilles vers le sol et sera perdu. Il faudra **maintenir une hauteur de la buse régulière**.



Pour mesurer la largeur de travail, pulvériser un sol bien sec avec de l'eau à la hauteur de travail prévue. Mesurer la largeur de la trace sur le sol.

4) La vitesse d'avancement (en m/sec)

C'est le paramètre le plus délicat à « étalonner »... et pourtant il est déterminant pour le résultat. En effet, chaque opérateur a ses habitudes de marche et règle aussi son pas en fonction du volume végétal à traiter (les mouillages excessifs ne sont hélas pas rares !). Chronométrer un opérateur qui pulvérise un sol nu ou une culture n'est pas équivalent. La vitesse de 1 m/sec (3,6 km/h) est souvent citée comme une « norme ». Force est pourtant de constater que la vitesse réelle est bien inférieure... et que donc, tous les autres paramètres restant constants, le volume de bouillie épandu/ha est bien supérieur à la valeur de la consigne.

La seule façon de procéder à l'étalonnage consiste pour l'opérateur à se faire chronométrer et à s'entraîner à respecter un rythme d'avancement régulier, en réglant son pas et ses mouvements de pompage en cadence.

Une fois la vitesse d'avancement connue, on peut calculer le volume épandu/ha.

5) Le volume de bouillie épandu (l/ha) :

En règle générale, le volume recommandé/ha sur l'étiquette est celui d'un ha de sol nu. Or, le feuillage des plantes se développe considérablement entre le semis et la récolte : **la surface à traiter varie donc en fonction du stade de la culture**. Trop de bouillie génère des effluents à éliminer (fonds de cuve). Trop peu de bouillie risque de nuire à l'efficacité : le producteur veut couvrir son feuillage et adapte en général sa vitesse d'avancement à la surface occupée par les plantes et/ou à leur hauteur. Pour un même débit, s'il diminue sa vitesse de travail, le volume appliqué augmente automatiquement. Si on veut obtenir une couverture complète et régulière des feuilles au cours de la saison, le volume de bouillie **devra donc être ajusté** en permanence par essai et mesure (ex. : 150 l/ha en début de croissance à 800 l/ha en fin de saison).

Il est déconseillé d'adopter un accroissement de volume *a priori* selon le stade (certaines documentations techniques donnent de telles recommandations).

Il est préférable de **tester par un essai en champ** le volume de bouillie épandu par hectare **dans les conditions du moment d'application et pour un opérateur identifié**. Cela donnera une idée plus réaliste du volume de bouillie qui sera utilisé pendant le traitement. Ce volume/ha sera mentionné dans le registre (traçabilité).

Procéder comme suit pour mesurer le volume réellement épandu :

- Mesurer une surface déterminée (ex. : 500 m² – ou en utilisant un nombre de lignes ; chaque ligne a une largeur donnée) : à l'aide de piquets aux 4 coins et de ficelle, constituer une parcelle à traiter et mesurer la superficie.
- Verser dans le réservoir vide un volume précis d'eau (en utilisant un pot gradué).
- Mesurer une surface (100 à 500 m²) et pulvériser celle-ci

- Pulvériser selon sa pratique habituelle toute la surface délimitée
- Vider et mesurer l'eau restant dans le réservoir, et calculer par différence le volume épandu.
- Calculer le volume épandu/500 m² et rapporter à l'hectare (pour 500 m², volume épandu x 20).

Abaques en fonction du volume du réservoir reprises dans l'Annexe A2.



Exemple de calcul de mesure du volume/hectare :

Après pulvérisation de 500 m² avec un pulvérisateur ayant une cuve de 15 l, un volume de 7 l a été rajouté. La quantité de bouillie appliquée est donc de 8 l.

Le volume/hectare appliqué est calculé comme suit :

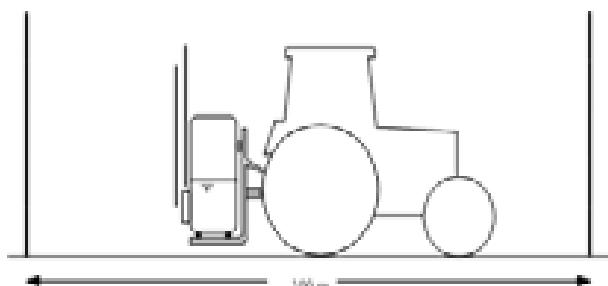
$$\text{Volume (l/ha)} = \frac{8}{500} \times 10\,000 = 8 \times 20 = 160 \text{ l/ha}$$

Cette valeur peut être tirée directement dans l'abaque en Annexe A2 : réservoir de 15 l, 7 l ajoutés, 500 m² = 160 l/ha.

Connaissant le volume réel/ha et la surface totale à traiter, il est alors possible de calculer le volume total de bouillie et de produit nécessaire, ainsi que le nombre de cuves à préparer pour traiter la parcelle.

9.5.2. Réglage du pulvérisateur à rampe de buses

1) Mesure de la vitesse de travail



La **vitesse d'avancement** et l'**écartement entre les buses** permettent de déterminer le **débit nécessaire** pour obtenir le **volume/hectare** choisi. Il est de ce fait indispensable de connaître la vitesse de déplacement effective du matériel dans les conditions de travail. Celle-ci est déterminée

par calcul, après avoir mesuré le temps nécessaire pour parcourir une **distance e entre 2 jalons, de minimum de 100 m**, de préférence dans un champ, avec une cuve à moitié remplie.

Calcul de la vitesse d'avancement (en km/h) :

$$\text{Vitesse d'avancement (v en km/h)} = \frac{e}{t} \times 3,6$$

avec :

- v : vitesse d'avancement (km/h)
- e : distance entre les deux jalons (m)
- t : temps nécessaire pour parcourir la distance jalonnée (s)
- 3,6 : facteur d'ajustement d'unités.

2) Détermination du débit nécessaire à la buse

Le débit d'une buse, c'est-à-dire le volume de liquide qui s'écoule par unité de temps, **dépend de la pression** d'utilisation, **du calibre de la buse** (section de l'orifice de la buse) et de la densité du liquide pulvérisé.

La pression d'utilisation ainsi que la nature de la bouillie étant imposées par le type de traitement, le choix du calibre se fait en fonction du volume à épandre et de la vitesse d'avancement du tracteur.

La formule suivante fournit la valeur du débit d'une buse selon ces deux paramètres :

$$\text{Débit d'une buse (d en L/min)} = \frac{Q \times v \times E}{600}$$

avec :

- d : débit d'une buse (l/min)
- Q : volume par unité de surface (l/ha)
- V : vitesse d'avancement (km/h)
- E : écartement des buses (m)

600 : facteur d'ajustement d'unités

Par ailleurs, on pourra calculer avec la même formule, pour un type de buse donné, la **quantité à appliquer à l'hectare (Q)** ou la **vitesse d'avancement requise (v)**.

L'écartement entre les buses sur la rampe est généralement de 0,50 m².

3) Détermination de la pression de travail

Celle-ci sera déterminée à l'aide des tableaux de débit fournis par les vendeurs et les constructeurs (pour autant que ceux-ci soient disponibles).

Lorsque la densité du liquide pulvérisé est **différente de 1** (densité d'une bouillie classique), il faut multiplier la pression d'utilisation indiquée dans les tableaux par la densité du liquide utilisé. Cette correction est nécessaire afin de conserver le volume/hectare désiré. Par exemple, pour appliquer une **solution fertilisante** de densité 1,28 à un volume/hectare de 125 l et une vitesse de 8,5 km/h, il faut multiplier la pression renseignée dans le tableau de débit par la densité de la solution azotée. Pour la buse de calibre rouge, la pression de travail devient : $1,6 \times 1,28 = 2$ bars.

Une autre méthode consiste à utiliser un **facteur de conversion** par lequel il faut multiplier soit le débit, soit le volume/hectare ou la vitesse avant de se référer aux tableaux de débit, toujours basés sur des liquides dont la densité est égale à 1 (eau).

Densité de la bouillie	Facteur de conversion
0,84	0,92
0,96	0,98
1,00	1,00
1,08	1,04
1,20	1,10
1,28	1,13
1,32	1,15
1,44	1,20
1,68	1,30

4) Utilisation d'une « règle à calcul »

Des « abaques » ou « règles à calcul » sont disponibles.

Elles sont constituées de plusieurs échelles en vis-à-vis dont certaines peuvent se déplacer par rapport aux autres qui restent fixes. Ces échelles reprennent plusieurs valeurs du volume/hectare, de la vitesse d'avancement, de débit de

² Lorsque l'espacement entre les buses est différent de 0,50 m (anciennement il était de 0,33 m), il y a lieu de corriger le débit de la manière suivante : multiplier par 2 le débit initial et diviser par le nombre de buses au mètre. La pression liée à ce nouveau débit peut être obtenue en cherchant cette nouvelle valeur dans les tableaux ou à partir de la règle à calcul. Il est à noter que les valeurs de vitesse et de volume/hectare correspondantes ne sont plus d'application.

buse, de pression de travail ainsi que les différents calibres disponibles. En positionnant le volume/hectare désiré en concordance avec la vitesse présumée, on lit la valeur de débit et celle de la pression selon le calibre de buse choisi.

Comme pour les tableaux de débits, on choisit les conditions de travail les plus favorables d'après les contraintes (nature du traitement et conditions climatiques) et selon le type de buses dont on dispose sur le pulvérisateur.

9.5.3. Le réglage du pulvérisateur à moteur thermique

Pour le réglage de cet appareil, il y a lieu de distinguer deux cas :

- le traitement de **cultures basses** et cultures à développement buissonnant ;
- le traitement des arbres, arbustes ou autres végétaux à port élevé.

☐ Réglage pour les cultures basses



Il s'agit le plus souvent de végétaux homogènes plantés en lignes espacées de 1 m maximum dont la hauteur de développement n'excède pas 1 m à 1,20 m.

Dans ces conditions, l'opérateur maintient la tuyère de pulvérisation dans un plan quasi horizontal et lui imprime un minimum de mouvements.

Les appareils aptes à effectuer ce type de traitement sont de conception plus simple, car la présence d'une pompe n'est pas nécessaire pour amener la bouillie du réservoir à la tuyère. Le réservoir et le diffuseur se trouvant à une différence de hauteur réduite et relativement stable, la légère surpression créée par l'arrivée d'air suffit pour stabiliser le débit.

1) **Choix du volume de bouillie Q à pulvériser à l'hectare (en l/ha)**

Ce choix relève de la seule compétence de l'homme de terrain. Seul, un bon apprentissage peut conduire à un choix judicieux. Il faut prendre en compte :

- le type de traitement et de produit ;
- la nature du parasite ;
- la plante et son degré de développement ;
- les conditions climatiques du moment qui ont une incidence sur la répartition du produit.

Calcul du volume de bouillie appliquée (Q en l/ha) :

$$Q \text{ (l/ha)} = \frac{D \text{ (ml/min)}}{L \text{ (m)} \times v \text{ (m/sec)} \times 6}$$

avec :

D : Débit de l'appareil (ml/min.)
 L : Largeur de travail (m)
 v : Vitesse d'avancement (m/sec)
 6 : Facteur d'ajustement d'unités

Sur base de cette formule générale, on peut calculer Q , D , L , ou v selon les besoins.

2) Réglage du débit D de l'appareil (en ml/min)

Le débit recherché D est donné par la formule :

$$D \text{ (ml/min)} = Q \times L \times v \times 6$$

Pour un régime donné du moteur (ventilateur), les effets de la prise d'air provenant du ventilateur et du profil convergent-divergent de la tuyère maintiennent dans le réservoir une pression constante.

Pour modifier le débit D de l'appareil, il est nécessaire de **changer l'orifice calibré** situé en amont du diffuseur. Le changement s'opère à l'aide d'un robinet à orifices multiples ou d'une manière plus précise (pour les faibles débits) par un jeu de pastilles ou de buses calibrées interchangeables. Le constructeur fournit la valeur du débit nominal des différents calibres établie généralement pour le régime maximum du moteur (ventilateur) et pour un liquide standard (habituellement l'eau). Le plus souvent, il propose une série de calibres dont le débit théorique s'échelonne de 120 à 1 600 ml/min pour les pastilles ou buses calibrées et de 500 à 2 000 ml/min pour les robinets à orifices multiples.

Contrôle du débit d'un pulvérisateur pneumatique

Le contrôle du débit doit s'opérer nécessairement lorsque le groupe moto-ventilateur est en fonctionnement au régime de travail (généralement le régime maximum). Dans ces conditions, la violence du courant d'air ne permet pas de recueillir le liquide pulvérisé directement dans un récipient pour le mesurer comme c'est le cas pour le pulvérisateur à dos à pression et le pulvérisateur centrifuge à main.

Il est obligatoire de procéder à une mesure indirecte :

- Verser dans le réservoir une quantité connue (3 à 4 l) d'eau additionnée éventuellement d'un produit viscosant et d'un tensio-actif pour se rapprocher des caractéristiques d'une bouillie
- Poser l'appareil droit sur le sol, la tuyère dirigée vers l'avant et légèrement soulevée (+ 10 cm) par rapport au socle du châssis
- Mettre le moteur en route et porter son régime à sa valeur maximum
- Ouvrir le robinet d'alimentation du diffuseur pendant une durée de 2 à 6 min suivant l'ordre de grandeur du débit (2 min pour les débits voisins de 800 ml/min). Le temps est mesuré avec précision à l'aide d'un chronomètre ou d'une montre ayant une fonction analogue
- Après fermeture du robinet, arrêter le moteur

- Vidanger le restant de liquide dans un récipient par l'orifice de remplissage du réservoir. Ouvrir le robinet et vider le reliquat de la tuyauterie par le diffuseur de la tuyère. Par différence avec le volume initial, on obtient le volume pulvérisé. Divisée par le temps d'observation, cette valeur donne le débit que l'on exprime en ml/min. L'opération peut être répétée pour améliorer la précision.
- Le contrôle rigoureux du débit ne peut être réalisé qu'en utilisant la bouillie « prête à l'emploi » comme c'est le cas pour le pulvérisateur à dos à pression et le pulvérisateur centrifuge à main. Cette opération n'est pas envisageable avec un pulvérisateur pneumatique : diffuser à l'arrêt et pendant plusieurs minutes un brouillard de fines gouttelettes toxiques constitue un risque de pollution ponctuelle aiguë de l'environnement et d'intoxication pour les personnes présentes. En cas de nécessité, le débit peut être contrôlé, en cours de traitement, en mesurant le volume de bouillie utilisé pendant un laps de temps chronométré (volume obtenu en soustrayant du volume initial connu de bouillie placé dans le réservoir le volume restant mesuré dans l'appareil). En mesurant la distance parcourue pendant le temps chronométré, on obtient la vitesse moyenne réelle de déplacement. Enfin, en multipliant la distance parcourue par la largeur de travail L (intervalle entre les axes de déplacement), on obtient la surface traitée pendant le contrôle et on peut en déduire la valeur du volume Q (l/ha) correspondant.

3) Largeur de travail L (en m)

Avec les pulvérisateurs à dos à tuyère orientée à la main, des résultats satisfaisants ne peuvent être obtenus qu'en adoptant une technique de pulvérisation par recouvrement. La largeur de travail (intervalle entre les axes de déplacement) doit être **calculée de manière à ce que les pulvérisations successives se chevauchent en partie**. La largeur L fait partie des paramètres conditionnant le volume appliqué à l'ha et est tirée par la formule générale.

Elle doit être **la plus large possible** afin d'accroître le rendement horaire de l'application et réduire l'effort global de l'opérateur. Sur cultures semées en lignes, la largeur L est un multiple entier de la valeur d'un interligne.

Le choix judicieux de sa valeur est tributaire de la capacité de l'opérateur à évaluer correctement la situation. La portée horizontale théorique annoncée par le constructeur **doit être corrigée par une série de facteurs** :

- la hauteur et la densité de la masse végétale, une vitesse d'avancement élevée, un angle réduit de l'orientation de la tuyère par rapport à l'axe de déplacement sont des **facteurs réducteurs** ;
- l'existence d'un vent transversal dont la vitesse est limitée à 3 m/s (environ 10 km/h) est un **facteur favorable**.

Attention ! La violence du courant d'air à la sortie de la tuyère peut occasionner des dégâts mécaniques aux organes végétaux les plus proches. Les très fines gouttelettes se dégagent difficilement du flux d'air très rapide à cet endroit. Le dépôt qui s'y forme est insuffisant et le plus souvent arraché immédiatement de la cible.

Il est donc nécessaire de maintenir une distance de 1 à 2 mètres entre la tuyère et les premiers végétaux visés. La hauteur de la tuyère et l'angle d'incidence de sa direction avec l'axe de déplacement doivent être réglés en conséquence.

4) Largeur de travail L (en m)

La vitesse d'avancement doit être **la plus élevée possible**, car elle a une influence directe sur le rendement horaire de l'application. Elle est limitée par la topographie et l'état du sol, le type de plantation et l'aptitude de l'opérateur à la maintenir constante.

Dans la plupart des situations rencontrées en pratique, elle ne peut excéder 1 m/s soit 3,6 km/h. La valeur de la vitesse d'avancement, calculée à partir de celle des autres paramètres de la pulvérisation est donnée par la formule générale.

La valeur de la vitesse v peut être fixée de 2 manières :

- Chaque utilisateur étalonne sa propre vitesse habituelle de marche en procédant comme suit : sur un terrain de même topographie que la zone à traiter, il délimite une distance suivant le cas de 50 ou 100 m en ligne droite. Il chronomètre le temps (en secondes) mis pour parcourir la distance. (Il prend le départ une dizaine de mètres avant le premier repère de sorte qu'à ce niveau, sa marche soit régulière). Il répète l'opération plusieurs fois dans les deux sens afin de réduire l'effet de la pente du terrain. Il fait la moyenne des différentes mesures et l'exploite dans la formule permettant le calcul de la vitesse (ou consulte un tableau de référence). Pour obtenir le volume/ha Q choisi, chaque utilisateur doit adapter le débit D à sa propre vitesse v .
- Si le terrain le permet, la vitesse de 3,6 km/h (soit 1 m/sec.) est imposée et les utilisateurs s'astreignent à un apprentissage suivant le procédé décrit ci-dessus, pour s'y conformer. On peut faciliter cette éducation en assimilant la notion de pas (enjambées) effectués à celle de la distance parcourue. L'utilisateur peut, par exemple, s'adapter à effectuer 2 pas/m parcourus (= 2 pas/s).

□ Traitement des cultures arboricoles

Lorsque l'opérateur traite des arbres, arbustes ou autres végétaux à port élevé, il doit, le plus souvent maintenir la tuyère de l'appareil dirigée vers le haut. Dans ce cas, **une petite pompe auxiliaire est nécessaire pour stabiliser le débit** de la pastille (buse) calibrée, car la légère surpression présente dans le réservoir n'y suffit plus. Il est souhaitable également de choisir un appareil équipé d'un moteur puissant (5 cv) et d'une tuyère du type « grande distance ».

Le choix du volume/ha Q à pulvériser (en l/ha) **dépend d'un certain nombre de facteurs** : type de culture, nombre d'arbres à l'ha, degré de développement, architecture de la couronne, densité de la masse foliaire, nature du traitement et des organes végétaux visés. La compétence et l'expérience de l'opérateur sont essentielles dans ce choix.

À titre d'exemple, des volumes allant de **50 à 400 l/ha** sont cités en plantations de caféiers avec des bouillies aqueuses. Avec les formulations huileuses en UBV, les volumes appliqués sont sensiblement plus réduits que le minimum cité.

Le réglage du volume Q (l/ha) est effectué en tenant compte de caractères spécifiques de ce type d'application :

- l'arbre est considéré comme l'unité élémentaire de travail ;
- chaque arbre est traité individuellement de tous côtés et à tous les étages de son développement spatial, de préférence en faisant le tour complet et en passant d'un arbre à l'autre, ligne après ligne ;
- lorsque les couronnes s'interpénètrent ou sont trop rapprochées, le traitement se fait en travaillant d'un côté de la ligne puis de l'autre tout en respectant les exigences propres à chaque arbre.

Divers paramètres interviennent dans la détermination du volume/ha à appliquer :

- **t_a , temps moyen nécessaire pour traiter un arbre.** Il représente, en minutes (unité ou fraction décimale), le temps requis pour remplacer le volume d'air occupé par l'arbre par de l'air portant les gouttelettes. Périodiquement, l'opérateur peut vérifier la correction de son choix en examinant les dépôts sur le feuillage.
- **D , débit de l'appareil (ml/min).** Pour le régime de travail du moteur (régime maximum), il est réglé par des pastilles calibrées interchangeables. À titre d'exemple, une série de pastilles (buses) peut couvrir un certain nombre de débits situés entre 120 et 1 600 ml/min. Les faibles débits engendrent les gouttelettes les plus fines dont le pouvoir couvrant sur les cibles est le plus élevé. La limite dans la recherche de la finesse se trouve dans le risque de provoquer la dérive et l'évaporation rapide des gouttes.
- **N_a , nombre d'arbres par ha.** Il peut atteindre 1 000 arbres/ha.

Le paramètre relatif à la vitesse d'avancement V n'est pas pris en considération, car dans ce type d'application, elle est variable et les déplacements ont une trajectoire aléatoire.

Calcul du volume de bouillie appliquée (Q en L/ha) :

$$Q \text{ (L/ha)} = \frac{t_a \times D \text{ (ml/min)} \times N_a}{1000}$$

avec :

t_a : temps moyen pour traiter un arbre (min unité ou fraction décimale)

D : Débit de l'appareil (ml/min.)

N_a : Nombre d'arbres à l'ha

1 000 : Facteur d'ajustement d'unités

Attention !

Un certain nombre de recommandations doivent être respectées :

- Maintenir la tuyère à une distance suffisante des cibles pour éviter la formation de dépôts insuffisants ou leur élimination immédiate par un courant d'air trop violent.
- Un vent transversal même de faible intensité n'est pas nécessairement favorable à la régularité de la répartition des dépôts. Il est préférable de traiter pendant les heures de temps calme caractérisant le début et la fin du jour et d'éviter les fortes chaleurs de midi.
- Au cours du travail, l'opérateur se trouve fréquemment à l'endroit où retombe la partie de brouillard pulvérisé non interceptée ou non retenue par la masse végétale. Il doit donc respecter strictement les règles de sécurité et porter les EPI recommandés !
- Pour des raisons identiques, après le travail, l'appareil doit être nettoyé et remis en état avec soin (et principalement toutes les surfaces extérieures).



Annexes

A.1. Exemples de calcul

❑ Quantité de produit à incorporer dans la cuve

La capacité utile du réservoir d'un pulvérisateur est de 15 litres ; après vérification du réglage, le volume appliqué est de 100 litres/hectare. La dose agréée du produit à utiliser est de 2 litres/hectare. Quelle quantité de produit faut-il incorporer dans la cuve ?

$$\text{Quantité de produit (l ou kg)} = \frac{2 \text{ (l/ha)}}{100 \text{ (l/ha)}} \times 15 \text{ (l)} = 0,30 \text{ l}$$

La capacité utile du réservoir d'un pulvérisateur est de 12 litres ; après vérification du réglage, le volume appliqué est de 120 litres/hectare. La dose agréée du produit à utiliser est de 1 kg/hectare. Quelle quantité de produit faut-il incorporer dans la cuve ?

$$\text{Quantité de produit (l ou kg)} = \frac{1 \text{ (kg/ha)}}{120 \text{ (l/ha)}} \times 12 \text{ (l)} = 0,10 \text{ kg}$$

❑ Volume de bouillie nécessaire et quantité de produit à prévoir

La surface totale de ma parcelle à traiter est de 5 000 m². La dose agréée du fongicide à utiliser est de 1 kg/ha. Après vérification du réglage, le volume pulvérisé est de 200 litres/hectare. Le pulvérisateur dont on dispose a une capacité de cuve de 15 litres. Quelle quantité de produit et de bouillie faut-il prévoir ?

$$\text{Surface couverte avec 1 cuve (m}^2\text{)} = \frac{10\,000}{200} \times 15 = 750 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume de bouillie nécessaire (l)} = \frac{5\,000}{750} \times 15 = 100 \text{ L}$$

$$\text{Quantité de produit à prévoir (kg)} = \frac{1}{200} \times 100 = 0,50 \text{ kg}$$

La surface totale de ma parcelle à traiter est de 30 000 m². La dose agréée de l'insecticide à utiliser est de 0,5 l/ha. Après vérification du réglage, le volume pulvérisé est de 200 litres/hectare. Le pulvérisateur dont on dispose a une capacité de cuve de 600 litres. Quelle quantité de produit et de bouillie faut-il prévoir ?

$$\text{Surface couverte avec 1 cuve (m}^2\text{)} = \frac{10\,000}{200} \times 600 = 30\,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Quantité de produit à prévoir (L)} = \frac{0,5}{200} \times 600 = 1,5 \text{ L}$$

$$\text{Volume de bouillie nécessaire (L)} = \frac{30\,000}{30\,000} \times 600 = 600 \text{ L}$$

A.2. Abaques de détermination du volume appliqué/ha

Calcul du volume de bouillie appliqué à l'hectare par une méthode pratique (volume en l/ha)						
Réservoir 15 l	Surface traitée					
Volume restant	50 m ²	100 m ²	200 m ²	300 m ²	400 m ²	500 m ²
1,0	2 800	1 400	700	467	350	280
1,5	2 700	1 350	675	450	338	270
2,0	2 600	1 300	650	433	325	260
2,5	2 500	1 250	625	417	313	250
3,0	2 400	1 200	600	400	300	240
3,5	2 300	1 150	575	383	288	230
4,0	2 200	1 100	550	367	275	220
4,5	2 100	1 050	525	350	263	210
5,0	2 000	1 000	500	333	250	200
5,5	1 900	950	475	317	238	190
6,0	1 800	900	450	300	225	180
6,5	1 700	850	425	283	213	170
7,0	1 600	800	400	267	200	160
7,5	1 500	750	375	250	188	150
8,0	1 400	700	350	233	175	140
8,5	1 300	650	325	217	163	130
9,0	1 200	600	300	200	150	120
9,5	1 100	550	275	183	138	110
10,0	1 000	500	250	167	125	100
10,5	900	450	225	150	113	90
11,0	800	400	200	133	100	80

11,5	700	350	175	117	88	70
12,0	600	300	150	100	75	60
12,5	500	250	125	83	63	50
13,0	400	200	100	67	50	40
13,5	300	150	75	50	38	30
14,0	200	100	50	33	25	20
14,5	100	50	25	17	13	10

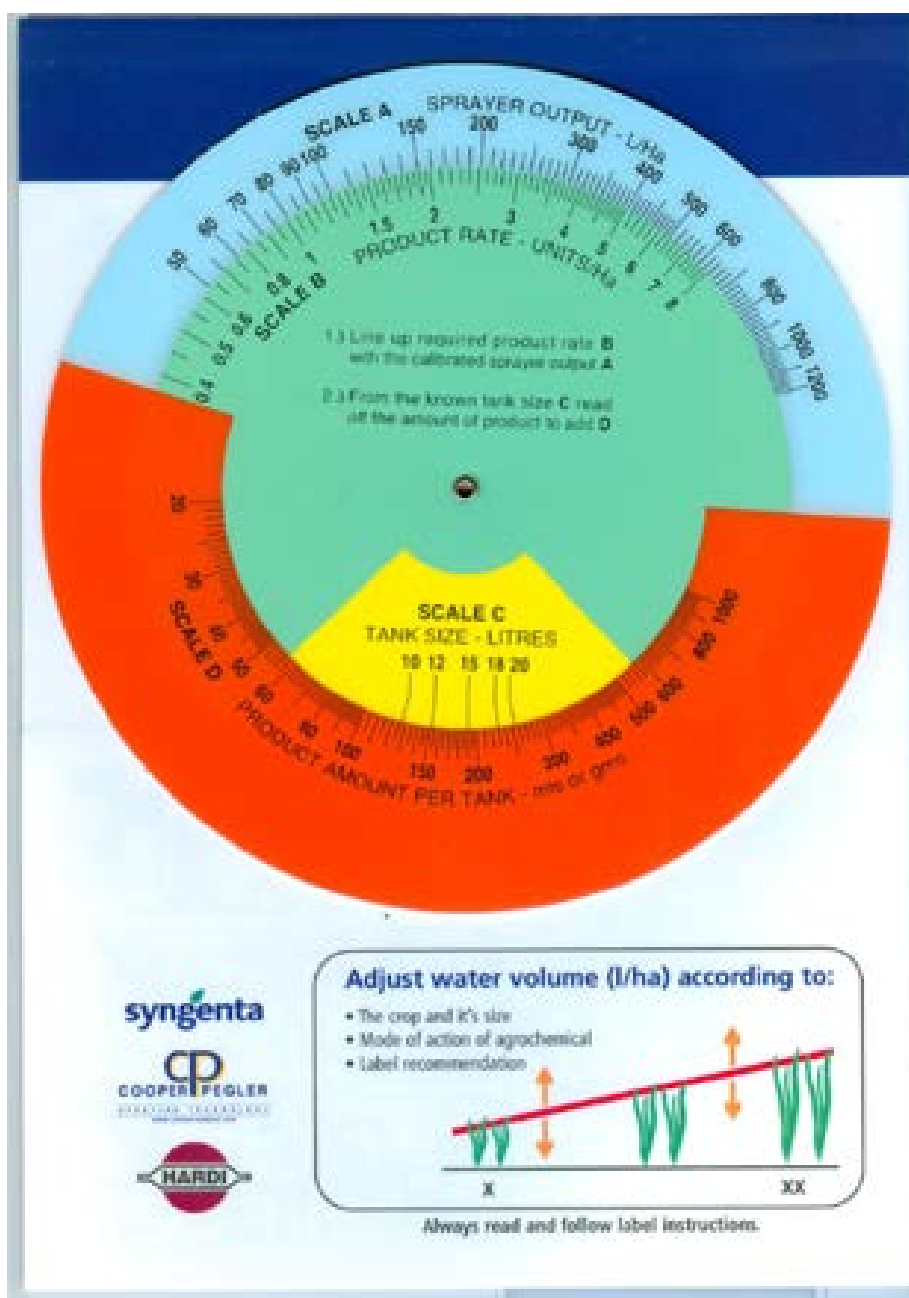


Calcul du volume de bouillie appliqué à l'hectare par une méthode pratique (volume en l/ha)						
Réservoir 18 l	Surface traitée					
Volume restant	50 m ²	100 m ²	200 m ²	300 m ²	400 m ²	500m ²
1,0	3 400	1 700	850	567	425	340
1,5	3 300	1 650	825	550	413	330
2,0	3 200	1 600	800	533	400	320
2,5	3 100	1 550	775	517	388	310
3,0	3 000	1 500	750	500	375	300
3,5	2 900	1 450	725	483	363	290
4,0	2 800	1 400	700	467	350	280
4,5	2 700	1 350	675	450	338	270
5,0	2 600	1 300	650	433	325	260
5,5	2 500	1 250	625	417	313	250
6,0	2 400	1 200	600	400	300	240
6,5	2 300	1 150	575	383	288	230
7,0	2 200	1 100	550	367	275	220
7,5	2 100	1 050	525	350	263	210
8,0	2 000	1 000	500	333	250	200
8,5	1 900	950	475	317	238	190
9,0	1 800	900	450	300	225	180
9,5	1 700	850	425	283	213	170
10,0	1 600	800	400	267	200	160
10,5	1 500	750	375	250	188	150
11,0	1 400	700	350	233	175	140
11,5	1 300	650	325	217	163	130
12,0	1 200	600	300	200	150	120
12,5	1 100	550	275	183	138	110
13,0	1 000	500	250	167	125	100
13,5	900	450	225	150	113	90
14,0	800	400	200	133	100	80
14,5	700	350	175	117	88	70
15,0	600	300	150	100	75	60
15,5	500	250	125	83	63	50
16,0	400	200	100	67	50	40
16,5	300	150	75	50	38	30
17,0	200	100	50	33	25	20
17,5	100	50	25	17	13	10



A.3. Règle à calcul pour la détermination du volume appliqué/ha (exemple du système proposé par SYGENTA)

À l'aide de ce dispositif, connaissant la dose recommandée/ha, le volume du réservoir et le volume de bouillie/ha, on peut déterminer avec une précision acceptable la quantité de produit (en g ou en ml) à mesurer/cuvée.



Chapitre 10

La gestion et l'élimination des effluents et des déchets

L'épuration des effluents par les bioépurateurs	226
Le nettoyage du pulvérisateur	237
Le rinçage, la collecte et l'élimination des emballages	239
L'élimination des déchets de produits	242
Traitement et élimination des déversements accidentels	246
Gestion des produits phytosanitaires non utilisables.....	248
Annexes : Procédés d'épuration des effluents.....	253



10.1. L'épuration des effluents par les bioépurateurs (biofiltres, Phytobac® et Biobed®)

On appelle « **effluents** » les fonds de cuves, les bouillies phytosanitaires non utilisables, les eaux de nettoyage du matériel de pulvérisation (dont le rinçage intérieur et extérieur), ayant été en contact avec les produits phytosanitaires (pesticides et biocides).

Une des sources importantes de pollution est la mauvaise gestion des fonds de cuve et des eaux de lavage trop souvent effectué à des endroits inadaptés. La gestion de ces effluents est un point clé pour limiter les pollutions par les pesticides et l'acquisition de références en conditions tropicales est aujourd'hui indispensable.

Le producteur d'effluents phytosanitaires (le plus souvent un agriculteur) dispose à présent de plusieurs dispositifs efficaces pour les éliminer en toute sécurité, au champ (par épandage à la parcelle dans de strictes conditions) ou à l'exploitation (par un traitement dont l'efficacité d'épuration a été mesurée et reconnue comme suffisamment efficace). Ces moyens peuvent légalement se substituer à un traitement dans un centre agréé, ce qui réduit fortement le coût pour le producteur.

Le producteur devrait donc idéalement disposer sur son exploitation :

- d'une aire de dosage, de mélange et de remplissage ;
- d'une aire de lavage des matériels utilisés pour réaliser les traitements phytosanitaires, avec récupération des eaux souillées ;
- d'un système de collecte et de traitement de ses effluents ;
- d'une aire de stockage des EPI¹ usagés et des emballages vides et rincés ;
- d'un local de stockage des PPNU², séparé du stock de produits utilisables.

10.1.1. Aménagement de la zone de remplissage

Un **fort risque de pollution** dans l'environnement existe lors de la phase de remplissage du pulvérisateur, par des incidents tels que la contamination de la ressource en eau utilisée, le débordement de la cuve, la fuite de produits phytosanitaires... Pour gérer ce risque, il est recommandé d'aménager un poste de remplissage du pulvérisateur. À ce jour, il n'existe aucune norme encadrant la réalisation de cette aire. Nous présentons donc une série de recommandations qui permettent de répondre à cet objectif.

Pour les appareils à dos, il est actuellement conseillé d'effectuer les opérations de remplissage de la cuve sur une **aire enherbée** car celle-ci peut neutraliser les « petites pertes ».

¹ EPI : Équipement de protection individuelle (ex. : gants, masque, bottes...)

² PPNU : Produit phytosanitaire non utilisable (périmé ou obsolète)

Pour les gros pulvérisateurs, une **aire imperméable** (béton) sera adaptée. L'aire servant au remplissage devra être située à l'écart des habitations, des points d'eau naturels et hors des périmètres de protection de captages (se renseigner à la mairie) mais de préférence à proximité du local phytosanitaire, être construite en béton étanche avec des pentes de récupération des eaux vers une cuve de stockage. Elle ne peut pas être raccordée aux égouts ou à un puits perdant, voie d'entrée directe des produits phytosanitaires dans les eaux.

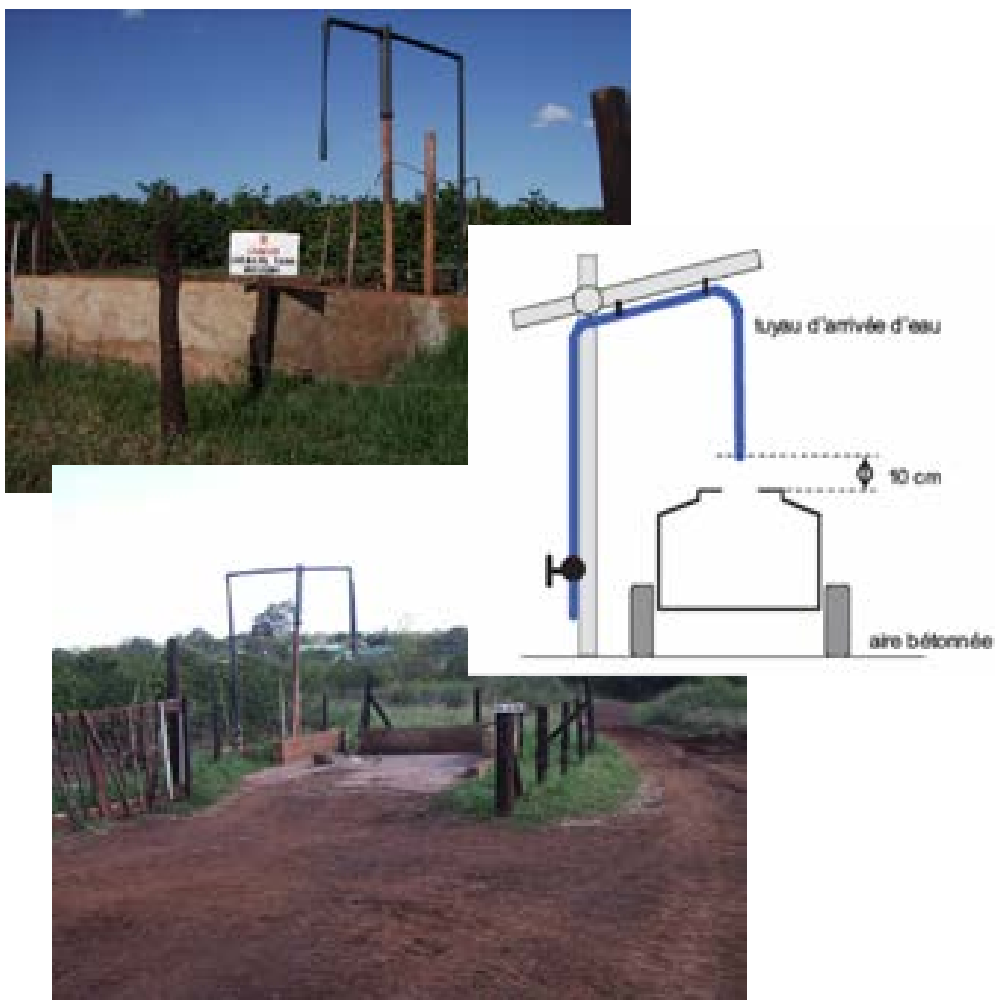
Pour éviter la pollution de la ressource en eau, il est fortement déconseillé d'aspirer directement à partir d'un pulvérisateur ou de plonger l'appareil dans une mare, un canal, un puits, une rivière.

La figure ci-après illustre les recommandations pour une aire de remplissage idéale, à recommander pour de grosses exploitations.



- (1) Égouttoir à bidons
- (2) Rebord pour confiner les liquides
- (3) Stockage des emballages vides
- (4) Nettoyeur haute pression
- (5) Pulvérisateur
- (6) Cuve d'eau intermédiaire
- (7) Local de stockage phytosanitaire

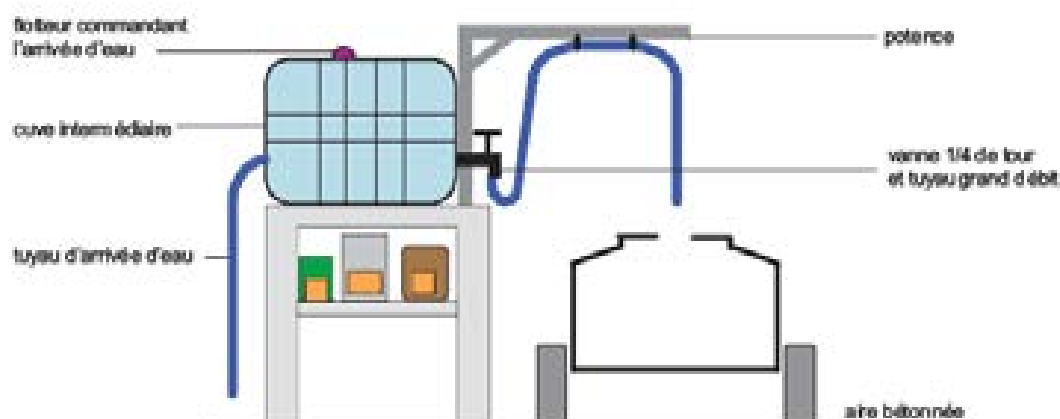
Différents aménagements sont possibles pour **éviter les retours de bouillie** dans le réseau d'amenée d'eau claire : une potence dont l'extrémité ne peut entrer en contact avec la bouillie (voir photos), une cuve intermédiaire se remplissant avec un système de « chasse d'eau », ou encore un simple clapet anti-retour disposé sur le circuit d'amenée d'eau.



*Aire de remplissage et de lavage du matériel de pulvérisation au Kenya
(Photos B. Schiffers)*

La solution **la plus sûre** consiste en l'utilisation d'une cuve à eau intermédiaire surélevée (qui peut être placée sur une plate-forme accessible et sécurisée) :

- soit uniquement pour la remplir d'eau et ensuite remplir la cuve du pulvérisateur
- soit pour y préparer la bouillie si l'agriculteur ne possède pas d'incorporateur de produit. À ce moment, le mélange est transféré dans la cuve du pulvérisateur puis est complété avec de l'eau claire, qui sert en même temps à rincer la cuve intermédiaire.



Pour éviter le **débordement** de la cuve lors de son remplissage, il faut penser à prendre plusieurs précautions :

- toujours être présent et attentif pendant la durée du remplissage ;
- avoir une jauge bien visible pour vérifier le niveau de l'eau ;
- éviter l'apparition de mousse dans la cuve (bouillie trop concentrée, mélange de produits, addition d'un mouillant..., qui renforcent l'aptitude à mousser de la bouillie).



Débordement de la cuve et fuites pendant le remplissage (Photos Phytophar).

Il est bon de rappeler que la manipulation de produits dangereux nécessite d'être extrêmement concentré sur les opérations que l'on réalise. Il est conseillé de ne pas agir dans la précipitation, de ne pas se laisser divertir, de posséder les bons instruments pour mesurer la dose requise et d'être correctement protégé.

Un **renversement** peut provenir d'un bidon à moitié vide non rebouché posé au sol ; pour réduire ce risque, l'utilisation d'un plan de travail à proximité du lieu de remplissage du pulvérisateur est une bonne solution. Les **fuites**, elles, sont en général la conséquence

de l'usure du matériel. Pour les éviter, il faut maintenir le bon état du pulvérisateur et notamment vérifier régulièrement l'étanchéité des différents éléments.

Le rinçage des emballages de produits phytosanitaires doit donc aussi se faire **sur l'aire de remplissage**, au moment de la préparation de la bouillie. En agissant de cette manière, l'opérateur utilise l'intégralité du produit, se débarrasse proprement de ces eaux souillées et facilite l'élimination de l'emballage vide.

L'aménagement d'une aire de remplissage bien réfléchi permet à la fois de contrôler les différentes sources de pollutions ponctuelles et de travailler en sécurité. Elle doit être réalisée de manière à pouvoir récupérer toutes les eaux chargées en produits phytosanitaires issues de cette phase du travail. Il faut construire un **bac de rétention** des effluents, lesquels y seront stockés puis éliminés.

10.1.2. L'élimination des effluents au champ

Le **fond de cuve** (de réservoir), volume de bouillie restant dans le pulvérisateur après épandage et désamorçage de la pompe, peut être épandu sur la parcelle venant d'être traitée, à condition de le diluer dans **au moins 5 fois son volume d'eau claire** contenue dans une cuve annexe. Celle-ci doit contenir en eau claire au moins 10 % du volume nominal de la cuve de pulvérisation ou 10 fois le volume résiduel à diluer.

Cette opération peut être répétée pour avoir une dilution encore plus grande. Il faut toutefois s'assurer que la dose totale appliquée au terme des passages successifs ne dépasse pas la dose maximale autorisée pour l'usage considéré.

Cette solution a l'inconvénient de demander un peu de temps à l'applicateur, mais permet de ne pas gaspiller de produit phytosanitaire (qui peut être localisé là où la pression de maladies, adventices ou ravageurs est la plus forte), et surtout d'éviter les contaminations de l'environnement. Le deuxième avantage réside dans le fait qu'un premier rinçage du pulvérisateur est effectué au champ, directement après la pulvérisation. Le risque ultérieur de bouchage des buses est ensuite fortement limité.

Après rinçage du réservoir, il est également possible de réutiliser le fond de cuve pour le traitement suivant, à condition de l'avoir dilué suffisamment (au moins 100 fois).

Au lieu de procéder à un épandage, il est possible de procéder à la **vidange des fonds de cuve** au champ sous réserve :

- a) de diviser au moins par 100 la concentration en substance active du fond de cuve par rapport à celle de la première bouillie phytosanitaire utilisée ;
- b) d'effectuer au moins un rinçage et un épandage sur la parcelle.

Il faut vidanger les eaux de rinçage à plus de 50 m des points d'eau, caniveaux, bouches d'égout ; à plus de 100 m des lieux de piscicultures et de captages d'eau ; une seule fois par an sur la même surface ; sur un sol non saturé en eau et à pente faible. Il ne faut jamais vidanger la cuve dans une cour de ferme, dans un égout ou dans un fossé.

10.1.3. L'élimination des effluents par le producteur

Si le rinçage à la parcelle n'a pas été réalisé ou si le fond de cuve n'a pas été vidangé ou réutilisé, les eaux résiduelles peuvent être traitées par une **installation agréée** pour cela et utilisée conformément à la notice technique du fabricant ou aux recommandations de l'organisme qui vulgarise la technique.

Procédés et principes d'épuration	Aménagement aire de remplissage/aire de lavage
Coagulation – floculation avec : <ul style="list-style-type: none"> Filtration par osmose inverse Filtration sur charbon actif 	Séparation eaux de pluie/effluents phytosanitaires
Photocatalyse : Dégradation par oxydation	Dégrilleur/dessableur/déshuileur
Station de dégradation biologique en milieu liquide aérobie	Cuve de stockage
Lit biologique : dégradation biologique en milieu solide	Séparation eaux de pluie/effluents phytosanitaires orientés vers le « lit biologique » (éventuellement cuve tampon pour régulariser les apports)

En France, en 2008, il existait 12 procédés agréés pour traiter à la ferme ces effluents (site du MEDAD, 2008) (voir en annexe la description de quelques procédés).

Les procédés les plus économiques et les plus faciles à installer qui sont actuellement développés se basent sur le **pouvoir épurateur du sol et des bactéries** qu'il contient (on parle de « lit biologique » ou de « biofiltration »). Les analyses effectuées montrent que les lits biologiques ont une excellente capacité d'épuration. Seul un dérivé de dégradation du glyphosate (l'AMPA) demeure parfois sous forme de traces dans le substrat. Les tests d'innocuité du substrat sont concluants, puisque aucune toxicité n'est à déclarer, ni sur les vers de terre, ni sur les végétaux supérieurs. Le substrat pourra donc être épandu sur les terres de cultures, mais il est important également d'attendre un minimum de 6 mois depuis le dernier apport d'effluent avant de l'épandre sur la parcelle.

Quelques restrictions d'emploi restent indispensables, notamment en ce qui concerne les **métaux lourds non biodégradables** (cuivre et soufre) qui peuvent se trouver dans les bouillies et certains herbicides (MCCP, isoproturon, chloridazon...) qui peuvent être encore détectés à la sortie des biofiltres.

Attention !

La biofiltration ne sera efficace que si le fond de cuve a été dilué et appliqué sur la parcelle. Si ce n'est pas le cas, la quantité de substance active retrouvée dans la cuve sera trop importante et saturera rapidement le biofiltre, le rendant inutile.

Trois systèmes sont présentés ci-après, repris en fonction de leur efficacité et de leur popularité : le Biobed®, le Phytobac® et les biofiltres.

❑ Le système Biobed®

Le Biobed est un système suédois inventé en 1993. Les Biobeds sont des systèmes de dégradation des substances actives par les bactéries présentes dans un substrat constitué de terre (25 %), tourbe (25 %) et paille (50 %). Ce dernier est placé dans un bac étanche pour favoriser la dégradation des substances actives par les bactéries aérobies. L'élimination du contenu des bacs pourra se faire par épandage sur les champs.

Après 10 ans de pratique, les Biobeds sont considérés comme efficaces, mais de nombreux paramètres restent à étudier comme le suivi complet des molécules et des résidus liés, les critères objectifs de changement du substrat ou la caractérisation des souches biologiques efficaces pour la dégradation des molécules phytosanitaires. Le CIRAD a pu valider le procédé en Guadeloupe avec des matériaux locaux (en remplaçant la paille par de la bagasse de canne à sucre) (mélange appelé biomix : 25 % de terre, 25 % de compost et 50 % de bagasse).

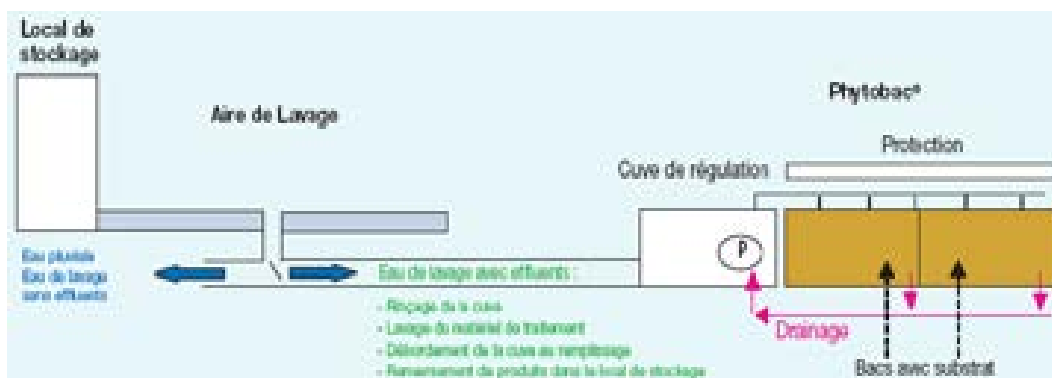


Bac Biobed (Photo F. Le Bellec, CIRAD)

❑ Le système Phytobac®

Inspiré des Biobeds déjà utilisés depuis plusieurs années en Suède, les lits biologiques Phytobac® (développés par Bayer Crop Science) permettent la rétention des effluents phytosanitaires et la dégradation des substances actives et de leurs métabolites par voie microbiologique. Les effluents qui peuvent être introduits dans ces dispositifs sont les fonds de cuve dilués et les eaux de nettoyage du matériel de pulvérisation.





L'apport des effluents peut se faire directement au-dessus de ce dispositif, ou à partir de l'aire de lavage du matériel de pulvérisation par l'intermédiaire de conduits spécifiques. Dans ce cas, il convient de prévoir un système de collecte des effluents au niveau de l'aire de remplissage et de lavage du matériel de pulvérisation. Cette aire doit être facile d'accès et éloignée des points d'eau permanents ou temporaires.

En sortie, une série d'organes de prétraitement (déshuileur, dessableur, dégrilleur) peut être mise en place pour retenir les hydrocarbures, les débris végétaux et les fractions de terre qui seront à gérer en tant que déchets dangereux. Néanmoins, les débris végétaux et les fractions de terre recueillis pourront être dispersés sur le substrat du phytobac. Son emplacement doit être éloigné des points d'eau permanents ou temporaires. L'accès aux enfants et aux animaux doit être sécurisé ou rendu impossible.



Le système Phytobac® doit être constitué d'un **bac étanche** dont les parois peuvent être une membrane imperméable à l'eau ou une paroi en béton, en métal ou en plastique. Si ce bac est enterré dans le sol, sa partie supérieure doit être surélevée par rapport au niveau du sol pour éviter l'entrée d'eau pluviale par ruissellement. Pour éviter tout débordement du bac ou phénomène d'asphyxie en cas de fortes pluies, **il ne doit pas recevoir d'eaux de pluie** et disposer d'une couverture à ouverture facile, placée au minimum à 30 cm au-dessus du bac pour permettre l'aération.

Ce bac contient, sur une hauteur d'environ soixante centimètres, un substrat composé de terre (terre végétale issue de parcelles représentatives de l'exploitation afin de faciliter la prolifération de souches microbiennes adaptées) et de paille. La paille permet, au moins dans un premier temps, de donner au milieu une certaine porosité et fournit une source d'énergie pour les microorganismes du substrat. Il est nécessaire de constituer le substrat par mélange en volume de 70 % de terre et de 30 % de paille broyée.

La détermination de la taille idéale du Phytobac est fonction, entre autres, de la répartition des effluents pendant l'année et des conditions météorologiques. Le choix de la forme du Phytobac est important, car elle doit intégrer l'outil qui va être utilisé pour le brassage. L'entretien du Phytobac se réduit au strict minimum : brasser une fois par an quand on ajoute de la terre et de la paille.

Très simple à installer et à utiliser par l'agriculteur, le Phytobac permet la gestion complète des effluents à la ferme. Pour les petits volumes d'effluents, des systèmes en bacs plastiques étanches peuvent être installés.



Phytobac® "Petit Volume"

Phytobac® « Petit Volume »

D'une capacité maximale de 2 m³, il permet le traitement d'un volume d'effluents compris entre 600 et 800 litres par an.

❑ Les Biofiltres

Variante du Biobed (proposée par le Centre d'étude et de recherches vétérinaire et agrochimique ou CERVA, de Tervuren, Belgique), le Biofiltre permet également de traiter de grandes quantités d'effluents contenant des produits de pulvérisation. Il peut également être utilisé pour les résidus d'autres formes de traitement : bains aqueux, traitement des semences, culture hydroponique...



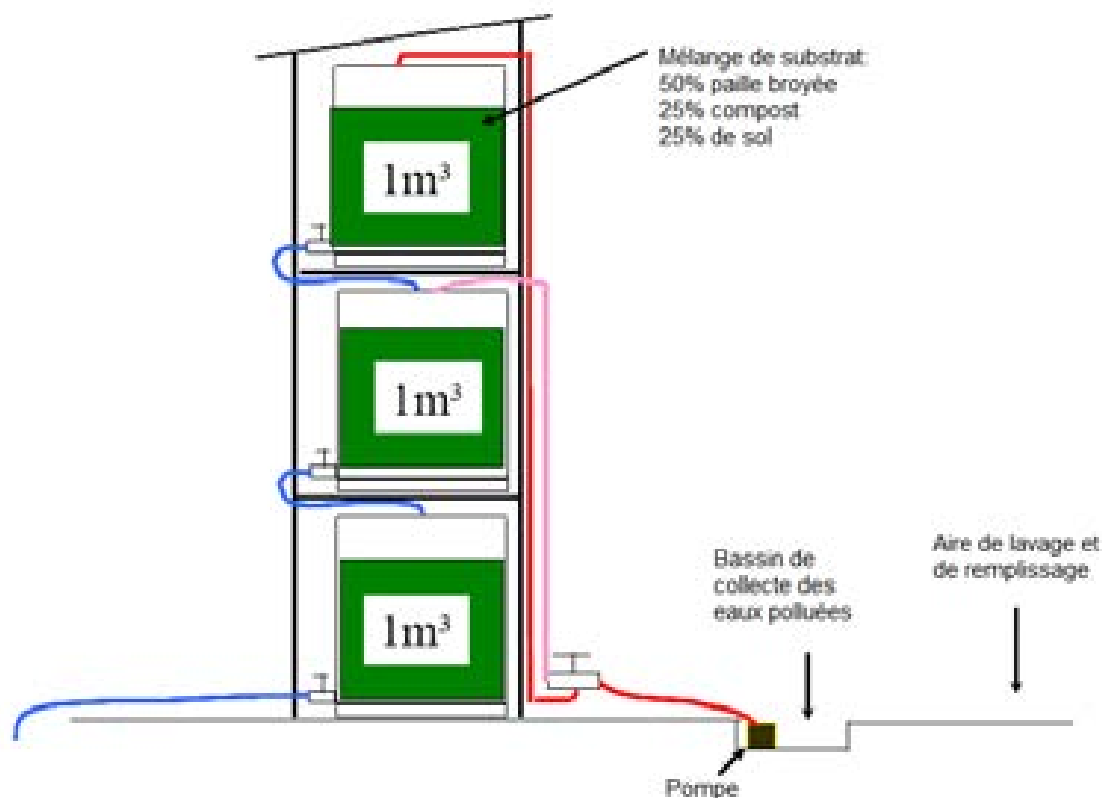
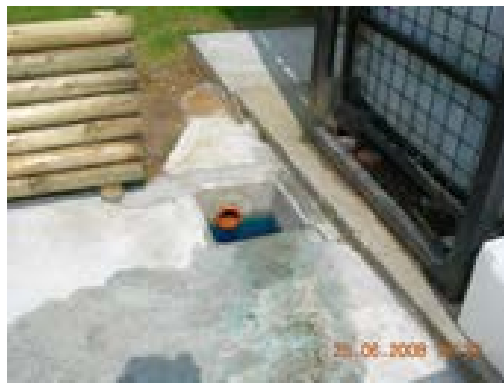


Schéma du système d'épuration des effluents par Biofiltre

Comme pour le Biobed, un mélange de paille (50 %), de tourbe (25 %) et de sol (25 %) se charge de la rétention et de la (bio-) dégradation des produits. Cependant, le lit biologique est placé dans des bacs au fond desquels un système de drainage permet de récupérer l'effluent après la filtration. Le système prend peu de place, les 3 bacs étant placés en hauteur, et consomme peu d'énergie, car l'eau circule par gravité. L'effluent chargé est pompé dans le bac supérieur. Il y séjourne quelques heures, puis la vanne est ouverte et l'effluent peut passer dans le bac immédiatement inférieur.

L'opération est répétée jusqu'au troisième et dernier bac (voir schéma et photo). Finalement, l'eau épurée peut être libérée dans un égout ou un puits perdant, car l'efficacité d'épuration est suffisante.



Dispositif de biofiltre (Photos B. Schiffers)



10.2. Le nettoyage du pulvérisateur

Après usage, l'extérieur comme l'intérieur du pulvérisateur sont souillés et peuvent contaminer l'opérateur. Le pulvérisateur doit donc être soigneusement nettoyé par rinçage à l'eau claire. Lors du nettoyage, il faut également rincer correctement la pompe et les conduites allant jusqu'aux buses (tuyaux, filtres...).

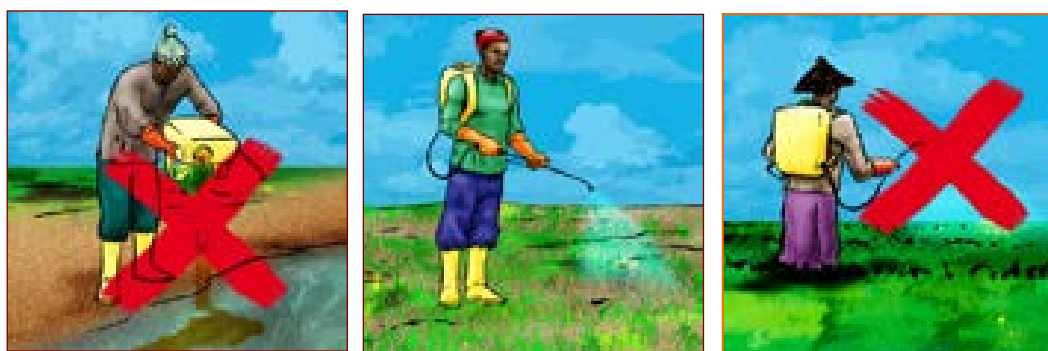
Pour les **appareils à dos**, il est possible de **rincer au champ** le matériel de pulvérisation, **sur une aire enherbée**.

Commencer en **rinçant la cuve** : l'intérieur du réservoir doit en effet être rincé **directement après chaque usage** pour éviter que les résidus présents dans le réservoir ne contaminent la bouillie suivante ou que des dépôts ne se forment et n'obstruent les filtres et les buses.



Remplir la cuve d'eau claire au tiers de sa capacité, bien agiter et vidanger sur un endroit enherbé à **l'écart de la culture et des points d'eau** (zone réservée à cet usage). Remplir à nouveau la cuve au tiers avec de l'eau claire pour rincer la lance et la buse.

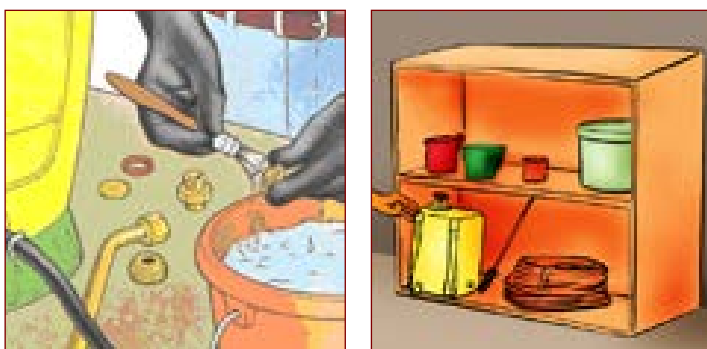
Vidanger la cuve sur le sol enherbé, à un endroit à l'écart de la culture et des points d'eau (zone réservée à cet usage). Ne pas jeter le surplus dans un cours d'eau ou dans un point d'eau (ni dans un égout, un évier ou un WC).



Le rinçage des pulvérisateurs est une des causes principales de la contamination des eaux de surface !

Une fois la cuve nettoyée, rincer l'appareil en pulvérisant quelques minutes de l'eau claire sur une surface enherbée non cultivée. Éviter de rincer l'appareil et/ou de le vidanger en pulvérisant la culture.

Après un rinçage soigné de l'appareil et de sa lance, démonter la buse pour nettoyer et rincer le filtre. Ranger le pulvérisateur vide et propre au sec et séparément des pesticides.



Dans les **gros appareils**, la présence de jets tournants (principalement installés sur des pulvérisateurs équipés de cuves de rinçage) permet un rinçage efficace des cuves avec une quantité limitée d'eau.

Le nettoyage des pulvérisateurs **doit se faire sur une aire enherbée** ou, de préférence, sur une aire de remplissage aménagée pour récupérer et traiter les eaux. En agissant de cette manière, l'opérateur récupère l'intégralité des eaux souillées dans la cuve de rétention ce qui permet leur traitement ultérieur par biofiltration.

10.3. Le rinçage, la collecte et l'élimination des emballages

10.3.1. Le rinçage et la collecte

Un nettoyage correct des emballages de produits, en ajoutant l'eau de rinçage au réservoir du pulvérisateur :

- assure une économie en produit,
- permet d'éliminer plus de 99,9 % du produit,
- autorisera son élimination avec une meilleure sécurité.

Il faut toujours s'assurer de **vider complètement les emballages** au moment de la préparation de la bouillie :

- pour les liquides : laisser s'égoutter la bouteille pendant au moins 30 secondes pour recueillir les dernières traces de produit ;
- pour les poudres et granulés : s'assurer que l'emballage est bien vidé en le secouant. Prendre garde aux poussières qui peuvent vous contaminer !

La réutilisation étant interdite et le recyclage des emballages déconseillé, il est préférable de les rendre inutilisables en les perçant avant élimination. Les emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP) ne doivent pas être mélangés aux ordures ménagères, même s'ils ont été rincés. Il est préférable d'organiser des collectes dans les dépôts des distributeurs de produits agricoles et chez les producteurs, afin d'éviter le brûlage, l'enfouissement ou la réutilisation de bidons ayant contenu des produits phytopharmaceutiques.

Il sera demandé aux agriculteurs de rincer (**au moins 3 fois**) les emballages immédiatement après l'utilisation du produit et de stocker en vue de la collecte ces emballages à la ferme, dans une zone réservée à cet effet, de préférence en sacs étanches fermés et étiquetés (« Danger – Déchets toxiques »).



(Copyrighted by Bayer CropScience)

Rinçage des emballages (Guidelines FAO, mai 2008).

L'expérience de *Phytofar Recover* en Belgique a démontré qu'il était possible de récupérer et de traiter plus de 90 % des emballages vides, par la collaboration des agriculteurs avec les distributeurs. En France la filière ADIVALOR intervient pour les bidons d'une contenance inférieure ou égale à 25 l, fûts de 25 l à 300 l, les boîtes et sacs de moins de 25 kg et les *big bags* d'engrais et d'amendements. Beaucoup d'autres pays ont mis en place des filières de récupération des emballages en vue de leur destruction ou recyclage (Chili, Guatemala, Brésil, Allemagne, Hongrie, USA...).



Collecte et stockage d'EVPP (Photo Dow) – Logo de l'opération Phytofar Recover

- **Cas des bidons vides** : une fois rincés et égouttés, les bidons bien vides et propres à l'extérieur doivent être stockés à l'abri, les bouchons à part. Au moment de la collecte, il sera demandé de délivrer les bidons et les bouchons séparément.
- **Cas des bidons contenant des produits périmés ou non utilisés** : ils sont à remettre bouchés et en bon état lors de la collecte. Cela concerne les produits périmés, ceux ayant été interdits suite à un changement de législation, ou encore les produits non utilisés suite à un changement cultural.



*Aire de collecte des EVPP
sur une petite exploitation
au Kenya (Photo
B. Schiffers)*

10.3.2. L'élimination des emballages

Pour la destruction des emballages et autres déchets contaminés par les pesticides, la seule méthode réellement recommandable est l'incinération contrôlée dans un centre homologué (agrée). Il est généralement interdit et déconseillé de les brûler sur l'exploitation.

Malheureusement, étant donné leur coût d'installation et de fonctionnement, peu d'incinérateurs homologués pour les pesticides sont disponibles, spécialement dans les pays ACP.

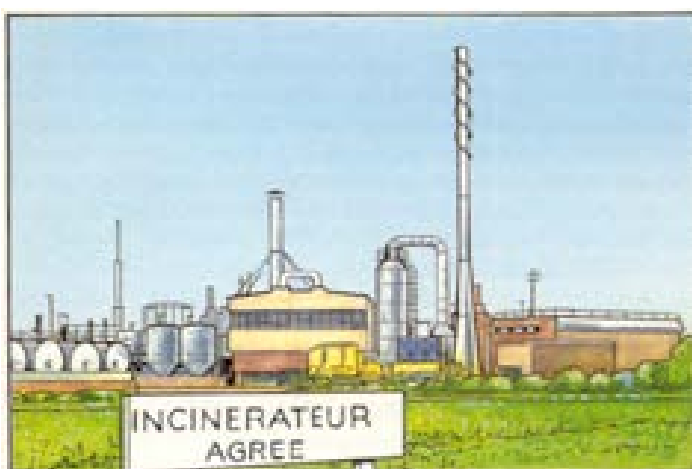
À défaut d'une installation parfaite, on peut dans certaines conditions (ex. : pas pour les pesticides organochlorés, comme l'endosulfan, le lindane, le DDT, etc., ni pour les composés contenant du mercure), utiliser les fours de cimenterie, car les températures atteignent 1 400 à 2 000 °C durant 6 à 10 secondes. Cependant, il faut être conscient que ces installations ne disposent pas de système d'épuration des fumées et peuvent donc générer une pollution par émission de composés toxiques (ex. : dioxines). Ils ne conviennent donc pas à la destruction de grandes quantités de pesticides périmés !

Des informations plus complètes sur les procédés de destruction sont reprises dans les « *Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers* » (FAO, mai 2008). La FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) met ce guide à disposition sur Internet.

10.4. L'élimination des déchets de produits

10.4.1. Utilisation d'une installation d'incinération agréée

L'incinération est un processus d'oxydation thermique à haute température au cours duquel les molécules de pesticides sont décomposées en gaz et en solides non combustibles appelés « résidus » (cendres et scories).



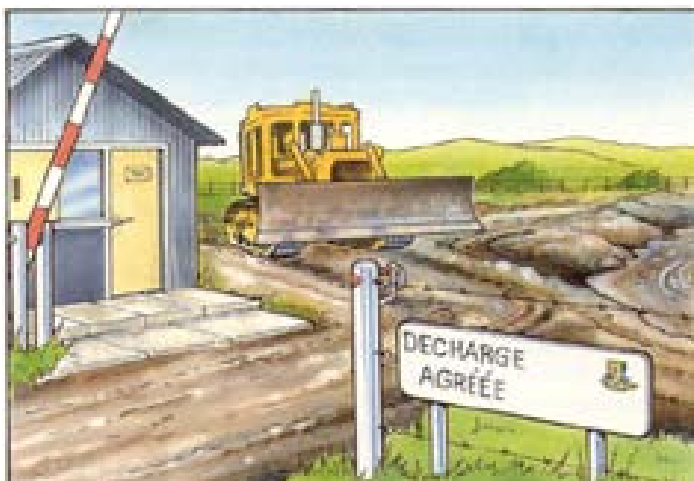
Une haute cheminée conduit les effluents gazeux dans l'air pour y être dispersés par le vent. Les gaz de cheminée contiennent de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone (CO₂), des gaz acides ou toxiques et des particules toxiques, y compris des cendres volatiles et des oxydes métalliques. Pour réduire la pollution, l'incinérateur doit donc être équipé d'un dispositif d'épuration des gaz et des fumées (refroidies à 200 °C) et/ou de filtres électrostatiques. Les résidus solides devront être mis en décharge agréée.

Pour la destruction des pesticides périmés, des emballages et autres déchets contaminés par les pesticides, la seule méthode réellement recommandable est **l'incinération contrôlée dans un centre homologué (agréé)**, car disposant d'une installation permettant :

- l'entreposage des déchets en toute sécurité avant destruction ;
- l'incinération à très haute température dans un four (minimum 1 100 °C durant quelques secondes pour réduire la plus grande partie des déchets en composés non toxiques)
- le traitement des fumées et des effluents gazeux
- le traitement des cendres.

10.4.2. Élimination par enfouissement

La seule méthode recommandable pour l'élimination par enfouissement des pesticides est le recours à une décharge agréée pour les produits toxiques.

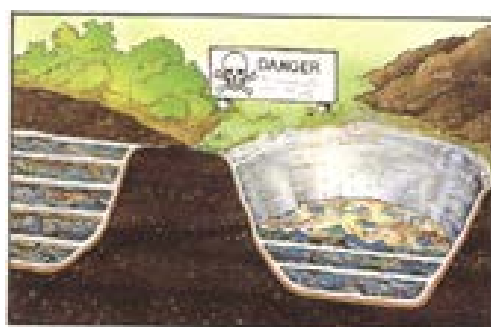


Malheureusement, de telles décharges ne sont pas disponibles partout.

À défaut, et si l'enfouissement est autorisé, on suivra les instructions données par la FAO (1985) pour éviter toute atteinte à l'environnement.

Le trou destiné à recevoir les déchets toxiques doit être creusé sur un terrain haut et plat, à une distance d'au moins 30 à 60 m de toute réserve d'eau libre telle que cours d'eau, lac, barrage et puits. Il occupera un emplacement qui ne risque pas d'être inondé ou de se dégrader suite à l'érosion. Il doit être situé à bonne distance des habitations et autres bâtiments, ainsi que des cultures et du bétail. Il faut éviter de placer le trou dans une ravine d'érosion, une dépression, un cours d'eau asséché ou une carrière, ni près ou au-dessus de nappes d'eau ou de cours d'eau souterrains. Il doit être assez profond pour permettre la percolation à travers une couche, argileuse de préférence, d'au moins 2 à 3 m au-dessus de la roche de fond.

Le trou sera indiqué par une pancarte signalant le DANGER et entouré d'un grillage pour empêcher l'accès des enfants ou des animaux domestiques ou sauvages.



Le fond du trou doit être plat. Les déchets (emballages rincés et perforés) seront disposés par couches en alternant le dépôt avec des couches de terre pour favoriser l'action de décomposition par les micro-organismes du sol. Ne pas laisser les déchets déposés dans la fosse non recouverts de terre.

10.4.3. Utilisation d'un incinérateur de petite dimension (à la ferme)

Au niveau de l'exploitation, l'élimination des emballages vides est toujours un problème difficile à résoudre :

- les boîtes métalliques bien rincées peuvent être percées et enterrées, dans une zone éloignée de toute habitation et point d'eau, à une profondeur d'au moins 80 cm.
- les emballages en papier, les cartons, les bouteilles en plastique (PE, PET, HDPE...) bien rincées peuvent être brûlés, mais il faut éviter de les brûler dans un simple « trou », car la combustion des matériaux est incomplète, la température ne dépassant pas 300 à 500 °C, et des fumées toxiques vont se former !

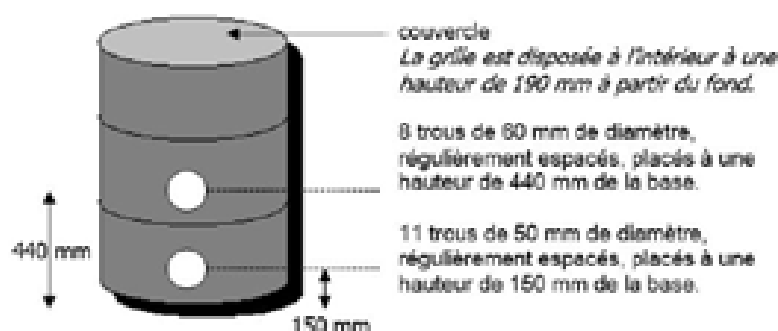
Pour offrir une solution pratique, le B.A.A. (*British Agrochemical Association*, R-U) a étudié l'aménagement d'un fût métallique selon un modèle bien précis repris ci-après. Le B.A.A. a procédé, avant recommandation, à des études poussées sur les températures intérieures obtenues et sur la nature des fumées produites (plus la fumée est claire, meilleure est la combustion). Même si cette solution n'est pas entièrement satisfaisante, ce dispositif simple et peu coûteux permet d'atteindre 950 à 1 000 °C, température suffisante pour dénaturer la plus grande partie des produits chimiques et pour réduire les emballages à quelques grammes de cendres non toxiques. **Cette solution est également préconisée par le référentiel privé GLOBALG.A.P.**³.

Avant d'utiliser ce type de dispositif, il faut toutefois s'assurer de ne pas contrevenir à la législation locale et examiner les autres possibilités offertes !

❑ Aménagement d'un fût métallique de 200 l en petit incinérateur

Il est **très important** de respecter les dimensions, le nombre de trous et leur emplacement sur le fût. En effet, le B.A.A. a testé pas moins de 9 modèles différents avant de proposer le dispositif final qui s'est montré le plus performant au niveau température.

Préparation du fût :



La grille :



³ GLOBALG.A.P., Smallholder Guide, Plant Protection Module, version 1.0, février 2010.



Le fût incinérateur, la grille au fond et le couvercle (Photos A. Diouf)

☐ Mode d'emploi du petit incinérateur

1. Déposez la grille à l'intérieur, et remplissez le fût au tiers avec les emballages vides (bouteilles ou sachets-doses).
2. Asperger de gasoil.
3. Répéter l'opération deux fois pour les deux autres tiers. Utilisez au maximum 1 l de gasoil pour brûler 35 à 40 bidons ou 5 kg de sachets.
4. Remettez le couvercle !
5. Mettez le feu à l'aide d'une torche par un des trous situé dans le bas du fût.
6. Laissez la combustion s'opérer : 25-30 min suffisent généralement. Une fumée légèrement grise doit s'échapper par les orifices durant le processus.
7. Laissez refroidir le fût. Après combustion, les cendres (quelques grammes) peuvent être récupérées et enterrées à 80 cm de profondeur.

☐ Conseils de prudence

- Installez le fût dans une zone dégagée, sur une surface plane, à l'écart de produits et matériaux inflammables.
- Ne laissez pas le fût sans surveillance durant la combustion.
- Procédez à l'incinération seulement si le temps est calme, sans vent violent.
- Rappelez-vous, en l'approchant, que le fût est brûlant, même quand le foyer est éteint.

10.5. Traitement et élimination des déversements accidentels

10.5.1. Produits solides

- Répandre du sable ou de la sciure de bois humide sur le produit déversé pour diminuer les poussières en suspension (surtout dans les magasins) ;
- Transférer le produit dans un conteneur hermétique ou dans un sac en plastique renforcé en attendant son élimination.



Utiliser un matériau absorbant pour fixer le produit toxique. Écarter les enfants et les animaux du lieu de déversement. Au besoin, gratter la couche superficielle du sol et l'éliminer avec le déchet.

10.5.2. Produits liquides

- Absorber le produit avec du sable ou tout autre matériau absorbant.
- Balayer et déverser dans un conteneur hermétique en attendant leur élimination.
- Une fois le produit isolé, rincer soigneusement à l'eau le sol pollué par l'épandage.
- Ne pas laisser l'eau s'échapper, mais utiliser également des matériaux absorbants.

Toujours **utiliser des vêtements de protection** pour manipuler des pesticides répandus à la suite d'un épandage.

Ne pas utiliser d'eau pour laver les épandages liquides, mais des substances absorbantes.

Ne jamais éliminer les déchets de pesticides dans les cours d'eau, les égouts ou tout autre système collecteur des eaux de surface.

10.5.3. Équipements pour traiter les substances répandues

Un équipement doit être réservé aux urgences et placé en un lieu facile d'accès et signalé par une pancarte bien en vue :

- fût avec des substances absorbantes (**sable ou sciure**) ;
- balai, pelle et une raclette en caoutchouc ;
- grands sacs en plastique résistants ;
- fûts verticaux vides à ouverture totale.

10.5.4. Élimination des déchets

Les déchets consistent en :

- épandages recueillis ;
- matériaux absorbants pollués ;
- emballages vides.



Le dépôt des déchets dans un fût ouvert, en attendant leur élimination par une méthode appropriée, empêche toute pollution supplémentaire et permet une manipulation aisée par la suite.

Les déchets pourront être éliminés, en fonction de la législation locale et de la disponibilité des installations :

- par incinération **dans un centre agréé** (consulter la fiche technique du produit ou s'adresser au fournisseur pour savoir si le produit ainsi que son emballage peuvent être incinérés sans dégagement de composés dangereux ; **faute d'indication précise, ne pas brûler les déchets de pesticide** sinon risque important d'intoxication) ;
- par enfouissement profond, sous la surveillance d'une personne techniquement compétente et dans un endroit éloigné des sources, nappes d'eau, zones de captage et de tout cours d'eau.

Les déchets de pesticides ne doivent jamais être mis en décharges publiques ou dans des dépôts d'ordures !

10.6. Gestion des produits phytosanitaires non utilisables (PPNU)

10.6.1. Problèmes posés par les PPNU



Le problème posé par les stocks de pesticides obsolètes ou périmés est bien connu sur tous les continents où ils sont souvent la source de graves pollutions, et constituent un danger permanent pour la santé et pour l'environnement, ainsi qu'une menace pour le développement de façon générale.

Les produits phytosanitaires non utilisables (PPNU), produits périmés ou obsolètes, sont pour la plupart des résidus des campagnes de lutte phytosanitaire.

Périmés, interdits pour des raisons sanitaires, réglementaires ou environnementales, non autorisés à l'emploi, ces pesticides se sont accumulés dans divers pays d'Europe de l'Est, d'Afrique, d'Asie, du Moyen-Orient et d'Amérique latine où il n'existe aucune installation adéquate de destruction de ces déchets dangereux.

L'état des stocks de pesticides en Afrique (environ 50.000 tonnes) varie de produits bien emmagasinés encore utilisables sur le terrain à des produits qui se sont entièrement dégradés. Dans de nombreux cas, les produits sont stockés à ciel ouvert où ils sont exposés à de grands écarts de température et à de rudes conditions, qui accélèrent la détérioration des pesticides ainsi que de leurs conteneurs. Toutefois, même lorsque les conditions de stockage sont bonnes, la durée du stockage et la nature des produits se sont traduites par la corrosion des conteneurs et la pénétration du produit dans le sol.



D'autre part, chaque fois que des pesticides sont utilisés, des conteneurs vides sont inévitablement générés. Ces derniers sont très appréciés des populations qui les emploient pour stocker du carburant voire de la nourriture et de l'eau. Le problème des emballages vides et souillés, également important et récurrent, menace sérieusement la

santé publique et l'environnement. Dans l'optique d'un développement durable, éliminer ces stocks de PPNU et ces emballages dangereux est une priorité et les communautés rurales qui ne peuvent espérer se développer si leur sol et leur eau sont contaminés par des pesticides.

Pour résoudre le problème des PPNU, une initiative multi partenariale a été lancée : le programme « *Africa Stockpiles Programme* » (ASP) qui vise à éliminer les pesticides périmés et déchets contaminés (conteneurs, fûts, emballages) d'Afrique au cours des 10-15 prochaines années et surtout à promouvoir des mesures concertées et cohérentes de prévention de leur accumulation.

Le Mali et la Tunisie ont été retenus comme pays pilotes pour la mise en œuvre du PASP et les résultats pourraient, en cas de succès, être transposables dans d'autres pays !

À court terme, la seule solution pour se débarrasser de ces résidus toxiques, produits et emballages, a été jusqu'à présent de les expédier vers un pays équipé d'installations adéquates pour y être incinérés à haute température. Cette opération qui présente de sérieux risques lors de la collecte et du transport est aussi très coûteuse (>3 500 \$ la tonne). De plus l'incinération de ces matières toxiques, qui contiennent de nombreux produits polluants organiques persistants (POP, tels que DDT, aldrine, chlordane, dieldrine, endrine ou heptachlore et autres parfois difficiles à identifier correctement), est souvent sévèrement critiquée par les chercheurs et les mouvements associatifs qui s'intéressent aux pesticides (*Pesticide Action Network, The Pesticide Trust*, etc.) étant donné la nature des rejets polluants que cela occasionne (production de dioxines, de furannes, d'acides halogénés...). Étant donné la dispersion des PPNU, une attention toute spéciale devra être accordée aux aspects liés à la sécurité lors de la collecte, du reconditionnement et du transport.

À long terme, la seule façon d'éliminer définitivement les dangers posés par les stocks de pesticides périmés est de veiller à ce que ceux-ci ne s'accumulent plus. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de comprendre les causes et mécanismes qui ont conduit à l'accumulation des stocks de pesticides périmés existants avant d'émettre des recommandations d'action. Eu égard à la croissance de l'usage des pesticides (intensification de l'agriculture, lutte anti-acridienne, lutte contre les vecteurs...) il est urgent de mettre en place une stratégie concertée pour l'élimination et la prévention des stocks obsolètes, basée sur les lignes directrices de la FAO (« *Prévention de l'accumulation de stocks de pesticides périmés* », Directives provisoires, FAO) qui est l'agence phare dans la gestion des pesticides périmés depuis 1994, et les recommandations de *Crop Life* (« *Élimination des stocks de pesticides inemployés, guide d'aide au choix des options pratiques* », GIFAP, 1991).

10.6.2. Bases d'une stratégie de prévention des PPNU

Les donateurs, les gouvernements (à travers les appels d'offres, par exemple), les fabricants, les distributeurs de pesticides, les organisations multinationales et les agences d'aide et les ONG ont tous contribué d'une manière ou d'une autre à l'accumulation des stocks de pesticides périmés et des déchets toxiques dans les pays ACP.

Pour réduire et, si possible, éliminer de façon définitive ce danger, il conviendrait d'élaborer, au plan national et/ou régional, **un plan stratégique d'action** pour la prévention de l'accumulation de ces déchets grâce à une concertation entre les Ministères concernés (agriculture, santé, environnement, éducation), les organisations telles que les coopératives, l'industrie des pesticides et les distributeurs, les agriculteurs et propriétaires de plantations responsables de ces stocks. Il faudrait également proposer aux parties prenantes une filière adéquate pour la collecte et le traitement des emballages.

Le plan d'action devrait avoir pour objectif de **modifier de façon durable**, par la communication, la formation et la législation, **les pratiques d'achat et d'utilisation** des pesticides, notamment :

- par la sensibilisation des décideurs ;
- par la formation aux bonnes pratiques d'achat, de transport, d'usage, de stockage des produits et de gestion des déchets toxiques ;
- par la promotion d'une utilisation rationnelle et intégrée des produits phytosanitaires ;
- par le développement des méthodes de lutte alternative ;
- par l'amélioration et la vulgarisation d'itinéraires techniques améliorés ;
- par la promotion d'une agriculture durable ;
- par l'élaboration d'un plan de réduction d'emploi des pesticides ;
- par la promotion des filières « bio » ;
- par la promotion des démarches qualité, permettant de réduire la dépendance aux intrants et le volume des déchets toxiques générés.

Les résultats à attendre d'une telle stratégie seraient les suivants :

1. Les capacités de gestion des pesticides des autorités et des distributeurs sont renforcées et le plan d'action permet de s'assurer que les produits entrant dans la chaîne de distribution sont identifiés, leur qualité et conditionnement contrôlés et leur usage approuvé par les autorités en accord avec les recommandations du « *Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides de la FAO* » (FAO, 1990).
2. La réglementation est mise en conformité avec les recommandations du Code de conduite FAO. Ainsi, des systèmes d'autorisations peuvent contribuer à faire appliquer les règlements et à maintenir le respect des normes de qualité tout au long de la chaîne de distribution des pesticides. Un « Guide d'autocontrôle » des importateurs et distributeurs de pesticides peut être utile pour le secteur.
3. La dépendance et le recours aux pesticides sont réduits grâce à une utilisation plus rationnelle des produits en cours de production, l'emploi de méthodes de lutte de substitution, une meilleure formation des opérateurs, l'emploi de méthodes d'application plus efficaces.
4. L'adéquation entre la demande en produits efficaces et adaptés à l'usage (activité biologique démontrée, conditionnement adéquat, formulation de qualité) et la capacité du marché local à y répondre est améliorée.

5. Les compétences locales sont renforcées : quand l'utilisation des pesticides est inévitable, les opérateurs sont informés de l'importance d'une manutention, d'un stockage et d'un mode d'emploi corrects.
6. Les autorités nationales et locales, les représentants des agences d'aide, les décideurs, les distributeurs et les utilisateurs sont sensibilisés aux dangers que représentent les PPNU et leurs emballages vides, et ils sont encouragés à en utiliser le moins possible dans les projets de développement ou les programmes de lutte contre les fléaux ou à choisir les produits les moins préjudiciables pour la santé des populations et l'environnement.

10.6.3. L'élimination des PPNU : que peut faire le petit producteur ?

En zone rurale, les déchets de pesticides ont tendance à s'accumuler là où s'exercent des activités agricoles et de lutte contre les ravageurs, qu'elles soient intensives ou extensives. Ainsi, des produits chimiques dangereux sont souvent abandonnés à l'air libre, en zones rurales comme en zones urbaines, dans les décharges municipales et même sur les terrains de jeux des enfants. La réutilisation des récipients contaminés à des fins ménagères est une pratique répandue dans nombre de régions en développement et représente un risque sanitaire supplémentaire.

Les **programmes de formation et d'information** destinés aux agriculteurs et autres utilisateurs de pesticides devraient **promouvoir les principes de gestion intégrée** contre les ravageurs et faciliter le plus possible l'application de mesures non chimiques pour contrôler les populations de ravageurs et les maintenir en dessous du niveau de nuisance. Les **mesures alternatives** prévoient des contrôles culturaux ou environnementaux, des barrières physiques, et l'encouragement à l'introduction d'ennemis naturels de ces ravageurs.

L'utilisateur ne doit **acheter que les pesticides appropriés** à l'usage qu'il doit en faire. Le produit choisi doit non seulement être efficace contre le ravageur, mais sa formulation doit être appropriée au type d'équipement dont on se servira pour l'appliquer. Il ne faut acheter les produits que dans leur emballage original, hermétiquement fermé. Il ne faut pas non plus acheter de pesticides transvasés dans un récipient différent de celui qui a été fourni à l'origine par le fabricant ou l'importateur. Ce cas se présente souvent dans certaines situations ou certaines régions : l'utilisateur n'a besoin que d'une petite quantité et les récipients originaux sont trop grands. On transvase donc les pesticides dans des bouteilles vides, de petits sachets en plastique, des canettes vides ou des récipients ayant contenu auparavant un autre produit pesticide.

Cette **pratique est très dangereuse**, car elle ne permet pas l'identification du contenu qui peut être confondu avec d'autres produits, par exemple, des boissons. Il y a eu ainsi plusieurs cas d'empoisonnement, surtout parmi les enfants. En outre, lorsqu'un pesticide est transvasé, son étiquette reste sur le récipient original avec toutes les informations le concernant, c'est-à-dire danger, mode d'emploi, etc.

La quantité de pesticides achetée doit être telle qu'on ait la possibilité d'en **utiliser la totalité dans un délai de quelques semaines au maximum**. De façon générale, il ne faut acheter que la quantité de pesticide nécessaire pour une situation de ravageurs donnée. L'utilisateur n'aura pas ainsi à stocker des quantités importantes. L'acheteur devra savoir résister aux pressions du vendeur même si des réductions de prix lui sont

proposées pour l'achat de plus grandes quantités. L'acheteur devrait aussi négocier le retour au distributeur des récipients vides et de produit non utilisé.

Lorsque le produit est fini, **son récipient doit être nettoyé** autant que possible. Les récipients vidés et lavés que le fournisseur de pesticides n'entend pas réutiliser doivent être perforés ou rendus de toute façon inutilisables. Même les récipients qui semblent vides contiennent des résidus de pesticides qui ne peuvent pas être complètement éliminés. Par conséquent, il ne faut jamais les réutiliser, sauf s'il s'agit du même produit qu'ils ont déjà contenu.

Il ne faut **ni brûler, ni enterrer les conteneurs de pesticides vides**. Les fournisseurs et les distributeurs, certains fabricants à travers leurs étiquettes, et même certaines autorités nationales, recommandent souvent ces pratiques qui, toutefois, sont extrêmement dangereuses pour la santé humaine et animale et pour l'environnement. Les techniques de combustion sûres et sans danger demandent une bonne connaissance de la chimie des pesticides, alors que l'enfouissement en conditions de sécurité requiert la connaissance de l'hydrologie locale et du comportement des pesticides dans l'environnement. Dès que possible, les récipients vides seront **rendus au distributeur ou déposés dans un site de collecte approuvé**. Si aucune installation n'est prévue, ni pour la collecte ou l'élimination des récipients vides, ni pour les pesticides indésirables ou inutilisables, les utilisateurs devront se mettre en contact avec les distributeurs de pesticides (recommandations des *Guidelines FAO*).



Annexes :

Procédés d'épuration des effluents

A.1. Procédé ADERBIO STBR 2®

Principe de fonctionnement

Le procédé est basé sur un traitement biologique par bio-augmentation qui dégrade biologiquement les résidus de produits phytosanitaires. Il fonctionne de la manière suivante :

- Les effluents collectés sont stockés dans une cuve de stockage tampon où un prétraitement est effectué par l'ajout d'un activateur biologique.
- L'aire de lavage doit posséder un système de dégrillage et de dessablage. Cependant, la mise en place d'un déshuileur n'est pas nécessaire, les hydrocarbures étant dégradés par la station.
- L'effluent phytosanitaire est ensuite dirigé dans la station de traitement où il arrive dans le digesteur pour être dégradé par les bactéries cultivées en parallèle dans un fermenteur et également introduites dans le digesteur.
- Une fois les molécules phytosanitaires dégradées, l'effluent passe dans un décanteur pour être « éclairci ».
- Les boues alors récoltées sont recirculées vers le digesteur.
- La partie claire issue du décanteur (surnageant) passe alors au travers d'un filtre biologique dans le but d'affiner le traitement.
- Enfin, l'effluent ressort du filtre et peut être rejeté. Le système ADERBIO STBR 2® fonctionne en continu sur l'année afin de ne pas avoir à réensemencer la station chaque année. Pour permettre cela un commutateur permet de sélectionner deux modes de fonctionnement : un normal en pleine période d'apport d'effluent à la cuve tampon, et un mode lent pour le reste de l'année.

Conditions de prétraitement

Le prétraitement se fait dans la cuve de stockage tampon. Il consiste à ajouter à l'effluent un activateur bactérien (Biobactiv 250) qui se présente sous forme de poudre blanche. Il doit être introduit dans la cuve de stockage en début de campagne, puis tous les 2 à 3 mois pendant la période d'apport de l'effluent à la dose de 100 g de Biobactiv 250/m³ d'effluent phytosanitaire récolté dans la cuve tampon. Le Biobactiv 250 permet entre autres d'équilibrer le milieu et de tamponner le pH.

Description du fonctionnement

L'effluent issu de l'aire de lavage est collecté dans la cuve tampon via un dégrilleur et un dessableur. Une pompe de brassage située dans cette cuve permet une bonne homogénéisation et de limiter les dépôts dans la cuve tampon et met également le réseau d'alimentation de la station en pression. Le prétraitement avec le Biobactiv 250 se fait dans cette cuve à la dose de 100 g/m³. La pompe d'alimentation, située dans la station, pompe l'effluent de la cuve tampon pour l'amener dans le digesteur.

L'apport se fait 12 fois par jour, 365 jours par an, selon un débit fixé au préalable, pour atteindre un volume journalier permettant d'avoir au minimum 30 jours de temps de séjour (volume du digesteur/débit quotidien). Une culture biologique contenant des bactéries spécifiques est également introduite dans le digesteur automatiquement selon une fréquence programmée au préalable. Cette culture est préparée dans un fermenteur de manière automatisée. La culture biologique est composée d'eau, de bactéries lyophilisées et de nutriments.

Le digesteur est la zone de dégradation de la pollution par les micro-organismes. Il est constitué d'une cuve continuellement aérée et recevant donc l'effluent à traiter en 12 séquences quotidiennes ainsi que la culture biologique issue du fermenteur. L'effluent, une fois traité, part dans le décanteur par surverse. Le digesteur est dimensionné au cas par cas pour permettre de respecter la durée de traitement de 30 jours et pour absorber la totalité d'effluents phytosanitaires générée en un an. Le décanteur est le point de clarification de l'effluent traité. Les bactéries contenues dans l'effluent traité tombent dans le fond du décanteur conique (sous forme de boues liquides) alors que le surnageant part vers le filtre biologique par surverse. Un flocculant peut être introduit par un opérateur en début de traitement pour améliorer les premières décantations. Le filtre biologique a pour fonction d'affiner le traitement. Son action mécanique liée à sa porosité permet de retenir les matières en suspension restantes. Son aération continue, couplée à son humidité et à sa porosité, favorise le développement d'une microflore qui va dégrader les matières retenues.

Capacité de traitement de l'appareil

Le procédé permet de traiter différents volumes d'effluents phytosanitaires. Un simple dimensionnement des éléments de la station permet d'augmenter ou de diminuer la quantité d'effluent phytosanitaire qu'il est possible de traiter. Le temps de séjour de 30 jours donné par le volume du digesteur/le débit d'alimentation conditionne le dimensionnement du digesteur. Ensuite, le décanteur, le filtre et le fermenteur doivent être dimensionnés en fonction du débit journalier traité.

Limites de traitement

Les limites de traitement du procédé sont conditionnées par le temps de séjour de l'effluent dans le digesteur. Elles sont donc fixées au moment de la conception de la station de traitement et en concertation avec le client. Elles concernent des effluents phytosanitaires types, non pré-concentrés. Les limites de traitement en volume sont précisées clairement au client. Il n'existe aucune contrainte de température, l'équipement de la station étant réalisé dans un conteneur chauffé et ventilé.

A.2. Procédé BF Bulles

Principe de fonctionnement

Les BF bulles sont des unités de filtration. La dépollution des effluents se fait grâce à l'ultrafiltration sur charbon actif.

Description des conditions de prétraitement

L'aire de lavage doit posséder un système de déshuilage, dégrillage et de dessablage.



Le prétraitement des effluents se fait dans la cuve de stockage. L'agitation des effluents se fait par le biais d'une pompe immergée dans le cas d'une cuve enterrée, et de la pompe releveuse dans le cas d'une cuve hors sol. Les produits utilisés sont :

- oxydation : peroxyde d'hydrogène à 35 %. Concentration 1 litre/mètre cube ;
- coagulation : solution spécifique. Concentration après essai de 1 à 3 litres/mètre cube ;
- floculant : polymère acrylique. Dose 80 % de la concentration en coagulant.

En cas d'apparition de mousse sur les phases d'agitation, utiliser un anti-mousse (diméthylpolysiloxane à 250 g/l, concentration maximale 1,4 ml/m³).

Capacité de traitement des BF Bulles

Le procédé BFbulles® est un procédé physique dont la capacité de traitement dépend du dimensionnement de l'unité de traitement. Actuellement, il existe 2 unités de traitement :

- la première (BF 8) a une capacité de traitement de 1 000 l/h ;
- la deuxième (BF 16) a une capacité de traitement de 1 800 l/h.

Limites de traitement

Les systèmes BFbulles sont destinés à traiter toutes les eaux de lavages intérieurs et extérieurs des systèmes de traitement collectées après rinçage à la parcelle, tous les effluents issus du débordement des pulvérisateurs lors du remplissage, toutes les eaux ayant servi au rinçage d'une zone de renversement accidentel de produits phytosanitaires. Les températures limites d'utilisation sont + 2 à + 40 °C.

A.3. Procédés PHYTOCAT et PHYTOMAX

Champs d'application: viticulture, cultures légumières et ZNA (tous effluents phytosanitaires viticoles ou issus du traitement des cultures légumières – hors effluents issus de traitements post-récolte – et des zones non agricoles).

Principe de fonctionnement

Ce type d'appareil est destiné à détruire, par photocatalyse, les effluents phytosanitaires issus du traitement des cultures légumières et des zones non agricoles. Il doit être couplé, sur une aire de lavage, à un dégrilleur, débourbeur, déshuileur. Après dégrillage, débourbage et déshuilage, l'effluent confiné dans la cuve de stockage est préfiltré et dépollué par la technique de la photocatalyse. Le système est basé sur le phénomène photocatalytique c'est-à-dire sur l'irradiation d'un catalyseur (le dioxyde de titane, TiO₂) par des rayonnements photoniques (UV). Il se produit alors une réaction d'oxydoréduction, dégageant des radicaux libres (radicaux OH). Ces radicaux attaquent les polluants organiques en présence d'oxygène et les dégradent par oxydations successives en composés minéraux non toxiques (H₂O, CO₂, SO₂...). Le prétraitement est assuré par une filtration mécanique bi-phase solide/liquide.

Description du fonctionnement du procédé

L'aire de lavage doit posséder un système de déshuilage, dégrillage et de dessablage. Après dégrillage, débourbage et déshuilage de l'effluent sur l'aire de lavage, l'effluent confiné est pompé, préfiltré et stocké. Le démarrage du cycle de dépollution active la

pompe de relevage qui fait circuler l'effluent sur les médiafiltrants irradiés par des lampes UV. Les oxydations-réductions successives s'opèrent alors grâce aux médiafiltrants, supports non tissés recouverts de silice et de dioxyde de titane (TiO₂) qui permettent, sous l'effet de la lumière, la réaction photocatalytique.

Il n'y a pas de contre-indication particulière sur les concentrations maximales de l'effluent étant donné que les préconisations d'utilisation sont décrites en référence à des expérimentations menées sur des concentrations variables allant du produit pur à l'effluent dilué conformément aux bonnes pratiques phytosanitaires. La température n'a pas d'incidence sur l'efficacité de la photocatalyse.

A.4. Procédé PHYTOPUR

Principe de fonctionnement

Le procédé se décompose en 3 étapes : la coagulation/sédimentation (prétraitement), l'osmose inverse, l'absorption sur charbon actif.

➤ Première étape : la coagulation/sédimentation

Cette première étape est réalisée dans la cuve de stockage des effluents phytosanitaires. Dans un premier temps, l'effluent est homogénéisé au moyen d'une pompe introduite dans la cuve de stockage. À ce stade, un coagulant est introduit dans la cuve de stockage. Il assure la formation d'agglomérats de particules (flocs) qui vont piéger l'ensemble des matières en suspension. Le type et le dosage du coagulant sont déterminés sur place en fonction de la nature des effluents, après quoi le coagulant est incorporé dans la cuve de stockage. Les coagulants utilisés sont des cations trivalents, sous forme de chlorure ferrique ou de polychlorure d'aluminium. La séparation effluents/flocs est réalisée par sédimentation dans la cuve-tampon. La séparation effluents/flocs est réalisée par sédimentation dans la cuve-tampon. Après décantation, on obtient un surnageant clarifié, et des boues au fond de la cuve de stockage. Les boues doivent être récupérées pour être éliminées en tant que déchets dangereux dans un centre agréé.

➤ Deuxième étape : la filtration membranaire (l'osmose)

Cette deuxième étape est réalisée au sein de l'unité de traitement. Avant de réaliser l'osmose inverse, la phase d'effluents clarifiée est filtrée pour éliminer les flocs non décantés. L'osmose est réalisée sur des membranes organiques, qui ont comme propriété de ne laisser passer que les molécules d'eau et de retenir les molécules phytosanitaires.

➤ Troisième étape : l'absorption sur charbon actif

En sortie d'osmoseur, un traitement de finition est assuré par un passage sur un filtre à charbon actif. Ce dernier retient par absorption les micropolluants qui ne seraient pas stoppés par l'étape d'osmose.



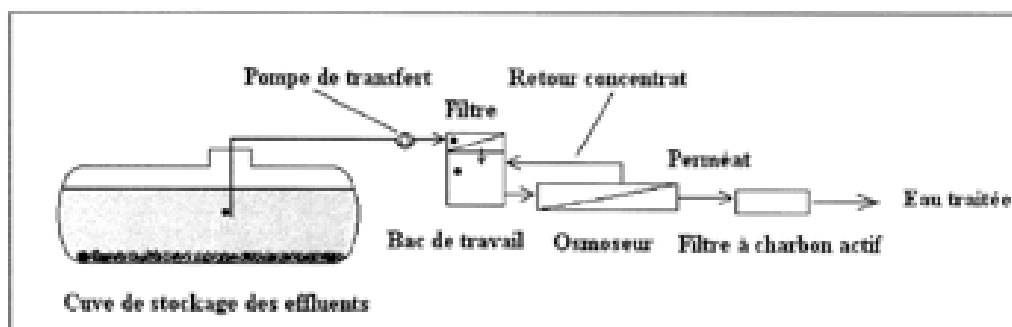


Schéma de fonctionnement du procédé Phytapur®

Capacité de traitement

Le procédé PHYTOPUR® est un procédé uniquement physique dont la capacité de traitement dépend du dimensionnement de l'unité de traitement. Actuellement, il existe 2 unités de traitement :

- la première a une capacité de traitement de 12 m³/jour, soit un débit moyen de 500 l/h /24 heures et un débit de pointe en début de prestation de 900 l/h ;
- la deuxième a une capacité de traitement de 16 m³/jour soit un débit moyen de 650 l/h/24 heures et un débit de pointe en début de prestation de 1 000 l/h.

La durée du traitement est fonction du volume d'effluents phytosanitaires à traiter, elle varie de 2-3 heures pour les petits volumes (< 3 m³) à plusieurs jours pour des volumes importants (> 25 m³).

Limites de traitement

Le procédé PHYTOPUR® est un traitement physique dont la principale étape est la filtration par osmose inverse, laquelle n'est pas limitée par un quelconque volume maximum.

L'osmose est une barrière physique, la concentration initiale n'a aucune incidence sur l'abattement de la concentration de l'effluent.

Le procédé PHYTOPUR® peut travailler dans une plage de températures comprises entre 2 °C et 45 °C. Au-delà de 45 °C, il y a un risque de détérioration des membranes. En effet, les pores de la membrane se ferment irrémédiablement et le débit de traitement devient donc nul.

A.5. Procédé SENTINEL

Champs d'application du procédé : traitement des effluents issus des traitements post-récolte des fruits et légumes.

Principe de fonctionnement

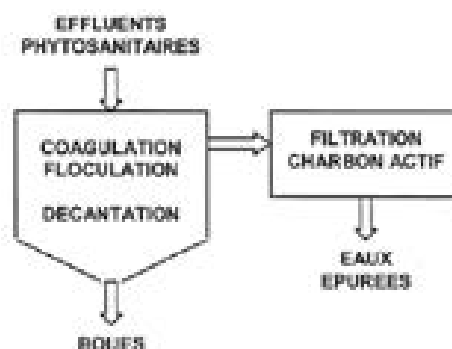
Le dispositif SENTINEL a été développé pour l'épuration des effluents phytosanitaires.

Les capacités d'épuration s'étendent de 100 à 1 500 l d'effluents traités par heure.

Une station SENTINEL se compose d'un réservoir principal avec agitateur, d'une unité de filtration sur charbon actif et d'un compartiment pour recevoir et sécher les boues (voir photos ci-après).

L'efficacité du traitement des effluents phytosanitaires utilisés en bains de traitement post-récolte des fruits et légumes repose sur 2 étapes :

- un prétraitement chimique de coagulation-floculation qui provoque une décantation des matières actives et métaux lourds sous forme de boues : l'efficacité repose sur l'ajout raisonné de 4 réactifs chimiques,
- puis un traitement par filtration du surnageant sur colonnes de charbon actif : les dernières matières actives y sont adsorbées.



Contrairement aux stations fonctionnant en continu, le système SENTINEL traite les effluents par batch. Le procédé SENTINEL amène à concentrer les polluants dans les boues et le charbon actif. Pour 1 000 litres d'effluents bruts traités, on obtient en moyenne :

- 996 l d'eau épurée ;
- 3 à 4 kg de boues ;
- 0,5 à 1 kg de charbon contaminé.

L'aire de lavage doit posséder un système de déshuilage, dégrillage et de dessablage.

Description du fonctionnement du procédé

Un cycle complet de traitement comporte 5 étapes :

1. Remplissage : remplissage du réservoir principal par ouverture manuelle d'une vanne ; arrêt automatique de la pompe lorsque le réservoir est plein et mise en route de l'agitation.
2. Dosage : ajout successif des 4 réactifs chimiques en respectant l'ordre d'introduction et les temps d'agitation préconisés.
3. Décantation : arrêt de l'agitation et décantation des boues (minimum 1 heure) ; autocontrôle n° 1 : prise d'échantillon pour vérifier que les floccs ont bien décanté.
4. Filtration : mise en route de la pompe pour permettre au surnageant de passer à travers le préfiltre et les colonnes de charbon actif ; autocontrôle n° 2 : effluent incolore à la sortie de la première colonne (si l'effluent est de couleur rouge, la première colonne doit être remplacée puis intervertie avec la deuxième colonne et le système doit être réinitialisé).
5. Manipulation des boues : évacuation des boues (restées au fond du réservoir principal) vers le panier et les sacs filtrants pour déshydratation.

L'effluent doit être dilué s'il est trop concentré.



Pour traiter les effluents phytosanitaires issus de traitements post-récolte, le dispositif SENTINEL conçu par WMEC (R-U).

Abréviations et acronymes les plus utilisés



Abréviations et acronymes les plus utilisés

2,4-D	Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique
2,4-DP	Dichlorprop
2,4 MCPA	Sel de diméthylamine
ACP	Afrique – Caraïbe – Pacifique (pays du Groupe des ACP, ayant signé une série d'accords particuliers avec l'UE appelé « accords de Cotonou »)
AMM	Autorisations de mise sur le marché
ADN	Acide désoxyribonucléique
ARfD	<i>Acute Reference Dose</i> ou dose de référence aiguë
ARN	Acide ribonucléique
As	Symbole chimique de l'arsenic
ASP	<i>Africa Stockpiles Programme</i>
B.A.A.	<i>British Agrochemical Association</i>
BPA	Bonnes Pratiques Agricoles
BPP	Bonnes Pratiques Phytosanitaires
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>

Ca	Symbole chimique du calcium
CAB	<i>Centre for Agricultural Bioscience</i>
CERVA	Centre d'étude et de recherches vétérinaire et agrochimiques
CGIAR	<i>Consultative Group on International Agricultural Research</i>
CIPV/IPPC	Convention internationale pour la protection des végétaux (<i>International Plant Protection Convention</i>)
CO ₂	Symbole chimique du dioxyde de carbone
Cu	Symbole chimique du cuivre
cv	Cheval fiscal
DAR	Délai avant récolte
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
DJA	Dose journalière admissible
DL ₅₀	Dose létale médiane
DP	Poudre à poudrer
DPA	Système à débit proportionnel à l'avancement
DPM	Système à débit proportionnel au régime moteur
EC	Concentré émulsionnable



ELISA	<i>Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay</i>
EPI	Équipements de protection individuelle
ETI	<i>Ethical Trading Initiative</i>
EVPP	Emballages vides de produits phytosanitaires
EW	Émulsion aqueuse
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (<i>Food and Agriculture Organization</i>)
FS	Suspension concentrée pour traitement des semences
f.sp.	Forme spécialisée
GR	Granulés
H	Symbole chimique de l'hydrogène
H ₂ O	Symbole chimique de l'eau
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique (appelé autrefois huile de vitriol)
HDPE	Polyéthylène haute densité
IPM	<i>Integrated Pest Management</i> (Méthodes de protection alternatives)
JOCE	<i>Journal officiel des Communautés européennes</i>
K	Symbole chimique du potassium



KCl	Symbole chimique du chlorure de potassium
kW	Kilowatt
LEC	Lutte étagée ciblée
LMR	Limites maximales de résidus
LPI	Lutte phytosanitaire intégrée
MCPP	Acide méthylchlorophénoxypropionique
Mg	Symbole chimique du magnésium
N	Symbole chimique de l'azote
NPV	Nuclear Polyedric Virus
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OEPP	Organisation européenne pour la protection des plantes
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
OP	Organophosphate
ORP	Observatoire des résidus de pesticides
P	Symbole chimique du phosphore



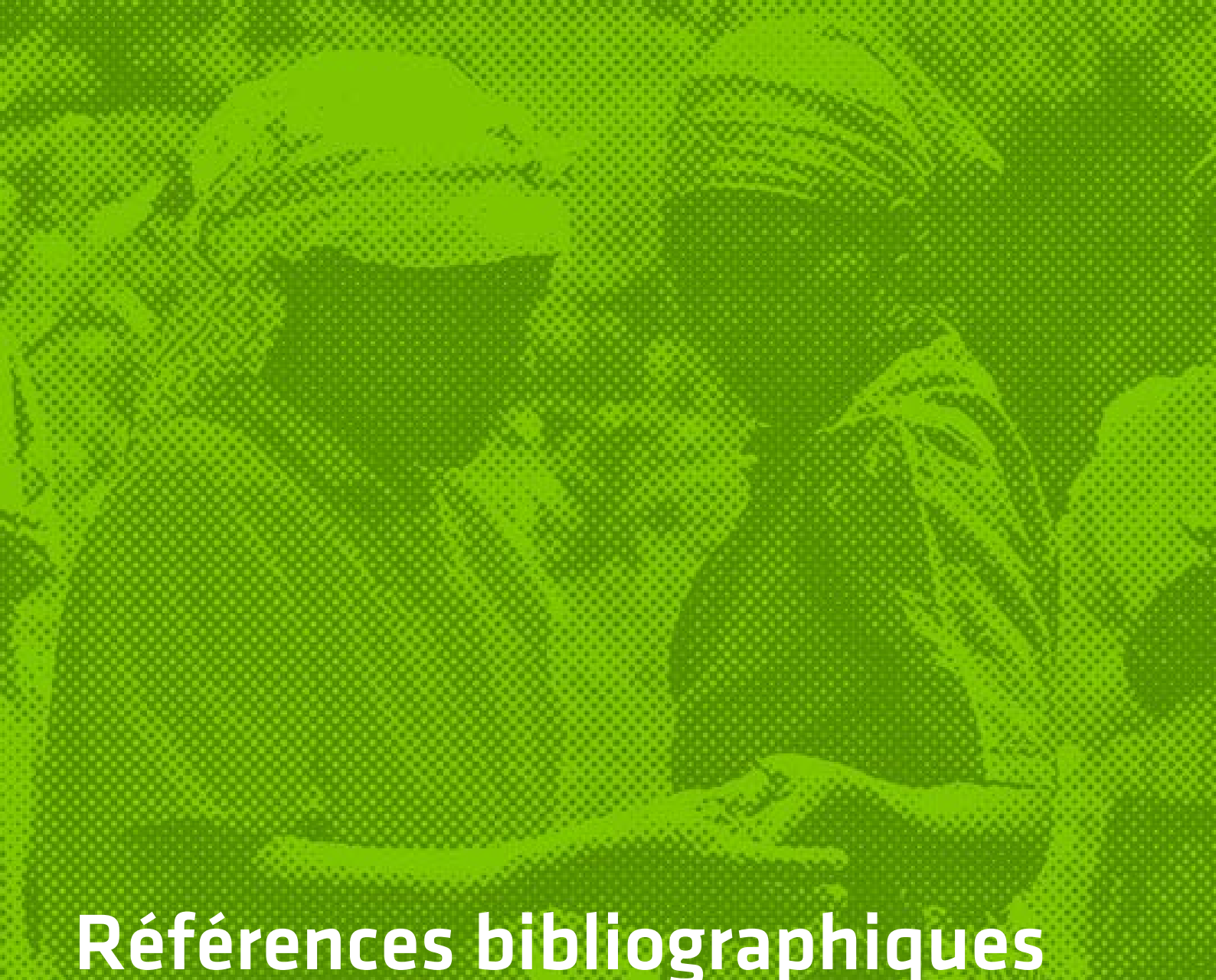
PA	Potentiel d'action
PC	Pression constante
PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
PE	Polyéthylène
PET	Polytéréphtalate d'éthylène
PGM	Plante génétiquement modifiée
PPNU	Produit phytosanitaire non utilisable
PPP	Production Plus Propre
PPP	Produits de protection des plantes
PRA	<i>Participatory Rural Appraisal</i> (Évaluation participative rurale)
RPPO	Organisations intergouvernementales régionales
R-U	Royaume-Uni
S	Symbole chimique du soufre
s.a.	Solution active
SC	Suspension concentrée
SCV	Semis direct sur couverture végétale

SL	Solution liquide
SO ₂	Dioxyde de soufre (autrefois appelé anhydride sulfureux)
SPS (Accord)	Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires
TBV	Très bas volume
TiO ₂	Symbole chimique du dioxyde de titane
tr	Tours
UBV	Ultra bas volume
UE	Union européenne
UL	Liquide pour application à très bas volume
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
USDA	<i>United State Department of Agriculture</i>
UV	Ultraviolets
VMD	Diamètre volumétrique médian (désigné également par D50)
W	Watt
WG	Granulés dispersables
WP	poudre mouillable



WS	Poudre mouillable pour traitement humide
----	--





Références bibliographiques



Références bibliographiques

AIDCO, « Draft du schéma de contrôle de certification de plants de pomme de terre », CDE-Lux Development, 2009.

ASSOCIATION DE COORDINATION TECHNIQUE AGRICOLE (ACTA), « Pesticide et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement », Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2002.

BRUNTLAND, G., *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press, 1987.

CAREME, C., PERREAUX, D. et SCHIFFERS, B., « L'enrobage des semences de coton au Burundi à l'aide d'insecticides systémiques pour la maîtrise d'*Aphis gossypii* GLOV », Annales de l' A.N.P.P., vol. 3/1, 1993, pp. 1303-1310.

CALVET R. *et al.*, *Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales*, Paris, Éditions France Agricole, 2005.

EFSA, *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Plants*, EFSA Scientific colloquium summary report, 2007.

FAO, « La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture », www.fao.org/docrep/003/x9800f/x9800f00.htm#TopOfPage, Rome, 2001.

FAO, « Guidelines on Management Options for Empty Pesticide Containers », Rome, mai 2008.

GIFAP, « Élimination des stocks de pesticides inemployés, guide d'aide au choix des options pratiques », 1991.

GLOBAL-G.A.P., « Plant Protection Module », version 1.0, février 2010.

HAUTIER, L., JANSEN, J.P., SCHIFFERS, B. et DELEU, R., « Drawing-up of pesticide selectivity lists to beneficial arthropods for IPM programmes in potato », *Pesticides en milieux tropical et tempéré*, XXXIII^e Congrès du Groupe français des pesticides (GFP), Université de Dijon (Fr), 17 et 18 avril 2004, Communication 39bis, 2004.

HUSSON, O. *et al.*, *Le contrôle du Striga par les systèmes SCV (Semis direct sur Couverture Végétale permanente)*, Manuel pratique du semis direct à Madagascar, vol. I, Chap. 3, CIRAD, TAFA, FOFIFA, GSMM, AFD, Madagascar, 2008.

INRA-CEMAGREF, « Les pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux », Expertise scientifique collective Inra-Cemagref, Versailles, Quae, 2005.

IPPC, *New revised text of the International Plant Protection Convention*, IPPC Secretariat, Rome, FAO, 1997.

IPPC, « Glossary of phytosanitary terms », ISPM n° 5, *International Standards for Phytosanitary Measures*, IPPC Secretariat, Rome, FAO, 2009.

LEPOIVRE, P., *Phytopathologie*, Bruxelles, De Boeck, 2003

MOREIRA, C., SCHIFFERS, B. et HAUBRUGE, E., « Caractérisation de la résistance au Sénégal d'*Helicoverpa armigera* Hubner (Lépidoptère, Noctuidae) par bioessais et méthodes moléculaires », *Annales de l'ANPP*, 6^e Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, t. II, Montpellier, CIRA, 2002, pp. 685-692.

OEPP/EPPO, EPPO Standard PM 5/1(1), « Check-list of information required for pest risk analysis (PRA) », *Bulletin OEPP/EPPO*, n° 23, 1992, pp. 191-198.

OEPP/EPPO, *EPPO A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests*, Paris, EPPO, 2009.

ORKE, E. *et al.*, « Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops » (Production et protection des cultures : pertes estimatives des principales cultures vivrières et de rapport), Amsterdam, Elsevier, 1995.

RYCKEWAERT, P. et FABRE, F., « CIRAD-3P, La Réunion, consacré à la lutte intégrée dans les cultures maraîchères à La Réunion », Food and Agricultural Research Council, Mauritius, AMAS, 2001.

SCHIFFERS, B.C. et COPIN, A., « L'enrobage des semences, un vecteur phytosanitaire performant et respectueux de l'environnement ? », *Annales de l'A.N.P.P.*, vol. 2/2, 1993, pp. 549-558.

TOE, A.M., HEMA, S.A. et SCHIFFERS, B., « Évaluation de l'efficacité de la lutte chimique contre *Helicoverpa armigera* sur le cotonnier durant la campagne agricole 1996 au Burkina Faso », *Sahelian Studies and Research*, n° 4-5, janvier 2000, pp. 29-38.

YOUDEOWEI, A., « La pratique de la lutte intégrée en production maraîchère », *Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (CTA)*, 2004.





Sites Web utiles



Sites Web utiles

AGRITRADE (CTA) : agritrade.cta.int

Banque mondiale : www.banquemondiale.org/

Bayer CropSciences : www.cropscience.bayer.be/fr-FR.aspx

CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*) : www.cgiar.org/

CIPV : www.ippc.int/fr/

COLEACP : www.coleacp.org/

CTA : www.cta.int/fr/

ECPA : www.ecpa.eu/

EPPO/OEPP : www.eppo.int

FAO : www.fao.org/

ICARDA, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas :
www.icarda.cgiar.org/

ICIPE : www.icipe.org/

ICRAF (World Agroforestry Centre) : www.worldagroforestry.org

ICRISAT, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics :
www.icrisat.org/

ORP (Observatoire des résidus de pesticides) : www.observatoire-pesticides.gouv.fr/

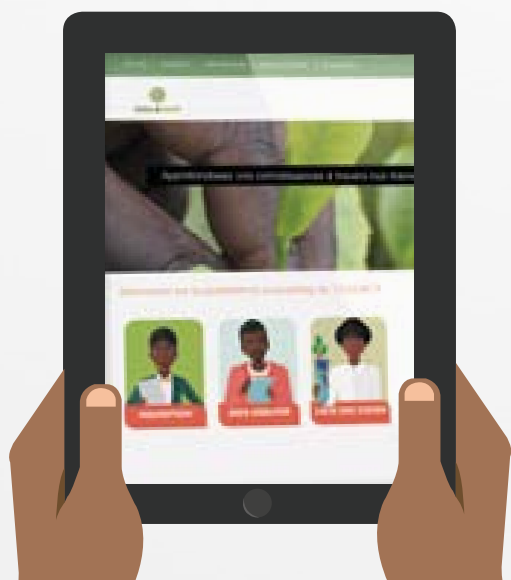
PSD (Pesticide Safety Directorate) : www.pesticides.gov.uk/



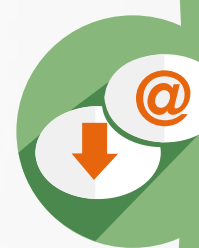
PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>



PRODUCTION ET COMMERCE
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE DES
ALIMENTS

**PRODUCTION AGRICOLE ET
TRANSFORMATION**

RESPECT DE LA PERSONNE ET
DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT

GESTION ET
DÉVELOPPEMENT DE
L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES DE
FORMATION

